



HAL
open science

Améliorer la mobilité urbaine des personnes ayant un handicap cognitif en assistant la cognition spatiale : analyse exploratoire de la chaîne du déplacement et évaluation expérimentale d'un prototype d'aide à la navigation

Romain Delgrange

► To cite this version:

Romain Delgrange. Améliorer la mobilité urbaine des personnes ayant un handicap cognitif en assistant la cognition spatiale : analyse exploratoire de la chaîne du déplacement et évaluation expérimentale d'un prototype d'aide à la navigation. Sciences cognitives. Université Paris Cité, 2020. Français. NNT : 2020UNIP5033 . tel-03259631

HAL Id: tel-03259631

<https://theses.hal.science/tel-03259631>

Submitted on 14 Jun 2021

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.

Améliorer la mobilité urbaine des personnes ayant un handicap cognitif en assistant la cognition spatiale

Analyse exploratoire de la chaîne du déplacement et évaluation expérimentale d'un prototype d'aide à la navigation

Par Romain Delgrange

Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, Université de Paris – Université Gustave Eiffel

Thèse pour obtenir le grade de Docteur
Spécialité : Sciences Cognitives

Présentée et soutenue publiquement le 17 juillet 2020

Jury

Dr. Béatrice Cahour – CNRS UMR i3 Ecole Télécom Paris IPP	– Rapporteure
Dr. Isabelle Milleville-Pennel – CNRS Ecole Centrale de Nantes	– Rapporteure
Pr. Yannick Courbois – Université de Lille	– Examineur
Dr. Catherine Gabaude – Université Gustave Eiffel	– Examinatrice
Dr. Gérard Uzan – Université Paris 8	– Examineur
Dr. Valérie Gyselinck – Université Gustave Eiffel	– Directrice
Dr. Jean-Marie Burkhardt – Université Gustave Eiffel	– Directeur



Résumé

Améliorer la mobilité urbaine des personnes ayant un handicap cognitif en assistant la cognition spatiale : Analyse exploratoire de la chaîne du déplacement et évaluation expérimentale d'un prototype d'aide à la navigation

L'action de se déplacer en ville est une étape fondamentale à la plupart des activités quotidiennes. Cette activité dépend de processus cognitifs coûteux rassemblés sous la notion de « navigation dirigée » (Montello, 2017). Ces processus peuvent devenir particulièrement complexes à effectuer pour des individus ayant un handicap cognitif. Les besoins exprimés par ces personnes, ainsi que la faible connaissance de leurs difficultés, appellent un état des lieux de la mobilité urbaine vécue par cette population. Cette thèse a pour objectif d'analyser les composantes de la navigation affectées par le handicap cognitif et contraignant la chaîne du déplacement, afin d'identifier des leviers en matière de solutions d'aide à la mobilité. A ce jour, peu d'études ont analysé systématiquement les difficultés de déplacement d'individus ayant un handicap cognitif. Un obstacle majeur réside dans la faible inclusion des personnes concernées. L'objectif de la première étude de cette thèse a été de développer des connaissances sur la mobilité dans le champ du handicap cognitif. Des entretiens semi-dirigés ont été menés auprès de 44 participants ayant un handicap cognitif et de 22 participants contrôles afin d'accéder aux épisodes vécus. 218 situations complexes de la mobilité des personnes ont été extraites. Nos analyses mettent en évidence une différence majeure chez les participants ayant un handicap dans la résolution de problèmes de navigation : le recours plus fréquent à une aide extérieure. Une analyse des correspondances multiples fait émerger plusieurs profils types d'événements complexes de mobilité, et ouvre des pistes de réflexion sur des solutions possibles. L'identification de ces éléments permet de formuler des recommandations pour favoriser la mobilité, en particulier concernant les aides au déplacement. Les aides à la navigation existantes, qui s'appuient sur les nouvelles technologies (applications, GPS), restent à ce jour peu adaptées aux besoins cognitifs réels de l'être humain (Grison & Gyselinck, 2019). La seconde étude visait à évaluer l'efficacité et l'utilisabilité d'un prototype d'aide au déplacement tenant compte des spécificités identifiées dans la première étude pour adapter l'aide à des personnes ayant un handicap cognitif. En particulier, le prototype d'aide proposé s'appuie sur la transmission d'instructions verbales audio utilisant des points de repère urbains (Denis et al., 2007). Ce prototype a été comparé à un autre dispositif inspiré des outils actuellement disponibles pour le grand public, utilisant des informations cartographiques. 90 participants sans handicap se sont déplacés dans un jeu vidéo et ont effectué des tâches spatiales. La moitié des participants effectuait l'expérience en condition de double tâche. Cette condition induisait une surcharge cognitive (Leplat & Sperandio, 1967), dans le but de simuler une incapacité. L'analyse des données recueillies montre des effets positifs du prototype utilisant les points de repère, avec une navigation plus efficace pour tous les participants l'utilisant. L'évaluation des prototypes par les participants montre également une nette préférence pour celui utilisant des points de repère. En revanche, le prototype inspiré des aides grand public apparaît le plus bénéfique dans la construction de représentations spatiales. Nos résultats ainsi que leurs applications possibles sont discutés, et des préconisations sont formulées pour le futur de la recherche sur la cognition spatiale dans le champ du handicap cognitif. En particulier, nos résultats mettent en évidence des situations où une aide pourrait favoriser la mobilité, et la façon dont cette aide pourrait s'adapter aux comportements des individus.

Abstract

*Improving the urban mobility of people with cognitive disabilities by assisting spatial cognition:
Exploratory analysis of the travel chain and experimental evaluation
of a prototypal navigational aid*

Getting around the city is a fundamental step in most daily activities. This activity depends on costly cognitive processes designated under the notion of "wayfinding" (Montello, 2017). These processes can become particularly complex to perform for individuals with cognitive disabilities. The needs expressed by these people, as well as the poor knowledge of their difficulties, call for an inventory of the urban mobility experienced by this population. The aim of this thesis is to analyze the components of navigation affected by cognitive disabilities and constraining the travel chain, in order to identify navigational aid solutions. To date, few studies have systematically analyzed the mobility difficulties of individuals with cognitive disabilities. A major obstacle lies in the lack of inclusion of these people in studies on spatial navigation. The objective of the first study of this thesis was to develop knowledge on mobility in the field of cognitive disabilities. Semi-directed interviews were conducted with 44 participants with cognitive disabilities and 22 control participants in order to access their experience. 218 complex situations of people's mobility were extracted. Our analyses highlight a major difference among participants with a disability in the resolution of navigation problems: the more frequent need for assistance. A multiple correspondence analysis shows several typical profiles of complex mobility events, and opens up avenues for reflection on possible solutions. The identification of these elements enables recommendations to be made to promote mobility, in particular concerning mobility aids. To date, existing navigational aids, which are based on new technologies (applications, GPS), remain weakly adapted to the cognitive needs of human beings (Grison & Gyselinck, 2019). The second study aimed to evaluate the effectiveness and usability of a prototypal navigational aid, taking into account the specificities identified in the first study to adapt the aid to people with cognitive disabilities. In particular, the proposed aid prototype was based on the transmission of verbal audio instructions using urban landmarks (Denis et al., 2007). This prototype was compared to another device inspired by tools currently available to the general public, using cartographic information. 90 participants without disabilities moved around in a video game and performed spatial tasks. Half of the participants performed the experiment in a dual-task condition. This condition induced cognitive overload (Leplat & Sperandio, 1967), in order to simulate a disability. Analysis of the data collected shows positive effects of the landmark-based prototype, with more effective wayfinding for all participants using it. The evaluation of the prototypes by the participants also shows a clear preference for the landmark-based aid. On the other hand, the prototype inspired by commonly available navigational aids appears to be the most beneficial in the use of spatial representations. Our results and their possible applications are discussed, and recommendations are formulated for the future of research on spatial cognition in the field of cognitive disabilities. In particular, our results highlight situations where an aid could promote mobility, and how this aid could adapt to the behaviors of individuals.

*I have no idea where this will lead us,
but I have a definite feeling it will be a place both wonderful and strange*

– Dale Cooper

Table des matières

RESUME	IV
ABSTRACT	V
PARTIE THEORIQUE	
INTRODUCTION GENERALE	2
1. <i>La mobilité dans le champ du handicap</i>	2
1.1. L'action de « trouver son chemin »	2
1.2. Ce que l'on sait de la difficulté de mobilité dans le handicap cognitif	5
2. <i>Présentation de la thèse</i>	6
2.1. Objectifs	6
2.2. Plan général	6
CHAPITRE 1 – ASPECTS « REPRESENTATIONNELS » DE LA NAVIGATION DIRIGEE : LES REPRESENTATIONS SPATIALES OU MODELES MENTAUX	8
1. <i>La notion de représentation spatiale interne</i>	8
2. <i>Représentations spatiales égocentriques : point de repère et trajet</i>	10
2.1. Représentations point de repère	10
2.1.1. Concept de point de repère	10
2.1.2. Caractéristiques des points de repère	11
2.2. Représentations trajet	12
3. <i>Représentations spatiales allocentriques : la carte cognitive</i>	13
3.1. Le concept de « représentations survol » ou « carte cognitive »	13
3.2. Propriétés des cartes cognitives	14
3.3. Construction des cartes cognitives	15
3.4. Processus cognitifs fondés sur l'utilisation de la carte cognitive	16
CHAPITRE 2 – ASPECTS COGNITIFS « DYNAMIQUES » DE LA NAVIGATION DIRIGEE	17
1. <i>Aspects perceptifs : l'environnement exposé à l'appareil sensoriel</i>	17
1.1. Aspects individuels : perception multimodale, mais principalement visuelle	17
1.2. Aspects environnementaux : lisibilité de l'espace urbain	19
1.2.1. La notion de lisibilité, une propriété multimodale de l'environnement	19
1.2.2. Lisibilité visuelle de l'environnement	21
1.2.3. Lisibilité multimodale	22
2. <i>Aspects mnésiques</i>	23
2.1. Mémoire de travail	23
2.2. Mémoire prospective	24
3. <i>Aspects exécutifs</i>	24
3.1. L'orientation spatiale	25
3.2. La planification	25
3.3. La prise de décision, l'intégration cognitive et la clôture du trajet	26
3.4. Les stratégies cognitives	28
CHAPITRE 3 – HANDICAP COGNITIF ET NAVIGATION DIRIGEE : INCAPACITES REPRESENTATIONNELLES ET FONCTIONNELLES	30
1. <i>La notion de « handicap »</i>	31
2. <i>Handicap cognitif et représentations spatiales</i>	32
2.1. Atteintes des représentations égocentriques	32
2.2. Atteintes des représentations allocentriques	34
2.3. Autres perspectives sur les désorientations topographiques	35
3. <i>Handicap cognitif et composantes « dynamiques »</i>	36
3.1. Perception de l'environnement	36
3.2. Encodage mnésique de l'environnement : construction des représentations spatiales	36
3.3. Exécution de la chaîne du déplacement	38
CHAPITRE 4 – AMELIORER LA NAVIGATION DIRIGEE PAR L'ASSISTANCE A LA COGNITION SPATIALE	42

1.	<i>Formations à la navigation dirigée</i>	42
2.	<i>Assister la cognition spatiale grâce à des outils mobiles</i>	45
2.1.	Outils existants	45
2.2.	Limites des outils existants dans le champ de la cognition spatiale.....	47
2.3.	Développement de prototypes adaptés	48
CHAPITRE 5 – PROBLEMATIQUES ET OBJECTIFS DE LA THESE		52
1.	<i>Approfondir les connaissances actuelles sur la mobilité en ville des personnes ayant un handicap cognitif</i>	53
2.	<i>Evaluer un prototype d'aide à la navigation</i>	54
PARTIE EXPERIMENTALE		
CHAPITRE 6 – ÉTUDE 1. HANDICAP COGNITIF : DIFFICULTES ET STRATEGIES DE RESOLUTION DE NAVIGATION.....		58
1.	<i>Introduction</i>	58
1.1.	La navigation dirigée en tant que processus cognitif.....	58
1.2.	Navigation dirigée chez les personnes ayant un handicap cognitif.....	59
1.3.	Objectifs de l'étude	60
2.	<i>Méthode</i>	62
2.1.	Participants et recrutement.....	62
2.2.	Caractéristiques de l'échantillon.....	63
2.3.	Procédure.....	63
2.3.1.	Entretiens semi-dirigés selon la technique des incidents critiques.....	64
2.3.2.	Questionnaires.....	65
2.4.	Analyses.....	65
2.4.1.	Données recueillies	65
2.4.2.	Codage des données	66
2.4.3.	Analyses statistiques	67
3.	<i>Résultats</i>	75
3.1.	Rappels d'événements et capacités spatiales	75
3.2.	Description pas-à-pas des situations complexes dans les deux groupes	75
3.2.1.	Différences inter-groupes entre les types d'événements et stratégie de résolution de problèmes	75
3.2.2.	Différences inter-groupes entre les émotions et les apprentissages résultants des situations complexes	76
3.3.	Analyse multivariée : les principaux profils de situations complexes	77
4.	<i>Discussion</i>	80
4.1.	Des situations complexes différentes.....	81
4.2.	Des similarités inter-groupes suggérant des habitudes de déplacement différentes.....	82
4.3.	A problèmes différents, solutions différentes.....	83
4.4.	Des émotions négatives et le renforcement des stratégies éprouvées.....	84
4.5.	Conclusion	85
CHAPITRE 7 – ÉTUDE 2. ASSISTER LA NAVIGATION DIRIGEE PAR L'UTILISATION DES POINTS DE REPERE : EVALUATION D'UN PROTOTYPE EN REALITE VIRTUELLE PAR SIMULATION D'UNE INCAPACITE COGNITIVE'		89
1.	<i>Introduction</i>	89
1.1.	Des besoins spécifiques liés au handicap cognitif	89
1.2.	La « double tâche » pour étudier le handicap cognitif	90
1.3.	La réalité virtuelle pour explorer la navigation dirigée humaine	92
1.4.	Objectifs de l'étude	93
2.	<i>Méthode</i>	93
2.1.	Plan expérimental : vue d'ensemble	93
2.1.	Participants	94
2.2.	Matériel	95
2.2.1.	Environnements virtuels : Grand Theft Auto V	95
2.2.2.	Affichage de l'environnement virtuel	96
2.2.3.	Caractéristiques des parcours dans l'environnement	97
2.2.4.	Assistants de navigation : fonctionnement et caractéristiques des guidages.....	98
2.2.5.	Contrôle de la navigation.....	99
2.2.6.	Photographies de points de repère	101
2.2.7.	Plans vierges.....	101

2.2.8.	Tâche interférente : tapping spatial.....	102
2.2.9.	Questionnaires : utilisabilité et questions de contrôle.....	103
2.3.	Procédure.....	104
2.4.	Analyses.....	108
2.4.1.	Données recueillies.....	108
2.4.2.	Performances de navigation dirigée.....	110
2.4.3.	Evaluation de la construction et de l'utilisation de représentations spatiales.....	111
2.4.4.	Evaluation de l'utilisabilité des assistants.....	113
2.4.5.	Synthèse des analyses.....	113
3.	<i>Résultats</i>	114
3.1.	Evaluation de la navigation dirigée.....	114
3.1.1.	Performances de navigation dirigée.....	114
3.1.2.	Utilisation de représentations spatiales.....	118
3.2.	Evaluation de la construction de représentations spatiales.....	122
3.2.1.	Représentations point de repère.....	122
3.2.2.	Représentations survol.....	125
3.3.	Mesure de l'utilisabilité des assistants de navigation.....	125
3.4.	Synthèse des effets de l'assistant de navigation.....	127
4.	<i>Discussion</i>	128
4.1.	Effet bénéfique de l'assistant points de repère sur la qualité de la navigation dirigée.....	128
4.2.	Effet négatif de l'assistant points de repère sur la construction de représentations spatiales.....	130
4.3.	Meilleure utilisabilité de l'assistant points de repère.....	132
4.4.	Bénéfices de l'assistant points de repère pour les participants avec une incapacité cognitive induite.....	132
4.5.	Conclusion.....	134

DISCUSSION GENERALE

DISCUSSION GENERALE.....	136
1. <i>Contributions théoriques</i>	136
1.1. Le caractère multifactoriel de la navigation dirigée pour étudier le handicap cognitif.....	136
1.2. La flexibilité cognitive, facteur potentiellement déterminant.....	138
1.3. Des arguments en faveur d'une approche holistique de la navigation dirigée.....	139
2. <i>Contributions méthodologiques</i>	140
2.1. Investigation auprès des personnes ayant un handicap cognitif par entretiens et questionnaires.....	141
2.2. La double tâche pour provoquer une incapacité cognitive.....	142
2.3. Intérêt de l'utilisation d'un jeu vidéo.....	143
3. <i>Perspectives d'applications</i>	144
4. <i>Conclusion générale</i>	146
TRAVAUX CITES.....	149
ANNEXES.....	171
1. <i>Guide d'entretien : étude 1</i>	171
2. <i>Questionnaire sur les compétences spatiales (Pazzaglia et al., 2000) : étude 1 et étude 2</i>	172
3. <i>Questionnaire sur l'utilisabilité de l'assistant de navigation (SUS, Brooke, 1996) : étude 2</i>	175
4. <i>Questions sur l'utilisation personnelle de Grand Theft Auto V : étude 2</i>	177
5. <i>Lettre d'information : étude 1</i>	178
6. <i>Formulaire de recueil de consentement éclairé : étude 1</i>	180
7. <i>Lettre d'information : étude 2</i>	182
8. <i>Formulaire de recueil de consentement éclairé : étude 2</i>	184

Première partie
Partie théorique

Introduction générale

1. La mobilité dans le champ du handicap

1.1. L'action de « trouver son chemin »

Se déplacer dans l'environnement pour atteindre une destination, que celle-ci soit à proximité immédiate ou hors de vue, est la première étape de la plupart des activités quotidiennes des personnes. Cette activité fondamentale est étudiée dans la littérature sous le nom de « navigation spatiale » (Golledge, 1991; Montello, 2017). La navigation spatiale distingue deux composantes complémentaires dans la réalisation d'un trajet : la locomotion et le « *wayfinding* » (Montello, 2005, 2017; Wiener et al., 2009). La locomotion désigne l'ensemble des aspects sensorimoteurs du déplacement, c'est-à-dire les gestes et la coordination musculaire nécessaires au mouvement dans l'espace (Montello, 2017). La locomotion ne peut cependant à elle seule définir la navigation. Lorsqu'un individu se déplace pour atteindre une destination à partir d'un point de départ, il doit résoudre le « problème spatial » qui lui permet de trouver et de suivre le chemin entre ces deux lieux (Wiener et al., 2009). Cet aspect cognitif du déplacement est appelé dans la littérature « *wayfinding* » (Montello, 2005, 2017; Wiener et al., 2009). Ce terme anglophone signifie littéralement « l'action de trouver son chemin », et ne dispose pas d'équivalent unique en français. Certains auteurs emploient des dénominations qui soulignent les aspects sensorimoteurs de cette activité, comme « locomotion *guidée* » (Warren, 1995) ou « locomotion *complexe* » (Klatzky et al., 1995). Nous parlerons dans cette thèse de « *navigation dirigée* » pour désigner cette composante cognitive de la navigation spatiale et la distinguer de la locomotion pure.

La navigation dirigée renvoie à l'ensemble des processus et opérations cognitives sous-tendant la mobilisation et l'élaboration de représentations de l'environnement. Ces processus et opérations consistent à planifier un trajet d'un endroit à un autre et à en contrôler la réalisation jusqu'à l'atteinte d'une destination (Golledge, 1991, 1995). De ce fait, la navigation dirigée implique également la connaissance ou l'anticipation de l'environnement distant, non immédiatement accessible à la perception (Montello, 2017). Cette activité inclut ainsi l'ensemble des composantes de la réalisation d'un trajet et renvoie à la résolution de problème spatial qu'un individu doit effectuer pour se déplacer efficacement.

Les premiers travaux s'intéressant à la capacité de trouver son chemin apparaissent au milieu du XIX^e siècle. Fowler (1853) est l'un des premiers auteurs à discuter des processus

cognitifs sous-tendant cette capacité qu'il appelle alors « sens de la localité » (« *locality* », en anglais), et qui permettrait à un individu de reconnaître des lieux et de « ne pas se perdre ». Selon Fowler (1853), le « sens de la localité » est aussi plus largement une capacité « géographique », permettant de trouver puis de se déplacer vers des endroits. Cet auteur recommande ainsi de « mémoriser des caractéristiques distinctives » dans les environnements visités pour se déplacer. La définition ainsi formulée est historiquement la première à intégrer les aspects de déplacement (aller vers des endroits) et de représentations spatiales internes (reconnaître des lieux, trouver les endroits avant de s'y rendre, mémoriser des caractéristiques environnementales).

Le concept de représentations spatiales apparaît dans la littérature psychologique dans la première moitié du XX^{ème} siècle. Plusieurs auteurs s'intéressent à cette période aux « cartes mentales » de l'environnement qu'un individu construit cognitivement (Boring, 1945; Griffin, 1948; Lord, 1941; Tolman, 1948). Tolman (1948) a introduit la notion au cours d'une célèbre étude analysant des parcours successifs dans un labyrinthe, en utilisant un modèle animal (le rat) pour élargir ensuite ses observations au fonctionnement cognitif humain. Dans son étude, des rats parviennent à rejoindre leur destination dans un labyrinthe de plus en plus rapidement et en commettant de moins en moins d'erreurs au fil des essais. Selon cet auteur, ces résultats indiquent qu'un rat peut développer une représentation cartographique mentale du labyrinthe. Les travaux sur la carte cognitive se concentreront principalement sur la construction de cette « carte », sans prendre en compte l'utilisation qui en est faite lors du déplacement.

Une vision holistique des déplacements dans l'environnement réapparaît dans la seconde moitié du XX^{ème} siècle avec le premier emploi du terme « *wayfinding* ». Ce terme émerge de la littérature sur l'urbanisme avec les travaux de Lynch (1960). Cet auteur définit la navigation dirigée comme l'action de trouver son chemin, fondée sur une image qu'un individu se construit de l'environnement, par sa perception immédiate et par les informations dont il dispose en mémoire. Cette image mentale est ensuite utilisée pour interpréter l'information spatiale et guider l'action au fur et à mesure d'un trajet. Plusieurs auteurs adoptent à partir de cette période une posture pratique quant à l'exploration de la navigation dirigée, incluant l'analyse du comportement et des processus associés à la construction des cartes mentales (Downs & Stea, 1973; Miller et al., 1960).

La notion de navigation dirigée n'est toutefois pas immédiatement reprise dans le champ des sciences cognitives, où la notion de « carte cognitive », ou « carte mentale », reste majoritairement mobilisée. Pourtant, à cette époque, plusieurs travaux indiquent que des individus sont en mesure de se déplacer dans l'espace et d'atteindre des destinations sans « carte mentale » préalable, y compris dans des environnements complexes comme un

environnement naturel, non construit (Kaplan, 1976), ou à l'inverse un réseau de transports souterrain (Bronzaft et al., 1976). Kaplan (1976) note ainsi que la connaissance d'un environnement implique « bien davantage » que les informations contenues dans une carte. Bronzaft et al. (1976) montrent que des utilisateurs du métro de New York utilisent particulièrement les panneaux et les diffusions d'annonces orales pour s'y déplacer, plutôt que les cartes de l'époque. Cela amène les différents auteurs à conclure que la construction d'une « carte mentale » est multifactorielle et s'effectue au cours du déplacement.

Cette idée renforce la nécessité d'explorer non seulement les aspects représentationnels de la cognition spatiale, mais également ses aspects fonctionnels, correspondant à la façon dont l'être humain interagit avec son environnement (Kaplan, 1973). Cette posture de recherche contribue à l'introduction de la notion de navigation dirigée dans le domaine des sciences cognitives et de la psychologie environnementale. La notion de navigation dirigée telle que proposée par Lynch (1960) apparaît dans le champ des sciences cognitives dans une étude de Kaplan (1976). Ses fondements théoriques sont notamment définis par Passini (1980, 1981). Passini (1981) distingue le concept des « cartes mentales », représentationnel, de celui de la « navigation dirigée », processus cognitif et comportemental « dynamique », visant à atteindre une destination. Il définit l'action de navigation dirigée comme la résolution d'un problème spatial permettant à un individu de se déplacer vers une localisation spécifique dans l'environnement.

En particulier, si le problème initial de navigation dirigée est spatial, sa résolution consiste en l'ensemble des actions comportementales effectuées depuis le point de départ jusqu'à l'arrivée (Passini, 1981). Selon cet auteur, la navigation dirigée est fondée sur trois principales opérations impliquant le traitement des informations de l'environnement à partir des expériences spatiales présentes et passées : la prise de décision, la planification d'un trajet, puis l'exécution du plan. Ces aspects fonctionnels correspondent à la distinction classique dans la littérature entre les opérations « *online* » (littéralement « en ligne », c'est-à-dire en situation, dynamiques) et « *offline* » (littéralement « hors ligne », non directement impliquées dans l'action, représentationnelles) (Waller & Nadel, 2013), qui incluent les concepts précédents de « carte mentale ».

Selon Waller et Nadel (2013), l'approche « représentationnelle » *versus* « dynamique » rend compte de l'approche à la fois cognitive et comportementale des sciences cognitives envers la navigation dirigée. Pour eux, les processus « représentationnels » permettent à un individu de se situer au moment présent, d'interpréter les relations spatiales entre les éléments de l'environnement et d'atteindre ses objectifs immédiats de déplacement dans une direction. De façon distincte, les processus « dynamiques » impliquent la mémorisation sur le long terme

de l'information spatiale et permettent l'anticipation des différentes étapes et composantes de la chaîne du déplacement.

1.2. Ce que l'on sait de la difficulté de mobilité dans le handicap cognitif

Du fait du rôle central de la cognition dans l'action de trouver son chemin, une situation complexe (liée au contexte, ou à l'environnement lui-même) ou une limitation des ressources cognitives (fatigue, anxiété) peut entraîner des difficultés à trouver son chemin, y compris chez un individu sans incapacité (Arthur & Passini, 2002; Postma & van der Ham, 2016a). C'est particulièrement le cas pour des individus ayant une incapacité cognitive permanente.

Quelques études dans le domaine des sciences cognitives ont en effet établi l'existence de difficultés de mobilité pour la population des personnes présentant des incapacités cognitives (Meissonnier, 2016; Nakamura & Ooie, 2017). Elles paraissent pratiquer très peu d'activités de loisirs à l'extérieur, éviter de faire les courses seules et rendre rarement visite à des proches (Doig et al., 2001; Sohlberg et al., 2005). Les tâches quotidiennes impliquant la chaîne du déplacement engendreraient chez ces personnes la crainte de se perdre, les amenant à éviter de sortir ou à trouver extrêmement coûteux le fait de se déplacer, selon Sohlberg et al. (2005). Dans leur étude sont pourtant mentionnées plusieurs destinations auxquelles elles désireraient se rendre si elles le pouvaient, comme les musées, les bibliothèques, les centres commerciaux, les bureaux de postes ou les domiciles de leurs proches. A ce jour cependant, la nature des difficultés rencontrées par ces personnes dans leurs déplacements quotidiens reste peu explorée (Meissonnier, 2016; Nakamura & Ooie, 2017).

Une recommandation de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, World Health Organization) en matière de handicap consiste en des préconisations d'adaptation de l'accessibilité et des systèmes associés, afin de limiter l'effet des facteurs environnementaux dans la survenue d'une situation de handicap (World Health Organization, 2012). Deux autres recommandations fortes de l'OMS concernent l'implication nécessaire des personnes ayant un handicap aux différentes étapes des processus décisionnels, ainsi que le renforcement de la collecte de données sur les aspects concernant la vie quotidienne de ces personnes. L'OMS préconise enfin la réalisation de recherches sur ce domaine, arguant que le développement de connaissances est essentiel à la compréhension des problèmes liés au handicap, de l'impact des facteurs environnementaux et des facteurs facilitants déjà existants.

A travers la « Loi pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées » (ou « Loi handicap ») de 2005, la loi française

prévoit notamment que toutes les composantes de la chaîne du déplacement doivent être organisées pour permettre l'accessibilité à toute personne en situation de handicap, quel que soit le type de handicap. En particulier, l'article 41 de la « Loi Handicap » précise que cette accessibilité peut être facilitée non seulement par l'aménagement de l'espace, mais également par le recours aux nouvelles technologies.

2. Présentation de la thèse

2.1. Objectifs

L'expression de besoins de mobilité chez la population des personnes ayant un handicap cognitif, ainsi que la faible connaissance des difficultés qu'elle rencontre, font émerger la nécessité d'effectuer un état des lieux de la notion de mobilité urbaine par le prisme du handicap cognitif. Cet état des lieux doit notamment viser à approfondir les connaissances sur le quotidien de ces individus, afin de permettre la formulation de recommandations et l'élaboration de solutions adaptées pour faciliter la mobilité. Cette thèse a pour principal objectif d'analyser les composantes de la navigation dirigée affectées par le handicap cognitif et contraignant la chaîne du déplacement, afin d'identifier des leviers en matière de solutions d'aide à la mobilité. De cet objectif principal émanent deux objectifs opérationnels.

Un premier objectif de cette thèse est de développer les connaissances factuelles sur la mobilité dans le champ du handicap cognitif. Ces connaissances permettront de détailler les difficultés rencontrées par les individus ayant un handicap cognitif, afin de permettre d'envisager des aides adaptées à ces difficultés.

Un second objectif est d'évaluer la faisabilité et l'efficacité d'une aide au déplacement adaptée à destination des personnes ayant un handicap cognitif. Cette aide au déplacement sera fondée sur la synthèse des connaissances existantes en littérature et sur les données recueillies auprès de la population concernée.

2.2. Plan général

La première partie de cette thèse est théorique. Elle vise à établir une synthèse des connaissances des sciences cognitives sur la mobilité et le handicap cognitif. Cette partie théorique comporte cinq chapitres. Le premier présente la mobilité urbaine comme fonction de la cognition spatiale et en détaille les aspects représentationnels internes. Le deuxième chapitre explore les aspects dynamiques de la navigation dirigée. Le troisième chapitre

présente les liens entre des incapacités cognitives et des difficultés dans la mobilité urbaine. Le quatrième chapitre fait état des solutions explorées pour pallier les difficultés rencontrées par les individus porteurs d'un handicap cognitif, et des recommandations pour les dispositifs d'assistance futurs. Dans le cinquième chapitre enfin, à partir des éléments discutés, nous élaborons les problématiques auxquelles cette thèse tente de répondre dans une partie expérimentale comportant deux études.

La première étude vise à analyser des données recueillies auprès d'individus ayant un handicap cognitif, afin d'établir des connaissances factuelles sur les difficultés de ces personnes ainsi que sur les actions de résolution mises en œuvre. La seconde étude vise à proposer un prototype de solution adaptée d'aide à la navigation, élaboré à partir des connaissances de la première étude et de la littérature.

La dernière partie de cette thèse propose une analyse critique des expérimentations menées. Les applications possibles des résultats obtenus, ainsi que les perspectives qu'ils ouvrent, sont examinées. Les contributions théoriques des expérimentations sont discutées. Nous exposerons également les apports et les limites des méthodologies mises en œuvre dans les protocoles.

Chapitre 1 – Aspects « représentationnels » de la navigation dirigée : les représentations spatiales ou modèles mentaux

1. La notion de représentation spatiale interne

Les aspects « représentationnels » de la navigation dirigée désignent les représentations spatiales internes qu'un individu a de son environnement. Ces représentations sont également appelées les « modèles mentaux » (Ehrlich et al., 1993; Johnson-Laird, 1980). L'individu applique sur ces modèles mentaux des opérations et traitements cognitifs, en vue de réaliser une tâche (Johnson-Laird, 1980). Selon Johnson-Laird (2006a), les modèles mentaux spatiaux sont des représentations internes en trois dimensions, dont les éléments et les relations spatiales sont similaires aux éléments réels auxquels ils font référence. Il ne s'agirait pas de « copies » exactes de l'environnement réel : ils représentent de petites quantités d'informations spatiales et non l'environnement entier. Cette sélection d'informations spatiales « pertinentes » répond au principe d'économie cognitive, visant à développer des représentations centrées sur les éléments utiles plutôt que des représentations exhaustives comprenant de nombreux éléments non pertinents (Rosch & Lloyd, 1978). Les modèles mentaux permettent la résolution de problèmes spatiaux, et sont de ce fait utilisés dans la navigation dirigée (Nys et al., 2015; Gyselinck & Pazzaglia, 2012; Johnson-Laird, 1980, 2006a).

On distingue classiquement trois types, aussi appelés « niveaux » par certains auteurs (Siegel & White, 1975), de représentations spatiales. Ces niveaux de représentations sont illustrés en Figure 1 : les représentations « point de repère », les représentations « trajet » entre les points de repère, et les représentations de la configuration cartographique globale d'un lieu, « survol » (Siegel & White, 1975) ou « carte cognitive » (Tolman, 1948). Les représentations point de repère et les représentations survol représentent le corpus le plus important de la littérature sur les représentations spatiales internes (Buchner & Jansen-Osmann, 2008).

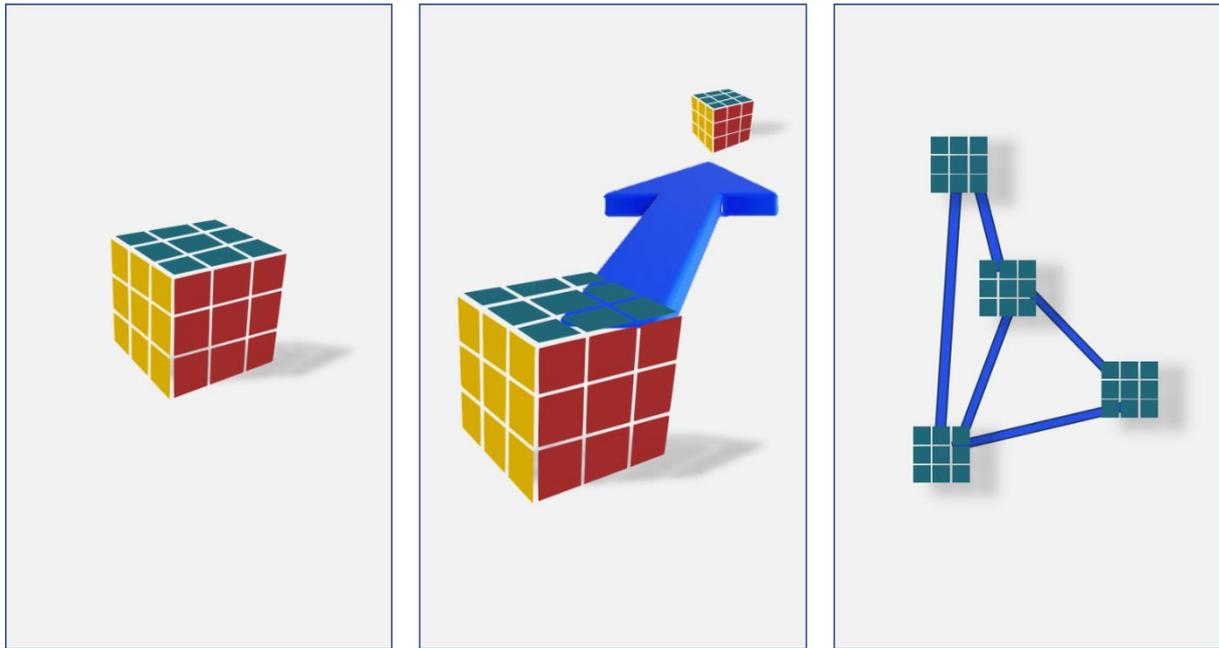


Figure 1 : Représentation des trois niveaux de représentations spatiales internes considérés dans la littérature (d'après Siegel & White, 1975). De gauche à droite : les représentations point de repère (éléments spatiaux de référence), les représentations trajet (parcours entre des points de référence), et les représentations survol ou « carte cognitive » (représentation « à vol d'oiseau » de l'espace).

Ces trois niveaux de représentations sont également distingués par le cadre de référence spatial auquel ils appartiennent. Les cadres de référence spatiaux, « égocentrique » et « allocentrique », désignent le point de vue à partir duquel un individu se représente l'espace. Le cadre de référence « égocentrique » est la représentation qu'un individu a de l'environnement dans une vue à la première personne, à travers ses yeux (pour les représentations point de repère et trajet). Le cadre allocentrique est pour sa part une représentation de l'environnement indépendante de la position de la personne (pour les représentations survol) (Gärling & Golledge, 1989; Moffat, 2016; van der Ham & Ruotolo, 2017).

Les cadres de référence permettent le traitement cognitif ou « codage » des relations entre les objets dans l'espace selon deux types : « coordonnée » ou « catégorique ». Le codage coordonné désigne le traitement cognitif d'une relation spatiale selon un système de mesure (perception d'une distance entre deux éléments, par exemple « être à un mètre de quelque chose »), tandis que le codage catégorique implique une représentation en position relative d'un objet par rapport à un autre (par exemple, « dessus », « devant », « à droite ») (Kosslyn et al., 1989; McKone et al., 2005).

2. Représentations spatiales égocentriques : point de repère et trajet

2.1. Représentations point de repère

2.1.1. *Concept de point de repère*

Les représentations point de repère sont les unités fondamentales des représentations spatiales internes, et sont les premières acquises au cours du développement cognitif et au cours de l'exploration d'un environnement (Siegel & White, 1975). Selon Lynch (1960) dans son ouvrage princeps sur l'urbanisme, les « points de repère » sont des points de référence identifiables, généralement visuels, qui peuvent être décrits simplement (par exemple, un bâtiment, un magasin ou une montagne). Ces points de repère peuvent être lointains et visibles selon différents angles et différentes distances (comme une montagne), ou présents localement à l'intérieur des villes, visibles uniquement depuis certaines localisations (comme un magasin ou un arbuste). Quelles que soient leurs propriétés physiques, qui présentent une grande variabilité selon la nature du point de repère, ces éléments sont dans tous les cas singuliers et sont uniques dans le contexte où ils sont utilisés. Lynch (1960) suggère par ces caractéristiques qu'un point de repère est relatif et non absolu, dans la mesure où il devient un point de référence par rapport au contexte dans lequel il existe (par exemple, un arbuste peut être un point de repère dans une rue, mais ne pas être considéré comme tel dans un parc).

Cette définition des points de repère formulée par Lynch (1960) reste d'actualité dans la littérature plus récente (Yesiltepe et al., 2019). Ils sont vus comme des éléments spatiaux singuliers dans le contexte où ils existent, par leurs caractéristiques visuelles ou symboliques (Couclelis et al., 1987; Presson & Montello, 1988). Ces singularités les amènent à être encodés en mémoire spatiale par un individu (Presson & Montello, 1988). Les points de repère sont ainsi dépendants de l'environnement dans lequel ils existent et de l'individu qui perçoit le point de repère (Yesiltepe et al., 2019). Ils ont principalement trois effets sur le déplacement d'un individu : ils marquent les lieux d'intérêt où une action doit être effectuée, ils aident à localiser d'autres points de repères, et ils servent à confirmer, au fur et à mesure du trajet, que l'individu se dirige dans la bonne direction (Michon & Denis, 2001).

Les représentations internes des points de repères sont fondées sur leurs aspects perceptibles externes, notamment visuels (Siegel & White, 1975). Les points de repère sont encodés en mémoire spatiale selon trois encodages différents : « configurateur », « configurateur-élémentaire » ou « balisage » (MacDonald et al., 2004). Un encodage

configurateur est pour un individu la mémorisation d'un ensemble de points de repères comme une « configuration générale », en fonction de laquelle la destination du déplacement est représentée (par exemple, la banque proche de la station-service à gauche de la fontaine). Un encodage configurateur-élémentaire implique d'utiliser des notions de distances ou de direction en complément de l'encodage configurateur simple (par exemple, la banque proche de la station-service à cinquante mètres de la fontaine). Enfin, dans le balisage, un repère saillant fonctionne comme un « jalon » sur le parcours et fournit une information sur l'environnement qui facilite la recherche d'une destination (par exemple, une banque dont la localisation exacte n'est pas connue, mais qui se situe à proximité d'un magasin connu).

2.1.2. Caractéristiques des points de repère

Yesiltepe et al. (2019) notent trois caractéristiques d'un objet dans l'espace permettant son statut de point de repère : sa localisation, son accessibilité perceptuelle et sa saillance, c'est-à-dire sa distinction physique ou symbolique par rapport à son environnement immédiat.

Plusieurs études montrent que la localisation des points de repère à des points de décision du trajet, où plusieurs directions peuvent être prises (par exemple, aux intersections de rues), permet à un individu de mieux les mémoriser (Michon & Denis, 2001; Wang et al., 2014). Les points de repère situés à des points de décision sont davantage utilisés par les individus pour décrire des trajets que ceux localisés en dehors des points de décision (par exemple, au milieu d'une rue) (Denis et al., 1999; Michon & Denis, 2001; Miller & Carlson, 2011). Ces points de repère confirment que l'individu se dirige dans la direction souhaitée. Ils permettent également de déterminer si une action est à effectuer pour se diriger vers cette destination (Michon & Denis, 2001).

La visibilité correspond au degré auquel des éléments peuvent être perçus par l'appareil visuel. C'est une seconde caractéristique importante pour les représentations spatiales internes associées aux points de repère (Yesiltepe et al., 2019). Un point de repère peut être lointain et visible depuis une grande distance, au-delà d'autres éléments plus petits, ou être un élément local et visible uniquement depuis ses environs (Lynch, 1960). Un point de repère distant serait davantage utilisé dans des environnements inconnus et servirait de « boussole », tandis qu'un point de repère local le serait surtout dans le contexte de déplacements en environnements familiers (Lynch, 1960). Selon sa visibilité, un point de repère est donc considéré différemment dans le contexte de la navigation dirigée en fonction de la familiarité que l'individu qui se déplace a avec l'environnement concerné (Yesiltepe et al., 2019). Certaines études suggèrent que les points de repère distants favoriseraient, comparativement aux points de repère locaux, la construction de représentations spatiales

internes plus complètes de l'environnement, et seraient utilisés dans les environnements vastes (Castelli et al., 2008; Schwering et al., 2014). Cependant, d'autres résultats nuancent cette conclusion. Evans et al. (1984) observaient par exemple que des itinéraires contenant des points de repère distants ou locaux conduisent aux mêmes performances de mémorisation. A l'inverse, Ruddle et al. (2011) ont montré que la présence simultanée de points de repère locaux et distants sur un même itinéraire occasionnait davantage d'erreurs dans un trajet, comparativement à des itinéraires contenant uniquement l'un ou l'autre type de points de repère. Dans leur revue récente sur les points de repère, Yesiltepe et al. (2019) argumentent que des études sont donc encore nécessaires afin de mieux comprendre les effets des points de repère locaux et distants sur la navigation dirigée. En outre, bien que la majorité des études sur l'accessibilité perceptuelle des points de repère concerne leur visibilité, des spécifications similaires semblent exister pour les autres modalités sensorielles, certaines ayant été mises en évidence notamment chez des individus atteints de cécité (Hamburger & Röser, 2014; Padmanaban & Krukar, 2017).

Enfin, une troisième caractéristique associée aux points de repère réside dans leur saillance, c'est-à-dire la façon dont ils se distinguent du reste de l'environnement. La saillance d'un point de repère est multifactorielle : elle dépend de son accessibilité perceptuelle, du point de vue de l'individu, de variables individuelles et de l'environnement immédiat du point de repère (Caduff & Timpf, 2008). Ces auteurs ont défini trois types de saillances possibles : perceptuelle (c'est-à-dire les caractéristiques physiques du point de repère permettant sa détection), cognitive (symbolique et relative à l'individu, en lien avec les informations auxquelles celui-ci est attentif) et contextuelle (relative aux objectifs du déplacement). Ces trois types de saillance suggèrent que certains éléments de l'environnement peuvent constituer des points de repère pour un individu, sans qu'ils n'en soient pour un autre. Cela indique le caractère relatif de ces informations spatiales.

2.2. Représentations trajet

Les représentations spatiales internes « trajet » (« *route* », en anglais) désignent la construction cognitive des chemins qui relient plusieurs points de repère (Siegel & White, 1975). Les représentations trajet sont à l'interface des représentations point de repère et des représentations survol, et sont les moins étudiées dans la littérature (Buchner & Jansen-Osmann, 2008).

Comme les représentations point de repère, les représentations trajet sont construites à partir de perceptions « à la première personne », ou « égocentriques », de l'environnement (van der Ham & Ruotolo, 2017). Ainsi, elles ne contiennent pas d'information spatiale

indépendante du point de vue de l'individu, comme la direction générale du déplacement ou la distance qui sépare le point de départ de la destination (Hirtle & Hudson, 1991). Cependant, ces représentations sont structurellement différentes des représentations point de repère : elles ne sont pas seulement liées aux propriétés physiques des points de repère, et sont principalement construites à partir d'habitudes sensorimotrices (Siegel & White, 1975). Elles contiennent les séquences d'actions (par exemple, les changements de direction) associées à la chaîne du déplacement (Golledge, 1991; Hirtle & Hudson, 1991; Siegel & White, 1975). Selon Golledge et Stimson (1997), ces représentations spatiales internes seraient « procédurales », signifiant qu'elles permettent de prévoir un plan de voyage prêt à être transcrit en locomotion.

Siegel et White (1975) proposent une définition pratique des représentations trajet : si un individu emprunte un itinéraire en sachant qu'il croisera certains points de repères au cours de son déplacement, alors cet individu a construit des représentations trajet de cet itinéraire. Siegel et White (1975) distinguent, dans les représentations trajet, les différentes sortes de points de repère. Selon ces auteurs, les points de repère hors des points de décision sont absents des représentations de trajets, car ils ne sont pas associés à un changement de direction à effectuer. Cela renvoie au principe d'économie cognitive des modèles mentaux.

De nombreux auteurs considèrent les représentations trajet comme étant la mémorisation de séquences de points de repère. Cependant, des résultats indiquent que ces représentations de séquences sont également dépendantes du contexte environnemental entourant les points de repère. Dans une étude distinguant les rappels de points de repère après avoir parcouru un trajet ou après avoir observé une liste de photographies, Buchner et Jansen-Osmann (2008) ont montré que les participants rappelaient davantage de points de repère lorsque ceux-ci étaient croisés au cours d'un trajet dans un environnement virtuel riche (ciel, textures), comparativement à un trajet dans un environnement entièrement neutre (surfaces noires) ou à une présentation successive de photographies. Ces résultats permettent de préciser la nature des représentations trajet comme une combinaison d'une séquence de points de repère et des tissus environnementaux auxquels ils appartiennent.

3. Représentations spatiales allocentriques : la carte cognitive

3.1. Le concept de « représentations survol » ou « carte cognitive »

Le niveau « allocentrique » (indépendant du point de vue de l'individu) d'une représentation spatiale est une représentation de « configuration globale » de l'environnement

(Siegel & White, 1975) ou « carte cognitive » (O'Keefe & Nadel, 1978; Tolman, 1948). De nombreux auteurs désignent dans la littérature ces représentations par les concepts de connaissance « survol », ou « à vol d'oiseau », de l'espace (Golledge et al., 1992; Klatzky et al., 1990; Nys et al., 2015). Dans cette thèse, nous considérons que les concepts de représentations survol et de carte cognitive désignent les mêmes représentations spatiales, plusieurs auteurs assimilant ces deux notions (Boccia et al., 2017; Sholl, 1996; Waller et al., 1998).

Cette connaissance de l'environnement « comme sur une carte » est permise par l'accumulation d'informations des représentations point de repère et trajet, permettant de rendre les représentations de l'environnement plus complètes et contenant des informations d'angles, de directions, et de relations de distance entre les objets et les lieux (Golledge, 1991). A la différence des points de repères ou des routes, ces représentations de type survol correspondent à une vue « à la troisième personne » (ou « allocentrique ») de l'environnement (Aguirre & D'Esposito, 1999). Lorsqu'un individu franchit un point de repère en se déplaçant, ce repère change de place dans un référentiel égo-centré (par exemple, de devant lui, il passe à derrière lui), cependant la position allocentrique du point de repère reste la même, sa localisation sur une carte ne change pas. Ces représentations spatiales allocentriques constituent la « carte cognitive » d'un individu (Kitchin, 1994; Sholl, 1996; Tolman, 1948).

La conception originale de la « carte cognitive » selon Tolman (1948) est un point de départ à l'étude approfondie des cartes cognitives dans la littérature. Dans le champ de la cognition spatiale, une carte cognitive est définie comme une reconstruction interne de l'environnement, incluant les objets qui le composent et les relations spatiales entre eux (Hart & Moore, 1973). La construction d'une carte cognitive implique plusieurs opérations cognitives par lesquelles un individu acquiert, conserve et récupère des informations spatiales dans un environnement donné (Downs & Stea, 1973). La carte cognitive permet le comportement spatial, dans la mesure où elle permet d'anticiper l'environnement non immédiatement perceptible et de s'y diriger (Stea & Blaut, 1973). Les informations contenues dans la carte cognitive sont donc capitales dans la réalisation des aspects fonctionnels de la navigation dirigée.

3.2. Propriétés des cartes cognitives

Dans son étude princeps chez le rat, Tolman (1948) distingue deux types possibles de cartes cognitives, en fonction de leur degré de précision : des cartes « petites et parcellaires », et des cartes « larges et exhaustives ». Selon cet auteur, une carte cognitive petite et parcellaire est constituée de la position de départ du rat, de la localisation de sa destination,

et du lien connectant ces deux endroits. Par contraste, une carte cognitive large et exhaustive inclut une représentation d'éléments extérieurs au chemin entre le point de départ et la destination. Le développement cognitif de cette carte plus large permet à un rat d'effectuer un trajet rapidement et avec peu d'erreurs lorsque la position de départ de l'animal est modifiée, lui permettant de choisir un nouveau chemin l'amenant dans la bonne direction.

La notion de précision de la carte cognitive suppose que celle-ci peut contenir plus ou moins de détails. Le degré de précision d'une carte cognitive ainsi que la présence de ces détails dépendent de l'importance de l'exploration qui a été effectuée de l'environnement : selon Golledge (1999), une carte cognitive d'un endroit donné deviendrait de plus en plus détaillée à mesure qu'un individu s'expose à cet endroit. En particulier, les détails contenus dans la carte cognitive et complétés petit à petit sont les points de repère, les trajets et les informations de distances relatives à ces éléments (Siegel & White, 1975). Ces composants n'ont pas tous la même importance dans la carte cognitive : un point de repère grand et durable est généralement le premier élément représenté sur une carte cognitive, et c'est à partir de ce point que les détails avoisinants sont représentés graduellement (Nadel, 2013).

3.3. Construction des cartes cognitives

Un des concepts avancés par Tolman (1948) pour expliquer la construction de la carte cognitive est la notion de fonctionnement par essai-erreur (« *vicarious trial and error* », dans son étude). A un point de décision, les rats « tâtonneraient » en s'engageant dans une exploration systématique des différentes directions possibles, et ne se comporteraient pas de façon aléatoire. Ce concept sous-entend que les informations multimodales recueillies par les interactions permettent la représentation des lieux, distances et directions (O'Keefe & Nadel, 1978).

Outre l'exploration active de l'environnement réel, impliquant un déplacement corporel, une carte cognitive chez l'humain peut également se construire par d'autres perceptions, comme l'observation d'un plan géographique, sans nécessiter de déplacement effectif (Nadel, 2013). Toutefois, dans tous les cas, cette construction implique de relier des informations spatiales recueillies séparément et au fur et à mesure de l'exploration, que celles-ci soient physiques ou seulement visuelles, dans un environnement réel ou représenté (Nadel, 2013). Selon Nadel (2013), il s'agit d'un processus coûteux sur les plans cognitif et temporel : construire une carte mentale à partir de la perception nécessite plusieurs expositions à l'environnement.

3.4. Processus cognitifs fondés sur l'utilisation de la carte cognitive

La carte cognitive d'un environnement permet principalement cinq processus cognitifs spatiaux : la localisation de l'endroit où un individu se situe, l'orientation, la navigation dirigée, l'anticipation de situations et l'apprentissage de lieux (Nadel, 2013). Selon cet auteur, la localisation de l'endroit où un individu se situe correspond au repérage dans l'environnement d'un élément familier (par exemple, un point de repère) afin de récupérer la carte cognitive associée à l'endroit. Si aucun élément familier n'est repéré, un individu peut conclure qu'il est dans un nouvel environnement pour lequel il ne dispose pas encore de carte cognitive.

Ce processus de localisation est associé à la problématique, pour un individu, de savoir où il se trouve au sein de l'environnement, c'est-à-dire l'orientation. Pour se situer et connaître sa direction, un individu utilise principalement des éléments géographiquement distants au sein de sa carte cognitive (par exemple, des points de repère lointains et visibles, comme une montagne ou la mer), la relation spatiale entre ces éléments étant stable pour l'individu au cours d'un déplacement (O'Keefe & Nadel, 1978).

La carte cognitive est également utile dans la navigation dirigée. Elle apporte des informations spatiales sur la localisation de la destination souhaitée, les routes qui y mènent depuis le point de départ et les points de repère qui seront rencontrés sur le trajet. Ces informations spatiales permettent à un individu de se déplacer vers des endroits de l'environnement. De plus, la carte cognitive est flexible : lorsque celle-ci est suffisamment détaillée, un individu peut l'utiliser pour se diriger vers une destination même si l'environnement comprend un changement qui n'était pas anticipé et qu'un détour est nécessaire (Tolman, 1948).

L'anticipation des situations futures est une autre fonctionnalité majeure des cartes cognitives. Tolman (1948) a montré dans son étude que les rats se déplaçant dans le labyrinthe avançaient vers leur destination en observant les différentes routes empruntables. Nadel (2013) conclut que la carte cognitive permet à un individu d'anticiper la suite d'un trajet, notamment ce qui se trouve au bout d'une section du parcours.

Enfin, une dernière fonction de la carte cognitive est l'apprentissage de lieux. Dans l'étude de Tolman (1948), les rats apprennent que certaines sections du labyrinthe comportent une récompense (sous la forme de nourriture), tandis que d'autres sont vides. L'étude montre que les rats acquièrent, puis retiennent en mémoire, cette connaissance du contenu des sections du labyrinthe : après plusieurs parcours, ils ne se dirigent plus vers les sections sans récompense.

Chapitre 2 – Aspects cognitifs « dynamiques » de la navigation dirigée

Comme nous l'avons vu précédemment, les aspects « dynamiques » de la navigation dirigée impliquent la perception et la mémorisation de l'information spatiale. Ils permettent l'anticipation des différentes étapes de la chaîne du déplacement. Ces aspects « dynamiques » regroupent trois grandes catégories de fonctions cognitives. On retrouve une composante « perceptive » principalement visuelle (De Vega & Marschark, 1996; Kitchin, 1994), une composante « mnésique » (Baddeley, 1983; Gyselinck et al., 2009), et une composante « exécutive » (Gärling, Säisä, et al., 1986; Passini, 1984).

1. Aspects perceptifs : l'environnement exposé à l'appareil sensoriel

1.1. Aspects individuels : perception multimodale, mais principalement visuelle

La perception visuelle est généralement considérée comme la modalité sensorielle la plus importante dans le recueil d'informations spatiales (Gibson, 1979; Sholl, 1996). Plusieurs auteurs notent ainsi que les représentations de l'espace sont essentiellement construites sur la base de la perception visuelle de l'environnement. Celle-ci permet de récupérer des informations sur les propriétés physiques des objets, les relations spatiales entre eux et leurs mouvements (De Vega & Marschark, 1996; Kitchin, 1994). Cette priorisation de la vision dans la construction de représentations spatiales est également considérée dans le champ d'étude des aspects cognitifs « représentationnels » de la navigation dirigée : à l'exception des représentations de trajets, principalement sensorimotrices, les représentations point de repère et de survol sont presque exclusivement considérées du point de vue de leurs propriétés visuelles (Golledge, 1999; Nadel, 2013; Siegel & White, 1975; Yesiltepe et al., 2019). Ainsi, bien que plusieurs auteurs indiquent que la navigation dirigée se fonde sur le recueil d'informations sensorielles selon les différentes modalités (par exemple, auditives, haptiques), les travaux sur la perception de l'environnement lors de l'activité de navigation dirigée portent en majeure partie sur la modalité visuelle.

Plusieurs études auprès d'individus atteints de cécité ou aveuglés temporairement au moyen d'un bandeau considèrent le rôle d'autres modalités sensorielles que la seule modalité visuelle (Hegarty et al., 2002; Klatzky et al., 1995; Loomis et al., 1993; Passini & Proulx, 1988). Ces travaux montrent que les personnes privées de vision parviennent à résoudre la plupart des situations de problèmes spatiaux, en employant des stratégies spécifiques, différentes de celles de participants contrôles sans incapacité visuelle.

Passini et Proulx (1988) ont montré que des indices haptiques au sol permettent de détecter l'approche d'une route ou de marches d'escalier. Les personnes atteintes de cécité seraient ainsi en mesure de réaliser certaines tâches de navigation dirigée en s'appuyant sur des perceptions non visuelles. Pour Passini et Proulx (1988), elles planifient plus précisément leur déplacement, et intègrent davantage de points de repère et de prises de décision au cours du trajet. Ces participants recherchent par exemple avec leur canne l'encadrement d'une porte coupe-feu dans un couloir (dont les participants sans cécité disent ne pas tenir compte) pour décider d'aller plus loin et connaître leur localisation.

D'autres auteurs ont cherché à comparer les performances de navigation dirigée d'individus atteints de cécité avec celles de participants contrôles sans incapacité visuelle afin d'explorer l'importance de la perception visuelle. Dans une étude de référence de la littérature dans le domaine de la navigation dirigée des individus ayant une cécité, Passini et al. (1990) administrent plusieurs tâches de navigation dirigée auprès de participants ayant des atteintes visuelles. Ils observent que la cécité congénitale, la cécité acquise ou la malvoyance n'empêchent pas la réalisation efficace de tâches spatiales mais impliquent une durée de réalisation plus importante.

Afonso et al. (2010) ont exploré les constructions de représentations spatiales internes de participants ayant une cécité de naissance ou tardive. Les auteurs présentent l'environnement aux participants de façon non visuelle (description orale, présentation haptique sur une carte en relief, ou locomotion dans l'environnement). Leurs résultats d'une première expérience montrent que les personnes ayant une cécité tardive parviennent à construire des représentations internes précises d'un petit environnement à partir des présentations verbale ou haptique de celui-ci. Les résultats d'une seconde expérience montrent que des individus ayant une cécité de naissance ou tardive développent des représentations internes précises d'un environnement de grande taille à partir d'un déplacement dans celui-ci. Selon Afonso et al. (2010), ces résultats attestent qu'en l'absence permanente de vision, un encodage spatial précis est permis par la perception sensorimotrice.

Hegarty et al. (2002) ont étudié l'effet de différentes modalités perceptives sur la réussite de participants sans incapacité à des tâches spatiales. Ils montrent que des

informations principalement proprioceptives (participants se déplaçant physiquement, avec les yeux bandés) ou la vision seule (participants n'effectuant pas de mouvement et placés devant un écran) peuvent être suffisantes pour réaliser une tâche de pointage directionnel. Bien que les meilleures performances des participants soient relevées dans la condition expérimentale où ils ont accès à l'ensemble de ces modalités sensorielles (navigation en vision normale, dans l'environnement réel), ces résultats illustrent l'appui possible de la navigation dirigée sur plusieurs modalités perceptives.

Tinti et al. (2006) administrent une tâche dans laquelle les participants doivent trouver un raccourci pour retourner en ligne droite vers leur point de départ, après avoir effectué un trajet comportant un virage. En mesurant la distance angulaire de chaque trajectoire, ils montrent que les participants atteints de cécité congénitale réalisent des trajectoires plus précises que celles de participants contrôles aux yeux bandés. Selon les auteurs, les individus ayant une cécité développent des compétences spécifiques d'encodage spatial utilisant les autres modalités sensorielles. Ils concluent que la perception visuelle n'est pas une condition impérative à la construction de représentations spatiales complexes.

Ces résultats auprès de la population ayant une cécité démontrent le caractère multimodal, et non uniquement visuel, de la perception environnementale. Bien que la vision soit la modalité principale d'acquisition de l'information spatiale, des perceptions sensorimotrices sont également pertinentes dans le contexte de la résolution de problèmes spatiaux et dans la navigation dirigée. En revanche, des résultats indiquent une supériorité des performances d'individus présentant une cécité comparativement à des individus porteurs d'un bandeau (Tinti et al., 2006). Ces résultats suggèrent que pour les individus voyants, la modalité visuelle reste un moyen privilégié d'acquisition de l'information spatiale, et qu'il n'y a pas de compensation complète immédiate dès lors que celle-ci est interrompue.

1.2. Aspects environnementaux : lisibilité de l'espace urbain

1.2.1. *La notion de lisibilité, une propriété multimodale de l'environnement*

La perception de l'environnement bâti est multifactorielle, dépendante non seulement des capacités de l'individu qui se déplace, mais également de multiples caractéristiques physiques permettant la « lisibilité » de l'espace (Lynch, 1960b). L'objectif du champ d'étude sur les liens entre les caractéristiques environnementales et la navigation est de fournir des recommandations aux psychologues et ergonomes de l'environnement, mais également aux ingénieurs et architectes qui aménagent l'espace, afin de favoriser la mise en œuvre de la navigation dirigée.

Gärling et al. (1986) détaillent trois propriétés de la lisibilité de l'environnement permettant la navigation dirigée : le niveau de différenciation, l'accessibilité visuelle et la disposition spatiale. Selon ces auteurs, le niveau de différenciation désigne le degré auquel des parties d'un même environnement sont dissimilaires, notamment par la forme ou les couleurs. Cette différenciation est également permise par la perception multimodale, en tenant compte des particularités sonores, haptiques voire olfactives des éléments de l'espace (Koutsoklenis & Papadopoulos, 2014, 2011a, 2011b; Secchi et al., 2017). L'accessibilité visuelle désigne pour sa part le degré auquel des sections de l'environnement peuvent être vues depuis d'autres sections, par exemple lorsqu'une avenue large permet un champ de vue dégagé sur la ville. Enfin, la disposition spatiale de l'environnement concerne sa superficie, le nombre de routes ou de destinations possibles qu'il contient et ses caractéristiques géométriques (par exemple, les angles des routes).

Ces trois caractéristiques prédisent le degré de difficulté de la navigation dirigée selon Gärling et al. (1986) (Figure 2). Par exemple, un environnement peu différencié, visuellement peu accessible et peu clairement agencé serait très prédictif de difficultés.

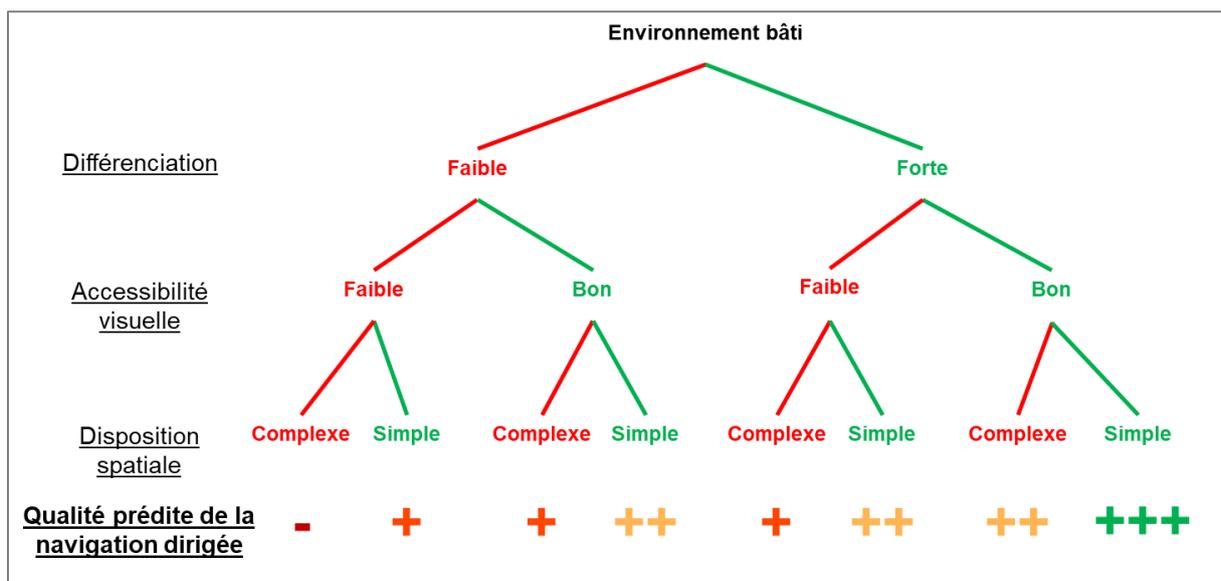


Figure 2 : Modèle de prédiction de la qualité de la navigation dirigée au sein d'un environnement à partir des caractéristiques environnementales de différenciation, d'accessibilité visuelle et de disposition spatiale (d'après Gärling et al., 1986). Les différentes branches du modèle illustrent les combinaisons possibles de différenciation, d'accessibilité visuelle et de disposition spatiale, selon que ces caractéristiques soient « bonnes » ou « médiocres ». Par exemple, un environnement fortement différencié, mais permettant une faible accessibilité visuelle, et dont la disposition spatiale est complexe, est prédictif d'une faible qualité de navigation dirigée. La qualité prédite de navigation dirigée est représentée sur ce modèle selon le symbole qui lui est associé (- : très faible, + : faible, ++ : modérée, +++ : élevée).

La lisibilité dépend d'aspects visuels, comme largement documenté dans la littérature, mais également multimodaux. En particulier, l'exploration de caractéristiques fines des paramètres environnementaux (caractéristiques haptiques, points de repère olfactifs,

fréquences sonores des matériaux, couleurs, température des blancs) rend compte des effets de ces variables sur la navigation dirigée des individus.

1.2.2. *Lisibilité visuelle de l'environnement*

Selon Lynch (1960a), la lisibilité visuelle correspond à la « clarté apparente » du paysage urbain, permettant de différencier avec facilité ses différentes unités (par exemple, points de repères, quartiers, routes, frontières). Les formes de ces composantes environnementales permettent notamment de les percevoir comme différentes (Gärling, Böök, et al., 1986; Lynch, 1960a). La différenciation de l'espace bâti est également permise notamment par ses couleurs, ce qui suppose que certains assortiments de couleurs peuvent constituer un facteur de qualité de la navigation dirigée (Gärling et al., 1986).

L'effet de la perception visuelle des couleurs de l'environnement sur la facilité à y naviguer a peu été exploré dans la littérature. Les quelques études existantes sont focalisées sur des environnements en intérieur (Hidayetoglu et al., 2012; Suzer et al., 2018). Deux études rapportent un effet de la luminosité ambiante, des couleurs dominantes d'un environnement ou de la température de la lumière sur la navigation dirigée. Hidayetoglu et al. (2012) sont parmi les premiers à avoir exploré l'effet de variations de trois paramètres d'une scène visuelle sur la navigation dirigée : couleur (bleu, gris ou rouge), luminosité (faible, moyenne ou forte) et balance des blancs (chaud, neutre ou froid). L'encodage spatial de l'environnement est mesuré. Les résultats indiquent que les environnements rouges seraient plus favorables à la navigation dirigée en permettant un meilleur rappel des lieux visités. Selon les auteurs, ces résultats peuvent s'expliquer par une meilleure perception de l'environnement permise par des couleurs rouges, favorisant l'encodage spatial. En revanche, les environnements aux tons froids, aux couleurs bleues ou moins lumineux sont moins rappelés. Ces éléments pourraient être utilisés pour produire des environnements permettant une bonne qualité de navigation dirigée.

Plus récemment, Suzer et al. (2018) ont démontré un effet de la balance des blancs sur la navigation dirigée. Leurs résultats montrent qu'à luminosités égales, une balance des blancs plus chaude a un effet négatif sur la navigation dirigée qui se traduit par davantage d'hésitations dans la réalisation du trajet.

1.2.3. *Lisibilité multimodale*

D'autres travaux ont porté sur l'impact des caractéristiques environnementales sonores, haptiques et olfactives sur la perception et la navigation dirigée. A propos des caractéristiques sonores de l'environnement, Gaver (1993) note qu'un son survenant dans un environnement fournit une information spatiale concernant une interaction matérielle à une certaine localisation dans cet environnement. Selon cet auteur, un son est ainsi structuré par l'environnement dans lequel il survient. Koutsoklenis et Papadopoulos (2011a), à partir des travaux de Gaver (1993), explorent les sons existants dans l'environnement urbain les plus utilisés par les individus ayant une cécité afin de trouver leur chemin. Se basant sur des questionnaires à propos des indices auditifs (par exemple, bruits de pas, trafic routier) puis en menant des entretiens, les auteurs concluent que les différents sons dans l'environnement servent à des fins d'identification des objets spatiaux et de détermination du type d'environnement arpenté. Les participants déclarent par exemple que des sons de véhicules freinant annoncent une intersection, tandis que les bruits de pas de piétons sur des sols de différentes textures, ou de personnes entrant ou sortant de commerces, fournissent une information sur le type d'environnement rencontré ou la superficie des voies.

D'autres auteurs ont exploré plus spécifiquement les effets des propriétés sonores des différentes textures du sol. Secchi et al. (2017) ont mesuré l'effet de plusieurs revêtements sur l'efficacité de la stratégie qu'utilisent des personnes ayant une cécité produisant des sons (par exemple, le tapotement de la canne) pour recueillir des informations sur l'environnement. Leur expérimentation en extérieur indique que des revêtements produisant des sons de haute fréquence (aigus) permettent une meilleure perception du signal sonore produit par le tapotement de la canne et une meilleure perception de l'espace, par rapport à des revêtements produisant des sons de basse fréquence (graves).

Les caractéristiques haptiques de l'environnement utiles dans la navigation dirigée en milieu urbain ont été également explorées par Koutsoklenis et Padadopoulos (2014) dans un protocole comparable à leur étude sur les caractéristiques sonores. Les participants déclarent que les caractéristiques haptiques les plus fréquentes, les plus utiles et les plus informatives sont par exemple des changements de texture du sol et la présence d'un trottoir ou d'un arrêt de bus. Ils rapportent en particulier que ces indices sont utilisés comme des points de repère, pour prévenir un éventuel risque dans l'environnement ou estimer la localisation d'autres éléments aux alentours, comme une rampe qui indique l'entrée d'un commerce.

Les caractéristiques olfactives de l'environnement ont été plus rarement étudiées dans la littérature. Les senteurs d'un environnement sont dépendantes de son organisation spatiale et peuvent constituer des indices de sa configuration, ce qui amène certains auteurs à parler

de « paysage olfactif » (« *smellscape* », en anglais) (Koutsoklenis & Papadopoulos, 2011b; Porteous, 1985). Dans leur étude sur les caractéristiques perceptibles de l'environnement, Koutsoklenis et Papadopoulos (2011b) relèvent les éléments olfactifs considérés comme les plus utiles par les participants pour trouver leur chemin. Les commerces relatifs à l'alimentaire (par exemple, restaurants, boulangeries, poissonneries) et les objets produisant des senteurs distinctives (par exemple, les pompes des stations essence) sont considérés par les participants comme offrant une information spatiale importante. À l'inverse, la senteur émise par une voiture, citée parmi les plus fréquemment rencontrées, est parmi les moins mentionnées des fragrances utiles, apparaissant trop fréquemment dans l'environnement urbain pour constituer un indicateur pertinent, ne permettant donc pas sa différenciation (Gärling, Bök, et al., 1986).

2. Aspects mnésiques

Les fonctions mnésiques forment une catégorie de fonctions cognitives permettant la mise en œuvre de la navigation dirigée (Baddeley, 1983; Gyselinck et al., 2009). Dans son étude pionnière, Tolman (1948) définit la construction de la carte cognitive comme dépendante des fonctions mnésiques, qui permettent pour un individu la récupération de connaissances et d'expériences passées. De nombreuses études ont ainsi porté sur le rôle de la mémoire dans les situations de navigation dirigée (Burgess et al., 2002; Kessels et al., 2001; Postma et al., 2004). Ces travaux suggèrent deux composantes de la mémoire essentielles pour les aspects « dynamiques » des déplacements : la mémoire de travail et la mémoire prospective.

2.1. Mémoire de travail

Les informations recueillies dans l'environnement sont maintenues en mémoire de travail au cours du trajet et permettent de prendre des décisions sur l'itinéraire (Vandenberg, 2016). La mémoire de travail est un « plan de travail » cognitif permettant de retenir un nombre limité d'éléments en vue d'une utilisation immédiate (Baddeley, 1983; Baddeley & Hitch, 1974). Deux composantes de la mémoire de travail lui sont nécessaires pour stocker des informations spatiales : l'une phonologique, et l'autre visuospatiale (Gyselinck et al., 2009; Meilinger et al., 2008). La mémoire de travail fait l'objet d'un important champ d'étude dans le domaine de la cognition spatiale (Gyselinck & Pazzaglia, 2012).

Lorsque des participants effectuent une tâche interférente mobilisant leurs capacités spatiales, visuelles ou phonologiques, ils se perdent plus fréquemment dans l'environnement

et mémorisent moins les descriptions spatiales qui leurs sont présentées, comparativement à des performances en situation sans tâche interférente (De Beni et al., 2005; Gyselinck et al., 2009). Ces résultats indiquent que la performance de navigation dirigée dans un environnement inconnu est déterminée en partie par la capacité de mémoire de travail d'un individu.

2.2. Mémoire prospective

La mémoire prospective désigne l'anticipation et le codage d'actions en mémoire afin de déclencher leur réalisation aux moments souhaités (Ellis & Cohen, 2008). La mémoire prospective peut être fondée sur l'anticipation d'un événement (par exemple, se souvenir de faire quelque chose en arrivant à un lieu particulier) ou sur le temps (par exemple, partir à une certaine heure pour ne pas manquer un train) (Einstein & McDaniel, 1990, 2005). Elle est essentielle dans la plupart des tâches impliquant la navigation dirigée, bien qu'elle concerne également de nombreux autres aspects des activités de la vie courante (pour une revue et une méta-analyse sur la notion de mémoire prospective, voir Anderson et al., 2019).

Einstein et McDaniel (2005) indiquent que la mémoire prospective est issue d'une intention : lorsqu'un individu a une intention associée à un élément, celle-ci est une « amorce » qui permet la récupération de l'information pertinente lorsque l'élément associé est rencontré (par exemple, changer de direction en arrivant en vue d'un point de repère). Cette mémoire prospective permet la prise de décision adéquate lors du déplacement, à partir des éléments construits dans les représentations spatiales internes. Une explication possible à l'absence de points de repère non liés à des points de décision dans les représentations trajet (Siegel & White, 1975) pourrait ainsi être que ces représentations s'appuient sur la mémoire prospective, celle-ci associant à des amorces uniquement les points de repère liés à des décisions.

3. Aspects exécutifs

Les fonctions exécutives permettent la formulation d'objectifs, la prédétermination de séquences d'actions, et l'exécution efficace des plans (Lezak, 1982). Elles assurent notamment la réalisation de tâches nouvelles ou complexes (Spikman et al., 2000). Définir l'objectif d'un déplacement, anticiper sa réalisation et en contrôler le déroulement au fur et à mesure sont des actions relevant des fonctions exécutives, indispensables à la navigation dirigée (Vandenberg, 2016). Ces composantes de la chaîne du déplacement désignent cinq

aspects exécutifs : l'orientation spatiale (et sa mise à jour continue), l'intégration cognitive du trajet, la planification, la prise de décision et la clôture du trajet.

3.1. L'orientation spatiale

Dans la littérature sur la cognition spatiale, « l'orientation spatiale » dans l'environnement est une capacité cognitive permettant à un individu de savoir où il se trouve dans l'espace et par rapport à d'autres objets, à un moment donné. L'orientation spatiale peut être observée par des aspects comportementaux (performance à des tâches spatiales). Dans plusieurs études, elle est également mesurée par des questionnaires évaluant les capacités spatiales (Claessen et al., 2017; Pazzaglia et al., 2000). La capacité à s'orienter dépend des deux codages des représentations spatiales : les cadres de références spatiaux (représentations égocentriques et allocentriques), et les codages des relations spatiales qui lient les objets (catégoriques ou coordonnés) (Gärling & Golledge, 1989; Kosslyn et al., 1989).

L'orientation spatiale est la capacité permettant de répondre à la question « où est-ce que je me situe dans l'environnement à cet instant précis ? ». Cependant, lors d'un déplacement, la localisation d'un individu n'est pas constante mais évolue dans l'environnement. Ainsi, un individu remet continuellement à jour son orientation dans l'espace, par translation ou rotation mentale (Farrell & Robertson, 1998; Klatzky et al., 1998).

Ce processus est montré dans une étude de Farrell et Robertson (1998) au cours de laquelle des participants aux yeux bandés doivent pointer la direction d'une cible préalablement identifiée, après avoir effectué une rotation sur eux-mêmes. A l'un des groupes de participants, il est demandé de pointer la cible « comme s'il n'avait pas effectué de rotation ». Ces participants sont ceux ayant le plus de difficulté à effectuer un pointage : le degré d'erreur et la latence à effectuer le geste sont plus élevés que dans le groupe de participants devant tenir compte de la rotation. Les auteurs expliquent ce résultat par le fait que les participants effectuent, en tournant sur eux-mêmes, une mise à jour de leur orientation. Les participants devant effectuer la tâche de pointage en ignorant la rotation effectuée doivent donc mentalement « annuler » la mise à jour effectuée lors de leur rotation, entraînant un temps de réaction plus élevé et une précision diminuée.

3.2. La planification

Dans le champ de la cognition humaine, Hayes-Roth et Hayes-Roth (1979) définissent initialement la planification comme la prédétermination de la réalisation d'une action en vue de

son accomplissement. Selon eux, il s'agit d'un processus à la fois « *top-down* » et « *bottom-up* » : la planification peut avoir lieu en amont de l'action et orienter celle-ci (« *top-down* »), mais elle se manifeste également en situation, en réponse à des décisions ou à des observations (« *bottom-up* »). La planification consiste ainsi à former des plans incomplets avant l'action, qui seraient complétés au fur et à mesure de l'action de façon opportuniste.

La navigation dirigée fait partie des activités quotidiennes nécessitant la planification (Ellis & Cohen, 2008). Plusieurs auteurs distinguent trois étapes successives de la planification dans le contexte de la navigation dirigée : la recherche de la relation spatiale entre deux points ; la comparaison des différents itinéraires possibles entre les deux ; et la sélection du meilleur trajet (Brunyé et al., 2010; Golledge, 1995).

Du fait de sa mise en œuvre dans la navigation dirigée, la planification est fréquemment étudiée par l'intermédiaire de tâches de résolutions de problèmes spatiaux, de type « problème du voyageur de commerce » (« *Traveling Salesperson Problem* » ou « TSP », en anglais ; pour une revue, voir MacGregor et Chu, 2011). Dans un problème TSP, le but est d'optimiser un itinéraire entre plusieurs lieux en répondant à différentes contraintes spatiales et temporelles, simulant ainsi des situations réelles de mobilité (Gärling, 1989). Selon Vandenberg (2016), trois fonctions cognitives sont essentielles à la planification dans un contexte de mobilité urbaine : la prise de décision, l'intégration cognitive du trajet en cours et la perception de la proximité d'une destination.

3.3. La prise de décision, l'intégration cognitive et la clôture du trajet

La prise de décision est le processus cognitif de haut niveau qui permet d'aboutir à un choix et à une action (Svenson, 1979). Elle résulte de traitements perceptifs et cognitifs, mais également émotionnels. Deux étapes peuvent être distinguées lors de la préparation du trajet pour répondre à la question « où est-ce que je me rends ? » : le choix initial de la destination, puis la détermination de la localisation de celle-ci (Gärling, Böök, et al., 1986; Golledge, 1995).

Au-delà de la prise de décision initiale d'aller quelque part, la réalisation effective du trajet nécessite par la suite de prendre des décisions au fur et à mesure pour atteindre la destination cible (Passini, 1984). Selon cet auteur, l'exécution d'une décision lors de la navigation dirigée doit survenir à l'endroit adéquat sur le trajet, un changement de direction doit par exemple être effectué à la bonne intersection pour permettre l'atteinte de la destination souhaitée. La prise de décision est donc dépendante du recueil préalable d'informations spatiales dans l'environnement.

L'intégration cognitive du trajet, ou traitement cognitif du trajet, consiste en l'acquisition continue d'informations sur les propriétés de l'environnement et leur traitement, au fur et à mesure du déplacement (Gärling, Bööck, et al., 1986). L'intégration s'appuie sur des informations d'origine interne telles que les indices posturaux et locomoteurs qui permettent à l'individu, par accumulation continue d'informations sensorimotrices successives de direction et de vitesse du déplacement, d'estimer sa position par rapport à un point de référence. Par exemple, un individu peut savoir qu'un certain nombre de pas a été fait depuis un point de départ, ce qui lui permet d'estimer une distance parcourue même en l'absence de vision, voire de retourner au point de départ en l'absence d'indices visuels (Etienne & Jeffery, 2004; Schwartz, 1999). Ce processus est un contrôle automatique de l'ensemble des sensations internes (ou « kinesthésiques ») et externes (perception multimodale) du mouvement (Cornell & Greidanus, 2006). Le fait de marcher implique par exemple une série d'efforts musculaires ainsi qu'une perception (principalement visuelle) qui évolue au fur et à mesure que l'espace est parcouru. Le traitement par un individu de ces différentes perceptions lors d'un déplacement correspond à l'intégration cognitive du trajet.

Plusieurs auteurs distinguent deux formes d'intégration opérant simultanément mais selon des fréquences différentes : l'intégration « continue », et l'intégration « configurale » (e.g. Loomis et al., 1999). Dans l'intégration continue, l'individu met à jour à chaque instant du déplacement l'estimation de sa position et de sa direction par rapport à sa vitesse et à sa précédente estimation de sa position et de sa direction. L'intégration configurale correspond inversement à un processus intermittent de mise à jour d'une représentation plus complète du trajet, permettant de traiter la disposition spatiale générale de celui-ci. Un individu parcourant deux segments formant un angle droit pourra par exemple à l'issue de ce déplacement se représenter celui-ci comme formant un L (Cornell & Greidanus, 2006).

Lorsqu'un individu parvient à sa destination à l'issue du trajet, il doit constater qu'il est arrivé, c'est-à-dire que l'objectif est atteint. Vandenberg (2016) nomme « clôture » (« *closure* », en anglais) cette étape de la navigation dirigée. La clôture peut être réalisée de différentes façons : en reconnaissant l'endroit cherché, en vérifiant l'adresse ou un élément de signalisation correspondant à ce qui était planifié. Vandenberg souligne le caractère essentiel de cette étape, la navigation dirigée n'étant complétée que lorsqu'un individu a trouvé sa destination. Cette composante de la navigation dirigée est cependant peu étudiée dans la littérature, bien qu'on retrouve des descriptions de ce processus sous la désignation de « reconnaissance de la destination » et que cette reconnaissance soit considérée comme un processus distinct de l'atteinte de la destination (Downs & Stea, 1973; Gomez et al., 2015).

3.4. Les stratégies cognitives

Les « heuristiques » sont des règles de base admises par un individu (par exemple, « telle cause a telle conséquence »), évitant le coût cognitif nécessaire à l'examen systématique de l'ensemble des probabilités et conséquences d'une action, et facilitant ainsi le jugement (Johnson-Laird, 2006b; Tversky & Kahneman, 1974). Dans le champ de la cognition spatiale, les heuristiques sont des stratégies cognitives de simplification mises en œuvre lors de la navigation dirigée, visant à limiter l'importance des coûts cognitifs que peut représenter l'action de trouver son chemin (Brunyé et al., 2010; Johnson-Laird, 2006a; Vandenberg, 2016). Par exemple, ces heuristiques permettent facilement à un individu de trouver l'itinéraire qu'il juge le plus efficace entre deux lieux, sans que cela ne nécessite du temps ou des efforts substantiels (Bailenson et al., 2000; Gärling & Gärling, 1988). Les heuristiques sont utilisées comme des facilités de traitement afin de pallier des contraintes contextuelles (temps disponible, connaissance limitée de l'environnement) ou des limites cognitives telles que la capacité de traitement en mémoire de travail (Murakoshi & Kawai, 2000; Vandenberg, 2016).

Les principales heuristiques dans le traitement de l'information spatiale ont été explorées dans la littérature (Bailenson et al., 2000; Brunyé et al., 2010; Gärling, Säisä, et al., 1986; Hochmair, 2005; Seifert, 2007). La hiérarchisation des lieux correspond à la règle qu'un endroit est « contenu » dans une région plus grande (Seifert, 2007). L'heuristique du voisin le plus proche facilite une planification de trajet de proche en proche (Golden et al., 1980). Selon ces auteurs, la stratégie du voisin le plus proche pour un itinéraire comprenant plusieurs points à atteindre correspond pour un individu à se déplacer à partir de son point de départ vers le point le plus proche n'ayant pas encore été visité, puis de répéter l'opération jusqu'à ce que tous les points aient été atteints. Les heuristiques de hiérarchisation et du voisin le plus proche peuvent fonctionner pour un même trajet (planification de région en région, par voisinage) (Seifert, 2007). L'heuristique d'angle minimal désigne la préférence automatique d'itinéraires dont les segments successifs dévient le moins possible de la direction « à vol d'oiseau » de la destination : l'individu estime un vecteur représentant son trajet, et suit à chaque intersection le segment de route qui s'approche le plus de ce vecteur (Hochmair, 2005). L'heuristique relative au segment initial désigne la prise de décision spontanée en faveur des itinéraires dont le premier segment serait le plus longtemps rectiligne, de façon à s'éloigner le plus rapidement possible du point de départ (Bailenson et al., 2000). Une heuristique similaire est à l'origine du choix spontané pour les routes contenant le moins de virages (Brunyé et al., 2010). Le choix d'une destination parmi plusieurs à atteindre est facilité par l'heuristique de minimisation de la distance : à partir d'un lieu, la destination suivante choisie est

préférentiellement la plus proche et celle permettant de parcourir le trajet le plus rectiligne (Gärling, Säisä, et al., 1986).

Selon Brunyé et al. (2010), ces heuristiques sont automatiques. Elles entraînent donc la prise simple de décisions concernant le choix d'un itinéraire, y compris lorsqu'il n'y a pas d'itinéraire objectivement « meilleur » qu'un autre. Leur étude permet de mettre en évidence une autre heuristique, liée aux directions cardinales : les participants préfèrent choisir sur une carte la route passant par le sud plutôt que celle passant par le nord, la direction nord étant associée selon les participants avec une pente ascendante ou un effort de marche supplémentaire. En réalité, les deux trajets sont égaux en distance et en effort et amènent à la même destination. De fait, selon Brunyé et al. (2010), les heuristiques peuvent mener à des prises de décisions biaisées car fondées sur des inférences erronées, amenant un individu à ne pas choisir la route optimale.

L'action d'agglomérer (« *chunking* », en anglais) en tant que stratégie cognitive est à l'interface des heuristiques et des stratégies volontaires. Selon Gobet et al. (2001, 2016), elle comprend une composante consciente, délibérée (agglomération « orientée vers un but ») et une composante automatique non consciente, liée à la perception (agglomération « perceptive »). Selon eux, ces deux composantes visent à rassembler en « blocs » signifiants (« *chunks* », en anglais) plusieurs éléments fortement associés entre eux, comme pour les lettres groupées par agglomération perceptive en mots, phrases ou paragraphes. Cette stratégie d'agglomération d'éléments se produit dans le traitement de l'information spatiale. Les représentations internes sont construites en « agglomérant » différentes unités de l'environnement pour former des lieux (par exemple, plusieurs habitations forment un pâté de maison). Ces « blocs » sont ensuite mis à jour dans leur ensemble au cours de l'orientation spatiale lors des déplacements (Sargent et al., 2010; Wang & Brockmole, 2003).

Chapitre 3 – Handicap cognitif et navigation dirigée : incapacités représentationnelles et fonctionnelles

Compte tenu de leur rôle central dans la navigation dirigée, toute condition affectant les représentations spatiales internes ou les processus cognitifs peut entraîner des difficultés à trouver son chemin chez un individu (Postma & van der Ham, 2016a). L'existence d'une tâche interférente, par exemple, entraîne une diminution des performances de navigation dirigée (Gyselinck et al., 2009). Les modèles mentaux sont des représentations incomplètes et potentiellement distordues de l'environnement (Johnson-Laird, 2006a). Les représentations spatiales de points de repère, trajets et survol sont probablement peu fidèles à la réalité, ce qui peut conduire à des erreurs dans la navigation dirigée (Golledge, 1992). Les heuristiques permettant de faciliter les choix d'itinéraires et de prendre des décisions au cours du trajet peuvent produire des inférences biaisées (par exemple, sur une carte, une route vers le nord est perçue comme requérant un effort physique plus important qu'une route identique passant par le sud), amenant à des choix non optimaux (Brunyé et al., 2010). Ces vulnérabilités, dans le meilleur des cas ponctuelles et dépendantes de conditions ponctuelles ou expérimentales chez l'individu en bonne santé, se retrouvent particulièrement dans les performances de navigation dirigée d'individus atteints d'incapacités cognitives permanentes (Arthur & Passini, 2002). Leurs difficultés apparaissent dans les représentations spatiales internes (Aguirre & D'Esposito, 1999; Delpolyi et al., 2007) et au niveau des performances de navigation dirigée (Allison et al., 2016; Davis et al., 2017; Lemoncello et al., 2010a, 2010b).

Cependant, l'hétérogénéité des étiologies de handicap dans la plupart des études ne permet pas de clarifier la relation entre les composantes du handicap cognitif, les altérations de représentations spatiales, et des difficultés particulières dans la mobilité. Cette équivocité se retrouve dans les résultats d'une étude de Claessen et al. (2017). Ces auteurs visaient à produire une taxonomie des déficits des représentations spatiales. Sur leur échantillon de participants atteints d'une lésion cérébrale résultant d'un accident vasculaire cérébral (AVC), seuls 33 (43%) rapportent des difficultés dans la navigation dirigée. Parmi ces 33 participants, sept ne manifestent aucun déficit dans les représentations spatiales, attestées par une batterie de tests. En d'autres termes, sur l'échantillon de 77 participants cérébrolésés, des atteintes des représentations spatiales internes ne sont mesurées que chez 26. Comparativement au

groupe contrôle, les participants atteints d'une lésion obtiennent des scores inférieurs aux tests neuropsychologiques d'évaluation des fonctions cognitives globales. Mais ce déficit ne semble pas se traduire par une altération systématique des représentations spatiales ou de la navigation dirigée. De plus, une difficulté fonctionnelle dans la mobilité autonome, rapportée par questionnaire d'auto-évaluation de navigation dirigée, ne semble pas être systématiquement liée à un déficit des représentations spatiales. Des approfondissements apparaissent donc nécessaires concernant les relations entre atteintes cognitives, atteintes des représentations et difficultés de navigation.

1. La notion de « handicap »

Il n'existe pas de définition universelle de ce que représente, pour un individu donné, un « handicap ». Selon que l'on adopte une perspective intégrant les atteintes et pathologies temporaires ou que l'on tient compte uniquement des incapacités fonctionnelles sévères et permanentes, les estimations du nombre d'individus porteurs d'un handicap varient fortement. Dans son Rapport Mondial sur le Handicap, l'OMS estime ainsi qu'à travers le monde, jusqu'à un milliard d'individus vit avec un handicap, toutes formes confondues (World Health Organization, 2012). Cette difficulté à définir ce qu'est un handicap pour un individu reste un obstacle majeur à l'établissement de statistiques précises sur la population concernée, en France et dans le monde (Ravaud, 2014).

Les individus devant se déplacer en fauteuil roulant, atteints de cécité ou de surdité constituent dans l'imagerie collective la représentation majoritaire du handicap. Pourtant, le vécu du handicap présente une grande variabilité interindividuelle. Si la corrélation entre l'existence d'un handicap et le fait d'être désavantagé est avérée, toutes les situations de handicap ne présentent pas les mêmes désavantages. Cela est valable pour des personnes porteuses d'une même incapacité, ou pour une même personne au cours de sa vie. Par exemple, un individu ayant une cécité pourra dans certaines circonstances être ou ne pas être en situation de handicap, selon qu'il soit en mesure d'utiliser une canne, d'être accompagné d'un chien guide, ou qu'il soit dans un environnement sonore aidant ou disposant d'informations tactiles (e.g. textures au sol, présence d'informations en Braille).

On considère ainsi depuis la fin des années 1990 le handicap non pas comme un attribut individuel, mais comme une convergence de multiples facteurs, impliquant des aspects personnels de l'individu (état de santé, état d'incapacité, envies, besoins) mais également environnementaux (accessibilité) et contextuels (activités) (Bickenbach et al., 1999; Leonardi et al., 2006). De nombreux auteurs francophones préconisent de fait l'abandon de l'expression

« personne handicapée », lui préférant la notion de « personne en situation de handicap » ou de « personne ayant une incapacité », mettant ainsi l'emphase sur la nature multifactorielle et le caractère circonstanciel du handicap, et évitant l'implication trompeuse que la personne est intrinsèquement « handicapée » (Fougeyrollas, 2010; Fougeyrollas & Boukala, 2009; Fougeyrollas & Roy, 1996).

L'interaction entre ces facteurs individuels, environnementaux et contextuels entraînent le vécu de difficultés corporelles, psychologiques ou sociales dans le fonctionnement de la personne ayant une incapacité (Leonardi et al., 2006). Ces difficultés entraînent des restrictions dans la participation sociale et la réalisation des activités (World Health Organization, 2001).

2. Handicap cognitif et représentations spatiales

Les incapacités dans les représentations spatiales ont été décrites dans une taxonomie de référence dans la littérature portant sur les atteintes résultant de lésions non dégénératives (Aguirre & D'Esposito, 1999). Ces auteurs distinguent quatre types de déficits des représentations spatiales, ou « désorientations topographiques », résultant de lésions cérébrales. Ces atteintes représentationnelles sont les suivantes : la « désorientation égocentrique », « l'agnosie des points de repères », la « désorientation directionnelle », et la « désorientation antérograde ». La typologie d'Aguirre et D'Esposito (1999) est fondée sur une revue des études de cas existantes en neuropsychologie.

2.1. Atteintes des représentations égocentriques

Selon Aguirre et D'Esposito (1999), une désorientation égocentrique renvoie à une incapacité dans les représentations « à la première personne », telles que les représentations de points de repère et de trajet. Elle correspond à une négligence spatiale unilatérale. Dans une étude célèbre, Bisiach et Luzzatti (1978) ont montré que des individus atteints de cette pathologie sont par exemple en mesure de se rappeler précisément les éléments à droite d'une place milanaise qu'ils se remémorent, mais ne rapportent que très peu d'éléments à gauche, bien qu'ils soient capables de le faire s'ils s'imaginent inverser leur point de vue. Aguirre et D'Esposito (1999) indiquent également que les individus atteints de ce type de désorientation topographique présentent systématiquement des difficultés à reconnaître les relations spatiales entre les objets de l'environnement à partir de leur point de vue (par exemple, plus proche, plus loin, à droite, à gauche), bien que ces objets eux-mêmes soient

parfaitement identifiés. Cette désorientation concerne les environnements connus comme les nouveaux environnements.

La désorientation égocentrique affecte également les trois encodages des points de repère : configurateur, configurateur-élémentaire ou balisage (MacDonald et al., 2004). Dans une expérience de Nico et al. (2008), des individus négligents réalisent une tâche dans laquelle ils doivent trouver, dans une pièce rectangulaire, la zone cible invisible qui déclenche un son agréable lorsqu'elle est traversée (paradigme dit de la « piscine » de Morris, nommé d'après le protocole original utilisant une étendue d'eau – voir Morris, 1981). Ces participants sont comparés à des participants atteints d'une lésion cérébrale sans négligence spatiale, et à des individus contrôles sans aucune atteinte. La tâche consiste à repérer une zone cible lors d'une première exploration, puis de la retrouver le plus rapidement possible en partant d'un nouveau point de départ et en s'aidant des points de repère présents dans la pièce (porte-manteau et lampe). Cette configuration est représentée en Figure 3.

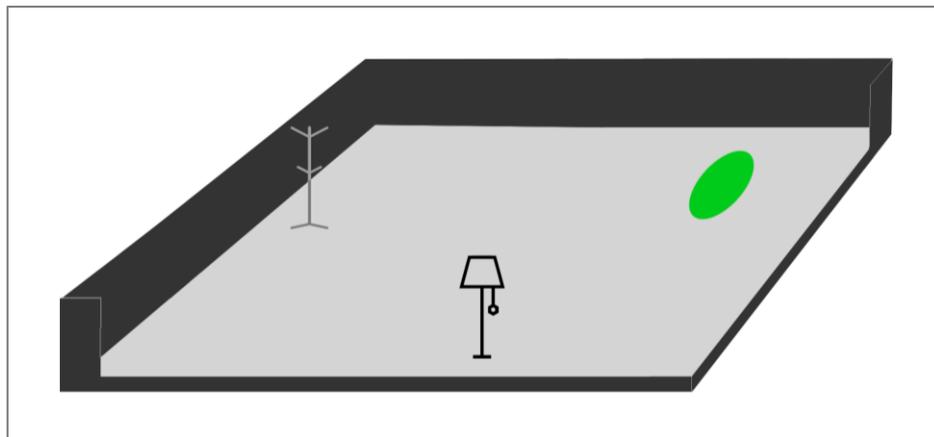


Figure 3 : Représentation de la pièce expérimentale, d'après Nico et al. (2008). Le porte-manteau et la lampe schématisés dans la pièce sont les seuls points de repère disponibles. Les participants doivent, sur plusieurs essais, trouver l'aire invisible (ici représentée en vert) qui déclenche un son agréable lorsqu'elle est traversée.

Si tous les participants rapportent la présence des deux points de repère et sont en mesure de les décrire, le groupe atteint de négligence ne parvient pas à les situer par rapport à la zone cible lorsqu'ils sont face à un plan de la pièce. Ces résultats indiquent une difficulté dans l'encodage configurateur-élémentaire des points de repère (c'est-à-dire l'encodage d'un ensemble des points de repère et des relations de distance et de direction entre eux) (MacDonald et al., 2004), ainsi que dans la reconnaissance des relations spatiales entre les objets de l'environnement (Aguirre & D'Esposito, 1999). Les participants atteints d'une négligence spatiale présentent ainsi une importante difficulté à retrouver la zone cible lorsqu'ils doivent l'atteindre depuis un nouveau point de départ. Selon Nico et al. (2008), des individus

atteints d'une négligence ne tirent pas de bénéfices de la présence de points de repère car leur stratégie de déplacement ne fait pas appel à leur utilisation.

La deuxième catégorie de désorientation topographique atteignant les représentations égocentriques correspond selon Aguirre et D'Esposito (1999) à une agnosie des points de repère. Cette désorientation se traduit par une incapacité à utiliser des attributs saillants de l'environnement dans un but de navigation dirigée. Par exemple, dans une étude de Rainville et al. (2005) sur cette pathologie, un patient atteint d'agnosie des points de repère ne parvient à nommer sur des clichés que quatre monuments célèbres parmi 20 (par exemple, la tour Eiffel, les pyramides d'Égypte), contre 17 en moyenne pour des participants contrôles. Selon Aguirre et D'Esposito (1999), ce type d'agnosie est limité exclusivement aux points de repère et se distingue d'une agnosie complète des objets, bien que les deux types d'affections puissent coexister. Cette agnosie se distingue également des autres désorientations topographiques et son existence en l'absence de toute autre désorientation topographique est documentée dans plusieurs études (Landis et al., 1986; Takahashi & Kawamura, 2002; van der Ham et al., 2017). Aguirre et D'Esposito (1999) ajoutent que cette incapacité peut affecter les itinéraires déjà connus et l'acquisition de nouveaux itinéraires. Ces éléments apparaissent également dans l'étude de Rainville et al. (2005), où le participant ne parvient à identifier que trois monuments parmi dix de sa ville, qu'il habite depuis trente ans. Certains travaux indiquent que cette agnosie peut également ne concerner que l'encodage de nouveaux environnements et laisser intact les apprentissages précédant la lésion cérébrale, cependant ces cas restent rares (Bird et al., 2007; Claessen & van der Ham, 2017; Takahashi & Kawamura, 2002).

Un autre élément intéressant est étayé par Aguirre et D'Esposito (1999) : les études de cas qu'ils rapportent sur l'agnosie des points de repère notent que les participants s'appuient sur certains attributs peu saillants de l'environnement lors de la navigation dirigée. Les participants parviennent par exemple à utiliser les noms de rues ou numéros de maisons pour reconnaître un changement de direction à effectuer ou leur destination, un participant reconnaissant ainsi sa propre maison uniquement grâce à son numéro (Whiteley & Warrington, 1978). Aguirre et D'Esposito (1999) soulignent donc la spécificité de cette agnosie, limitée aux points de repères correspondant à la définition « classique » de ceux-ci : des éléments de référence localisés à des points de décision, aux propriétés physiques facilement perceptibles, et saillants (Yesiltepe et al., 2019).

2.2. Atteintes des représentations allocentriques

Selon Aguirre et D'Esposito (1999), un autre type de désorientation topographique altère les représentations allocentriques : la désorientation directionnelle, qui correspond au

handicap que l'on retrouve chez les trois participants de l'étude de Takahashi et al. (1997). Ils parviennent à reconnaître leur localisation immédiate par rapport à leur environnement et aux points de repères, mais ils ne sont pas capables de trouver à partir d'un point de repère la direction à emprunter et la suite de leur itinéraire.

Aguirre et D'Esposito (1999) indiquent que cette difficulté s'exprime dans les itinéraires préalablement appris comme dans l'acquisition de nouvelles connaissances spatiales. En revanche, la reconnaissance de points de repères et l'expression des relations spatiales entre des objets à partir du point de vue des individus restent intactes.

Un dernier type de désorientation topographique considéré par Aguirre et D'Esposito (1999) est la désorientation antérograde. A la différence des trois autres désorientations topographiques décrites par les auteurs, cette altération est limitée à l'acquisition de connaissances spatiales sur de nouveaux environnements et laisse intactes les connaissances sur des environnements appris préalablement à la lésion. Les individus atteints de cette incapacité ne sont en revanche pas capables de dessiner de mémoire la carte d'un environnement qu'ils ont découvert après leur lésion, y compris par exemple celle d'un nouveau domicile habité depuis plusieurs mois (Ross, 1980). Ils parviennent cependant à réutiliser des informations spatiales énoncées verbalement, ceci suggérant que cette incapacité est circonscrite à la mémoire visuelle (Aguirre & D'Esposito, 1999; Ross, 1980).

2.3. Autres perspectives sur les désorientations topographiques

D'autres auteurs ont récemment proposé une refonte de cette taxonomie de référence en la réduisant à trois classes : les déficits basés sur les points de repères, les trajets et la « localisation » (désignant le rappel des localisations des points de repère et les relations spatiales entre eux) (Claessen et al., 2017). A la différence de la taxonomie d'Aguirre et D'Esposito (1999), Claessen et al. (2017) ne s'appuient pas sur une revue des études de cas mais effectuent une expérimentation auprès de 77 participants ayant des séquelles chroniques d'AVC. Parmi eux, 33 participants rapportent des difficultés dans leurs déplacements et passent une batterie de tests spatiaux. Les résultats montrent que les déficits basés sur les représentations de routes sont les plus fréquents et que le déficit basé sur la « localisation » n'existe pas isolément mais uniquement de façon combinée avec les deux autres déficits.

La perspective adoptée par Claessen et al. (2017) apparaît complémentaire de la taxonomie d'Aguirre et D'Esposito (1999), toutefois elle nécessite davantage d'approfondissement dans la littérature, notamment afin d'introduire une hiérarchisation des déficits (le déficit de « localisation » ne pouvant que se surajouter à un autre déficit) et

d'observer sa validité auprès d'autres populations que les individus ayant des séquelles d'AVC.

3. Handicap cognitif et composantes « dynamiques »

La littérature explorant par des protocoles expérimentaux en milieu urbain les difficultés fonctionnelles rencontrées par des individus atteints d'un handicap cognitif est encore émergente, et peu documentée (Meissonnier, 2016; Nakamura & Ooie, 2017). Les travaux successifs de Lemoncello et al. (2010a, 2010b) fournissent toutefois un éclairage substantiel sur les conséquences d'incapacités cognitives au cours de déplacements en ville.

3.1. Perception de l'environnement

Outre les atteintes directes de l'appareil visuel principal, le traitement cognitif de l'information visuelle peut être altéré par des atteintes lésionnelles gênant le déplacement spatial ou la perception de scènes visuelles (Claessen & van der Ham, 2017; Dutton, 2003). Plusieurs tableaux cliniques peuvent être observés lorsqu'une lésion du système nerveux central survient : l'aveuglement cognitif ou les agnosies correspondent à ce type de pathologie neurophysiologique limitant la perception de l'environnement, et donc le recueil d'informations (Kinsbourne, 1987 ; Rubens & Benson, 1971 ; Weiskrantz, 1996 ; pour une revue sur les différentes atteintes visuelles cognitives, voir Dutton, 2003). Cette limitation de l'exposition aux informations spatiales de l'environnement limite de fait la construction de représentations internes (Golledge, 1999).

3.2. Encodage mnésique de l'environnement : construction des représentations spatiales

Les connaissances des effets d'une incapacité cognitive sur les aspects mnésiques de la navigation dirigée proviennent d'études dans le champ des pathologies neurodégénératives (par exemple, la maladie d'Alzheimer), psychiques (schizophrénie) et développementales (trouble du spectre autistique, syndrome de Down, syndrome de Williams). Dans ces études, les syndromes de Down et Williams qui occasionnent un retard mental constituent des pathologies génétiques de référence (Epstein, 1989; Mervis et al., 2000).

Les pathologies neurodégénératives sont généralement considérées séparément du handicap cognitif et concentrent un champ d'étude spécifique. Les études concernant cette population indiquent un amoindrissement général des performances de navigation dirigée (Allison et al., 2016; Davis et al., 2017). Par exemple, les individus atteints d'une maladie d'Alzheimer ou d'un déficit cognitif léger « pré-clinique » (« *mild cognitive impairment* » en anglais, ou MCI) mettent plus de temps à réaliser un trajet et plus de temps à le reproduire ultérieurement, mais bénéficient comme les participants contrôles d'environnements riches en points de repère saillants (Davis et al., 2017). Les individus atteints d'une maladie d'Alzheimer ou d'un MCI se perdent davantage que des individus contrôles du même âge, de plus, ils font davantage d'erreurs en reproduisant par la suite sur une carte l'itinéraire qu'ils viennent d'emprunter (Delpolyi et al., 2007 ; pour aller plus loin concernant les difficultés de navigation dirigée spécifiques aux déficits à l'âge, voir les revues de Bosch & Gharaveis, 2017, et Lester et al., 2017).

L'impact de certaines pathologies psychiques sur la navigation dirigée a également été considéré, notamment auprès d'individus atteints de schizophrénie. La schizophrénie et les pathologies dites du « spectre schizophrénique » touchent environ 0.2% de la population (American Psychiatric Association, 2013). Selon l'American Psychiatric Association, ces pathologies sont définies par des délires, des hallucinations, des désorganisations des pensées et du comportement moteur, une limitation de l'expression émotionnelle et une perte de motivation. Plusieurs études ont démontré que la schizophrénie affecte également la cognition spatiale des individus atteints.

Daniel et al. (2007) ont étudié la construction de représentations spatiales internes chez des individus ayant une schizophrénie, après des trajets dans un environnement réel. Ils comparent ces participants à des participants contrôles. Les résultats de ces auteurs montrent que les individus ayant une schizophrénie, après avoir effectué un itinéraire, effectuent davantage d'erreurs en reproduisant leur trajet sur une carte, et rappellent moins de points de repère. Ils reconnaissent cependant sur des photographies autant de points de repère que les participants contrôles. En revanche, ils ne parviennent pas à restituer la séquence du parcours : ces participants parviennent moins que les contrôles à se remémorer l'ordre dans lequel ils ont croisé ces points de repère. Dans une étude en environnement virtuel de Ledoux et al. (2014), 21 participants avec une schizophrénie et 22 contrôles en bonne santé doivent produire des raccourcis entre des points de repère dans un environnement virtuel extrait d'un jeu vidéo. Les résultats montrent des performances de navigation dirigée inférieures chez les participants avec une schizophrénie en matière d'atteinte des destinations, de nombre d'erreurs, de durée de réalisation des trajets et de distance parcourue. Ces résultats de Daniel et al. (2007) et Ledoux et al. (2014) indiquent donc des difficultés dans la navigation chez les

individus ayant une schizophrénie, dans la construction puis l'utilisation des représentations spatiales, ainsi que dans les performances de navigation dirigée.

Les représentations spatiales internes et de survol apparaissent également déficitaires chez des individus atteints d'un syndrome de Down. En particulier, Courbois, Farran, et al. (2013) ont réalisé une expérience dans un labyrinthe virtuel, et observent que ces personnes retiennent moins de points de repère, ont besoin de davantage d'essais pour apprendre un itinéraire et échouent plus fréquemment à trouver un raccourci, comparativement à des participants contrôles. Ces résultats suggèrent un déficit de l'encodage spatial.

3.3. Exécution de la chaîne du déplacement

Plusieurs études indiquent que les personnes ayant un handicap cognitif rencontrent des difficultés dans l'exécution de la chaîne du déplacement. En particulier, une fois en situation, les individus parviennent difficilement à s'orienter, à planifier, à prendre des décisions et à explorer l'environnement.

Lemoncello et al. (2010b) comparent deux groupes (des participants atteints d'un handicap cognitif d'étiologies variées et des participants contrôles en bonne santé) à qui ils fournissent les mêmes instructions lacunaires pour réaliser des itinéraires dans un environnement réel. Tous les participants partent du même point de départ et sont informés de la destination qu'ils doivent atteindre. Le parcours expérimental et les instructions lacunaires sont présentés en Figure 4.

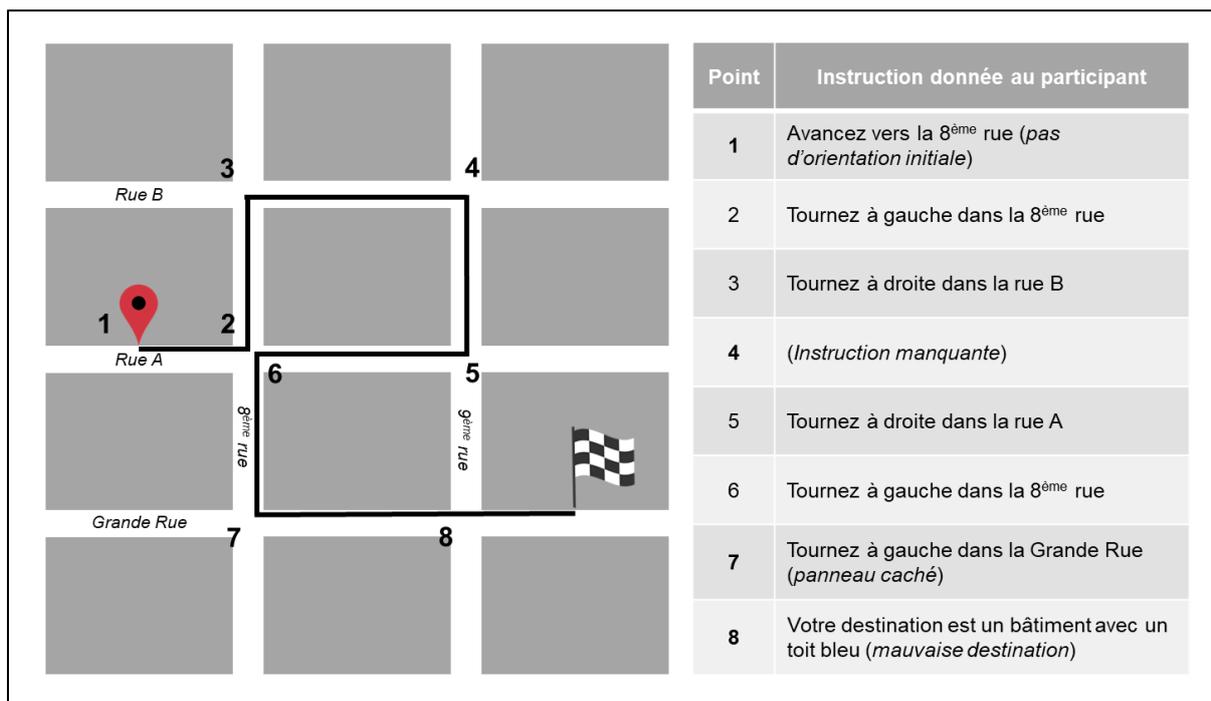


Figure 4 : Représentation schématique du parcours urbain expérimental de l'étude de Lemoncello et al. (2010b) et détail des instructions communiquées aux participants aux huit points de décision du trajet. Le parcours à emprunter est tracé en noir. La moitié des points de décision sur le trajet (1, 4, 7 et 8, notés en gras dans le tableau) sont des points de décision « complexes ». L'élément complexe à ces endroits est indiqué en italique dans l'instruction.

Les participants avec un handicap cognitif commettent davantage d'erreurs de direction que les participants contrôles, avec un effet le plus fort au point numéro 7 du trajet, où le point de repère recherché est visuellement difficile d'accès. Les participants avec un handicap cognitif ont également davantage de moments d'hésitation durant lesquels ils marquent l'arrêt de façon prolongée, observent à plusieurs reprises leur environnement ou expriment leur confusion à l'expérimentateur. Ces hésitations apparaissent significativement plus nombreuses que pour les participants contrôles au même point du trajet, ainsi qu'au départ du trajet lors de la première instruction visant à s'orienter.

D'autres travaux s'intéressant à l'exécution des trajets ont été réalisés auprès d'individus ayant des troubles du spectre autistique (ou TSA). Dans une étude en environnement virtuel, Lind et al. (2013) montrent que des individus atteints de TSA réalisent les trajets plus lentement (arrêts plus longs, vitesse générale plus faible), et passent moins de temps à explorer la zone autour de leur destination, comparativement à un groupe d'individus contrôles. Selon Lind et al. (2013), ces éléments indiquent une navigation dirigée globalement moins efficace que pour des individus contrôles au développement typique. Dans un paradigme similaire en environnement virtuel, Fornasari et al. (2013) montrent que des enfants avec un TSA explorent moins longuement l'environnement à la recherche de leur destination, mais concentrent davantage leur attention sur certaines zones, revisitées de façon répétitive.

Ces résultats corroborent des données recueillies en environnements réels (Kawa & Pisula, 2010; Pierce & Courchesne, 2001 ; pour une revue sur les troubles du spectre autistique dans la navigation dirigée, voir Smith, 2015).

Les études s'intéressant au handicap mental se sont focalisées sur les syndromes de Down et de Williams. Leurs résultats indiquent un déficit dans les représentations de trajets et de survol, entraînant des difficultés dans la navigation dirigée (Broadbent et al., 2014; Courbois, Blades, et al., 2013; Courbois, Farran, et al., 2013; Farran et al., 2010). En particulier, Farran et al. (2010) ont montré que des enfants atteints d'un syndrome de Williams font davantage d'erreurs que des enfants contrôles au développement typique lorsqu'ils doivent effectuer un trajet en sens inverse après l'avoir parcouru une première fois. De plus, jusqu'à un âge plus avancé que des enfants au développement typique, les enfants atteints du syndrome de Williams s'appuient exclusivement sur des points de repère pour se déplacer, et ont des difficultés à concevoir des raccourcis (Broadbent et al., 2014). Ces résultats suggèrent que des difficultés pour eux à planifier leur trajet (choix de points de repères), et à intégrer le trajet parcouru, rendant difficile le retour sur ses pas.

Les choix de points de repère apparaissent également déficitaires. Courbois, Blades, et al. (2013) ont montré dans un environnement réel que des individus avec un handicap intellectuel utilisent globalement moins de points de repère, mais davantage de points de repère non uniques pouvant être observés à plusieurs endroits (par exemple, des panneaux, du mobilier urbain). Ces points de repère n'apparaissent donc pas optimaux en regard de la caractéristique de saillance, importante pour leur conférer le statut de point de référence (Yesiltepe et al., 2019). Ces résultats peuvent se rapprocher en cela des données sur l'agnosie des points de repère, pouvant impliquer la mémorisation de points de repère peu saillants pour naviguer dans l'environnement (Aguirre & D'Esposito, 1999; Whiteley & Warrington, 1978).

Un dernier élément déficitaire dans l'exécution du déplacement réside dans la prise de décision effectuée lorsqu'une situation complexe survient, en particulier dans la résolution de problème mise en œuvre. Très peu d'études ont porté sur les stratégies des individus ayant un handicap cognitif. Certains auteurs montrent que ces stratégies de résolution de problème présentent des spécificités en comparaison d'individus sans handicap. Dans une étude de Lemoncello et al. (2010b), les auteurs relèvent que les participants atteints d'un handicap font davantage appel à l'aide de l'expérimentateur au cours d'un trajet complexe, comparativement aux participants contrôles. Des résultats similaires ont été montrés par Sohlberg et al. (2005). Dans une étude basée sur des entretiens et impliquant 24 personnes avec un handicap cognitif d'étiologies variées, les auteurs relèvent que la demande répétée de renseignements à autrui au cours du trajet apparaît comme la stratégie la plus commune de résolution de problème.

De façon intéressante, le contenu de cette demande de renseignements semble spécifique aux individus ayant un handicap cognitif, et diffère de demandes formulées par des individus n'ayant pas de handicap. Dans l'étude de Lemoncello et al. (2010b), les participants contrôles expriment pour 97% d'entre eux des demandes jugées « claires », en précisant leur position (citant un minimum de deux éléments de l'environnement, comme une intersection de deux rues), ce qui n'est le cas que pour 69% des participants atteints d'un handicap. Dans leur étude par entretiens, Sohlberg et al. (2005) ont également évalué les stratégies de résolution de problème des individus ayant un handicap cognitif. Les résultats obtenus par ces auteurs corroborent ceux de Lemoncello et al. (2010b). Des travailleurs des réseaux de transports ont été interrogés sur les demandes formulées par des individus ayant un handicap cognitif. Les analyses des auteurs indiquent que selon les travailleurs des transports, les demandes formulées par des individus ayant un handicap cognitif sont difficiles à comprendre, et par conséquent à satisfaire.

Selon Sohlberg et al. (2005), bien que cette stratégie soit mise en place, son utilisation n'est donc pas corrélée avec une accessibilité facilitée ou avec davantage de sorties à l'extérieur. En revanche, la mise en œuvre de stratégies de résolution de problème différentes semble déficitaire. Ainsi, l'utilisation des aides communément rencontrées dans la navigation dirigée, comme les cartes, semble une stratégie peu choisie par les individus (Sohlberg et al. 2005).

Chapitre 4 – Améliorer la navigation dirigée par l'assistance à la cognition spatiale

Les difficultés observées de navigation dirigée justifient la nécessité de recherche sur les façons d'assister la navigation. Plusieurs études ont envisagé des outils éducatifs, en proposant des formations et entraînements ou des méthodologies d'apprentissage d'itinéraires, avec des résultats montrant un bénéfice dans les performances de navigation dirigée (Cho et al., 2017; Lloyd et al., 2009; Newbigging & Laskey, 1996). Peu d'études dans le domaine des sciences cognitives se sont intéressées à des outils mobiles d'aide au déplacement, bien que certains prototypes aient été testés dans le champ de l'informatique (Gomez et al., 2015; Torrado et al., 2016).

1. Formations à la navigation dirigée

Des formations à destination des personnes ayant un handicap cognitif sont une piste envisagée pour favoriser l'accessibilité. Certaines formations visent à améliorer les aspects exécutifs (intégration cognitive du trajet, prise de décision) de la navigation dirigée (Cho et al., 2017; Newbigging & Laskey, 1996) ou l'encodage spatial (Lloyd et al., 2009). Ces formations montrent des résultats positifs sur la navigation dirigée. En revanche, elles sont coûteuses en temps, nécessitant de réaliser les trajets une première fois avec un expérimentateur, et requérant plusieurs sessions de formation.

Newbigging et Laskey (1996) ont évalué une formation personnalisée pour un individu atteint d'un handicap cognitif à la suite d'un traumatisme crânien. Il s'agit d'une formation par accompagnement du participant dans ses trajets quotidiens. La formation comporte trois étapes successives : l'accompagnement par un investigateur qui détrompe le participant lorsque nécessaire et renforce les étapes correctes, l'observation à distance avec intervention uniquement en cas d'urgence, et la réalisation du trajet entièrement seul. La formation porte principalement sur l'intégration du trajet en cours : sur un formulaire pré-complété, le participant doit au fur et à mesure du déplacement du bus cocher les cases correspondant aux directions prises (par exemple, le participant doit cocher la case « Tourne à droite sur avenue X » lorsque le bus effectue ce virage). La dernière case du formulaire indique de demander l'arrêt (Figure 5). Après une semaine de formation, le participant de l'étude devient capable de

se rendre sur son lieu de travail et d'en revenir, et parvient également à apprendre de nouveaux itinéraires en bus à l'aide des formulaires adaptés aux autres lignes.

Directions for Taking the Bus

Destination: Gage Park

Bus stop Corner of Sanatorium and Scenic Bus 1

Bus 33 Sanatorium

Approximate times of the next two buses 7:15 7:40

Route (Check the Turns as the bus makes them, look for street signs)

- Left on Sanatorium.
- Left onto Garth St.
- Right down Mountain.
- Right on Aberdeen Ave.
- Left on Hess St.
- Right on Main St.
- Cross Bay St.
- Ring for a stop.

Get off the bus at: City Hall

Figure 5 : Fiche personnalisée d'assistance à l'intégration cognitive du trajet (Newbigging & Laskey, 1996). Les trajets habituels du participant font l'objet de fiches pré-complétées, indiquant les différentes étapes du parcours du bus entre le point de départ et la destination souhaités. Lors du trajet, le participant doit cocher les cases au fur et à mesure (par exemple, « *Left onto Garth St.* », « le bus tourne à gauche rue Garth »), jusqu'à la case « *ring for a stop* » (« demander l'arrêt »).

Dans une étude plus récente, Cho et al. (2017) entraînent un groupe de sept participants ayant un handicap cognitif d'étiologies variées sur la prise de décision lors de la navigation dirigée. La procédure est appelée « NICE » et comporte quatre étapes : remarquer qu'il y a un problème, identifier l'information nécessaire pour aider, identifier les stratégies de résolution de problème pertinentes et enfin évaluer la progression du trajet au fur et à mesure (Cho & Sohlberg, 2015). L'étape « remarquer qu'il y a un problème » consiste à faire analyser des éléments qui ont causé une rupture dans la chaîne du déplacement lors de situations de navigation qu'ils ont expérimentées. La deuxième étape, « identifier l'information nécessaire », concerne la formation aux comportements de recherche d'aide, par exemple en écoutant les annonces et en formulant une demande appropriée. La troisième étape vise à faire lister aux participants les stratégies de résolution potentielles à utiliser lors d'une situation complexe. La dernière étape vise à analyser les stratégies de résolution de problèmes mises en œuvre par les participants et à créer des intentions de stratégies pour des situations futures. Cho et al.

(2017) administrent six sessions d'entraînement d'une heure, et des mesures (scores de recherche d'aide et de performance de navigation dirigée) sont effectuées lors de déplacements en intérieur contrôlés par les expérimentateurs à la fin des sessions, puis à distance dans le temps. Les résultats montrent que la formation à la procédure NICE apporte un bénéfice durable pour tous les participants, sur les mesures de recherche d'aide et de performance de navigation dirigée.

Lloyd et al. (2009) ont exploré une optimisation possible de la construction des représentations trajet. Ces auteurs se sont intéressés à l'apprentissage préalable d'un itinéraire pour des personnes atteintes d'un handicap cognitif. Vingt participants doivent réaliser deux itinéraires de complexité égale dans un jeu vidéo. Les auteurs comparent un apprentissage guidé et un apprentissage par observation, en mesurant un marqueur de performance de la navigation dirigée (nombre d'erreurs). Dans la condition guidée, l'expérimentateur montre pour la première fois le trajet au participant et indique oralement chaque point de décision (en disant par exemple « nous approchons du carrefour ») et l'action qui doit lui être associée pour avancer dans l'itinéraire (par exemple, « nous devons tourner à droite »). Dans la condition d'observation, l'expérimentateur énonce seulement la direction qu'il emprunte aux intersections, sans mentionner le point de décision. Les résultats montrent que lorsque le participant réalise le trajet seul à la suite de l'apprentissage guidé, il commet moins d'erreurs dans son déplacement. Lloyd et al. (2009) concluent que cet apprentissage guidé, pour des personnes atteintes d'un handicap cognitif, est plus efficace qu'une observation pour mémoriser des informations complexes et améliorer les performances de navigation dirigée.

Une autre possibilité de formation n'est pas destinée à l'individu ayant un handicap cognitif mais concerne l'éducation de la collectivité entourant ces individus. Plusieurs études se sont focalisées sur des programmes déjà mis en œuvre, notamment aux Etats-Unis, spécifiquement destinés à aider un public atteint d'un handicap cognitif – principalement maladie d'Alzheimer, mais également trouble autistique et syndrome de Down (Petonito et al., 2013; Rowe & Glover, 2001). Les auteurs recensent diverses initiatives existant dans le monde anglophone pour aider les personnes atteintes d'une maladie d'Alzheimer et risquant de se perdre, les plus répandus étant « Safe Return » et « Silver Alert » aux Etats-Unis, « Project Lifesaver » aux Etats-Unis et en Australie, « SafelyHome » au Canada (Petonito et al., 2013). Ces programmes permettent à un individu de s'inscrire et de porter un bracelet identifiant ainsi qu'un numéro de téléphone qu'une tierce personne peut appeler pour que l'organisme prenne en charge le retour d'un individu perdu. Petonito et al. (2013) notent cependant que ces programmes n'ont pas fait l'objet d'évaluation de leur efficacité. Ils concluent que ces

programmes peuvent induire une surestimation du sentiment de sécurité chez les individus et leurs proches, amenant éventuellement à des prises de risques.

2. Assister la cognition spatiale grâce à des outils mobiles

2.1. Outils existants

Plusieurs outils mobiles d'assistance à la navigation existent, généralement via des applications mobiles. Ils visent notamment à faciliter la navigation et à permettre les déplacements même dans des environnements non familiers (Burnett, 2000). Ces outils d'assistance se sont démocratisés simultanément aux smartphones. A ce jour, plus de trois utilisateurs de smartphone sur quatre déclarent utiliser régulièrement une application d'assistance à la navigation, selon le magazine spécialisé en technologie et business *The Manifest* (Panko, 2018). Ces utilisateurs d'applications de navigation privilégient trois outils : 67% utilisent Google Maps (Google LLC, 2005), suivis par 12% utilisant Waze (Waze Mobile, 2006) et 11% utilisant Apple Maps (Apple Inc., 2012).

Les instructions de déplacement fournies par une application d'assistance à la navigation constituent une fonctionnalité majeure de ces outils. Google Maps, l'application majoritairement utilisée dans le champ des assistances mobiles à la navigation, fournit des indications selon les modalités visuelles et auditives. Ces indications comprennent des éléments graphiques (cartes, itinéraire) et des éléments textuels qui sont prononcés par une voix synthétique (Figure 6).

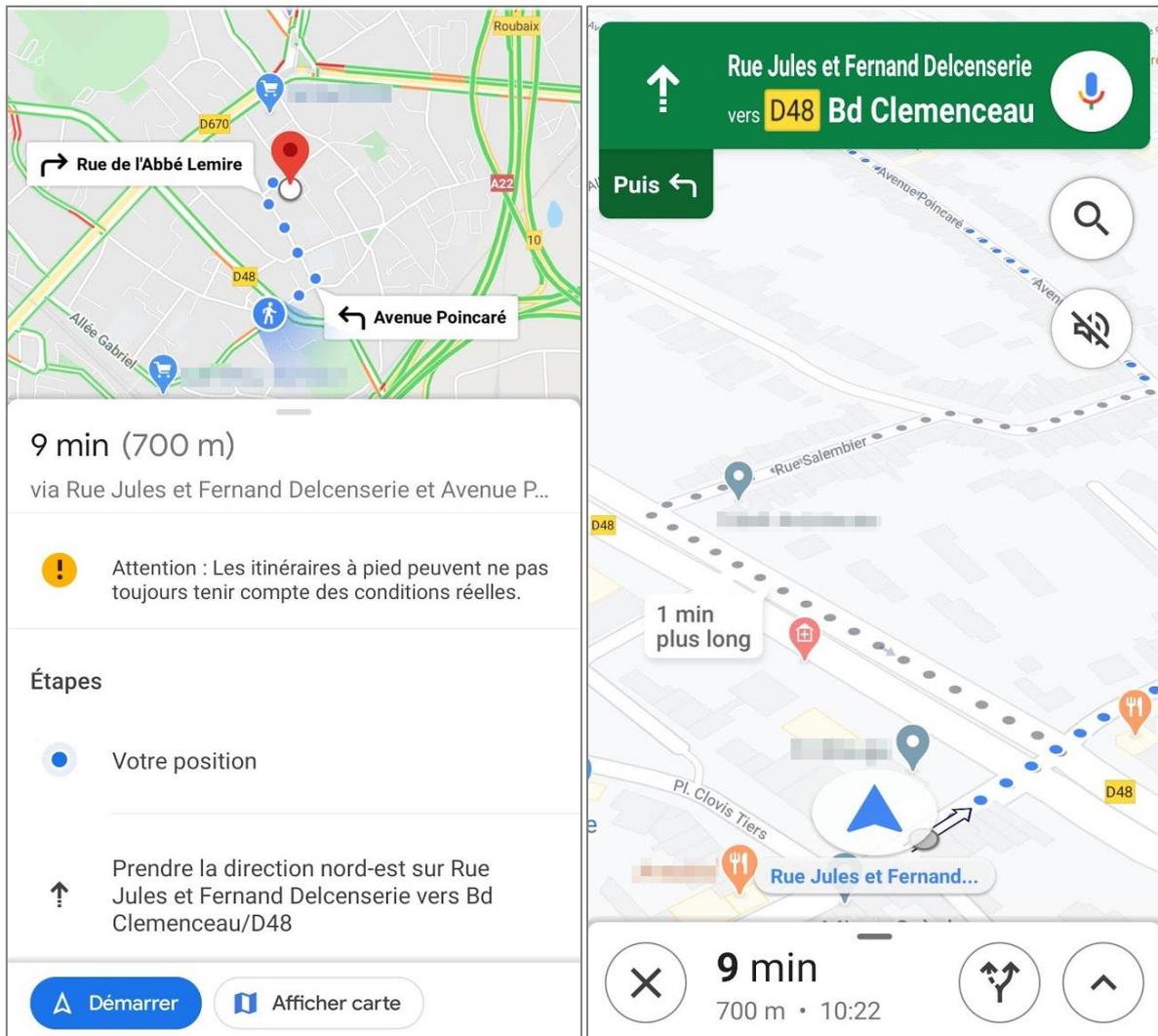


Figure 6 : Deux types d'écrans et d'indications proposés par Google Maps lors de l'utilisation en navigation. L'écran de gauche représente une vue aérienne de l'itinéraire complet et indique à l'écrit les instructions qui seront prononcées oralement au cours du déplacement (par exemple sur cet écran, « prendre la direction nord-est sur Rue Jules et Fernand Delcenserie »). L'écran de droite est l'interface affichée lors du déplacement. Il s'agit d'une vue aérienne alignée avec la direction de la personne se déplaçant. L'itinéraire y est représenté en pointillés selon la direction du point de vue de l'utilisateur, et certains points de repère sont visibles sur le plan.

Les indications fournies par Google Maps sont fondées sur les trois niveaux de représentations spatiales (point de repère, trajet et survol). En revanche, deux de ces niveaux (point de repère et trajet) sont uniquement représentés graphiquement et ne font pas partie des instructions écrites ou audio fournies par Google Maps. Les points de repère indiqués à l'écran correspondent à une partie des commerces existants dans l'environnement et ne sont pas mentionnés dans les instructions de déplacement. La représentation trajet est uniquement graphique. De plus, elle ne contient pas de points de repère intermédiaires, à la différence des représentations internes (Siegel & White, 1975). A l'exception de ces éléments graphiques, les instructions fournies par l'application sont ainsi majoritairement de type survol. Comme

illustré en Figure 7, la première instruction donnée pour un itinéraire invite l'utilisateur à avancer dans une direction cardinale (sur cet exemple, le nord-est).

A partir de cette instruction initiale, les instructions suivantes mentionnent les endroits où l'utilisateur doit tourner. Ces instructions sont formulées à partir d'un point de vue égocentrique « simulé » par l'application : Google Maps indique par exemple de tourner « à droite » ou « à gauche », en supposant à partir de l'itinéraire indiqué que c'est selon ce point de vue que l'utilisateur parviendra au point de décision. Cela signifie qu'un utilisateur arrivant au point de décision de l'itinéraire par une direction autre que celle proposée par l'application obtiendra une indication différente. Ces indications sont donc relatives à la position estimée de l'utilisateur.

2.2. Limites des outils existants dans le champ de la cognition spatiale

Les outils disponibles à large échelle, utilisant majoritairement des représentations survol, sont peu adaptés au fonctionnement cognitif du public général (Grison & Gyselinck, 2019). Cela semble corroboré par le fait que parmi les utilisateurs d'applications mobiles d'assistance à la navigation, seuls 25% déclarent choisir prioritairement leur application pour la clarté des instructions qu'elle offre (Panko, 2018).

Les informations fournies graphiquement par Google Maps, ainsi que l'instruction initiant le déplacement, sont principalement allocentriques. Ce niveau de représentation spatiale de survol implique d'importants coûts cognitifs et l'utilisation d'une carte cognitive (Siegel & White, 1975; Tolman, 1948). Les instructions suivantes, indiquant de tourner à droite ou à gauche, sont égocentriques, mais sont relatives à la direction estimée de l'utilisateur lorsqu'il arrivera au point de décision. Lorsque la position réelle de l'utilisateur ne correspond pas à sa position anticipée dans l'application, l'utilisateur peut ainsi rencontrer une difficulté pour s'aligner avec l'itinéraire attendu (Avraam et al., 2020). En d'autres termes, l'utilisateur peut rencontrer une difficulté à traiter l'information spatiale « droite » ou « gauche », si la direction dans laquelle il regarde ne correspond pas à celle qui était estimée par l'application.

Il y a ainsi une inadéquation entre les indications fournies par les assistances et les besoins cognitifs des individus. Cela amène plusieurs auteurs à argumenter que les aides devraient pouvoir se conformer aux représentations spatiales préférentiellement utilisées par les individus (Grison & Gyselinck, 2019; Taylor et al., 2008). Cette non-conformité entre les besoins cognitifs des individus et les informations proposées par les outils d'assistance est particulièrement invalidante pour les personnes ayant un handicap cognitif, et rencontrant des difficultés dans la construction et l'utilisation de représentations spatiales (Sohlberg et al.,

2005, 2007). Très peu d'études ont porté sur les outils mobiles d'assistance adaptés à ces personnes.

Certaines études indiquent que des instructions utilisant des points de repère sont particulièrement souhaitées par les individus ayant un handicap cognitif (Sohlberg et al., 2005). Les auteurs ont exploré par des entretiens auprès d'individus ayant un handicap cognitif les façons dont une aide à la navigation pourrait être adaptée. Plusieurs caractéristiques qui constituent des recommandations pour les aides adaptées ont été identifiées. Ainsi, un outil d'aide devrait ainsi formuler des instructions « claires » et « concises ». Il devrait permettre d'être programmé afin d'inclure des notes de l'utilisateur et des points de repère personnellement choisis. Sur le plan de l'adaptation aux spécificités de l'utilisateur, le dispositif d'aide devrait offrir une commande simple de répétition des indications de trajet afin de pallier les difficultés mnésiques ou d'écoute en milieu urbain. Les formats d'instructions préférés des participants sont auditifs et écrits. De plus, les personnes atteintes d'un handicap cognitif comme leurs aidants indiquent la nécessité que l'outil d'aide permette un lien avec une personne en cas de besoin.

2.3. Développement de prototypes adaptés

Des prototypes d'outils d'assistance adaptés et visant à améliorer l'efficacité de la mobilité chez les personnes ayant un handicap cognitif ont été testés (Gomez et al., 2015; Sohlberg et al., 2007; Torrado et al., 2016). L'évaluation de ces outils peut être effectuée selon deux versants : d'une part, la mesure des effets de l'aide sur la navigation dirigée, et d'autre part, la mesure la perception qu'à l'individu de sa navigation et du dispositif lui-même (efficacité perçue, satisfaction à l'usage). La perception subjective de l'efficacité et de l'agréabilité d'usage d'un dispositif correspond à la notion d'utilisabilité (Brooke, 2013). Selon cet auteur, un outil développé peut amener un utilisateur à effectuer efficacement une tâche, tout en nécessitant un temps et un effort rendant cet outil inutilisable. Certains auteurs évaluent ainsi l'ensemble de l'expérience d'un utilisateur, en mesurant à la fois ses performances à des tâches et son évaluation de l'utilisabilité du prototype (Torrado et al., 2016).

Gomez et al. (2015) ont évalué un prototype d'aide à la navigation dirigée sur smartphone appelé « AssisT-OUT ». A partir de Google Maps, cette application propose des itinéraires pas à pas utilisant des points de repères aux endroits où une décision doit être prise. L'utilisateur se déplace de point de repère en point de repère, photographiés dans l'application, et prend la direction indiquée en arrivant à chaque point de décision (Figure 7).

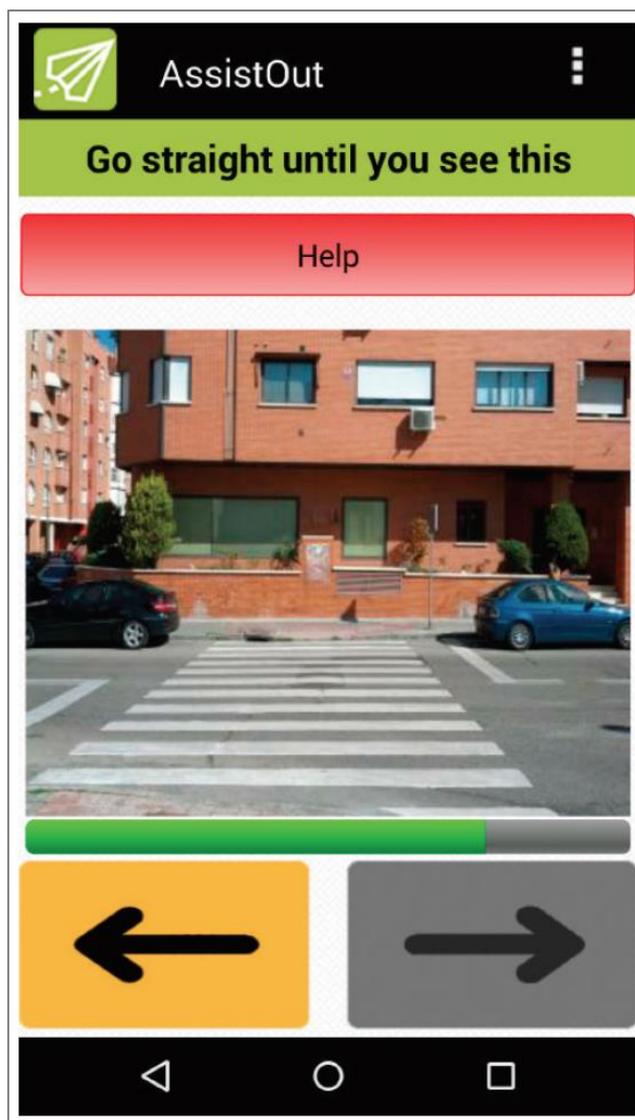


Figure 7 : Capture d'écran du prototype d'application mobile d'aide au déplacement AssisT-OUT (Gomez et al., 2015). L'application montre des photographies de points de repère, et les instructions de déplacement qui les relient, jusqu'à destination. Ici, l'application montre un passage piéton menant à un muret d'immeuble, avec l'instruction à l'utilisateur d'aller tout droit jusqu'à ce que ce point de repère soit rencontré.

Ce « séquençage » du trajet, segmenté à chaque point de repère, est testé par Gomez et al. (2015) auprès de 18 individus ayant un handicap cognitif d'étiologies variées. Les auteurs mesurent le déplacement selon différents marqueurs de performance (par exemple, durée du déplacement, atteinte de la destination, perception de l'atteinte de la destination, erreurs). Comparativement aux parcours réalisés à l'aide de Google Maps, les auteurs relèvent tout d'abord un temps de déplacement plus long avec AssisT-OUT. Cependant, davantage de trajets aidés d'AssisT-OUT se soldent par un succès (17 trajets accomplis sur 18 avec AssisT-OUT, contre 9 sur 18 avec Google Maps). L'étude ne contient cependant pas de mesures relatives à l'expérience utilisateur concernant la modalité des informations données (ici, visuellement). Les résultats obtenus ne permettent donc pas de conclure sur l'utilisabilité

perçue du prototype, et ne permettent pas la comparaison avec une aide auditive telle qu'elle est plutôt recommandée par Sohlberg et al. (2005, 2007).

Une application intitulée « AssisT-IN », fondée sur le même principe qu'AssisT-OUT, a été évaluée dans des espaces intérieurs (Torrado et al., 2016). Pour compenser l'absence de points de repères saillants ou uniques sur les trajets dans un bâtiment, les auteurs installent des codes QR uniques que l'utilisateur scanne au fur et à mesure de son avancée. Ces codes QR sont situés similairement aux points décisionnels dans le trajet et prennent ainsi le rôle des points de repère utilisés dans AssisT-OUT. Les auteurs mesurent notamment le nombre d'arrivées effectives à destination. Les résultats de cette évaluation montrent une efficacité de cette aide dans la navigation dirigée : tous les participants arrivent à destination à l'aide d'AssisT-IN. Les auteurs mesurent également l'utilisabilité perçue d'AssisT-IN par l'utilisation du questionnaire *System Usability Scale* (SUS) (Brooke, 1996). Malgré l'efficacité mesurée du prototype, le score du SUS est de 63, indiquant que les participants jugent cet outil « peu acceptable » (Bangor et al., 2009; Brooke, 2013). Bien que ce prototype ne semble donc pas optimal pour des utilisateurs ayant un handicap cognitif, les résultats de l'évaluation montrent une efficacité de l'utilisation de points de repère dans l'atteinte de la destination.

Sohlberg et al. (2007) ont comparé quatre prototypes d'aides afin d'obtenir les évaluations d'un public de 20 participants atteints de handicap cognitif. Ces participants ont été recrutés par l'intermédiaire des professionnels les accompagnant, qui les ont invités à participer à l'étude sur la base de la présence d'un déficit attentionnel, mnésique ou exécutif. Tous les participants déclarent rencontrer dans leur quotidien des difficultés dans la navigation dirigée. Les quatre outils d'aide proposés au cours de l'itinéraire expérimental sont présentés sur un dispositif informatique : une carte vue du ciel avec flèche directionnelle, des images représentées à la première personne avec flèche directionnelle, un texte d'instructions, et des instructions audio. Ces quatre aides présentent le même contenu d'information concernant les points où tourner à droite et à gauche. Les auteurs évaluent les effets des différentes aides sur la réalisation du trajet et l'existence d'une préférence d'utilisation envers l'un ou l'autre de ces outils. Contrairement aux hypothèses des chercheurs qui s'attendaient à ce que les instructions textuelles soient préférées, celles-ci étant disponibles constamment et ne nécessitant pas un étayage important de la mémoire de travail, les résultats indiquent que ce sont les indications audio qui sont préférées par les participants. Au total, 60% des participants évaluent l'aide audio comme étant l'outil le plus utile dans la navigation, déclarant celui-ci plus facile à suivre et ne nécessitant pas de maintenir le regard sur un écran. Ce résultat est compatible avec les mesures de performance de navigation dirigée effectuées (absence d'hésitation ou de demande de renseignements) : les performances sont meilleures lorsque les participants sont équipés de l'outil audio, comparativement à l'aide par images à la

première personne et les images cartographiques fléchées, de type survol. En matière d'utilisabilité perçue, le prototype utilisant des images de type survol est jugé le moins acceptable, cité ainsi par 45% des participants. Les participants rapportent notamment une difficulté à comprendre où la flèche pointe et comment la carte se rapporte à l'environnement. Les auteurs notent que ce sont paradoxalement ces aides à la navigation cartographiques qui sont le plus fréquemment proposées pour aider les voyageurs, notamment dans la rue ou les transports publics.

Lemoncello et al. (2010a) ont également comparé par un protocole en environnement réel différents formats d'instructions d'itinéraires. Ils distinguent entre autres les instructions basées sur l'énumération de points de repères et celles, proche des aides actuelles, spécifiant les endroits où tourner à gauche et à droite. Quelle que soit l'indication donnée, les participants porteurs d'une incapacité cognitive d'étiologies variées ont lors de cette étude des performances moins bonnes que des participants contrôles. Ils rapportent aussi une plus faible confiance dans leur réalisation du trajet. Comme les contrôles, ils rapportent toutefois une forte préférence pour les indications basées sur les points de repère, celles-ci étant considérées comme les plus faciles à suivre, comparativement aux instructions pas à pas.

D'autres outils ne nécessitent pas l'action de l'individu. Ils permettent un partage de la localisation afin de permettre à des tierces personnes d'apporter leur aide, si l'individu est perdu. Certains outils sont fondés sur l'utilisation d'un bracelet GPS (Robinson et al., 2009). Ce type d'aides s'est également démocratisé ces dernières années avec l'apparition de fonctionnalités de partage de localisation par l'intermédiaire d'applications sur smartphones telles que Google Maps. A la différence d'autres aides embarquées, celles-ci ne demandent pas d'action de la personne elle-même mais reposent sur l'intervention d'une tierce personne qui reçoit les données géographiques de l'individu en déplacement. Ces outils visent à pallier les difficultés d'utilisation, voire l'absence d'utilisation d'un smartphone par un individu ayant un handicap cognitif. Des données récentes vont dans le sens d'une bonne acceptabilité de l'utilisation d'un smartphone par ce public (Kwan et al., 2018), cependant des limites liées à l'adaptation des solutions proposées (niveau de détail des instructions) et à l'individu (déficits attentionnels, mnésiques) occasionnent encore des difficultés dans la chaîne du déplacement.

Chapitre 5 – Problématiques et objectifs de la thèse

La notion de « navigation dirigée », traduction du terme anglais « *wayfinding* » désigne la composante cognitive et représentationnelle de la navigation spatiale (Montello, 2005, 2017; Wiener et al., 2009). Elle se distingue de la locomotion, qui concerne les aspects sensorimoteurs du déplacement. Jusqu'à présent, la prise en compte du handicap dans la mobilité s'est focalisée principalement sur son aspect locomoteur, et rarement sur la navigation dirigée (Meissonnier, 2016; Nakamura & Ooie, 2017). Cet aspect est pourtant central dans les problématiques de mobilité des personnes ayant un handicap cognitif.

La littérature nous permet d'admettre un lien entre le handicap cognitif et des difficultés mesurables dans la navigation dirigée (Delpolyi et al., 2007; Doig et al., 2001; Nico et al., 2008; Sohlberg et al., 2005, 2007). Cependant, cette relation n'apparaît pas systématique et présente une variabilité importante (Claessen et al., 2017). Plusieurs atteintes peuvent survenir et affecter différents aspects des représentations spatiales : les représentations point de repères, les représentations de trajets et les représentations survol (Aguirre & D'Esposito, 1999; Siegel & White, 1975). Les performances de navigation dirigée peuvent être diminuées dans nombre de ses composantes, occasionnant erreurs de trajets, hésitations et pertes de chemin (Lemoncello et al., 2010a, 2010b).

De plus, nous notons un consensus concernant la fréquence plus importante de difficultés dans la navigation dirigée chez des individus ayant un handicap cognitif comparativement à des individus sans incapacité. De nombreux protocoles soumettent cependant les personnes avec un handicap aux mêmes conditions que des personnes sans handicap, ne permettant pas d'observer la nature des difficultés en situation réelle ni les stratégies effectivement employées par les individus (Schinazi et al., 2016). De fait, il nous paraît important de recueillir des données auprès des individus atteints de handicap cognitif concernant les éventuelles difficultés fonctionnelles qu'ils rencontrent dans leur vie quotidienne. Ces éléments permettraient de définir la nature des difficultés (ou facilités) rencontrées en conditions réelles et les stratégies qui sont mises en place (World Health Organization, 2012). Ces informations pourraient ainsi servir de base à des recommandations adaptées pour favoriser l'accessibilité.

L'objectif principal de cette thèse est d'analyser les composantes de la navigation (représentationnelles et dynamiques) affectées par le handicap cognitif et affectant l'exécution

de la chaîne du déplacement. Cette analyse permettra l'identification de leviers en matière d'outils d'assistance à la cognition spatiale visant à faciliter la mobilité d'individus ayant un handicap cognitif.

Cet objectif principal se décompose en deux contributions empiriques. La première étude de cette thèse vise à développer les connaissances actuelles sur la mobilité en ville des personnes ayant un handicap cognitif afin de formuler des recommandations. La seconde étude évalue l'efficacité et l'utilisabilité d'un prototype d'aide à la navigation à partir des recommandations formulées et de la littérature sur la cognition spatiale.

1. Approfondir les connaissances actuelles sur la mobilité en ville des personnes ayant un handicap cognitif

L'étude de la façon dont les individus se déplacent au quotidien est généralement issue de la nécessité de mieux comprendre les relations complexes entre les individus et leur environnement urbain (Hanson & Hanson, 1993). Les premières études sur les activités quotidiennes en ville ont été menées dans le champ de l'urbanisme, et détaillent ces comportements en tant qu'éléments représentatifs de la vie urbaine (Chapin, 1974). En particulier, Chapin (1974) visait à explorer au travers de ces activités des notions appartenant au domaine de la psychologie et des sciences cognitives, notamment la qualité de vie des individus et la façon dont l'environnement bâti l'influçait. Les questions de recherche des premières études sur la navigation dirigée, dans le champ de l'urbanisme, étaient notamment relatives à la chaîne du déplacement (Hanson & Hanson, 1993) : quelles sont les habitudes de déplacements de différents groupes sociaux ? Qu'impliquent les éventuelles différences entre ces groupes ? Les réponses à ces questions visaient à permettre aux acteurs de la mobilité, et notamment aux décideurs, de mieux connaître les manquements aux besoins de groupes d'usagers.

Selon Hanson et Hanson (1993), l'étude des activités liées à la chaîne du déplacement en ville vise ainsi des applications pratiques dans la vie quotidienne des individus. Ces auteurs soulignent que la compréhension des différents aspects des déplacements urbains est nécessaire pour la mise en œuvre de solutions pertinentes. Ces préconisations se retrouvent pleinement dans celles formulées dans le Rapport Mondial sur le Handicap (World Health Organization, 2012). L'OMS recommande notamment le recueil de données factuelles sur les difficultés et les facilités de déplacement rencontrées par les individus en situation de handicap cognitif, et reconnaît l'importance fondamentale de ces éléments pour la mise en œuvre

d'aides efficaces, que celles-ci concernent l'aménagement urbain ou des aides s'appuyant sur les nouvelles technologies.

Très peu d'études existent sur les difficultés de navigation dirigée rencontrées par les individus ayant un handicap cognitif en France (Meissonnier, 2016). Ce manque d'informations sur la nature des difficultés (ou des facilités) rencontrées par ces personnes dans la vie quotidienne représente un obstacle majeur à la mise en œuvre de solutions d'aide au déplacement (World Health Organization, 2012), déjà peu conçues pour répondre au fonctionnement cognitif de la population générale (Grison & Gyselinck, 2019).

La première étude présentée dans cette thèse vise ainsi à explorer des situations quotidiennes représentatives afin de développer une compréhension plus large des effets que le handicap cognitif peut avoir sur l'ensemble de la chaîne du déplacement. Cette étude a pour objectif d'analyser l'expérience existante d'évènements de mobilité complexes chez des personnes avec un handicap cognitif, en les comparant à des évènements rencontrés par la population générale. Dans cette optique, nous avons mené des entretiens semi-directifs auprès d'individus atteints d'un handicap cognitif afin de recueillir des données pertinentes auprès des personnes directement concernées. Ces données doivent permettre de formuler des préconisations envers la conception d'aides à la navigation adaptées.

2. Evaluer un prototype d'aide à la navigation

Le recueil et l'analyse de données empiriques doit permettre de formuler des recommandations adaptées à la population des individus ayant un handicap cognitif (World Health Organization, 2012). La « Loi Handicap » de 2005 propose que les améliorations d'accessibilité ne se portent pas seulement sur l'environnement bâti, mais peuvent également concerner des outils utilisant les nouvelles technologies. A ce jour, peu d'études ont porté sur des outils adaptés (Sohlberg et al., 2007; Torrado et al., 2016, 2016).

L'objectif de la seconde étude de cette thèse sera de s'appuyer sur les connaissances développées lors de la première étude et sur la littérature pour évaluer un dispositif d'aide à la navigation pouvant être adapté pour la population des individus ayant un handicap cognitif. La littérature propose plusieurs pistes pour de tels dispositifs : qu'ils utilisent des informations basées sur les points de repère, et qu'ils transmettent des instructions audio (Sohlberg et al., 2007). Nous nous appuyerons sur ces préconisations pour évaluer un prototype.

Les études existantes montrent l'importance d'évaluer un outil d'aide par deux aspects complémentaires : la mesure des effets induits sur la mobilité (via des mesures de performances), et la mesure de l'utilisabilité perçue du dispositif lui-même (Brooke, 2013). En

particulier, les marqueurs de performance doivent concerner les aspects dynamiques et représentationnels de la navigation dirigée, afin de fournir une vue d'ensemble des effets de l'aide sur les représentations spatiales internes comme sur les composantes de la chaîne du déplacement (Waller & Nadel, 2013). Nous évaluerons donc les performances sur ces deux aspects à l'aide d'outils de mesure dédiés. Nous mesurerons également l'utilisabilité du dispositif d'aide à l'aide d'un questionnaire de référence déjà utilisé dans le champ des aides à la navigation adaptées (Torrado et al., 2016), le SUS (Brooke, 1996).

Ces éléments permettront d'approfondir les recommandations à destination des aides à la navigation et de proposer des préconisations détaillées sur les caractéristiques et les objectifs que peuvent adopter de telles aides. L'objectif est de permettre l'émergence d'aides cognitivement adaptées favorisant la mobilité tout au long de la chaîne du déplacement, en tenant compte des situations qui peuvent bénéficier d'un tel appui.

Deuxième partie
Partie expérimentale

Chapitre 6 – Etude 1. Handicap cognitif : difficultés et stratégies de résolution de navigation¹

1. Introduction

1.1. La navigation dirigée en tant que processus cognitif

Se déplacer dans la ville est la première étape de nombreuses activités quotidiennes, qu'elles soient liées au travail ou aux loisirs. Cette activité est donc fondamentale pour l'autonomie ainsi que pour l'intégration sociale et l'accès à la communauté (Doig et al., 2001; Sohlberg et al., 2007). Cependant, trouver son chemin dans l'environnement implique plus que le seul mouvement (Montello, 2017). Outre la locomotion contrôlée, la navigation spatiale repose sur un ensemble de processus cognitifs (Montello, 2005, 2017; Wiener et al., 2009) réunis dans cette thèse sous l'appellation de « navigation dirigée ». Elle peut être définie comme l'ensemble des processus consistant à trouver et à suivre un chemin qui relie une origine à une destination (Golledge, 1992). Elle est considérée comme une résolution de problèmes spatiaux qui dépend de la construction de modèles mentaux. Ce sont des représentations internes de différentes échelles de l'environnement, depuis une perspective à la première personne, fondée sur les points de repère, jusqu'à une vue aérienne, « à vol d'oiseau » (Johnson-Laird, 1980; Siegel & White, 1975; Tolman, 1948). L'utilisation de ces représentations le long d'un itinéraire repose sur des fonctions mnésiques et exécutives, afin de retenir les informations spatiales et d'effectuer les actions adéquates qui dirigent le mouvement (Meneghetti et al., 2017; Vandenberg, 2016). La navigation dirigée implique quatre composantes cognitives principales (Vandenberg, 2016) : la prise de décision, l'orientation, l'intégration du trajet et la clôture du déplacement. La première étape, la prise de décision, implique que plusieurs facteurs aient été pris en compte, comme le choix du chemin adéquat entre l'origine et la destination du voyage (Gärling, Böök, et al., 1986; Golledge, 1995). La prise de décision a également lieu pendant le voyage : lors de la planification et du

¹ Une partie de cette étude a fait l'objet de la publication suivante : Delgrange, R., Burkhardt, J. M., & Gyselinck, V. (2020a). Difficulties and Problem-Solving Strategies in Wayfinding Among Adults With Cognitive Disabilities: A Look at the Bigger Picture. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00046>

déplacement d'un itinéraire, les personnes utilisent leurs représentations internes de l'environnement pour choisir et suivre automatiquement un chemin (Brunyé et al., 2010; Richter, 2007). Une deuxième ressource cognitive qui soutient l'utilisation de modèles mentaux pour trouver son chemin est l'orientation, la capacité à savoir où un individu se trouve dans l'environnement, par rapport à son entourage (Vandenberg, 2016). Un troisième processus concerne la mise à jour de l'orientation tout en se déplaçant dans l'environnement, le suivi du mouvement et l'acquisition continue d'informations spatiales pour maintenir la connaissance de sa position dans l'espace (Gärling, Böök, et al., 1986). Enfin, la dernière étape et quatrième composante est la clôture du déplacement (Vandenberg, 2016), c'est-à-dire le fait de réaliser que l'on a atteint la destination prévue.

Compte tenu du rôle central de la cognition dans la navigation dirigée, toute condition qui affecte les représentations spatiales internes ou les processus cognitifs peut entraîner des difficultés à trouver son chemin (Postma & van der Ham, 2016a). Ainsi, selon le degré de difficulté d'un environnement (par exemple, bruyant ou sombre), l'état de santé actuel d'une personne, son niveau de fatigue ou de stress, la navigation dirigée peut être rendue complexe pour tout individu (Arthur & Passini, 2002). Cela est encore plus vrai dans le cas d'un handicap cognitif permanent résultant par exemple d'AVC ou de lésions cérébrales.

1.2. Navigation dirigée chez les personnes ayant un handicap cognitif

Depuis longtemps, la neuropsychologie a documenté des difficultés dans les représentations spatiales résultant d'un handicap cognitif. Ces études mettent en évidence les incapacités ainsi que leurs substrats neuroanatomiques, et distinguent plusieurs types de désorientations (voir Chapitre 3 ; pour des revues, voir Aguirre and D'Esposito, 1999; Claessen & van der Ham, 2017). Des études en psychologie cognitive ont également souligné l'importance de la mémoire de travail dans les représentations spatiales en utilisant des paradigmes de tâche interférente (Gyselinck et al., 2009) et ont montré comment le vieillissement cognitif pouvait altérer ces processus (Meneghetti et al., 2012).

Quelques études ont recueilli des preuves de difficultés spécifiques de navigation dirigée chez les personnes porteuses de handicap cognitif, sur la base d'entretiens et de protocoles expérimentaux. Les résultats montrent que les personnes atteintes de handicap cognitif semblent ne pas être capables de relier points de repère et chemins dans une vue d'ensemble de leur environnement quotidien (Antonakos, 2004), et qu'elles font preuve de peu d'indépendance lorsqu'elles sont confrontées à une situation complexe (Lemoncello et al., 2010b). En particulier, en observant des situations de résolution de problèmes, Lemoncello et al. (2010) ont montré que les personnes sans handicap cognitif résolvent la plupart du temps

des situations complexes de mobilité (par exemple, des instructions de déplacement imprécises) de manière indépendante, en devinant ou en marchant un peu plus loin pour chercher un point de repère. À l'inverse, les personnes porteuses de handicap cognitif demandent de l'aide à l'expérimentateur qui les accompagne, ou suggèrent des solutions potentielles qui sont jugées vagues par les expérimentateurs. Ces résultats semblent correspondre au mode de vie de ces personnes : sur la base d'entretiens de groupe, Sohlberg et al. (2005) ont montré qu'elles évitent d'aller dehors par peur de se perdre, se limitant principalement à des sorties de routine.

Jusqu'à présent, les caractéristiques des difficultés rencontrées par les personnes atteintes de handicap cognitif lorsqu'elles se déplacent à l'extérieur dans le contexte de leurs activités quotidiennes sont restées largement inexplorées (Meissonnier, 2016; Nakamura & Ooie, 2017; van der Ham & Claessen, 2016). Si le fait de « se perdre » semble être un facteur déterminant dans l'évitement des déplacements en ville (Sohlberg et al., 2005), on ne peut que conjecturer sur la nature de ce problème, ses causes et conséquences, et la spécificité que ces caractéristiques représentent pour la population cible par rapport au grand public. En outre, on ignore en grande partie les stratégies de résolution de problèmes que ces personnes mettent en œuvre dans leur vie quotidienne lorsqu'elles sont confrontées à des situations complexes, que celles-ci consistent à se perdre ou non. La rareté des données de recherche sur cette problématique semble être causée par une difficulté à recruter et à catégoriser les participants atteints de handicap cognitif, des limites directement abordées par la plupart des auteurs sur le sujet (Cho et al., 2017; Dawson & Chipman, 1995; Lloyd et al., 2009; Sohlberg et al., 2005, 2007).

1.3. Objectifs de l'étude

La présente étude vise à explorer des situations de mobilité représentatives des difficultés du quotidien afin de comprendre les effets qu'un handicap cognitif peut avoir sur toutes les composantes impliquées dans l'accomplissement d'un itinéraire. Ceci implique non seulement de prendre la bonne décision à une intersection, mais aussi de faire face à un retard de transport inattendu, de coexister avec les autres usagers ou simplement de reconnaître un bâtiment comme étant la destination du voyage (Vandenberg, 2016). Nous avons donc recueilli l'expérience d'événements complexes de navigation dirigée chez des personnes avec et sans handicap cognitif. En particulier, nous avons exploré les stratégies de résolution de problèmes utilisées lorsqu'un événement complexe ou inattendu se produit, en comparant ces résultats à ceux d'un groupe contrôle. Nos résultats pourraient clarifier les caractéristiques des

situations de navigation dirigée de la vie de tous les jours vécues comme complexes par les personnes porteuses de handicap cognitif.

Il est à noter que la difficulté pour les personnes ayant un handicap cognitif de se souvenir et d'exprimer des expériences et des sentiments spécifiques (Paterson & Scott-Findlay, 2002) empêche généralement le recours à des entretiens semi-dirigés. Néanmoins, les avantages documentés, tels que l'évitement des biais et la facilitation de la participation des usagers, ont conduit certains chercheurs à préconiser de telles investigations, à condition que certaines précautions soient prises (Cambridge & Forrester-Jones, 2003; Gilbert, 2004; Heal & Sigelman, 1995). En outre, les résultats d'enquêtes sur des activités extérieures ont montré que les entretiens avec les proches de ces personnes ne sont pas suffisamment fiables, ce qui suggère que la population cible elle-même devrait être incluse dans ces investigations (Cusick et al., 2000).

Ainsi, pour répondre à nos questions de recherche, des entretiens individuels semi-dirigés ont été menés utilisant la « technique des incidents critiques » (Flanagan, 1954) afin d'explorer étape par étape des expériences détaillées de la vie quotidienne. Cette technique permet de mettre rapidement en évidence les aspects problématiques de situations complexes et offre un moyen d'explorer des activités qui seraient autrement difficiles à observer dans un contexte de laboratoire. Initialement développée pour recueillir des données avec des experts afin d'identifier les compétences critiques pour une tâche professionnelle, le but de la technique est d'éviter la collecte de pensées générales et de stéréotypes sur un thème, pour favoriser les récits de situations vécues spécifiques, reconnues par les participants comme étant significatives pour le thème étudié. Les caractéristiques de la technique des incidents critiques la rendent particulièrement pertinente pour l'étude de situations complexes telles que les déplacements en ville, et pour la mobilité urbaine en général (Corneloup & Burkhardt, 2016; Grison et al., 2016).

À notre connaissance, il s'agit de la première étude sur la navigation dirigée à utiliser la technique des incidents critiques avec des personnes atteintes de handicap cognitif. Nous avons donc adopté une perspective exploratoire. Nous avons pris en compte toutes les situations potentiellement complexes dont les participants se souvenaient, qu'il s'agisse de l'action de se perdre ou d'un voyage désagréable dans un métro comble. L'objectif était de déterminer les profils les plus fréquents de situations complexes, et s'ils étaient associés à un groupe de participants ou non.

2. Méthode

2.1. Participants et recrutement

Deux groupes de participants ont été recrutés. Le groupe expérimental a été constitué sur la base des critères d'inclusion suivants : avoir au moins 18 ans au moment de l'entretien (majorité légale française), présenter un handicap cognitif reconnu par la loi et être capable de voyager seul en ville. Les participants devaient être stabilisés et vivre de façon autonome. Un critère d'exclusion était l'existence de handicap affectant les fonctions visuelles ou motrices, créant ainsi des difficultés de mobilité difficilement dissociables des incapacités cognitives. Quarante-sept volontaires atteints d'un handicap cognitif et répondant à nos critères d'inclusion ont accepté de participer à cette étude. Quarante-trois d'entre eux provenaient de quatre institutions partenaires : dix participants provenaient de services de soins à domicile et de services d'accompagnements médico-sociaux pour adultes handicapés (SAMSAH), et 33 étaient des travailleurs d'établissements et services d'aide par le travail pour adultes handicapés (ESAT). Un participant provenait du réseau indirect de l'investigateur principal. Les participants des institutions ont été initialement identifiés et invités par les professionnels à se porter volontaires pour l'étude. Il leur a été indiqué que tout participant répondant strictement aux critères d'inclusion pouvait se porter volontaire, qu'il ait déjà exprimé une plainte concernant la mobilité ou non. À l'exception de l'aphasie, qui empêcherait la tenue d'un entretien, aucun critère de sélection supplémentaire n'a été appliqué par les professionnels. Les volontaires ont ensuite été contactés directement par l'expérimentateur pour un rendez-vous à leur domicile ou au sein de l'institution lorsque cela était possible. Trois participants du groupe expérimental ont été exclus après avoir exprimé des difficultés à comprendre les questions pendant l'entretien, amenant l'investigateur à interrompre la passation.

Le groupe témoin a été constitué sur la base des critères d'inclusion suivants : être âgé d'au moins 18 ans au moment de l'étude, ne pas présenter de déficience cognitive et ne pas utiliser quotidiennement une voiture en tant que conducteur. Ce dernier critère a été appliqué car aucun participant du groupe expérimental n'a déclaré conduire. En outre, les institutions partenaires du groupe expérimental étaient situées à la périphérie des villes, et les participants eux-mêmes vivaient souvent en banlieue. Par conséquent, les participants contrôles ont été recrutés dans des entreprises basées en dehors des centres-villes et utilisant différents types de transport (principalement trains et bus) chaque jour, afin de correspondre au contexte environnemental du groupe expérimental.

2.2. Caractéristiques de l'échantillon

Le groupe expérimental comprend 44 participants (28 hommes, 16 femmes). L'âge moyen est de 38,9 ans (Min = 21, Max = 81, SD = 13,5). Parmi eux, cinq participants souffraient de séquelles d'AVC (dont deux avaient eu deux AVC), neuf d'un traumatisme crânien, un d'une lésion cérébrale après ablation chirurgicale d'une tumeur, deux étaient épileptiques, quatre avaient des troubles cognitifs du développement et 23 souffraient de troubles cognitifs d'étiologies non précisées.

Si le handicap cognitif, tout comme le handicap moteur ou visuel, peut se référer à une grande variété de difficultés, celui-ci ne peut être « standardisé » par le biais d'un dispositif (par exemple, un fauteuil roulant, des béquilles) ou par l'existence d'un handicap fonctionnel (par exemple, la cécité). Comme le montre la littérature neurologique, il existe potentiellement autant de formes du handicap cognitif que de lésions possibles. Plus de la moitié des participants à notre étude ont un handicap cognitif d'étiologie non spécifiée, ce qui suggère une hétérogénéité de la pathogenèse. Ayant choisi de nous concentrer sur des événements complexes de la vie réelle, nous avons sélectionné des personnes qui voyagent de manière autonome pour leurs activités quotidiennes. Par conséquent, nos participants ne relèvent pas d'une prise en charge médicale. En outre, la plupart d'entre eux n'a pas accès à des informations détaillées concernant leurs spécificités neuropsychologiques et médicales. Nous avons donc utilisé les deux critères d'inclusion suivants : la stabilité du handicap, et la reconnaissance légale du handicap cognitif selon la « Loi Handicap » de 2005. La procédure de reconnaissance consiste en des examens médicaux successifs. Toutes les institutions partenaires ne prennent en charge que les personnes ayant strictement respecté cette procédure.

Le groupe contrôle comprend 22 participants (8 hommes, 14 femmes) répondant aux critères définis et qui se sont portés volontaires pour participer, avec un âge moyen de 37,5 ans (Min = 21, Max = 61, SD = 14,4).

2.3. Procédure

L'expérimentateur présentait initialement l'étude au participant, conformément au contenu de la lettre d'information. Lorsque toutes les questions du participant avaient été traitées, il lui était demandé de signer le formulaire de consentement. Pour les participants contactés par téléphone, un premier appel a été effectué pour présenter l'étude ; la lettre d'information et le formulaire de consentement ont ensuite été envoyés par courrier. Une fois le formulaire de consentement lu et signé, l'appel pour l'entretien a été effectué.

2.3.1. Entretiens semi-dirigés selon la technique des incidents critiques

Au début de l'entretien, une question ouverte était posée sur le comportement du participant en matière de déplacements pour l'inviter à résumer ses trajets quotidiens, à se rappeler les modes de transport utilisés et les durées habituelles de ces trajets. Cette question ouverte servait à « briser la glace » en début de l'échange et à confirmer à l'investigateur que le critère du déplacement autonome était bien respecté.

L'entretien semi-dirigé était basé sur la technique des incidents critiques (Flanagan, 1954) (voir Annexe 1). Un « incident critique » est une situation spécifique dans le temps et géographiquement localisée, résultant en une expérience satisfaisante ou insatisfaisante pour le participant. La technique des incidents critiques consiste en un rappel de ces événements, guidé pas-à-pas par l'investigateur. Chaque entretien a été enregistré par un enregistreur de dictée, puis transcrit. La direction de l'entretien a conduit les participants à décrire chaque étape de la situation complexe à partir de la proposition générale suivante : « *Pensez à un moment précis que vous avez vécu comme complexe lorsque vous vous êtes déplacé dans la ville au cours des derniers mois. Ce peut être un moment qui a été soit agréable soit désagréable à la fin* ». Les questions posées par l'expérimentateur pour guider l'orientation de l'entretien ont porté successivement sur le déroulement de l'évènement, sur les sentiments éprouvés par le participant, sur les réactions et les stratégies du participant, et sur la question de savoir si le participant avait tiré des enseignements de la situation (en utilisant la question « *Si vous étiez dans la même situation aujourd'hui, feriez-vous la même chose ?* »).

Lorsqu'une description était incomplète, l'investigateur demandait au participant de développer en utilisant des techniques d'entretien (par exemple, résumés, répétitions de mots-clés, pauses, hochements de tête). Pour compléter une description, l'investigateur demandait également au participant s'il jugeait la situation dans son ensemble de manière positive ou négative. Lorsque la description d'une situation était terminée, l'expérimentateur demandait si le participant pouvait penser à une autre situation complexe, en réitérant la proposition générale initiale. Ensuite, un deuxième évènement a été détaillé de la même manière. Lorsque le participant déclarait qu'il ne se souvenait d'aucun autre évènement complexe, l'enquêteur résumait toutes les situations qui avaient été décrites précédemment par le participant afin de s'assurer qu'il n'avait rien oublié. L'entretien se terminait lorsque le participant déclarait qu'il ne se souvenait plus d'aucun autre évènement complexe. La durée moyenne de l'entretien était d'environ 20 minutes (Min = 3, Max = 58, SD = 10).

2.3.2. Questionnaires

Deux questions sur l'âge et le genre du participant étaient posées. Lorsqu'un participant du groupe expérimental était disposé et capable de définir son handicap, l'expérimentateur lui posait une question sur son étiologie (par exemple, AVC, blessure à la tête).

Ensuite, un questionnaire en 16 points sur l'orientation générale et les capacités spatiales était ensuite complété (Pazzaglia et al., 2000) (voir Annexe 2). Ce questionnaire permet de calculer six scores principaux : « orientation spatiale générale », « connaissance et utilisation des points cardinaux », « score de représentation survol », « score de représentation de chemins », « score de représentation des points de repère » et « préférence pour la représentation survol par rapport aux autres ». La procédure pour remplir ce questionnaire était la même pour les deux groupes. Les questions étaient formulées oralement par l'expérimentateur, qui notait les réponses des participants sur les échelles. Comme le questionnaire n'avait pas été préalablement testé et adapté aux personnes atteintes de handicap cognitif, lorsqu'un participant du groupe expérimental exprimait une incompréhension de certains éléments, les questions étaient illustrées ou reformulées avec des synonymes afin d'être comprises par les participants. L'objectif de ces reformulations était de rester aussi proche que possible de la question initiale, tout en s'adaptant au handicap spécifique du groupe expérimental. La durée moyenne de complétion de ce questionnaire était d'environ 15 minutes.

2.4. Analyses

2.4.1. Données recueillies

Les entretiens du groupe expérimental ont eu lieu entre juillet et novembre 2017. Neuf participants ont été rencontrés à leur domicile, 37 ont été rencontrés au sein des institutions partenaires, et un participant recruté par le réseau indirect de l'investigateur principal a été contacté par téléphone. Les entretiens du groupe contrôle ont eu lieu entre avril et juin 2018. Vingt-deux participants ont été rencontrés soit à leur bureau, soit à leur domicile, soit par téléphone selon leur disponibilité.

Les enregistrements sonores des 66 entretiens semi-structurés ont été entièrement transcrits. Deux cent dix-huit incidents critiques ont été extraits des verbatim, dont 126 provenaient du groupe expérimental (2,9 incidents par personne en moyenne) et 92 du groupe de contrôle (4,2 incidents par personne en moyenne). Les situations jugées globalement positives (telles qu'une expérience jugée satisfaisante, ou un gain de temps) ont représenté

19,9 % des cas dans le groupe de contrôle et 5,6 % des cas dans le groupe expérimental. Il convient de noter que les situations déclenchant des émotions positives et les situations globalement positives ne correspondent pas de manière systématique, car les situations qui ont initialement provoqué des émotions négatives pouvaient au final être jugées agréables dans leur ensemble par les participants.

Parmi les 44 questionnaires sur l'orientation et les représentations spatiales internes des participants à l'expérience, trois contenaient des non-réponses. Par conséquent, ces trois questionnaires ont été exclus de cette analyse. Les 22 questionnaires du groupe de contrôle ont tous été entièrement complétés.

2.4.2. *Codage des données*

Une première grille de codage a été complétée au fur et à mesure de l'analyse des verbatim. Chaque élément mentionné par les participants constituait une variable au sein de cette grille (par exemple, cause de l'évènement, moment de la journée, type de destination). Cette première grille exhaustive a ensuite été réduite afin de produire une grille de codage à six variables, distinguant les dimensions les plus représentatives de l'enchaînement, des facteurs et des conséquences des situations complexes vécues par les participants. Ces six variables sont les suivantes : cause, type, conséquence, émotion, stratégie de résolution de problème et apprentissage tiré de la situation. La première étape du codage des incidents critiques selon cette nouvelle grille à six variables visait à rester aussi proche que possible du récit du participant. Chaque extrait de verbatim était rapporté dans la grille de codage littéralement. Les six variables de cette première étape comprenaient entre 16 et 48 modalités.

Dans une deuxième étape, les modalités spécifiques recueillies (par exemple « l'évènement s'est produit à cause de l'heure de pointe », « l'évènement a été causé par la foule ») ont été combinées en modalités plus larges (par exemple « l'évènement a été causé par une difficulté environnementale ponctuelle ») afin de permettre l'analyse. Finalement, les six variables comprenaient de 7 à 12 modalités détaillées dans le Tableau 1. Un exemple d'incident critique codé selon cette grille est illustré en Figure 8. Toutes les variables (sauf « conséquence ») comprennent une modalité appelée « autre », comprenant des situations uniques qui ne correspondent à aucune autre modalité.

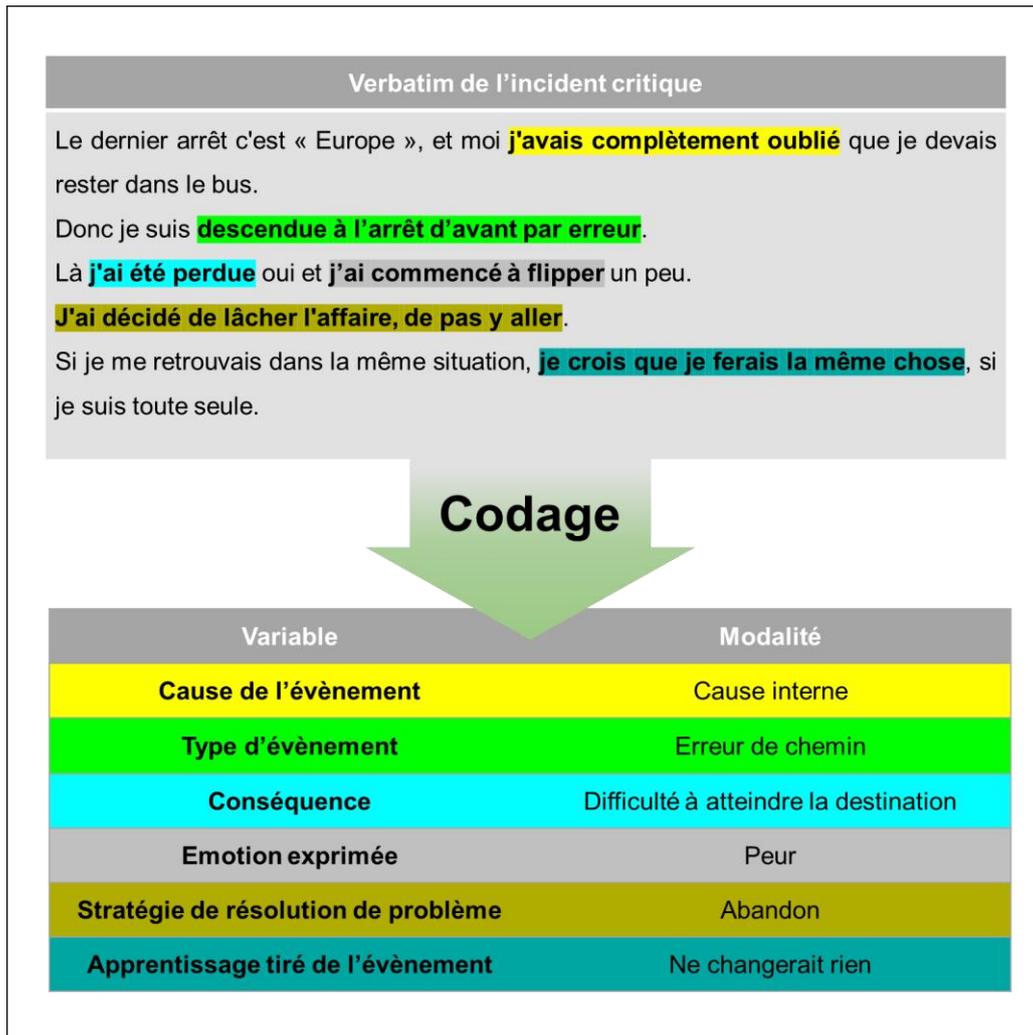


Figure 8 : Exemple de verbatim d'un incident critique codé selon ses six variables constitutives. Pour plus de clarté, seuls les propos du participant sont rapportés, les relances et questions de l'expérimentateur ne sont pas présentées sur cette illustration.

Parmi les variables, certaines n'ont pas pu être codées pour une partie des incidents critiques, ce qui a entraîné 14,9% de données manquantes pour l'ensemble des modalités.

2.4.3. Analyses statistiques

2.4.3.1. Analyses univariées

Pour chaque modalité des six variables, le nombre d'occurrences a été compilé dans des tableaux de contingence, détaillés dans le Tableau 1. Ces fréquences ont été comparées entre les deux groupes en utilisant le test exact de Fisher bilatéral, car certaines fréquences étaient inférieures à cinq. La correction de Benjamini-Hochberg pour les comparaisons multiples a été appliquée à toutes les données avec un taux de fausse découverte de .05

(Benjamini & Hochberg, 1995). Un effet du genre des participants a également été contrôlé pour chaque variable, et n'est pas observé quelle que soit la variable.

Variable	Nombre de modalités	Modalités	Exemples des verbatim	Nombres d'incidents		Total
				Groupe expérimental	Groupe contrôle	
Cause de l'évènement	9	Cause interne	« J'avais oublié qu'il y avait une déviation »	11	5	16
		Choix d'un chemin inhabituel	« Je me suis dit pourquoi ne pas prendre cette route aujourd'hui »	1	3	4
		Conflit interindividuel initial	« Je me suis disputé avec mon ami, ça m'a stressé sur le retour »	4	1	5
		Difficulté ponctuelle liée à l'environnement	« Il neigeait »	20	21	41
		Lisibilité de l'environnement	« Le panneau était caché, en l'air »	14	10	24
		Non reconnaissance de l'environnement	« L'endroit n'était pas comme je l'avais imaginé »	21	9	30
		Requête d'information initiale	« On nous a donné un mauvais conseil »	4	0	4
		Réseau de transport	« Il y avait une grève »	16	19	35
		Cause interne	« J'avais oublié qu'il y avait une déviation »	11	5	16
Total				96	70	166
Type d'évènement	12	Conflit interindividuel	« Il y avait des gens ivres dans la station »	9	1	10
		Erreur d'une tierce personne	« Le chauffeur ne connaissait pas la route »	1	5	6
		Erreur de chemin	« J'ai pris le bus dans la direction opposée »	18	11	29
		Inconfort physique ou émotionnel	« Il faisait trop chaud dans le train »	6	5	11
		Interruption du réseau de transport	« Le métro ne fonctionnait plus »	25	31	56
		Manquement du transport	« J'ai manqué le dernier métro »	4	2	6
		Obstacle sur le trajet	« La sortie qu'on voulait prendre était fermée »	3	8	11
		Progression dans un itinéraire non désiré ou inhabituel	« J'ai dû changer et prendre une autre ligne de métro »	2	8	10
		Se perdre	« Je n'arrivais pas à trouver la rue »	40	14	54
		Situation dangereuse	« J'ai glissé sur une plaque d'égout »	5	0	5
		Transport différé	« Le bus était en retard »	5	1	6
		Autre	« Mon ami m'a déposé à la station »	8	6	14
Total				126	92	218
Conséquence	9	Attente	« On a attendu trois quarts d'heure »	6	4	10
		Conséquence d'inconfort physique ou émotionnel	« Ça n'en finissait plus, je n'en pouvais plus »	14	11	25
		Conséquence de situation dangereuse	« Je me suis blessée le genou »	5	0	5
		Détour	« J'ai dû aller jusqu'au terminus puis revenir »	18	11	29
		Difficulté à atteindre la destination	« Je ne trouvais pas du tout l'endroit, je tournais en rond »	61	38	99
		Exploration	« J'ai découvert un quartier sympa que je n'aurais pas vu autrement »	1	6	7

		Manquement du transport souhaité	« Je suis arrivé trop tard à l'arrêt de bus »	1	2	3
		Retard	« Je suis arrivée en retard pour mon cours de musique »	3	0	3
		Simplification	« J'ai gagné 15 minutes grâce à mes amis »	6	3	9
Total				115	75	190
Emotion exprimée	7	Colère	« C'était très énervant »	26	25	51
		Joie	« J'étais très content »	0	9	9
		Neutre	« Je me sentais normale, je n'étais pas stressée »	13	12	25
		Peur	« J'étais complètement en panique »	23	9	32
		Stress	« C'était stressant »	14	20	34
		Tristesse	« J'étais triste »	8	4	12
		Autre émotion négative	« J'avais honte »	13	9	22
Total				97	88	185
Stratégie de résolution de problème	9	Abandon	« Je me suis dit tant pis j'en ai marre, et je suis rentré chez moi »	3	1	4
		Aucune	« J'ai attendu jusqu'à ce que la panne de transport soit réglée »	24	16	40
		Bascule vers itinéraire alternatif	« Finalement je suis descendu du train plus tôt et j'ai marché »	14	23	37
		Demande d'assistance	« J'ai appelé pour qu'ils viennent me chercher »	16	3	19
		Demande de renseignements	« J'ai demandé à des étudiants sur la route »	31	14	45
		Planification	« J'ai utilisé mon application pour savoir quoi faire »	5	7	12
		Recherche d'un point de repère	« J'ai regardé en l'air pour trouver le clocher de l'église »	8	4	12
		Retourner sur ses pas	« J'ai rebroussé chemin pour trouver la rue »	9	6	15
		Autre	« J'ai essayé de rester immobile pour supporter la chaleur »	5	6	11
Total				115	80	195
Apprentissage tiré de l'évènement	9	Abandonnerait	« Je n'essaierais plus de me rendre là-bas »	5	0	5
		Demanderait un renseignement	« Je demanderais à un passant »	3	1	4
		Demanderait une assistance	« J'appellerais un taxi »	7	1	8
		Ne changerait rien	« Je ferais la même chose »	44	41	85
		Planifierait	« Je regarderais une carte »	9	21	30
		Prendrait un autre itinéraire	« Je prendrais plutôt le métro »	4	5	9
		Serait autonome	« Je ne demanderais pas d'aide et regarderai moi-même à l'écran »	3	1	4
		Serait plus attentif	« Je ferais plus attention »	5	0	5
				Autre	« Je ferais certainement autre chose »	7
Total				87	76	163

Tableau 1 : Variables et modalités déterminées d'après l'analyse des entretiens, avec exemples des verbatim, et vue d'ensemble des tableaux de contingence pour chaque variable. Chaque ligne du tableau indique une des six variables constitutives des situations complexe (par exemple, stratégie de résolution de problème), le nombre de modalités dans cette variable (par exemple, neuf), la liste des modalités correspondantes (par exemple, demande de renseignements) et les fréquences dans chacun des deux groupes (participants avec et sans handicap cognitif).

Pour chaque tableau de contingence, nous avons calculé le V^2 de Cramer, un estimateur de la magnitude de l'association entre deux variables catégorielles (Corroyer and Rouanet, 1994). Le V^2 de Cramer se situe entre 0 et 1. Nous avons considéré que l'association était forte lorsque le V^2 était supérieur à .16 et faible lorsque le V^2 était inférieur à .04 (Wolff and Corroyer, 2004). Nous avons donc analysé l'association entre chaque modalité du tableau de contingence lorsque le test de Fisher était significatif et que le V^2 était supérieur à .04.

Nous avons également mesuré les associations entre une modalité et un groupe de notre étude en calculant les écarts relatifs (« *relative deviations* », RD). Ces indicateurs sont déterminés sur la base d'une comparaison entre les fréquences observées et attendues (c'est-à-dire, celles qui auraient été obtenues s'il n'y avait pas d'association entre les deux variables) (Bernard, 2003). Il existe une attraction statistique entre deux modalités lorsque la valeur du RD est positive, et une répulsion statistique lorsqu'elle est négative. Par convention, seuls les RD dont la valeur absolue est supérieure à .25 sont retenus. Tous les RD calculés sont détaillés dans le Tableau 2. Lorsqu'une modalité s'est produite plus d'une fois mais moins de cinq fois au total dans les deux groupes, nous avons ignoré la force de l'association entre cette modalité et les groupes de participants.

Variable	Modalités	RD groupe expérimental	RD groupe contrôle
Cause de l'évènement			
Type d'évènement	Conflit interindividuel	.56	-.76
	Erreur d'une tierce personne	-.71	.97
	Erreur de chemin		
	Inconfort physique ou émotionnel		
	Interruption du réseau de transport		.31
	Manquement du transport		
	Obstacle sur le trajet	-.53	.72
	Progression dans un itinéraire non désiré ou inhabituel	-.65	.90
	Se perdre	.28	-.39
	Situation dangereuse	.73	-1,00
	Transport différé	.44	-.61
Autre			
Conséquence			
Emotion exprimée	Colère		
	Joie	-1,00	1,10
	Neutre		
	Peur	.37	-.41
	Stress		
	Tristesse	.27	-.30
	Emotion négative autre		
Stratégie de résolution de problème	Abandon		
	Aucune		
	Bascule vers un itinéraire alternatif	-.36	.52
	Demande d'assistance	.43	-.62
	Demande de renseignements		
	Planification	-.29	.42
	Recherche de point de repère		
	Retourner sur ses pas		
Autre		.33	
Apprentissage tiré de l'évènement	Abandonnerait	.87	-1,00
	Choisirait un itinéraire alternatif		
	Demanderait un renseignement		
	Demanderait une assistance	.64	-.73
	Ne changerait rien		
	Planifierait	-.44	.50
	Serait autonome		
	Serait plus attentif	.87	-1,00
	Autre		

Tableau 2 : Vue d'ensemble des écarts relatifs (RD) entre les groupes pour chaque modalité des six variables des incidents critiques. Les attractions statistiques sont inscrites en gras et les répulsions en texte normal. Les cases correspondant à des RD non significatifs sont laissées vides. Les cases correspondant à des variables ne présentant pas de différence significative entre les deux groupes sont barrées.

2.4.3.2. Analyse des correspondances multiples (ACM)

Une analyse des correspondances multiples (ACM) a été réalisée afin d'obtenir un profil des principaux types de situations complexes existants et du groupe le plus associé à chacun d'entre eux. Nous avons réalisé l'ACM conformément aux directives et aux recommandations fournies par Le Roux et Rouanet (2010). Cette analyse exploratoire détermine les associations les plus significatives entre les modalités pour toutes les variables sélectionnées en déterminant les axes factoriels qui contribuent à la variance globale.

Conformément à notre objectif d'explorer les relations entre les caractéristiques des situations complexes ainsi que la projection du facteur « groupe » sur celles-ci, nous avons fait intervenir toutes les variables décrivant les événements complexes en tant que variables actives, tandis que la variable « groupe » a été ajoutée en tant que variable supplémentaire. Contrairement aux variables actives, une variable supplémentaire ne contribue pas à la construction des axes.

Comme les émotions positives n'ont pas été mentionnées par le groupe expérimental, aucune correspondance n'a pu être observée entre les deux groupes pour cette émotion. Nous n'avons donc pas inclus la variable « émotion » dans cette analyse. De plus, comme les enseignements tirés de l'évènement consistaient en une réflexion après la situation plutôt qu'en une description factuelle de l'évènement lui-même, nous avons exclu cette variable de l'analyse. Nous avons donc effectué l'ACM sur quatre variables actives décrivant les caractéristiques des situations (cause, type, conséquence, stratégie de résolution de problèmes).

Parmi les 218 incidents déclarés par les participants, les incidents contenant des valeurs manquantes (N/A) dans les quatre variables actives sélectionnées ont été exclus, car une valeur manquante ne peut correspondre à aucune modalité. Les incidents contenant des modalités « autres » ont également été exclus, car cette modalité recouvre des modalités uniques hétérogènes plutôt qu'une modalité spécifique. Les incidents globalement positifs (correspondant par exemple à des expériences agréables ou à des situations permettant de gagner du temps) ont été exclus en raison de l'absence de stratégies de résolution de problèmes associées. Au final, l'ACM a été réalisée sur 106 incidents critiques (63 sur 126 dans le groupe expérimental, 43 sur 92 dans le groupe contrôle). Conformément aux exigences de cette analyse, les modalités précédemment déterminées pour chaque variable

ont été combinées afin de réduire le nombre de modalités par variable active. Ces modalités « plus larges » utilisées pour l'ACM sont détaillées dans le Tableau 3.

Variable	Modalité utilisée pour l'ACM	Modalités correspondantes combinées d'après les analyses univariées
Cause de l'évènement	Contextuelle	Choix d'un chemin inhabituel Conflit interindividuel initial Demande initiale de renseignements Difficulté ponctuelle liée à l'environnement
	Externe	Lisibilité de l'environnement Réseau de transport
	Interne	Cause interne Non reconnaissance de l'environnement
Type d'évènement	Erreur	Se perdre Erreur de chemin
	Obstruction	Erreur d'une tierce personne Obstacle sur le chemin
	Problème de transport	Interruption du réseau de transport Manquement du transport Transport différé
	Evènement déplaisant	Progression dans un itinéraire non désiré ou inhabituel Conflit interindividuel Situation dangereuse Inconfort physique ou émotionnel
Conséquence	Inconfort	Conséquence de situation dangereuse Conséquence d'inconfort physique ou émotionnel Attente
	Obstacle à l'atteinte de l'objectif	Difficulté à atteindre la destination Manquement du transport souhaité
	Contretemps	Retard Détour
Stratégie de résolution de problème	Action autonome	Bascule vers un itinéraire alternatif Retourner sur ses pas Recherche d'un point de repère Planification
	Passivité	Abandon Aucune
	Demande d'aide	Demande d'assistance Demande de renseignements

Tableau 3 : Modalités combinées obtenues d'après l'analyse des verbatim et utilisées pour l'analyse des correspondances multiples. Chaque ligne indique l'une des six variables constitutives d'un évènement complexe (par exemple, la stratégie de résolution de problème), la modalité utilisée pour l'ACM (par exemple, demande d'aide) et les modalités correspondantes utilisées lors des analyses univariées (par exemple, demande d'assistance et demande de renseignements).

La contribution d'une modalité à un axe factoriel détermine sa coordonnée sur cet axe, ce qui permet une représentation graphique de l'ACM. Les modalités qui apparaissent

fréquemment ensemble dans les récits des participants sont graphiquement proches les unes des autres.

L'interprétation d'un axe est permise en sélectionnant les catégories dont les contributions ont dépassé le « critère de base », qui est déterminé en divisant 100 par le nombre total de modalités actives incluses dans l'ACM. Comme le montre le Tableau 3, nous avons inclut les 13 modalités des incidents, par conséquent le critère de base que nous avons utilisé est égal à 7,69%.

3. Résultats

3.1. Rappels d'évènements et capacités spatiales

Le test de Mann-Whitney indique que le groupe témoin s'est souvenu de davantage d'évènements complexes (Mdn = 4) que le groupe expérimental (Mdn = 3) ($U = 247, p < .01$). Les évènements du groupe de contrôle sont également plus fréquemment jugés positifs que ceux du groupe expérimental lorsque l'on compare les deux groupes à l'aide d'un test d'indépendance Khi-deux ($\chi^2 (1) = 8,95, p < .01$). Sur 218 incidents critiques, 208 décrivent des situations où les personnes doivent se rendre à une destination spécifique, à un moment précis. Les 10 incidents restants décrivent des situations visant à connaître l'environnement ou à pratiquer une activité physique (promenade).

Des tests T ont été effectués sur les six scores fournis par le questionnaire sur les capacités spatiales, en appliquant une correction de comparaisons multiples Benjamini-Hochberg avec un seuil de .05 (Benjamini & Hochberg, 1995). Ces analyses n'ont indiqué aucune différence significative entre les deux groupes, sur aucun des six scores ($p > .05$).

3.2. Description pas-à-pas des situations complexes dans les deux groupes

3.2.1. *Différences inter-groupes entre les types d'évènements et stratégie de résolution de problèmes*

Les types d'évènements diffèrent significativement entre les deux groupes ($p < .001$). Comme une forte association entre les variables existe ($V^2 = .16$), les associations entre les modalités (RD) ont été analysées. Il y a quatre attractions et trois répulsions statistiques dans

le groupe expérimental. Par rapport au groupe de contrôle, les personnes atteintes de handicap cognitif rencontrent plus fréquemment des situations centrées sur le fait d'être perdues, en conflit avec une autre personne, dans une situation dangereuse ou dans une situation impliquant un problème d'horaire de transport (soit en avance, soit en retard). Moins fréquemment que le groupe contrôle, elles se retrouvent sur un itinéraire non souhaité ou inhabituel, subissent les conséquences d'une erreur commise par une autre personne ou rencontrent un obstacle sur leur itinéraire.

Les stratégies de résolution de problèmes mises en œuvre diffèrent significativement entre les deux groupes ($p < .05$). Comme une association modérément forte entre les variables existe ($V^2 = .09$), les associations entre les modalités (RD) ont été analysées. Il y a une attraction et deux répulsions statistiques pour le groupe expérimental. Par rapport au groupe témoin, les personnes atteintes de handicap cognitif choisissent plus souvent de demander l'aide d'une autre personne, comme un passant ou un proche. Moins fréquemment que le groupe contrôle, elles choisissent de changer leur itinéraire prévu pour un itinéraire alternatif, ou de s'arrêter pour planifier le reste de leur voyage. Une attraction statistique du groupe contrôle était en relation avec la modalité « autre ».

Les comparaisons des causes et des conséquences des situations entre les deux groupes ne révèlent aucune significativité statistique ($p > .05$). V^2 et RD ne sont donc pas présentés ici.

3.2.2. Différences inter-groupes entre les émotions et les apprentissages résultants des situations complexes

Les émotions générées par les événements diffèrent de manière significative entre les deux groupes ($p < .01$). L'association entre les variables étant modérément forte ($V^2 = .10$), les associations entre les modalités (RD) ont été analysées. Il y a deux attractions statistiques et une répulsion statistique pour le groupe expérimental. Par rapport au groupe témoin, les personnes atteintes de handicap cognitif éprouvent plus fréquemment des émotions de peur et de tristesse lorsqu'elles se trouvent dans une situation complexe ou inattendue. Moins fréquemment que le groupe contrôle, elles ressentent de la joie.

Une comparaison des apprentissages tirés des événements par les deux groupes indique une différence significative entre eux ($p < .01$). L'association entre les variables étant modérément forte ($V^2 = .13$), les associations entre les modalités (RD) ont été analysées. Il y a trois attractions statistiques et une répulsion statistique pour le groupe expérimental. Par rapport au groupe témoin, les personnes atteintes de handicap cognitif anticipent davantage

que si elles devaient se retrouver dans la même situation, elles demanderaient de l'aide, seraient plus attentives ou abandonneraient et ne tenteraient pas le voyage. Moins souvent que le groupe contrôle, elles anticipent une étape de planification pendant la situation complexe.

3.3. Analyse multivariée : les principaux profils de situations complexes

Sur la base de la diminution des valeurs propres de l'ACM, nous considérons les deux premiers axes factoriels pour notre analyse. Ils représentent 44,55% de la variance totale (les axes 1 et 2 représentant respectivement 27,34% et 17,21% de la variance totale). Les contributions de chaque modalité active sont détaillées dans le Tableau 4. Le poids des deux modalités et les coordonnées de la variable supplémentaire « groupe » sont présentés dans le Tableau 5. La représentation graphique de l'ACM est illustrée en Figure 9.

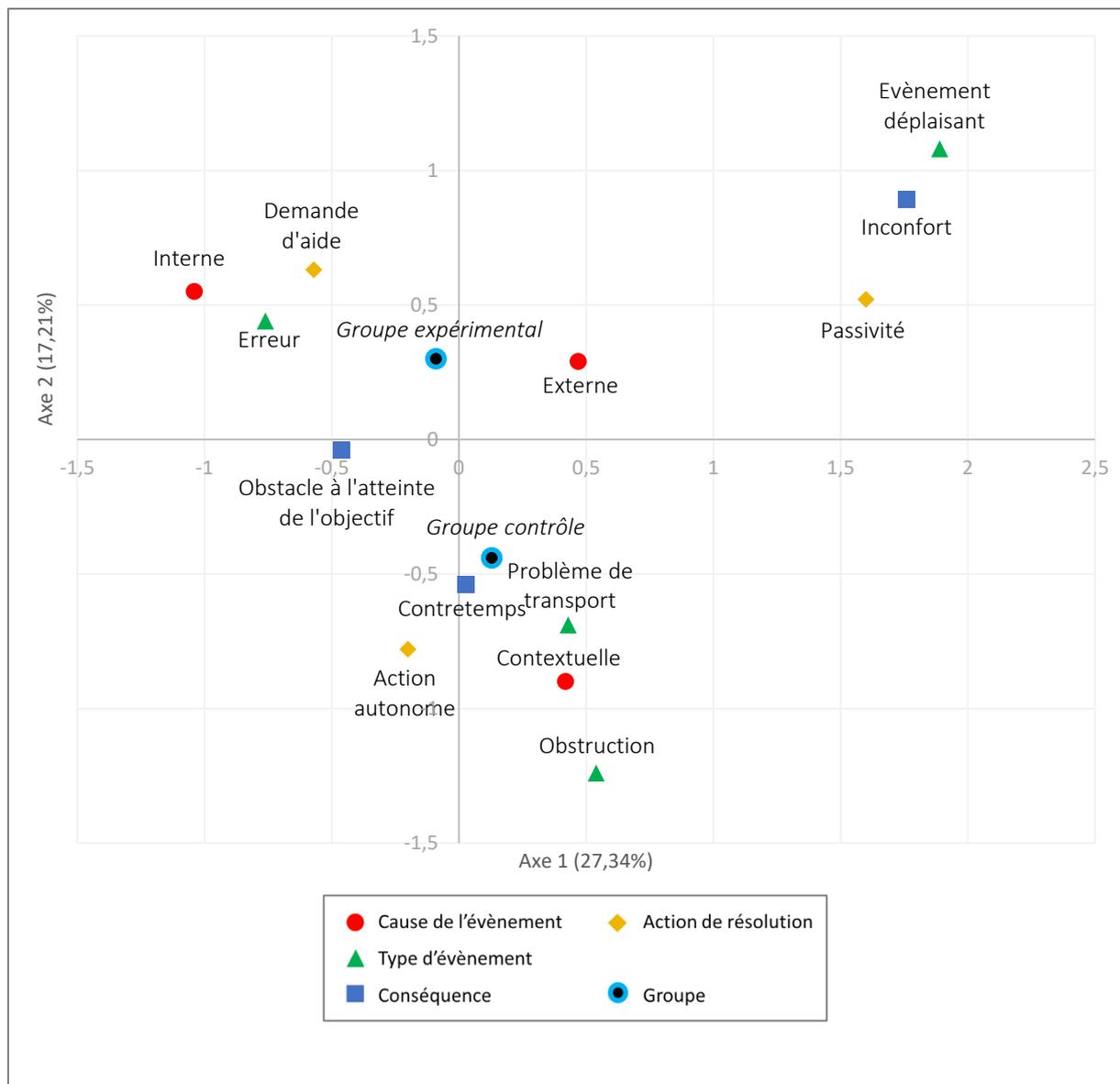


Figure 9 : Représentation graphique de l'analyse des correspondances multiples. Les coordonnées de chaque modalité sont déterminées par ses contributions aux deux axes. Les modalités qui apparaissent fréquemment ensemble dans les récits des participants sont graphiquement proches les unes des autres. La contribution de chaque axe à la variance totale est indiquée entre parenthèses. L'axe 1 (horizontal) oppose les évènements relatifs aux individus et les évènements qui surviennent dans des contextes et environnements spécifiques, indépendamment de l'individu. L'axe 2 (vertical) oppose principalement le groupe expérimental et le groupe contrôle, les évènements relatifs au groupe contrôle étant traités de manière plus autonome et les évènements relatifs au groupe expérimental dépendant davantage de l'aide d'une autre personne. La variable de groupe, en italique, est utilisée comme variable supplémentaire et ne contribue donc pas à la variance globale.

Variable	Modalité	Contribution à l'axe 1 (%)		Contribution à l'axe 2 (%)	
		Gauche	Droit	Haut	Bas
Cause	Contextuelle		2,24		16,15
	Externe		3,48	2,15	
	Interne	13,19		5,86	
Type	Erreur	11,68		6,23	
	Obstruction		1,21		10,38
	Problème de transport		2,24		9,07
	Evènement déplaisant		15,1	7,83	
Conséquence	Inconfort		20,17	8,25	
	Obstacle à l'atteinte de l'objectif	5,44			0,07
	Contretemps		0,01		4,04
Stratégie de résolution de problème	Action autonome	0,69			16,9
	Passivité		19,55	3,27	
	Demande d'aide	4,99		9,8	
Total			100%		100%

Tableau 4 : Contribution de chaque modalité de l'analyse des correspondances multiples à chaque axe. Les colonnes « gauche », « droit » ou « haut », « bas » renvoient aux coordonnées. Les contributions des modalités aux axes dont la valeur excède le critère de base utilisé pour l'interprétation (7,69%) sont inscrites en gras.

Modalité	Poids	Coordonnée sur l'axe 1	Coordonnée sur l'axe 2
Groupe contrôle	43	0,13	-0,44
Groupe expérimental	63	-0,09	0,30

Tableau 5 : Poids et coordonnées sur chaque axe de la variable supplémentaire « Groupe ».

Partant du critère de base (7,69 %) et de la contribution de chacune des modalités, nous avons utilisé cinq modalités pour l'interprétation de l'axe 1 (causes « internes », types « erreur » et « évènement désagréable », conséquence « inconfort » et stratégie de résolution de problèmes « passivité »). Sept modalités ont été utilisées pour l'interprétation de l'axe 2 (« cause contextuelle », « obstruction », « problème de transport » et « évènement désagréable », « inconfort », et les stratégies de résolution de problèmes « action autonome » et « demander de l'aide à quelqu'un »). L'axe 1 oppose les incidents critiques relatifs aux individus (« cause interne », « erreur ») et les incidents critiques qui surviennent indépendamment de l'individu (« évènement désagréable », « malaise »), laissant une marge de manœuvre limitée pour agir sur la situation (« passivité »). En revanche, l'axe 2 oppose les incidents critiques traités de manière autonome (« action autonome »), et les incidents critiques qui nécessitent une intervention externe (« demander de l'aide à quelqu'un »).

Pour analyser la variable de groupe supplémentaire, nous avons utilisé l'écart entre les coordonnées des catégories sur les axes. Un écart supérieur à .5 entre deux catégories est jugé notable (Le Roux & Rouanet, 2010). L'axe 1 n'oppose pas les deux groupes, car l'écart entre leurs coordonnées sur cet axe est de .22, comme indiqué dans le Tableau 5. L'axe 2 oppose cependant les deux groupes, car l'écart entre leurs coordonnées est de .74. Ainsi, le groupe expérimental et le groupe contrôle se distinguent principalement par la manière dont ils gèrent les situations complexes, soit en agissant de manière autonome (pour le groupe contrôle), soit en demandant de l'aide (pour le groupe expérimental).

Dans l'ensemble, l'ACM a permis de dégager trois profils principaux de situations complexes. Le premier profil que nous pouvons identifier est une situation complexe résultant d'une cause interne (par exemple, « je n'ai pas fait attention »), qui entraîne une erreur. Dans ces situations, la réalisation de l'objectif initial du voyage devient incertaine. Cette situation est principalement rencontrée par les personnes atteintes d'un handicap cognitif. Une deuxième situation concerne les problèmes contextuels, qui apparaissent en raison de circonstances particulières dues principalement à l'action d'autres personnes (par exemple, travaux publics, réseau de transport). Cette situation déclenche des actions autonomes de résolution de problèmes afin de la résoudre. Elle est principalement rencontrée par le groupe de contrôle. Enfin, un troisième type de situation est un événement désagréable, qui provoque un inconfort et laisse l'individu dans un état de passivité (par exemple, mauvais temps, transports bondés). Cette situation est rencontrée principalement par le groupe expérimental.

4. Discussion

Cette étude visait à produire une vue d'ensemble des difficultés rencontrées par les personnes atteintes de handicap cognitif dans les situations complexes qu'elles rencontrent dans leur vie quotidienne, lors de leurs déplacements en milieu urbain. Nous avons utilisé la technique des incidents critiques pour identifier les caractéristiques des situations complexes vécues par les personnes atteintes de handicap cognitif. Nous avons comparé ces caractéristiques à celles des situations rencontrées par des participants contrôles. Nous avons pris en compte la situation elle-même ainsi que les actions mises en œuvre pour résoudre une difficulté. Sur la base des entretiens semi-dirigés, nous avons pu diviser une situation complexe en différentes composantes, à la fois factuelles (cause, type d'évènement, conséquence et stratégie de résolution de problèmes) et relatives à une évaluation subjective faite par le participant (émotion déclenchée par l'évènement, apprentissages). Nous avons analysé les différences entre les deux groupes à travers ces caractéristiques et déterminé les profils de situations complexes les plus fréquemment rencontrés.

4.1. Des situations complexes différentes

Si les causes des événements rapportés présentent des similitudes entre les deux groupes, les types des situations rencontrées diffèrent entre les personnes atteintes de handicap cognitif et les participants contrôles. Les situations complexes rapportées par les participants contrôles sont pour la plupart liées à des événements extérieurs (itinéraire non souhaité, perturbation du réseau de transport, conséquences d'une erreur commise par une tierce personne ou rencontre d'un obstacle physique sur l'itinéraire). Inversement, s'ils mentionnent également des événements extérieurs, les participants atteints de handicap cognitif se décrivent le plus souvent comme les principaux protagonistes de la situation complexe. Plus fréquemment que le groupe contrôle, ils déclarent le fait d'être perdus et en conflit avec une autre personne comme étant représentatifs des événements complexes qu'ils ont vécus.

Dans notre étude, « être perdu » désigne une situation dans laquelle le participant déclare ne plus savoir où aller. Nous avons distingué cette situation d'autres événements tels que le fait de prendre la mauvaise direction ou de se trouver sur un chemin non désiré. Cette représentation de la situation d'être perdu fait donc écho aux résultats de l'étude menée par Sohlberg et al. (2005), qui montre que les personnes atteintes de handicap cognitif évitent de sortir par peur de se perdre. Nos résultats confirment que la situation d'égarement fait partie des situations complexes les plus fréquemment citées par les personnes atteintes de handicap cognitif. Ce constat est cohérent avec le résultat selon lequel les personnes atteintes de handicap cognitif apparaissent dans l'ensemble éviter de prendre un chemin non désiré, qui est d'ailleurs l'un des événements les moins fréquemment mentionnés dans le groupe expérimental.

Un autre événement complexe fréquemment cité dans le groupe expérimental, mais pas dans le groupe de contrôle, est la survenue d'un conflit avec un autre individu. Ces conflits peuvent donc être considérés comme une spécificité du groupe expérimental, et être liés au handicap lui-même. Comme l'ont mentionné de nombreux professionnels des structures partenaires, ainsi que les participants eux-mêmes, la difficulté du handicap cognitif réside dans son absence de visibilité extérieure. Par conséquent, les autres usagers ainsi que les travailleurs du transport peuvent se comporter avec cette population de la même manière qu'avec d'autres personnes sans tenir compte de leur situation spécifique, ce qui peut provoquer des malentendus. En outre, il est bien documenté que les personnes atteintes de handicap cognitif ont tendance à éprouver des difficultés sociales et des troubles de l'humeur

(pour des revues, voir Morton & Wehman, 1995; Carson et al., 2000), ce qui pourrait également accroître le potentiel conflictuel d'une situation.

4.2. Des similarités inter-groupes suggérant des habitudes de déplacement différentes

Les conséquences des situations complexes ne diffèrent pas entre les deux groupes. Quel que soit le type d'évènement, les personnes avec et sans handicap cognitif doivent faire des détours, se retrouvent dans des situations inconfortables (physiquement ou émotionnellement) ou font face à de l'attente. Cela n'est pas surprenant, car dans notre échantillon de 218 incidents critiques, 208 concernent des situations où les personnes doivent se rendre à une destination spécifique, souvent à un moment précis. Uzan et Wagstaff (2018) ont proposé cinq motifs possibles d'un trajet urbain : l'activité physique, l'activité sociale (par exemple, se promener avec quelqu'un), l'exploration d'un environnement, un trajet régulier (par exemple, aller au travail), ou l'atteinte de lieux, objets ou personnes. Ces deux derniers motifs représentent plus de 95 % des situations complexes de notre échantillon. Il est à noter que toute conséquence d'un évènement complexe au cours de ce type de voyage peut donc perturber le voyageur dans son activité vers son but, quel que soit l'évènement. Ces conséquences sont donc liées au motif du déplacement : elles diffèreraient probablement pour les perturbations survenant au cours d'autres trajets, par exemple lors d'une activité physique à l'extérieur.

Cette observation suggère soit que les participants rencontrent rarement des difficultés lorsqu'ils sortent à l'extérieur pour d'autres raisons que celle d'atteindre une destination à temps, soit qu'ils sortent rarement pour les trois autres motifs. La réponse pourrait être la seconde pour le groupe expérimental : comme l'ont montré Sohlberg et al. (2005), les personnes atteintes de handicap cognitif évitent les activités extérieures. Il n'est donc pas surprenant qu'en dehors des déplacements obligatoires (par exemple, pour aller au travail ou à un rendez-vous), elles évitent de se promener ou de faire des activités physiques ou sociales à l'extérieur. Cet évitement peut expliquer la différence entre les deux groupes dans le nombre de situations complexes mentionnées : les participants ayant un handicap cognitif rapportent moins d'évènements que les participants contrôles. Cela pourrait être dû à la rareté de leurs déplacements à l'extérieur, générant moins d'évènements complexes. Cependant, une autre explication pourrait être que les participants ayant un handicap cognitif souffrent de difficultés mnésiques. Ce type de difficulté pourrait représenter une limite de notre étude.

4.3. A problèmes différents, solutions différentes

Les stratégies de résolution de problèmes mises en œuvre par les participants révèlent un potentiel d'amélioration intéressant, car elles suggèrent un degré d'autonomie moindre pour le groupe expérimental. Une distinction majeure réside dans l'indépendance de l'action entreprise : alors que les participants du groupe témoin modifient généralement leur itinéraire pour trouver une solution alternative ou planifient une solution (soit sur leur téléphone, soit sur une carte physique), la seule attraction statistique du groupe expérimental est dirigée vers la demande d'assistance à une autre personne. Ce résultat converge avec les conclusions de Lemoncello et al. (2010) qui ont mis en évidence l'utilisation de cette même stratégie de résolution de problèmes dans des situations où les personnes devaient suivre des instructions incomplètes à des intersections. La présente étude est la première à tenir compte de toutes les stratégies de résolution de problèmes rapportées par les personnes atteintes de handicap cognitif dans leur vie quotidienne. C'est également la première étude qui compare les stratégies des personnes atteintes de handicap cognitif avec les stratégies d'un groupe contrôle lorsqu'elles sont confrontées à des situations complexes. On peut conclure de cette comparaison que la demande d'assistance est la stratégie la plus fréquemment utilisée par les personnes atteintes de handicap cognitif. L'ACM renforce encore cette conclusion : en tenant compte de toutes les modalités des différentes variables, le groupe expérimental montre des liens statistiques avec la demande d'aide à une autre personne, surtout lorsque l'évènement est centré sur une erreur (ce qui, dans notre analyse, inclut se perdre et se tromper d'itinéraire). Toutefois, comme l'ont montré Lemoncello et al. (2010) et Sohlberg et al. (2007), les personnes atteintes de handicap cognitif ont tendance à être vagues ou inexactes dans leur demande d'aide, comme le jugent les expérimentateurs ainsi que les travailleurs du transport. Cette stratégie de résolution des problèmes semble donc manquer d'efficacité pour ce groupe.

Un autre résultat intéressant réside dans l'attraction statistique des participants contrôles vers les « autres » types de stratégies de résolution de problèmes. Parmi les variables, les modalités « autres » regroupent des événements ou des actions uniques qui ne peuvent être combinés avec aucune autre modalité. Les participants contrôles choisissent donc des solutions uniques et inclassables plus fréquemment que les personnes atteintes de handicap cognitif. L'attrait pour ces « autres » modalités dans les stratégies de résolution de problèmes pourrait être interprété comme une forme de flexibilité, caractérisée par une plus grande diversité dans les solutions mises en œuvre.

4.4. Des émotions négatives et le renforcement des stratégies éprouvées

Les émotions déclenchées par des événements complexes sont pour la plupart négatives pour les deux groupes. Cependant, la joie n'est mentionnée que dans le groupe contrôle. En comparaison, les participants atteints d'un handicap cognitif expriment surtout de la peur et de la tristesse. Ceci est conforme à ce qui a été observé pour les causes et les types d'évènements : les émotions négatives peuvent être liées à la difficulté d'évaluer l'origine de la situation complexe et d'en anticiper l'évolution. En outre, les personnes atteintes d'un handicap cognitif vivent moins de situations qu'elles jugent globalement positives, par rapport au groupe contrôle. Si cette évaluation de l'évènement fait l'objet d'une question distincte et n'est pas nécessairement liée à l'émotion réellement déclenchée lors de l'évènement, cette différence entre les participants est cohérente avec l'absence de joie observée dans le groupe expérimental. Ce constat est intéressant dans une perspective de navigation dirigée, car elle converge avec les travaux qui montrent que l'émotion structure les représentations spatiales (Ruotolo et al., 2019; Storbeck & Maswood, 2016). En particulier, il a été rapporté qu'être d'humeur positive et ressentir des émotions positives améliorent la mémoire de travail spatiale en favorisant une meilleure rétention des informations spatiales, par rapport à être d'humeur négative (Storbeck & Maswood, 2016). Il a également été montré que l'émotion affecte les représentations spatiales (e.g. Ruotolo et al., 2019). Dans leur étude, les participants qui voient des points de repère induisant des émotions positives en marchant le long d'un itinéraire virtuel sont capables de localiser ces points de repère plus précisément sur une carte par la suite, ainsi que de dessiner l'itinéraire emprunté, par rapport aux participants qui voient des points de repère induisant des émotions négatives. Ce type de résultats a conduit certains chercheurs à préconiser l'utilisation d'émotions positives pour améliorer les applications de navigation dirigée dans la vie quotidienne, par exemple en fournissant des instructions et des itinéraires basés sur des segments de rue préalablement évalués positivement par les utilisateurs pour permettre une navigation dirigée « émotionnelle » (Gartner, 2012; Huang et al., 2014). Nos résultats suggèrent que les personnes atteintes de handicap cognitif, qui ont tendance à éprouver des émotions principalement négatives lorsqu'elles sont confrontées à une situation inattendue, pourraient également bénéficier d'une telle aide à la navigation proposant des itinéraires induisant des émotions positives et améliorant ainsi la mémoire de travail spatiale.

Les apprentissages tirés des situations confirment ce qui est observé avec les stratégies de résolution de problèmes, car une différence apparaît entre les deux groupes. Les personnes atteintes de handicap cognitif mentionnent plus souvent que le groupe contrôle qu'elles demanderaient de l'aide, seraient plus attentives ou abandonneraient et ne tenteraient

pas de faire le voyage. Cela renforce la conclusion précédente selon laquelle la demande d'assistance semble être une stratégie systématique pour les personnes atteintes de handicap cognitif. Là encore, bien qu'elles mentionnent qu'elles privilégieraient cette action, elles ne peuvent pas planifier l'action en elle-même : elles ne savent pas à l'avance à quel moment de leur voyage ou pour quelle raison exacte elles auraient besoin d'une personne extérieure. Cela suggère que pour cette population, une aide à la navigation devrait être disponible à tout moment pour faire face à la perte de leur chemin à différents endroits.

La mise en avant de la notion d'être « plus attentif » est une constatation intéressante, car elle renforce également l'observation que des situations complexes peuvent naître d'une cause interne. En outre, cela est également conforme aux conclusions de Lemoncello et al. (2010) : ce changement anticipé semble être vague, car les participants ne peuvent pas savoir à l'avance ce à quoi il sera pertinent de prêter attention. Cela suggère également que les directions fournies par une aide à la navigation adaptée à cette population devraient lier les directions à des repères spatiaux spécifiques afin de faciliter la focalisation de l'attention sur les éléments qui sont pertinents pour le voyage.

L'abandon, qui est également fréquemment mentionné par les personnes atteintes de handicap cognitif, confirme encore la nécessité d'améliorer la mobilité de cette population. Ces personnes, qui évitent déjà la plupart des activités extérieures, envisagent de renoncer à des voyages difficiles, ce qui augmente leur difficulté d'accès aux loisirs et aux activités sociales.

4.5. Conclusion

Cette étude a examiné les difficultés spécifiques rencontrées par les personnes atteintes de handicap cognitif lors de leurs activités de navigation dirigée. Notre perspective était exploratoire. Nos résultats montrent que les personnes atteintes de handicap cognitif sont confrontées à des événements complexes spécifiques et en particulier qu'elles se perdent plus fréquemment. De plus, elles dépendent davantage de l'aide d'une autre personne.

Nos résultats nous permettent d'esquisser des recommandations pour une aide à la navigation. Nos résultats s'inscrivant dans le modèle cognitif de la navigation dirigée de Vandenberg (2016) à plusieurs niveaux, des suggestions plus spécifiques pour une aide à la navigation adaptée peuvent être proposées. Vandenberg (2016) détaille quatre composantes cognitives de la navigation dirigée : la prise de décision, l'orientation, l'intégration du trajet et la clôture du déplacement. Les analyses des entretiens mettent en évidence les relations entre ces quatre composantes et deux variables de situations complexes : le type d'événement et la stratégie de résolution de problèmes mise en œuvre par le participant.

L'évènement « se perdre » est parmi les plus fréquemment rencontrés par les personnes atteintes de handicap cognitif, et peut concerner l'orientation, l'intégration du trajet et la clôture du déplacement. On pourrait dire que cette situation d'égarement est déjà prise en compte par les aides à la navigation existantes. Cependant, pour résoudre ces situations complexes, la plupart des solutions existantes fournissent exclusivement des vues et des informations « à vol d'oiseau » (Siegel & White, 1975) qui ne répondent pas efficacement aux besoins humains car elles relèvent des niveaux les plus complexes de représentations spatiales (Golledge, 1991; Grison & Gyselinck, 2019). Ces solutions pourraient donc ne pas être suffisamment aidantes pour les personnes atteintes de handicap cognitif, car elles rencontrent des difficultés essentiellement basées sur l'orientation, l'intégration du trajet ou la clôture du déplacement lorsqu'elles se perdent. L'apport d'informations spatiales moins complexes, telles que celles basées sur des points de repère, pourrait donc être considéré comme plus adapté pour aider cette population. Par ailleurs, comme l'expression « se perdre » fait également référence à des situations où les individus ne reconnaissent pas leur destination, ce qui entrave la partie de « clôture » du déplacement, les analyses des entretiens suggèrent qu'une aide adaptée devrait également être en mesure de faciliter cette dernière étape du voyage en décrivant la destination, soit verbalement, soit en montrant une image, afin de la rendre reconnaissable par l'utilisateur.

La variable « stratégie de résolution de problèmes » peut être directement liée à la partie décisionnelle de la navigation dirigée. La constatation que la stratégie de résolution de problèmes la plus fréquemment utilisée par les personnes atteintes de handicap cognitif consiste à demander l'aide d'une autre personne laisse entrevoir une amélioration potentielle de ces aides à la navigation. Bien que les personnes atteintes de handicap cognitif demandent de l'aide à quelqu'un plus souvent qu'elles ne mettent en œuvre toute autre stratégie, et principalement lorsqu'elles se heurtent à un obstacle dans le déroulé de leur déplacement, il a été documenté que leurs demandes sont souvent vagues, rendant difficile pour l'aidant de comprendre le besoin et de fournir une aide suffisante (Lemoncello et al., 2010b; Sohlberg et al., 2007). Néanmoins, une explication possible de la fréquence élevée d'utilisation de cette stratégie malgré ses défauts réside dans le fait que lorsqu'on leur demande de décrire un itinéraire, la plupart des gens n'utilisent pas les informations « aériennes » telles que les aides ou les cartes actuelles : ils s'appuient sur des points de repère, qui sont considérés comme les éléments clés de la description d'un itinéraire (Denis, 1997). Plus précisément, les gens associent une action à un point de repère afin de donner des indications (Denis et al., 2007).

Ce niveau d'information spatiale basé sur des points de repère peut expliquer l'intérêt des personnes atteintes de handicap cognitif pour cette stratégie, également révélé par leur intention de demander à nouveau de l'aide à l'avenir, comme le montre l'analyse de la variable

« apprentissages tirés de l'évènement ». A nouveau, on pourrait dire que la plupart des aides à la navigation offrent déjà des fonctions vocales qui pourraient remplacer les informations fournies par un passant. Cependant, dans les systèmes actuels, le contenu des instructions vocales diffère de ce qu'une personne dirait réellement. Par conséquent, une aide à la navigation adaptée devrait viser à mieux correspondre aux indications qu'une personne réelle donnerait et fournir des instructions reliant un point de repère à l'action appropriée à réaliser. L'aide serait ainsi mieux adaptée aux besoins et aux stratégies de résolution de problèmes réels des personnes atteintes de handicap cognitif. Enfin, en plus des informations basées sur les points de repère, compte tenu de l'expérience subjective et des émotions négatives ressenties par les personnes atteintes de handicap cognitif, nos résultats sont favorables à l'utilisation de points de repère induisant des émotions positives dans les aides à la navigation adaptées, comme le recommandent plusieurs auteurs, pour favoriser une meilleure mémorisation des informations spatiales (Gartner, 2012; Huang et al., 2014; Ruotolo et al., 2019).

Cette étude suggère également des perspectives de recherche. L'analyse des réponses au questionnaire sur les capacités spatiales (Pazzaglia et al., 2000) n'indique aucune différence entre les groupes, ce qui suggère pour notre échantillon que les personnes atteintes ou non de handicap cognitif ont des capacités spatiales similaires. Pourtant, comme cela a été documenté, un handicap cognitif peut être lié à plusieurs déficiences dans les représentations spatiales et la navigation dirigée (Claessen & van der Ham, 2017; Lemoncello et al., 2010b). De plus, nos analyses des entretiens montrent que les personnes atteintes de handicap cognitif se perdent plus souvent que les contrôles. Cette absence de différence dans le questionnaire sur les capacités spatiales ne corrobore donc pas la littérature. Alors que la présente étude pourrait indiquer une inadéquation du questionnaire pour la population cible, ou une trop faible sensibilité du questionnaire pour détecter une différence entre les personnes atteintes de handicap cognitif et les contrôles, d'autres résultats suggèrent une image plus nuancée. Claessen et al. (2017) ont réalisé une étude sur les personnes atteintes de handicap cognitif résultant d'AVC. Parmi leurs 77 participants, seuls 33 (43%) ont effectivement mentionné des difficultés de navigation dirigée. De plus, parmi ces 33 personnes, sept n'ont pas montré d'incapacité dans les représentations spatiales internes par rapport à des contrôles sur des tests cognitifs. Ces données suggèrent que parmi la population cible, certaines personnes n'éprouvent pas de difficultés de navigation dirigée, et d'autres n'ont pas de difficultés dans les représentations spatiales internes. Il est important de souligner que ces sous-populations ne semblent pas se recouper entièrement. Par conséquent, nous ne pouvons pas exclure que les difficultés de navigation dirigée observées dans la présente étude ne se traduisent pas par des différences dans l'auto-évaluation des capacités spatiales

générales telles que mesurées par le questionnaire. Cela renforce la nécessité de compléter les mesures quantitatives par des investigations qualitatives, permettant une compréhension plus approfondie de toutes les dimensions impliquées dans les diverses situations de navigation dirigée rencontrées par les individus.

Chapitre 7 – Etude 2. Assister la navigation dirigée par l'utilisation des points de repère : évaluation d'un prototype en réalité virtuelle par simulation d'une incapacité cognitive^{2,3}

1. Introduction

1.1. Des besoins spécifiques liés au handicap cognitif

Compte tenu du rôle central de la cognition dans la navigation dirigée, des atteintes cognitives peuvent entraîner des difficultés dans le choix et le suivi d'un trajet entre un point de départ et une destination (Arthur & Passini, 2002; Postma & van der Ham, 2016b). Certaines études indiquent que les personnes ayant un handicap cognitif rencontrent des difficultés à construire des représentations survol (Antonakos, 2004), et qu'elles doivent plus fréquemment demander de l'aide à une personne extérieure lorsqu'elles rencontrent une situation complexe (Chapitre 6 ; Lemoncello et al., 2010b).

En particulier, comme le montre notre première étude, la demande d'une aide extérieure est la stratégie de résolution de problème la plus utilisée par les personnes avec un handicap cognitif lors de situations complexes de déplacement. Cette stratégie présente des limites : les demandes formulées par des personnes ayant un handicap cognitif sont jugées difficiles à satisfaire par l'entourage, principalement du fait de leur manque de précision (Lemoncello et al., 2010b; Sohlberg et al., 2007). En revanche, cette demande d'aide (par exemple, à un passant) permet de recueillir des informations adaptées à des individus ayant des difficultés dans les représentations spatiales. En effet, lorsque des passants décrivent un

² Une partie de cette étude a fait l'objet de la publication suivante : Delgrange, R., Burkhardt, J. M., & Gyselinck, V. (2020b). Exploring human behavior with *Grand Theft Auto V*: A study of assisted cognition in wayfinding. *International Journal of Virtual Reality*, 20(1), 33-47. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2020.20.1.3249>

³ Take-Two Interactive Software, Inc. est le propriétaire mondial de tous les droits de propriété intellectuelle de la série de jeux vidéo *Grand Theft Auto*, y compris, sans limitation, tous les droits d'auteur, marques commerciales et habillages commerciaux associés au jeu vidéo. L'utilisation de cette propriété intellectuelle dans le cadre de cette étude a été autorisée par Take-Two Interactive Software, Inc.

itinéraire en situation naturelle, ils fournissent spontanément des informations utilisant des points de repère associés à des actions à effectuer (Denis, 1997; Denis et al., 2007; Michon & Denis, 2001). Il est documenté que l'utilisation de points de repère dans les instructions de navigation facilite la navigation dirigée (Denis, 1997; Denis et al., 2007, 2014). Denis et al. (2007) ont ainsi préconisé l'utilisation de points de repère dans les aides à la navigation, car ils permettent d'éviter les erreurs et les hésitations.

Diverses aides à la navigation utilisant les nouvelles technologies (GPS, puis applications mobiles) ont été développées au cours des 40 dernières années. Ces outils visent à assister les personnes dans leur chemin vers une destination, qu'elles conduisent un véhicule ou se déplacent à pied. Cependant, comme déjà discuté dans le Chapitre 4, peu de ces solutions s'appuient sur les connaissances en sciences cognitives sur la navigation dirigée. En effet, la plupart des aides à la navigation actuelles reposent sur l'utilisation d'informations survol, et non de points de repère. Le contenu des informations communiquées diffère donc des informations recueillies auprès de passants.

Une aide à la navigation adaptée aux besoins et aux stratégies d'individus atteints de handicap cognitif devrait ainsi viser à mieux correspondre aux indications qu'une personne réelle donnerait. Ces instructions associeraient un point de repère et une action à réaliser. A ce jour, très peu de données empiriques apportent des preuves de l'efficacité potentielle d'une aide à la navigation basée sur les points de repère pour les personnes atteintes d'un handicap cognitif.

1.2. La « double tâche » pour étudier le handicap cognitif

Les études portant sur la navigation dirigée des individus ayant un handicap cognitif sont rares. Une des principales limites méthodologiques à leur mise en œuvre réside dans la difficulté à recruter et à catégoriser les participants (Cho et al., 2017; Dawson & Chipman, 1995; Lloyd et al., 2009; Sohlberg et al., 2005, 2007). L'hétérogénéité du handicap cognitif est documentée dans la littérature neuropsychologique (pour des revues, voir Aguirre and D'Esposito, 1999; Claessen & van der Ham, 2017). L'utilisation de protocoles en « double tâche » pourrait être un outil pertinent pour explorer l'effet d'une limitation de ressources cognitives sur des tâches de navigation dirigée auprès de participants sains. L'introduction d'une tâche « interférente » lors de la réalisation d'une tâche de navigation dirigée devrait en effet induire une incapacité pendant la durée de la tâche, en saturant les ressources cognitives des participants concernés (Leplat & Sperandio, 1967).

Méthodologiquement, la notion de « tâche » renvoie à un objectif de réalisation d'un comportement (Sakai, 2008). Une « double tâche » désigne ainsi une situation durant laquelle la réalisation successive des tâches n'est pas permise et que plusieurs processus cognitifs doivent s'effectuer simultanément (Koch et al., 2018). Dans le domaine expérimental, la méthode de la double tâche est fondée sur l'hypothèse que la capacité totale de traitement d'un individu est limitée, et que si les exigences cognitives d'une tâche dépassent cette limite de traitement, la tâche ne peut plus être effectuée normalement (Leplat & Sperandio, 1967). Une « tâche interférente » sollicite une partie des capacités de traitement de l'individu, et abaisse donc la limite au-delà de laquelle la « tâche principale » ne peut plus être effectuée correctement (Figure 10).

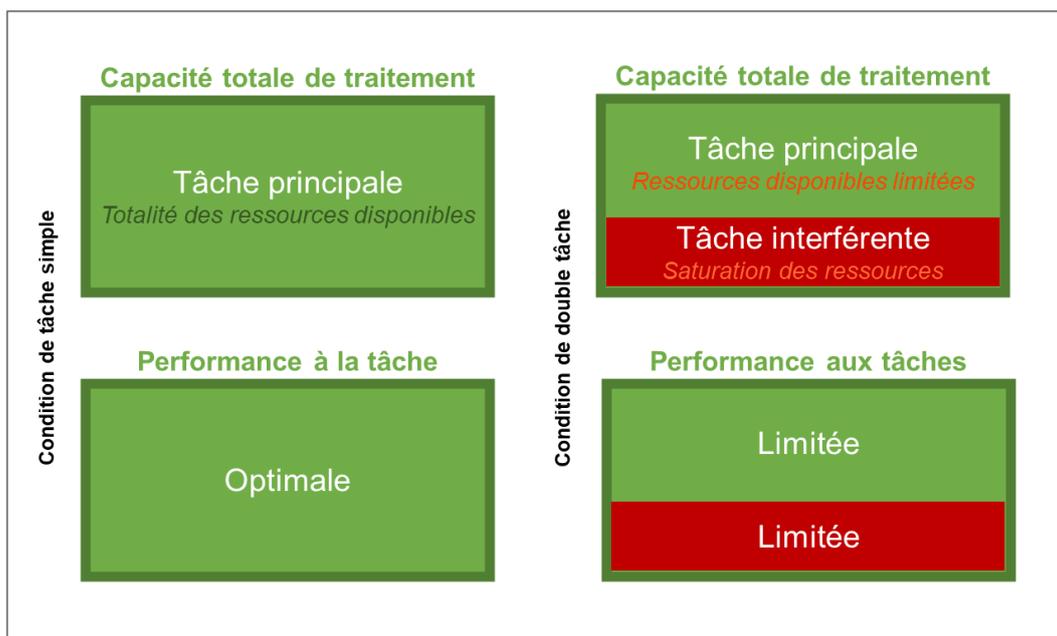


Figure 10 : Représentation schématique du fonctionnement du paradigme de double tâche. En condition de tâche simple, la totalité des ressources peut être allouée au traitement de la tâche à effectuer. Lors de l'ajout d'une tâche interférente, ces ressources n'augmentent pas et sont partagées entre cette tâche et la tâche principale. La performance de l'individu sur les deux tâches est alors limitée (Leplat & Sperandio, 1967).

L'approche d'un protocole en double tâche consiste ainsi à observer la réalisation d'une tâche seule, en comparaison de la réalisation de cette tâche simultanément à une autre (Pashler, 1993, 1994). Selon cet auteur, l'introduction d'une seconde tâche entraîne une situation excédant les ressources cognitives d'un individu, notamment sa mémoire de travail. Le coût de cette seconde tâche est alors désigné comme une « interférence » dans la réalisation de la tâche principale (Koch et al., 2018). La limitation des informations maintenues en mémoire de travail, induite par l'interférence, génère ainsi une baisse de la performance à cette tâche (Leplat & Sperandio, 1967; Norman & Bobrow, 1975; Pashler, 1994). De nombreuses études dans le champ de la cognition spatiale ont ainsi limité la mémoire de travail

afin d'identifier son rôle dans la réalisation de tâches spatiales (De Beni et al., 2005; Gyselinck et al., 2009; Hermer-Vazquez et al., 1999; Meilinger et al., 2008; Ratliff & Newcombe, 2008).

1.3. La réalité virtuelle pour explorer la navigation dirigée humaine

L'étude du comportement humain dans le monde réel a longtemps été confrontée à une limite méthodologique, principalement en raison de la complexité et de l'hétérogénéité des environnements réels, et du manque de contrôle sur celui-ci (Kimura et al., 2017). Afin de parvenir à des conditions expérimentales écologiques et contrôlables, les chercheurs ont dû rendre le laboratoire « vivant » (Gibson, 1979). Ce défi méthodologique a été de plus en plus surmonté au cours des 20 dernières années avec notamment l'essor de la réalité virtuelle (Bohil et al., 2011; Tarr & Warren, 2002). En particulier, les environnements virtuels représentent un choix privilégié pour explorer la cognition spatiale humaine (Wilson, 2013), car ils peuvent atteindre un niveau élevé de fidélité aux caractéristiques physiques, perceptuelles et spatiales du monde réel (Burkhardt, 2003). La réalité virtuelle a donc été utilisée dans diverses études sur la navigation spatiale de ces dernières années (Gyselinck et al., 2013; Lhuillier et al., 2018; Nys et al., 2018; Plancher et al., 2018).

Cependant, comme il n'existe pas de solution « clé en main » pour les environnements virtuels, les chercheurs doivent généralement entièrement développer leurs environnements de laboratoire (Khan & Rahman, 2018; Li et al., 2019; Lingwood et al., 2018; Pazzaglia et al., 2017; Sharma et al., 2017). Ce point peut induire une limite à la reproductibilité des études. De plus, la charge technique que représente le développement d'environnements virtuels fonctionnels et réalistes limite souvent le niveau de fidélité atteint relativement au monde réel. Cette limitation de la fidélité peut donc constituer un obstacle à la « fidélité psychologique » de l'environnement virtuel, c'est-à-dire à la manière dont la réalité virtuelle engendre des comportements proches de ceux de la vie réelle (Leplat, 1997). Des environnements fournissant des niveaux hétérogènes de fidélité par rapport au monde réel pourraient donner lieu à des comportements différents. Aussi, l'utilisation de ce type d'environnements virtuels pourrait constituer une limite à la généralisation des résultats.

Certains jeux vidéo pourraient surmonter ces limites, en offrant un degré élevé de fidélité au monde réel et pouvant être utilisés dans tous les laboratoires, tout en étant des outils expérimentaux contrôlables, peu coûteux et sûrs. Pourtant, les jeux vidéo sont rarement, voire jamais, utilisés en tant que tels dans la littérature (Coutrot et al., 2019).

1.4. Objectifs de l'étude

La présente étude a pour objectif principal d'évaluer l'effet de deux types d'aides à la navigation sur les performances de navigation dirigée et les mesures de représentations spatiales. Plus précisément, nous comparons un prototype d'aide à la navigation basée sur des points de repère à une aide basée sur des représentations survol. Ce dernier type d'aide est le plus couramment mis en œuvre dans les systèmes d'aide existants. Nous avons également voulu considérer l'utilisabilité de ces deux aides.

Un objectif secondaire est d'explorer l'effet des deux types d'aides à la navigation auprès d'un public avec une limitation des ressources cognitives induite par la réalisation d'une tâche interférente. En particulier, nous avons comparé les performances de navigation dirigée et de représentations spatiales des participants en conditions de tâche simple et de double tâche, avec les deux types d'aides à la navigation.

2. Méthode

2.1. Plan expérimental : vue d'ensemble

Les participants étaient assignés aléatoirement à un des quatre groupes expérimentaux, en respectant une proportion similaire d'hommes et de femmes dans chaque groupe. Les groupes étaient distingués selon le prototype d'assistant de navigation utilisé (points de repère ou points cardinaux) et les conditions de réalisation des tâches dans l'environnement virtuel (en tâche simple ou en situation de double tâche) (voir Tableau 6).

		Conditions de réalisation de la tâche	
		Simple tâche	Double tâche
Assistant de navigation	Points de repère	Groupe 1 (n=24)	Groupe 2 (n=23)
	Points cardinaux	Groupe 3 (n=22)	Groupe 4 (n=21)

Tableau 6 : Les quatre groupes expérimentaux, croisés à partir des modalités des deux facteurs « Assistant de navigation » et « Condition de réalisation des tâches dans l'environnement virtuel ».

Les quatre groupes de participants complétaient les mêmes tâches :

- 1) Une phase d'entraînement
- 2) Un trajet « guidé » dans un premier environnement
- 3) Un trajet « raccourci » dans un premier environnement
- 4) Une tâche de tracé de parcours du déplacement dans le premier environnement

- 5) Une tâche de reconnaissance de points de repère du premier environnement
- 6) Une tâche de disposition des points de repère du premier environnement
- 7) Répétition des étapes 2 à 6 dans un second environnement
- 8) Complétion de trois questionnaires auto-administrés.

L'ordre des deux environnements était contrebalancé. Ce plan expérimental est représenté en Figure 11.

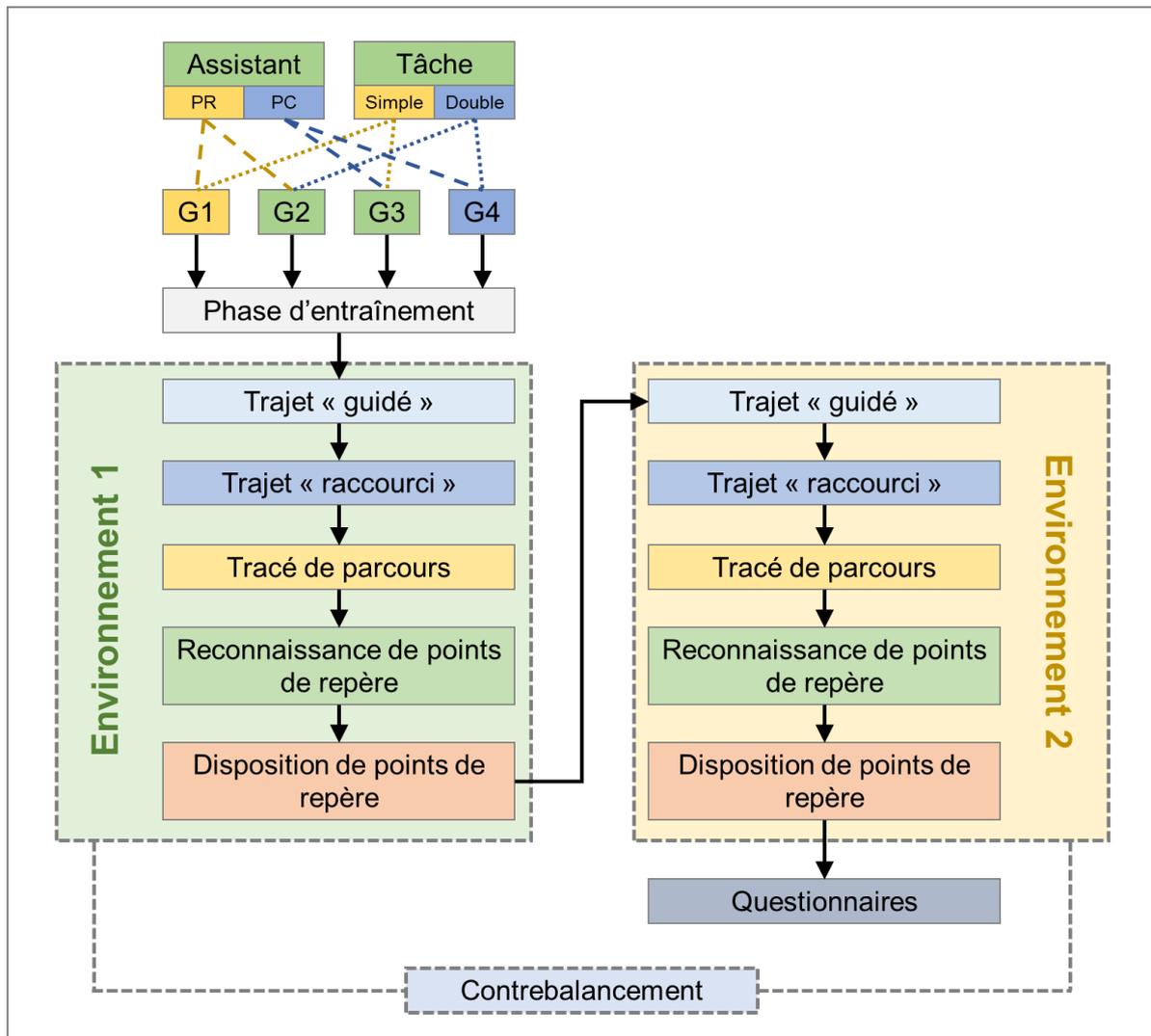


Figure 11 : Représentation schématique du plan expérimental. « PR » désigne l'assistant points de repère, « PC » désigne l'assistant points cardinaux.

2.1. Participants

Quatre-vingt-dix participants (58 femmes et 32 hommes) ont été recrutés parmi les étudiants de l'Université de Paris (France) et par l'intermédiaire du réseau de l'expérimentateur. Un critère d'exclusion était l'existence d'incapacités visuelles, motrices ou

cognitives entraînant des difficultés de navigation dirigée indépendantes de notre objet d'étude. Lors du recrutement, il était indiqué que la participation à cette étude pouvait donner lieu à l'obtention de points d'unité d'enseignement. L'âge moyen était de 21,32 ans (Min = 16, Max = 44, SD = 4,01).

Les compétences spatiales des participants ont été contrôlées par questionnaire (Annexe 2). Une ANOVA comparant les scores obtenus au questionnaire de compétences spatiales pour les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée en considérant les deux facteurs « assistant de navigation » et « conditions de réalisation de la tâche ». Elle n'indique pas de différence entre les groupes. Aucun effet de l'assistant de navigation ($F(1, 86) = 0,85, p = .36$) ou des conditions de réalisation de la tâche ($F(1, 86) = 2,43, p = .12$) sur le score d'orientation général n'est détecté. Les groupes peuvent donc être considérés comme équivalents en matière de compétences spatiales.

Environ un tiers des participants a déclaré avoir déjà joué au jeu vidéo utilisé lors de cette étude, *Grand Theft Auto V*. Les connaissances du jeu ont été mesurées par questionnaire (Annexe 4). Une ANOVA comparant les connaissances préalables du jeu vidéo par les participants a été réalisée selon les mêmes paramètres. L'analyse ne montre pas de différence entre les groupes. Pour les participants ayant déjà personnellement joué à *Grand Theft Auto V* préalablement à l'expérimentation, aucun effet de l'assistant de navigation ($F(1, 31) = 0,03, p = .86$) ou des conditions de réalisation de la tâche ($F(1, 31) = 1,94, p = .17$) sur le score de connaissance de l'environnement du jeu n'est détecté. Les groupes peuvent donc être considérés comme équilibrés en matière d'utilisation et de connaissance préalable du jeu vidéo.

2.2. Matériel

2.2.1. Environnements virtuels : *Grand Theft Auto V*

Nous avons utilisé le jeu vidéo *Grand Theft Auto V* (Rockstar Games, 2013) pour mener cette expérience. Ce logiciel de jeu permet d'incarner un avatar dans un environnement virtuel visuellement réaliste et animé (incluant par exemple la simulation du cycle solaire quotidien, l'animation de piétons et de véhicules, la simulation de conditions météorologiques variées). Nous avons utilisé le « mode réalisateur » de ce jeu, qui permet de contrôler les paramètres environnementaux et visuels.

Pour cette étude, deux quartiers de la ville virtuelle de Los Santos ont été sélectionnés. Ces deux quartiers ont été choisis pour être aussi proches que possible des caractéristiques des villes européennes :

- Forte densité de points de repère mélangeant à la fois des bâtiments commerciaux et résidentiels, incluant des appartements ainsi que de petits commerces et restaurants,
- Cartographie irrégulière (blocs urbains de tailles et de formes différentes),
- Aucun immeuble de grande hauteur.

Comme les noms de certaines boutiques dans ces quartiers sont constitués de mots français, nous les avons masquées visuellement en plaçant des objets devant leurs façades pour éviter tout effet de saillance cognitive envers ces lieux.

L'environnement de *Grand Theft Auto V* a été configuré spécifiquement pour l'expérience, de manière à être identique pour toutes les conditions et tous les participants. Les paramètres choisis et les justifications correspondantes sont détaillés dans le Tableau 7.

Paramètre	Valeur sélectionnée	Justification
Écoulement du temps	Figé	Maintien de l'environnement constant pour tous les participants et toutes les conditions expérimentales
Heure du jour	8 heures du matin	Permet aux participants d'utiliser la direction du soleil et des ombres comme indices d'orientation
Temps	Clair et ensoleillé	Pour que les directions des rayons du soleil et des ombres soient toujours visibles
Densité des piétons	Faible	Animer l'environnement en minimisant le risque de collisions avec des personnages non joueurs
Densité du trafic	Faible	
Zones interdites	Non	Éviter tout événement impliquant l'avatar et les personnages non joueurs risquant d'entraîner l'interruption de l'expérience
Invincibilité	Oui	
Indice de recherche	Désactivé	
Point de vue	Première personne	Simuler la vision humaine le plus fidèlement possible
Champ de vue	85° horizontalement	
	55° verticalement	
Affichage tête haute	Masqué	

Tableau 7 : Paramètres utilisés et valeurs sélectionnées pour l'expérience.

2.2.2. Affichage de l'environnement virtuel

Le jeu était installé sur un PC *Asus TUF Gaming FX504 Series* et était affiché sur un écran séparé de 19 pouces disposé à environ 70 cm du participant. L'utilisation d'un écran et la faible vitesse de déplacement permettaient de limiter le risque de survenue de sensations

de malaise liées à l'utilisation d'un casque de réalité virtuelle. Quatre pré-tests ont été réalisés (trois hommes, une femme). Aucun des participants à ces pré-tests n'a ressenti de malaise lors de déplacements dans l'environnement.

2.2.3. Caractéristiques des parcours dans l'environnement

Deux types de parcours ont été conçus pour chaque quartier : un parcours invariable (« guidé ») et un parcours présentant plusieurs alternatives (« raccourci »).

Chaque parcours « guidé » reliait un point de départ à une destination intermédiaire (premier commerce) puis au point final (second commerce). Le point de départ dans chaque quartier était situé devant un restaurant de plain-pied dont le nom était affiché sur la façade. Dans le premier quartier, le parcours comprenait sept points de décision, et menait successivement à une bijouterie puis à un magasin de vêtements. Dans le deuxième quartier, le trajet passait par cinq points de décision, et menait successivement à un restaurant puis à un magasin d'alimentation. Les quatre commerces de destination étaient identifiables par une enseigne indiquant leur nom au-dessus de leur entrée. Les plans des deux parcours sont représentés en Figure 12.

Le « raccourci » reliait le second commerce (point final du parcours) au point de départ. Les deux quartiers permettaient respectivement six et cinq variantes de ce parcours. Une représentation du parcours « guidé » et d'une possibilité de parcours « raccourci » pour chaque quartier est détaillée en Figure 12.

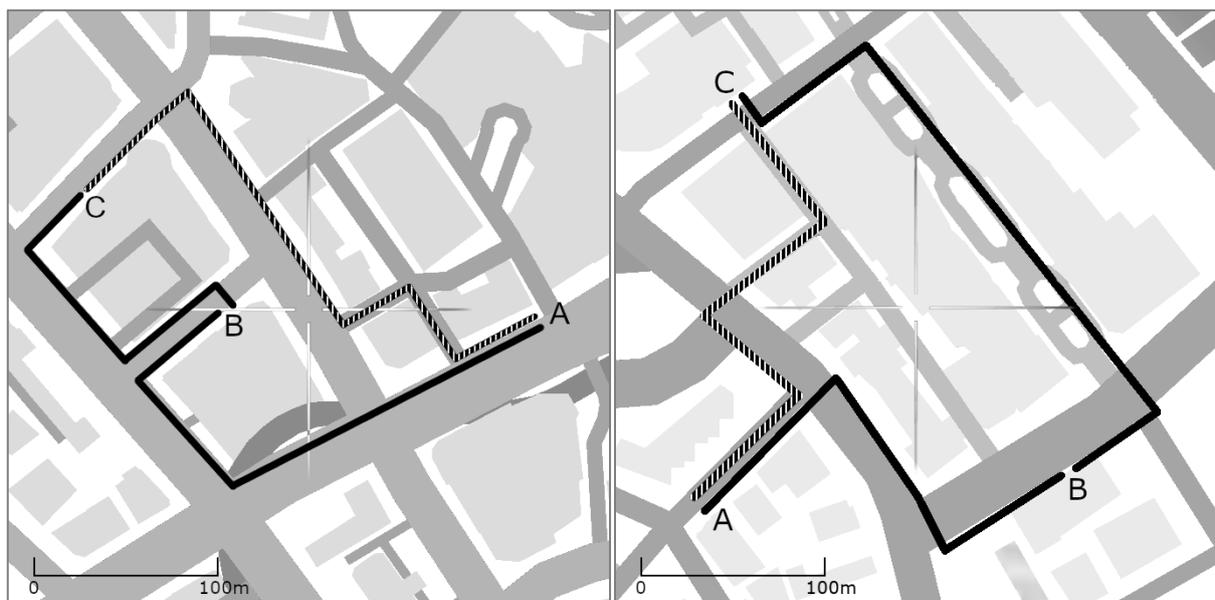


Figure 12 : Représentations cartographiques des parcours dans les deux quartiers expérimentaux. Sur chaque plan, (A) représente le point de départ du parcours, et (B) et (C) les deux commerces. Le trajet « guidé », en trait plein noir, est invariable et relie le point de départ et les deux commerces. Le trajet

« raccourci » relie le second commerce (C) au point de départ (A). Un exemple de raccourci possible est représenté en trait hachuré sur chaque plan.

2.2.4. Assistants de navigation : fonctionnement et caractéristiques des guidages

Deux prototypes d'assistants de navigation ont été utilisés pour cette expérience, « l'assistant points de repère » et « l'assistant points cardinaux ». Ces assistants étaient matérialisés par un haut-parleur qui émettait des instructions. Les instructions audio fournies par ces deux assistants avaient été préalablement rédigées par l'expérimentateur et étaient lues par une voix féminine synthétique. Chaque instruction indiquait une direction à emprunter à un point de décision du parcours dans l'environnement virtuel. Pour les deux assistants, les formulations et les prononciations (vocabulaire, mode grammatical, diction) étaient basées sur les instructions fournies par les aides à la navigation courantes (GPS, applications de navigation). Le protocole était basé sur la technique du « Magicien d'Oz » : chaque assistant de navigation avait l'apparence d'un logiciel entièrement fonctionnel pour le participant, alors que les fonctionnalités étaient opérées discrètement par l'expérimentateur (Salber & Coutaz, 1993).

Les instructions étaient systématiquement composées de trois parties (énoncé initial, intermédiaire et de clôture). Quel que soit l'assistant et pour chaque partie du trajet, les parties 1 et 3 de l'instruction correspondante étaient toujours les mêmes, seule la partie intermédiaire variait selon la modalité de l'aide, points de repère ou survol :

- La partie 1 d'énoncé citait systématiquement un point de repère visuellement accessible pour le participant depuis sa position (par exemple, « *Vous êtes près du cinéma Astro...* »).
- Dans le cas du guidage basé sur les points de repère, la partie 2 intermédiaire correspondait à un énoncé associant le point de repère précédemment mentionné à une action à effectuer, depuis le point de vue du participant (« *...Longez le cinéma Astro par la droite...* »). Dans le cas du guidage de type survol, la partie intermédiaire correspondait à une information de type survol (utilisant les points cardinaux), indépendante du point de vue du participant, sans faire usage du point de repère précédemment mentionné (« *...Prenez la direction sud-ouest...* »).
- La partie 3 d'énoncé désignait l'endroit où s'arrêter après avoir suivi l'instruction de déplacement (par exemple, « *...Puis arrêtez-vous à l'intersection* »).

Le fonctionnement des deux assistants de navigation est illustré en Figure 13.

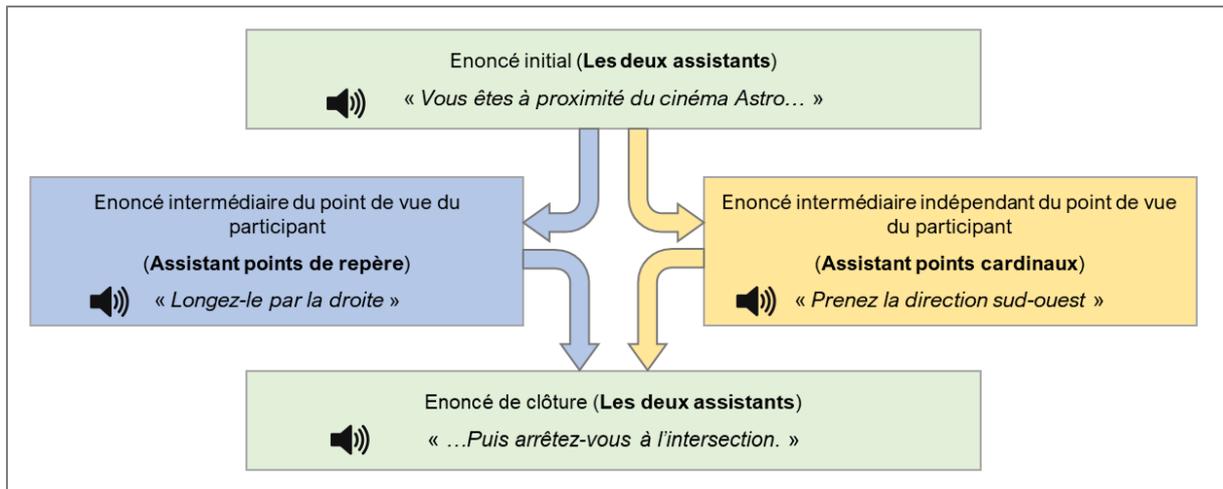


Figure 13 : Représentation du fonctionnement des deux assistants de navigation utilisés dans l'expérience.

Deux commandes vocales pouvaient être envoyées par l'utilisateur : « répéter » et « suivant ». La première permettait d'entendre à nouveau la dernière instruction ; la seconde d'obtenir l'instruction suivante à l'arrivée à un point de décision afin de savoir où aller. Le participant devait prononcer l'un ou l'autre des deux mots distinctement lorsque nécessaire ou lorsque cela était souhaité pour déclencher l'instruction appropriée.

2.2.5. Contrôle de la navigation

Le participant contrôlait sa navigation dans l'environnement au moyen d'une plateforme podale, le *3D Rudder*. Ce périphérique permet à un utilisateur, assis, de déplacer un avatar dans un jeu vidéo par des mouvements de bascule et de pression (Bonora et al., 2019) (voir Figure 14). Ce dispositif permettait à tous les participants de se déplacer sans faire usage des mains, afin que la main dominante des participants en condition de double tâche soit disponible pour effectuer une tâche interférente.

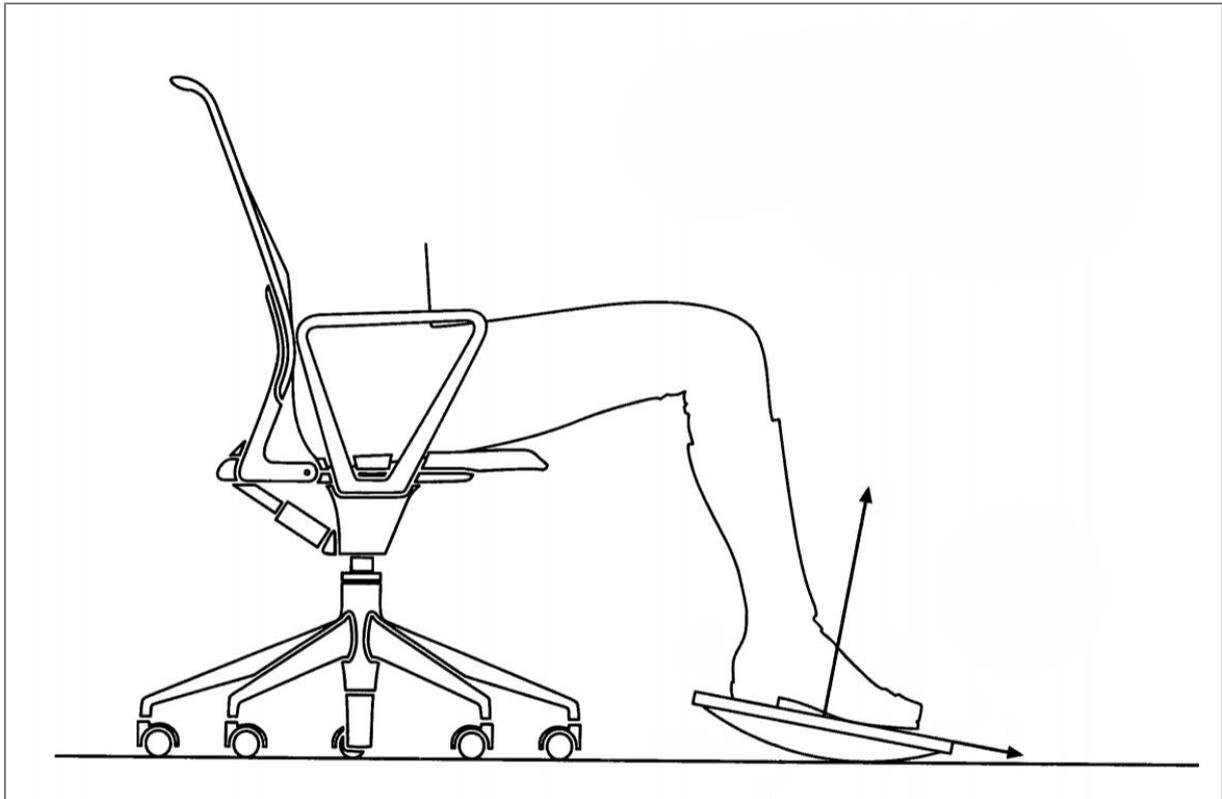


Figure 14 : Schéma illustrant l'utilisation du *3D Rudder* (d'après Bonora et al., 2019). L'utilisateur est assis sur une chaise et ses pieds sont à plat sur la plateforme durant toute l'utilisation. Sur cette figure, l'utilisateur applique une pression faisant pencher le *3D Rudder* vers l'avant. Cette pression entraîne un mouvement vers l'avant de l'avatar dans le jeu vidéo.

L'allure de déplacement dans *Grand Theft Auto V* étant réglée par défaut sur le pas de course, la vitesse était ajustée à partir du *3D Rudder*. Chaque axe de marche (avant - arrière, droite - gauche) était limité à 70% de sa valeur maximale. La vitesse de marche de l'avatar était ainsi plafonnée à 1,69 m/s, correspondant à l'allure des personnages non joueurs dans l'environnement virtuel.

Quatre pré-tests ont été réalisés (trois hommes, une femme) pour configurer les axes de rotation de la plateforme (regard vers la droite - vers la gauche, vers le haut - vers le bas) de façon à éviter toute difficulté de maniabilité. Ces axes ont été limités à 80% de leur valeur maximale afin que les mouvements de rotation ne semblent pas trop lents, sans créer de décalage important avec la vitesse de marche.

De plus, des plages inactives au début de chaque axe ont été fixées dans les paramètres du *3D Rudder* pour éviter le déclenchement de mouvements accidentels de l'avatar : les deux axes de marche avaient une zone inactive de 15%, et les deux axes de rotation avaient une plage inactive de 40%. La sensibilité de tous les axes était fixée sur la valeur médiane par défaut (50%) dans l'interface du logiciel de contrôle du *3D Rudder*.

2.2.6. Photographies de points de repère

Huit pré-tests ont été réalisés (quatre hommes, quatre femmes) afin d'évaluer la saillance des points de repère dans l'environnement lors de la marche le long des parcours expérimentaux. Dix points de repère uniques ont été retenus pour chacun des quartiers. Dans chaque quartier, ces points de repère étaient situés le long du parcours du participant, et apparaissaient à l'écran lorsqu'il se déplaçait entre le point de départ et le deuxième commerce à atteindre.

Outre ces 20 points de repère, 20 points extérieurs aux quartiers expérimentaux (non visibles par les participants) ont été sélectionnés. Il est à noter que les 40 points de repère n'avaient qu'un rôle décoratif dans l'utilisation normale de *Grand Theft Auto V*. De cette façon, l'ensemble des participants (joueurs ou non) aurait la même connaissance de ces points de repère.

Tous les points de repère étaient photographiés à l'heure de midi fixée dans *Grand Theft Auto V* puis détournés, afin que la direction de l'ensoleillement et les éléments immédiatement environnants (par exemple sol, bâtiments mitoyens) ne renseignent pas sur sa localisation. De plus, les photographies étaient prises dans le sens du déplacement du participant (par exemple, une boutique vue par la droite lors du déplacement était photographiée par la droite, et non de face ou de gauche) (Figure 15).



Figure 15 : Exemples de points de repère utilisés pour la tâche de reconnaissance.

2.2.7. Plans vierges

Nous avons utilisé des plans modifiés des deux quartiers modélisés dans le jeu, afin d'éviter de fournir des indices évidents au participant sur l'endroit où avait eu lieu leur trajet.

La modification a consisté en la suppression des aires non urbanisées (étendues d'eau ou espaces verts) et leur remplacement par un réseau routier similaire aux autres parties de la carte. Un exemple est présenté en Figure 16.

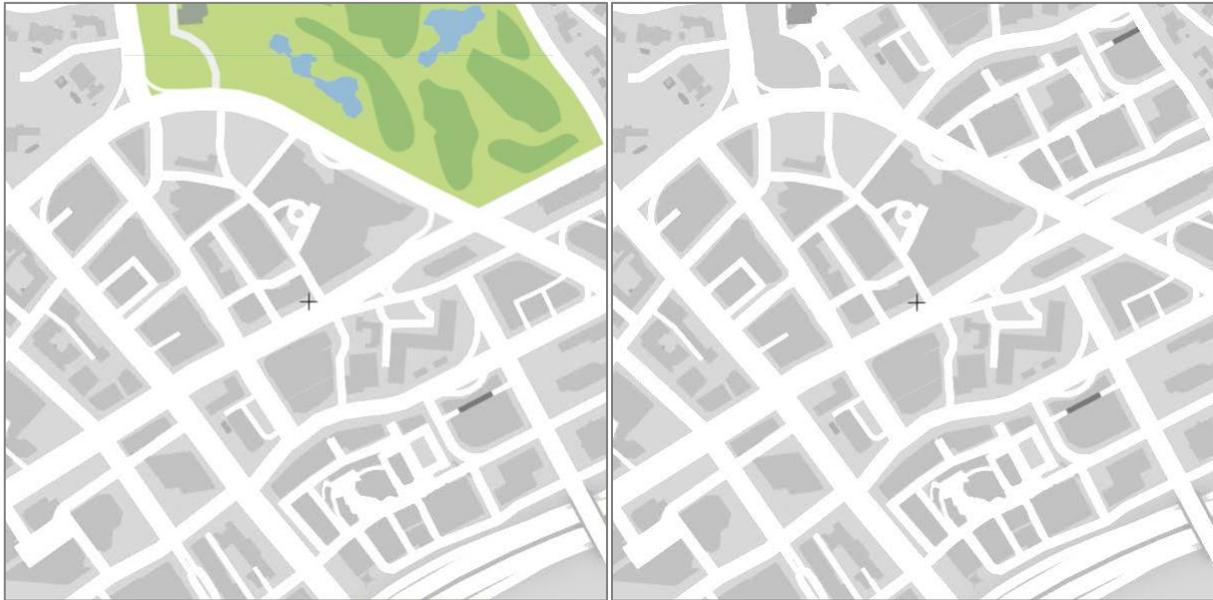


Figure 16 : plan réel d'un des deux quartiers expérimentaux (à gauche) et plan modifié présenté au participant (à droite). Le parc au nord du plan, non visible par le participant lors de l'expérimentation, était remplacé par des tracés de rues et bâtiments.

2.2.8. Tâche interférente : *tapping spatial*

La tâche interférente choisie pour la condition de double tâche est une tâche de *tapping spatial*. Cette tâche interférente a déjà été utilisée dans de précédentes études sur la cognition spatiale (De Beni et al., 2005; Gyselinck et al., 2009). Selon ces auteures, le *tapping spatial* limite le maintien de l'information spatiale en mémoire de travail.

Dans notre étude, la tâche consistait à taper avec la main dominante sur 10 touches disposées en rectangle sur un pavé numérique, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et au rythme d'environ une frappe par seconde (voir Figure 17). Les 10 touches concernées avaient été mises en surbrillance, et toutes les autres touches avaient été démontées du périphérique. La séquence des touches appuyées par le participant était sauvegardée par l'intermédiaire d'un enregistreur de frappe, afin de pouvoir contrôler que le participant effectuait la tâche interférente tout au long du déplacement.

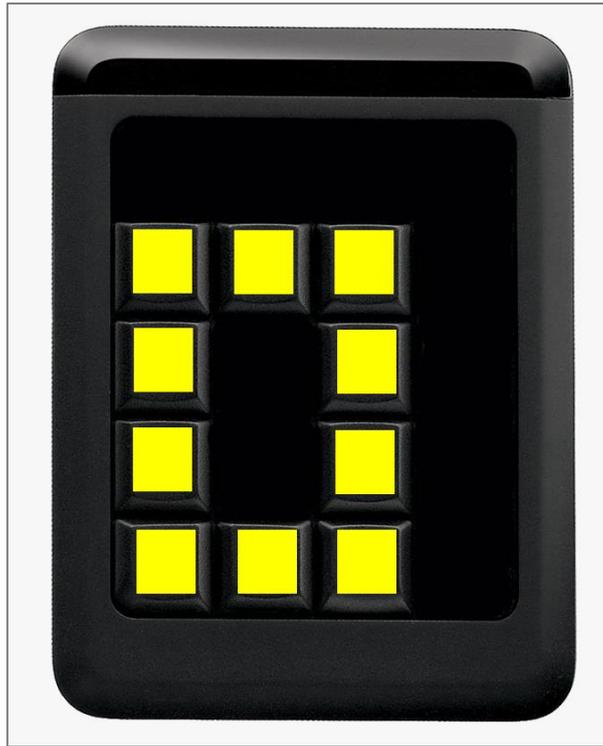


Figure 17 : Représentation du pavé numérique adapté pour la tâche de *tapping* spatial.

2.2.9. Questionnaires : utilisabilité et questions de contrôle

Trois questionnaires sont utilisés : un questionnaire d'utilisabilité, un questionnaire sur les compétences spatiales et un questionnaire sur l'utilisation préalable que le participant avait eu du jeu vidéo.

L'échelle d'utilisabilité du système (SUS) (Brooke, 1996) est un questionnaire auto-administré permettant à un utilisateur d'évaluer l'efficacité perçue et la satisfaction associées à l'utilisation d'un système (voir Annexe 3). Ce questionnaire se compose de dix items sous la forme d'échelles de Likert à cinq points, de « pas du tout d'accord » à « tout à fait d'accord » (par exemple, « je pense que ce système était facile à utiliser »). Un score compris entre 0 et 100 est obtenu (Figure 18). Sept rangs d'utilisabilité du dispositif sont distingués, allant du « pire imaginable » (score inférieur à 12,5) au « meilleur imaginable » (score supérieur à 90,9) (Bangor et al., 2009; Brooke, 2013). L'utilisabilité d'un dispositif est considérée comme « bonne » à partir d'un score de 71,4.

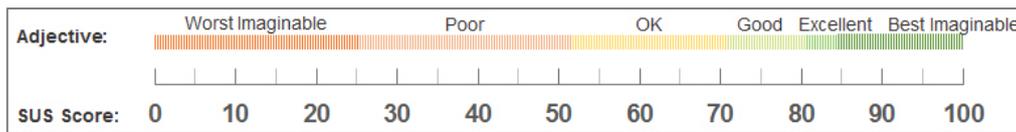


Figure 18 : L'échelle des scores du SUS et les rangs d'utilisabilité correspondants (Bangor et al., 2009; Brooke, 2013).

Le questionnaire sur les compétences spatiales et l'orientation générale de Pazzaglia et al (2000) (voir cette thèse, Chapitre 6) se compose de 16 items sous forme d'échelles de Likert de deux types, à cinq et à trois points (de « pas du tout » à « tout à fait », et de « je peux le faire immédiatement » à « j'ai de la difficulté à le faire »). Il mesure l'utilisation de représentations survol et de points de repère ainsi que l'orientation générale dans la vie quotidienne (avec des items comme « vous décririez-vous comme une personne qui s'oriente en cherchant les points de repère ? ») (voir Annexe 2).

Enfin, le dernier questionnaire vise à mesurer l'utilisation antérieure du *Grand Theft Auto V* par le participant. Les questions ont été conçues pour évaluer son degré de maîtrise du jeu vidéo avant sa participation à la tâche (voir Annexe 4). Le questionnaire comportait une première question fermée sur l'utilisation personnelle que le participant avait pu faire de *Grand Theft Auto V* avant l'expérience. Si le participant déclarait avoir joué à *Grand Theft Auto V*, deux échelles de Likert supplémentaires à six points mesuraient sa connaissance perçue du jeu (de « aucune connaissance » à « connaissance parfaite ») et ses connaissances préalables spécifiquement sur les deux quartiers expérimentaux (de « je ne me repérais pas du tout dans ces quartiers » à « je me repérais déjà parfaitement dans ces quartiers »).

2.3. Procédure

Le recrutement des participants a eu lieu entre le 22 mars et le 9 mai 2019 à l'Université de Paris. Les participants s'inscrivaient sur une plateforme en ligne au créneau de leur choix puis recevaient une confirmation par email.

La passation durait environ 90 minutes. Les participants étaient tout d'abord invités à s'installer sur une chaise dans le box expérimental, et prenaient connaissance du matériel qui serait utilisé lors des tâches dans l'environnement virtuel (Figure 19). L'expérimentateur vérifiait notamment que le *3D Rudder* était à une distance adaptée pour que les pieds des participants puissent tenir à l'équilibre sans effort.

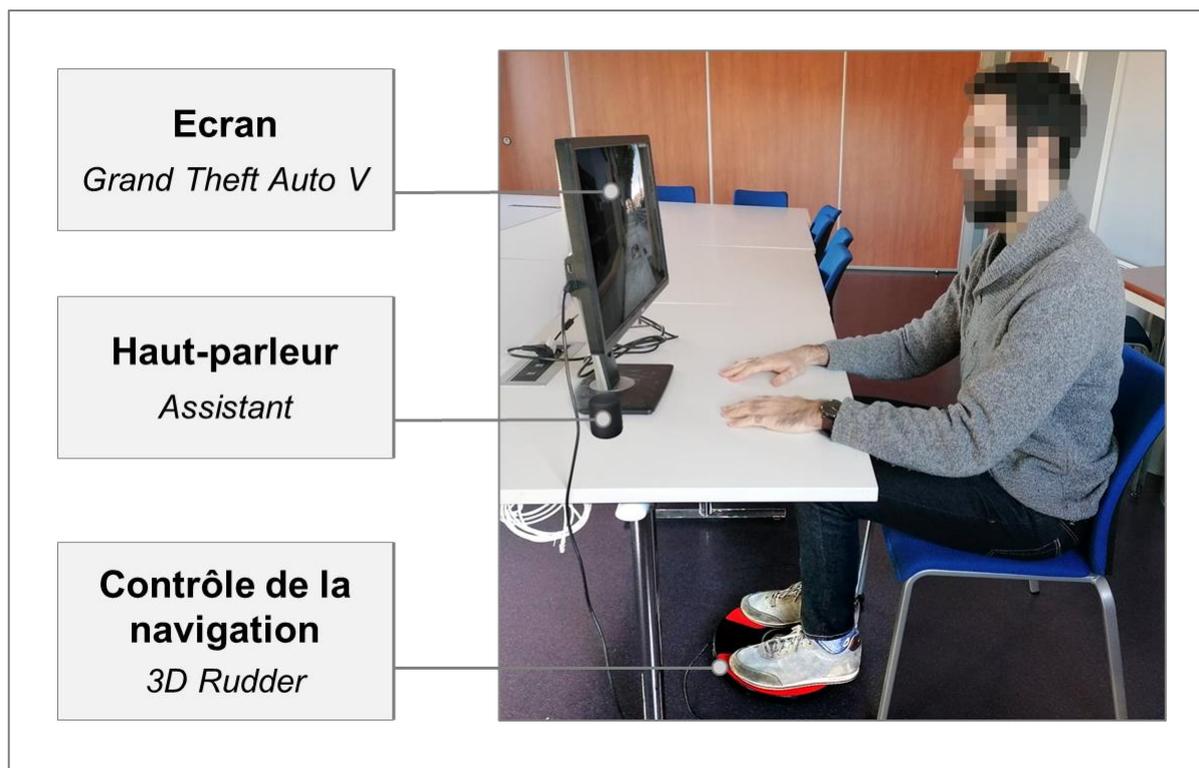


Figure 19 : Configuration pour le participant lors de la passation. Le participant était assis et utilisait la plateforme *3D Rudder* sous ses pieds pour se déplacer dans l'environnement virtuel. L'écran devant lui affichait l'environnement de son point de vue. Les instructions de l'assistant à la navigation étaient données par l'intermédiaire du haut-parleur.

L'expérimentateur indiquait préalablement au participant que tout au long de l'expérience, l'heure de la journée dans l'environnement virtuel serait tôt le matin et que le soleil serait donc toujours à l'est. L'expérimentateur donnait les instructions suivantes au participant pour chaque quartier : « *Vous faites du tourisme dans une ville que vous ne connaissez pas. Vous cherchez à vous rendre à deux commerces. Vous ne savez pas comment vous y rendre, mais vous disposez d'un assistant de navigation qui vous guidera tout au long du parcours* ». L'expérimentateur plaçait ensuite un aide-mémoire sous la forme d'une feuille de papier sous l'écran du participant, où étaient inscrits les types (bijouterie, magasin, restaurant) et les noms des deux commerces à atteindre pendant le trajet, de sorte que ces informations soient toujours visibles.

La phase d'entraînement avait lieu dans deux lieux virtuels qui ne partageaient aucun point de repère ou enseigne en commun avec les deux quartiers expérimentaux, afin d'éviter tout effet d'apprentissage. Tout d'abord, les participants étaient guidés par l'expérimentateur pour se familiariser avec la navigation dans l'environnement virtuel et l'utilisation du *3D Rudder* (marche et mouvements de tête dans toutes les directions). Ensuite, le fonctionnement de l'assistant de navigation était présenté aux participants. Le participant effectuait alors un entraînement sur l'ensemble des tâches de la procédure (à l'exception des questionnaires).

Les participants en condition de double tâche effectuaient également le *tapping* spatial lors de l'entraînement. Lorsqu'un participant jugeait qu'il pouvait se déplacer facilement et qu'il avait compris les consignes des tâches, l'entraînement prenait fin.

A l'issue de l'entraînement, la tâche de trajet « guidé » commençait. Chacun des deux trajets « guidés » amenait le participant à se déplacer depuis son point de départ vers deux destinations successives. La première instruction du trajet « guidé » était donnée automatiquement par l'assistant de navigation au début du parcours. L'assistant de navigation devait ensuite être utilisé aux points de décision pour connaître le chemin à emprunter. Lorsque le participant s'arrêtait face à la porte des commerces de destination, l'assistant de navigation confirmait l'arrivée en déclarant « *Vous êtes arrivé* ». Tout au long de ce trajet, les participants en condition de double tâche réalisaient le *tapping* spatial. Le trajet « guidé » était terminé lorsque l'arrivée au second commerce était confirmée. Un exemple de destination est présenté en Figure 20.



Figure 20 : Exemple d'une destination de l'un des trajets, vue depuis la rue. Dans cet exemple, le participant était informé qu'il devait rejoindre un magasin appelé « *The Grain Of Truth* ». Un aide-mémoire sous l'écran rappelait ces informations.

Au cours de ce trajet, si un participant marchait dans la mauvaise direction, il était interrompu par l'expérimentateur en arrivant à un point de décision et invité à revenir sur ses pas. L'objectif était de favoriser une impression de déplacement libre dans l'environnement et l'utilisation spontanée de l'outil d'aide à la navigation. Les erreurs augmentant la durée du déplacement, si plusieurs erreurs se produisaient pour un même participant, l'expérimentateur

intervenait plus rapidement afin que la durée totale de la passation expérimentale n'excède pas 90 minutes.

A la fin du trajet « guidé » (arrivée au second commerce), l'expérimentateur donnait la consigne suivante : « L'assistant de navigation est désormais arrêté. Vous devez maintenant retourner à votre point de départ, par le chemin le plus court possible selon vous. Lorsque vous estimez être arrivé, marquez l'arrêt et dites-moi que vous êtes arrivé. Si vous n'êtes plus certain de votre point de départ, arrêtez-vous à l'endroit le plus proche possible selon vous ». Le participant était ensuite laissé libre dans son déplacement. Tout au long de ce trajet, les participants en condition de double tâche réalisaient le tapping spatial. A la fin du trajet « raccourci », le déplacement dans l'environnement virtuel était terminé.

Une carte vierge du quartier parcouru était ensuite présentée au participant sur ordinateur. Le participant était invité à tracer son trajet « guidé » en rouge sur la carte à l'aide d'une souris.

A la suite du tracé, pour chaque quartier, 20 photographies de points de repère (les 10 points de repère et 10 « extérieurs » absents du trajet) étaient présentées à l'écran dans un ordre aléatoire par l'intermédiaire du logiciel E-Prime 2 Professional. Chaque photographie était affichée pendant trois secondes et précédée d'une croix de fixation apparaissant au centre de l'écran pendant une seconde. Le participant devait tenir en main un clavier de réponse et poser ses deux pouces sur deux touches désignées par l'expérimentateur. Lorsqu'une image apparaissait à l'écran, le participant devait appuyer sur l'une des deux touches du clavier le plus rapidement possible pour indiquer s'il pensait avoir vu ce point de repère au cours de son déplacement, ou s'il pensait que ce point de repère n'avait pas été présent. Si aucune réponse n'était donnée au terme des trois secondes de présentation, la photographie suivante était présentée.

Les 10 photographies de points de repère correspondant au quartier parcouru étaient ensuite présentées simultanément au participant sur une feuille A3. Chaque point de repère était numéroté de un à dix. La carte sur laquelle le participant avait préalablement tracé le parcours « guidé » était alors affichée à l'écran par l'intermédiaire du logiciel *Gardony Map Drawing Analyzer* (GMDA) (Gardony et al., 2016). Le participant devait positionner sur le plan 10 jetons numérotés correspondant aux 10 points de repère (Figure 21).

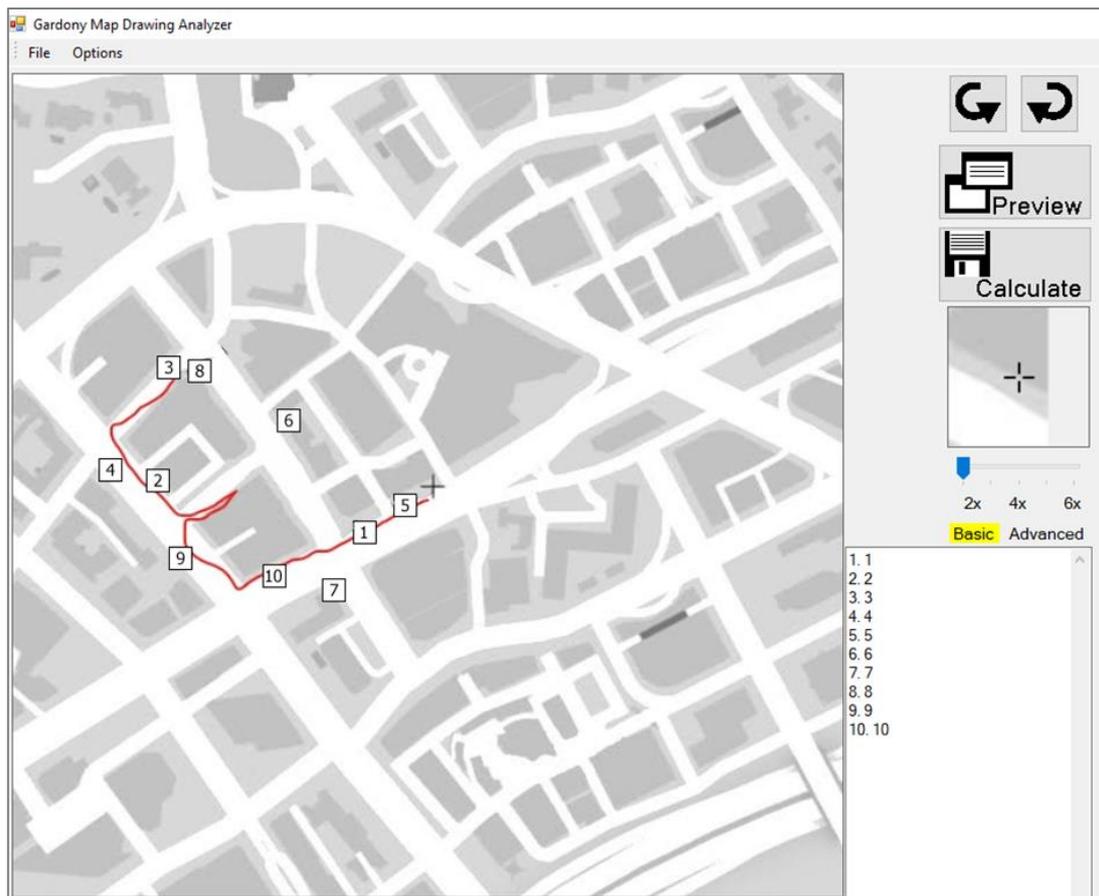


Figure 21 : Interface du logiciel *Gardony Map Drawing Analyzer* (GMDA). La carte sur laquelle le participant a tracé son parcours était chargée dans le logiciel. Ensuite, à partir des 10 photographies de points de repères numérotées, le participant positionnait les 10 jetons correspondants sur le plan. A droite sur l'interface, une case « loupe » permettait d'agrandir la position survolée avec la souris et de voir précisément où le participant déposait chaque jeton.

Les tâches étaient ensuite répétées pour le second quartier expérimental. Enfin, les trois questionnaires (orientation générale et compétences spatiales, utilisabilité de l'assistant de navigation utilisé, et connaissance antérieure que le participant avait du jeu vidéo) concluaient la passation expérimentale.

2.4. Analyses

2.4.1. *Données recueillies*

Durant les trajets « guidé » et « raccourci », l'écran du participant ainsi que la fenêtre d'état du *3D Rudder* étaient enregistrés simultanément sur fichiers vidéo par l'intermédiaire du logiciel *Open Broadcaster Software* (Figure 22). Les interactions orales avec le prototype d'assistant de navigation (lorsque le participant prononçait « suivant » et « répéter ») étaient également enregistrées dans la captation. Quatre vidéos étaient enregistrées pour chaque

participant : les deux trajets « guidés » et les deux trajets « raccourcis ». Trois-cent soixante vidéos (41,30 heures) ont ainsi été recueillies pour l'ensemble des 90 participants.



Figure 22 : Ecran enregistré durant la passation. La partie en haut à gauche montre l'écran du participant. Les autres éléments sont visibles seulement de l'expérimentateur : la partie en haut à droite est la fenêtre de visualisation des mouvements du *3D Rudder*. En bas à droite, l'heure est enregistrée et les appuis du participant sur le clavier de la tâche interférente s'affichent en temps réel.

Chaque participant traçait son parcours sur les plans vierges des deux quartiers. Deux tracés par participant ont donc été recueillis. Un exemple est représenté en Figure 23.



Figure 23 : Exemples de tracés de parcours (en rouge) effectués par les participants à l'issue de chaque déplacement.

A partir de la tâche de reconnaissance des points de repère, chaque participant obtenait pour chaque quartier un score sur 20, comptabilisant un point par bonne réponse (détection correcte d'un point de repère et rejet correct d'un distracteur). Au total pour l'échantillon, 90 scores sur 40 points ont été recueillis. Les fausses alarmes et les omissions ont également été comptabilisées. Les temps de réaction étaient enregistrés sur toutes les réponses.

Chaque participant positionnait les 10 points de repère sur la carte du quartier parcouru. Deux plans de dispositions de points de repère ont été recueillis par participants. A la suite d'une erreur technique, les positionnements des points de repère d'un des participants n'ont pas pu être enregistrés.

L'ensemble des questionnaires a été complété par les 90 participants.

2.4.2. Performances de navigation dirigée

Les performances de navigation dirigée ont été mesurées à partir d'un codage des enregistrements vidéo des trajets « guidés ». Ce codage a été réalisé par l'intermédiaire du logiciel *Behavioral Observation Research Interactive Software* (BORIS) (Friard & Gamba, 2016).

Trois concepts ont été définis pour le codage de ces trajets :

- Une « erreur » dans la tâche de navigation dirigée se référait à un événement au cours duquel le participant déviait en dehors du chemin spécifié par l'assistant de navigation, faisant ainsi un détour,
- Une « exploration visuelle » désignait un moment pendant lequel le participant faisait des mouvements de tête de haut en bas ou de droite à gauche,
- Un « arrêt » désignait un moment pendant lequel le participant restait immobile et était enregistré dès que le participant n'appuyait plus sur la plate-forme.

Le codage a donc été effectué en comptant le nombre d'erreurs, d'explorations visuelles et d'arrêts. Des mesures additionnelles ont été faites sur les nombres de fois où le participant disait « répéter » afin de réentendre la dernière instruction donnée par l'assistant de navigation. Pour chaque participant, les mesures d'occurrences étaient additionnées pour les deux quartiers.

De plus, les intervalles moyens entre deux comportements du même type ont été mesurés pour chaque participant. Les intervalles entre les événements représentaient la fréquence d'apparition du comportement correspondant. Comme la durée totale de la

réalisation des trajets différait selon les participants, la fréquence d'occurrence d'un événement n'était pas liée au nombre d'occurrences de cet événement. Les fréquences des comportements ont donc été analysées comme des variables dépendantes distinctes. Pour chaque participant, la moyenne des fréquences d'un comportement a été calculée à partir de ses performances dans les deux quartiers.

2.4.3. *Evaluation de la construction et de l'utilisation de représentations spatiales*

La construction des représentations point de repère a été évaluée à partir des scores obtenus à la tâche de reconnaissance des points de repère.

La construction et l'utilisation de représentations survol ont été mesurées à partir des vidéos des trajets « raccourcis » en utilisant le logiciel BORIS et à partir des tracés de parcours sur les plans vierges.

Pour le trajet « raccourci », l'utilisation des différents segments de route (segments déjà parcourus lors du trajet « guidé » ou nouveaux segments) était mesurée, ainsi que le retour au point de départ :

- Une « bonne direction » désignait un segment de route à l'issue duquel le participant s'était approché de son point de départ,
- Une « mauvaise direction » désignait un segment de route entraînant un éloignement du point de départ,
- Un « retour effectif » au point de départ était compté lorsque le participant déclarait être rentré lorsqu'il se trouvait à l'arrêt devant le bâtiment de départ ou un bâtiment mitoyen ou une ruelle mitoyenne,

Ces données ont été additionnées entre les deux quartiers pour chaque participant.

Deux autres indicateurs ont été mesurés afin d'observer spécifiquement l'emploi de nouveaux segments de routes dans la bonne direction au détriment de tout autre segment de route lors de la tâche de « raccourci » :

- Un ratio de l'utilisation de segments nouveaux dans la bonne direction a été calculé pour chaque participant en divisant le nombre de nouveaux segments de route corrects employés par la somme des autres segments de route empruntés dans les deux quartiers,
- La durée totale du trajet « raccourci » a été chronométrée, et nous avons considéré un raccourci efficace s'il était plus rapide qu'un retour reprenant le trajet « guidé » en sens inverse. Seuls les chronométrages des trajets complétés (retour effectif au

point de départ) ont été retenus. La moyenne des durées des raccourcis effectués par le participant dans les deux quartiers a ensuite été calculée.

Ces deux indicateurs (ratio de nouveaux segments de route et durée du raccourci) renvoient à la qualité du raccourci et au degré d'acquisition de représentations spatiales survol.

La construction des représentations survol a également été évaluée à partir des tracés de parcours et de positionnement des points de repère. Le trajet « guidé » étant le même pour tous les participants, chaque dessin de carte a été comparé au trajet réel entre le point de départ et le second commerce. Un score a été calculé de la façon suivante :

- 1 point a été attribué pour chaque segment de route dessiné correspondant au trajet réel,
- 2 points ont été attribués si le tracé était situé en majorité dans le quadrant correct du plan. Cette notation visait à discriminer les participants représentant un trajet imprécis de ceux représentant un parcours entièrement dans la mauvaise direction.

Les plans des deux quartiers étaient notés sur 10 et 8 points respectivement. Un exemple de cette notation est présenté en Figure 24.

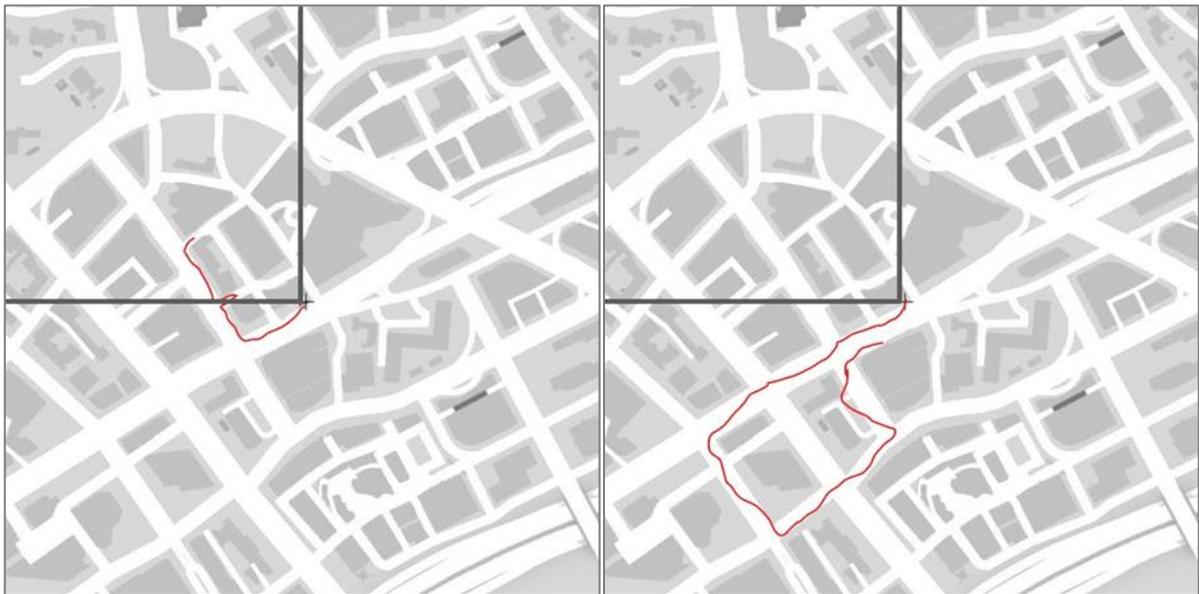


Figure 24 : Exemples de tracés incorrects d'un des parcours, représentés dans le quadrant correct du plan (à gauche) et dans le quadrant incorrect (à droite). Le quadrant correct est encadré en gris. Selon notre barème, le tracé de gauche était noté quatre points (deux segments corrects, tracé situé dans le quadrant correct) et le tracé de droite trois points (trois segments corrects, tracé situé dans le mauvais quadrant).

Pour mesurer les dispositions de points de repère, nous avons utilisé le logiciel GMDA. Ce logiciel permet de comparer les cartes complétées par les participants avec des cartes de référence préalablement complétées par l'expérimentateur. A partir de cette comparaison, des indicateurs de précision du positionnement des points de repère sont calculés :

- Le coefficient de corrélation r mesure le degré de ressemblance entre la carte de référence et une carte complétée par un participant,
- L'indice de distorsion DI fournit une mesure en pourcentage de la distorsion entre les deux cartes,
- L'indice d'échelle ϕ fournit une mesure de la dilatation ou de la rétractation de la représentation dessinée par rapport à la carte de référence,
- L'indice de rotation θ renseigne sur la rotation qui a été effectuée entre la représentation dessinée et la carte de référence.

Les moyennes des scores sur les deux quartiers pour les scores r , DI et ϕ ont été calculées pour mener les analyses. L'indice de rotation θ pouvant indiquer un biais de rotation horaire ou anti-horaire et donc être positif ou négatif, sa moyenne sur les deux quartiers n'est pas interprétable. Les valeurs d'angles ont donc été converties en valeurs absolues puis la moyenne a été effectuée à partir de ces valeurs et a été utilisée pour les analyses.

2.4.4. *Evaluation de l'utilisabilité des assistants*

L'utilisabilité des assistants a été évaluée en tenant compte des scores au test SUS sur 100 et du nombre de fois où les participants ont demandé la répétition des instructions.

2.4.5. *Synthèse des analyses*

Dans cette section, nous proposons une synthèse de l'analyse des données recueillies à travers les six tâches : trajet « guidé », trajet « raccourci », tracé de parcours, reconnaissance puis disposition de points de repère, et questionnaire d'utilisabilité (Tableau 8).

Evaluation (Tâche correspondante)		Données recueillies	Variables dépendantes
Performances de navigation dirigée (Trajet « guidé »)		90 vidéos	Nombre d'erreurs Nombre d'explorations visuelles Durée entre deux explorations visuelles (s) Nombre d'arrêts Durée entre deux arrêts (s)
	Trajet « raccourci »	90 vidéos	Nombres de nouvelles routes correctes et incorrectes Nombres d'anciennes routes correctes et incorrectes Qualité du raccourci (ratio de nouvelles routes correctes) Durée du trajet « raccourci » (s)
Construction et utilisation de représentations spatiales	Tracé de parcours	180 tracés	Score de tracé (total des scores sur les deux parcours)
	Reconnaissance de points de repère	Réponses des 90 participants	Score de reconnaissance sur 40 Temps de réponse (ms)
	Disposition de points de repère	Réponses de 89 participants	Score de corrélation r (moyenne sur les deux quartiers) Score de distorsion DI (moyenne sur les deux quartiers) Score d'échelle Φ (moyenne sur les deux quartiers) Score de rotation θ (moyenne des valeurs absolues des scores sur les deux quartiers)
Utilisabilité de l'assistant de navigation	Questionnaire SUS	Réponses des 90 participants	Score au questionnaire sur 100
	Trajet « guidé »	90 vidéos	Nombre de demandes de répétition d'instructions

Tableau 8 : Récapitulatif des données recueillies pour chaque tâche, avec détail des variables dépendantes analysées et aspects évalués correspondants.

3. Résultats

3.1. Evaluation de la navigation dirigée

3.1.1. Performances de navigation dirigée

Une MANOVA comparant les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée en considérant les deux facteurs « assistant de navigation »

(points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou double). Les variables dépendantes suivantes ont été considérées : nombre d'erreurs, nombre d'explorations visuelles et intervalles de temps (en secondes) entre deux explorations visuelles, nombre d'arrêts complets et intervalles de temps (en secondes) entre deux arrêts. L'analyse indique un effet principal de l'assistant de navigation (trace de Pillai = 0,21, $F(4,32)$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,21$) et un effet d'interaction entre l'assistant de navigation et les conditions de réalisation de la tâche (trace de Pillai = 0,13, $F(2,47)$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,13$).

Les analyses univariées appliquant la correction de comparaison multiple Benjamini-Hochberg avec un seuil de .05 (Benjamini & Hochberg, 1995) indiquent un effet de l'assistant sur le nombre d'erreurs, d'explorations visuelles, d'arrêts et de durée moyenne entre deux arrêts. Les analyses montrent également un effet d'interaction de l'assistant et des conditions de réalisation de la tâche sur la durée moyenne entre deux explorations visuelles. Ces résultats sont représentés en Figure 25.

Les participants ont fait moins d'erreurs avec l'assistant points de repère en tâche simple ($M = 2,96$, $SD = 2,93$) et en double tâche ($M = 4,04$, $SD = 4,27$) qu'avec l'assistant points cardinaux en simple tâche ($M = 7,0$, $SD = 6,84$) et en double tâche ($M = 6,81$, $SD = 5,48$) ($F(1, 86) = 10,25$, $p < .01$, $\eta^2 = .11$).

Les participants ont également fait moins d'explorations visuelles avec l'assistant points de repère en tâche simple ($M = 25,5$, $SD = 8,46$) et en double tâche ($M = 29,3$, $SD = 10,7$) qu'avec l'assistant points cardinaux en simple tâche ($M = 36,0$, $SD = 10,3$) et en double tâche ($M = 31,9$, $SD = 12,2$) ($F(1, 86) = 9,04$, $p < .01$, $\eta^2 = .09$).

De plus, les participants ont fait moins d'arrêts avec l'assistant des points de repère en simple tâche ($M = 16,2$, $SD = 5,93$) et en double tâche ($M = 16,3$, $SD = 5,97$) qu'avec l'assistant points cardinaux en simple tâche ($M = 25,5$, $SD = 10,7$) et en double tâche ($M = 22,8$, $SD = 10,7$) ($F(1, 86) = 19,35$, $p < .001$, $\eta^2 = .18$).

Ils ont également fait ces arrêts moins souvent avec l'assistant des points de repère en simple tâche ($M = 68,4$ s, $SD = 18,6$ s) et en double tâche ($M = 69,4$ s, $SD = 16,3$ s) qu'avec l'assistant points cardinaux en simple tâche ($M = 54,5$ s, $SD = 13,4$ s) et en double tâche ($M = 64,8$ s, $SD = 29,0$ s) ($F(1, 86) = 4,76$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$).

Enfin, l'effet d'interaction indique que les participants en condition de simple tâche ont effectué plus fréquemment des explorations visuelles avec l'assistant points cardinaux ($M = 30,6$ s, $SD = 6,30$ s) qu'avec l'assistant points de repère ($M = 38,8$ s, $SD = 11,3$ s), mais que l'inverse s'est produit en situation de double tâche, où les participants ont effectué moins fréquemment des explorations visuelles avec l'assistant points cardinaux ($M = 38,9$ s, $SD =$

9,51 s) qu'avec l'assistant points de repère ($M = 34,4$ s, $SD = 7,75$ s) ($F(1, 86) = 11,213$, $p < .01$, $\eta^2 = .11$).

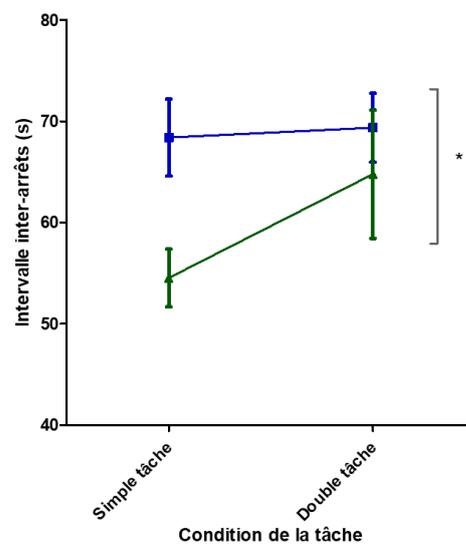
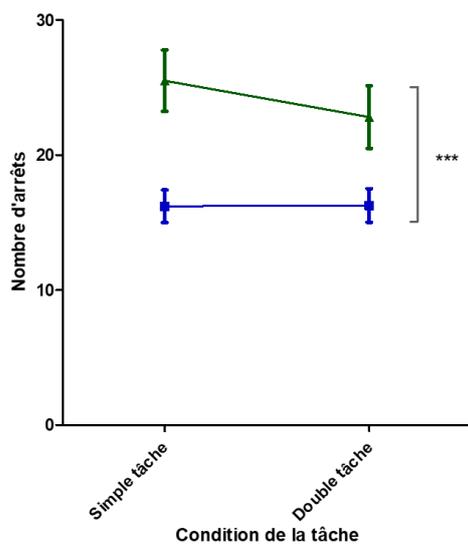
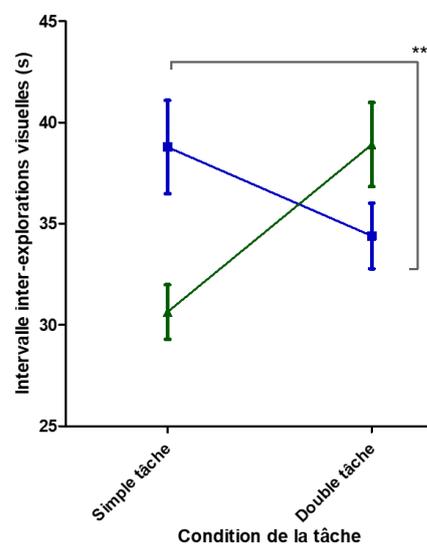
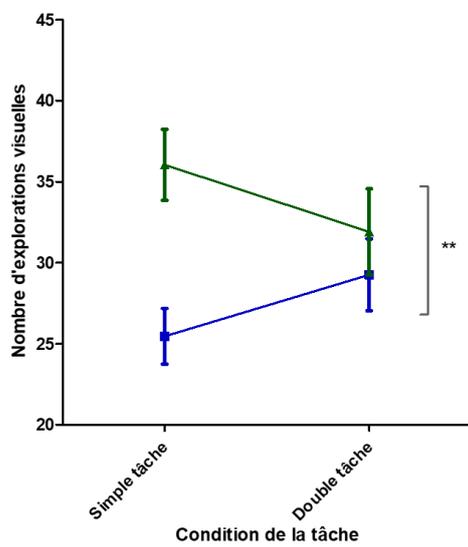
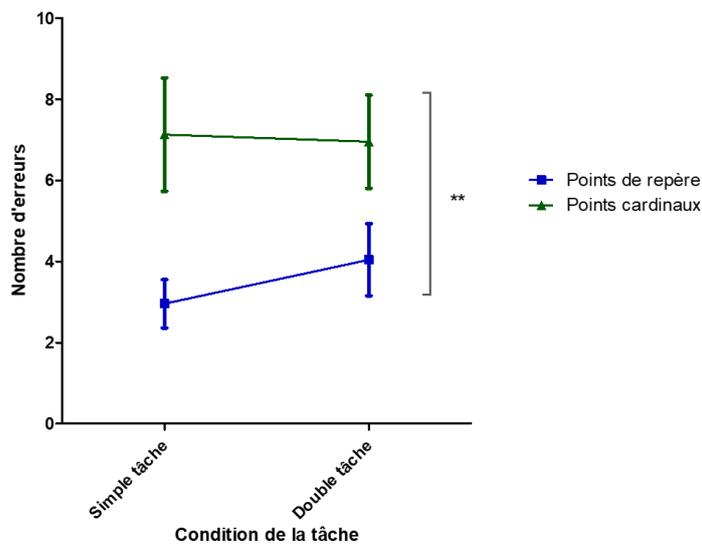


Figure 25 : Effets des assistants de navigation et des conditions de réalisation de la tâche sur les performances de navigation dirigée. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

L'évaluation concernant l'utilisation et la connaissance personnelle de *Grand Theft Auto V* avaient pour objectifs d'assurer l'absence d'un biais d'apprentissage lié à une utilisation préalable du jeu vidéo. Une analyse de corrélation entre les réponses aux questions sur la connaissance préalable du jeu vidéo et les comportements observés pendant le trajet « guidé » a été réalisée. Elle ne montre pas de corrélation entre la connaissance préalable et l'utilisation du jeu et les performances mesurées. Le niveau de connaissance préalable de la carte du jeu n'est pas corrélé avec le nombre d'erreurs ($r(33) = .00$, $p = .99$), le nombre de regards ($r(33) = .11$, $p = .51$) et l'intervalle entre deux regards ($r(33) = .07$, $p = .68$), le nombre d'arrêts ($r(33) = .00$, $p = .97$) et l'intervalle entre deux arrêts ($r(33) = -.10$, $p = .59$). Il ne semble donc pas y avoir d'effet d'une connaissance préalable du jeu vidéo sur la réalisation du trajet « guidé ».

3.1.2. Utilisation de représentations spatiales

Une MANOVA comparant les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée en considérant les deux facteurs « assistant de navigation » (points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou double). Les variables dépendantes suivantes ont été considérées : utilisation de nouveaux et d'anciens segments de route dans la bonne ou la mauvaise direction, et retour effectif au point de départ. L'analyse indique un effet de l'assistant de navigation (trace de Pillai = 0,18, $F(3,68)$, $p < 0,01$, $\eta^2 = 0,18$) et un effet de la tâche (trace de Pillai = 0,13, $F(2,50)$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,13$). Ces résultats sont représentés en Figure 26.

Les analyses univariées appliquant la correction de comparaison multiple Benjamini-Hochberg avec un seuil de .05 (Benjamini & Hochberg, 1995) indiquent un effet de l'assistant sur l'emprunt de nouvelles routes dans la bonne direction. Les participants utilisant l'assistant points de repère ont emprunté moins de nouvelles routes dans la bonne direction en simple tâche ($M = 2,21$, $SD = 2,06$) et en double tâche ($M = 2,83$, $SD = 2,19$) qu'avec l'assistant points cardinaux en simple tâche ($M = 3,14$, $SD = 2,01$) et en double tâche ($M = 3,81$, $SD = 1,81$) ($F(1, 86) = 4,99$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$).

En revanche, les participants avec l'assistant points de repère ont davantage emprunté de segments de routes précédemment utilisés (dans la bonne direction) en simple tâche ($M = 5,08$, $SD = 1,95$) et en double tâche ($M = 3,96$, $SD = 1,82$) que les participants avec l'assistant

avec l'assistant points cardinaux en simple tâche ($M = 3,73$, $SD = 1,98$) et en double tâche ($M = 2,90$, $SD = 1,37$) ($F(1, 86) = 9,96$, $p < .01$, $\eta^2 = .10$).

De plus, les analyses indiquent deux effets de la double tâche, sur l'emprunt d'anciens segments de route dans la bonne direction et sur le retour effectif au point de départ. Les participants en condition de double tâche empruntent moins d'anciens segments de route corrects avec l'assistant points de repère ($M = 3,96$, $SD = 1,82$) et avec l'assistant points cardinaux ($M = 2,90$, $SD = 1,37$), comparativement aux participants en tâche simple utilisant l'assistant points de repère ($M = 5,08$, $SD = 1,95$) et l'assistant points cardinaux ($M = 3,73$, $SD = 1,98$) ($F(1, 86) = 6,53$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$).

Les participants en condition de double tâche parviennent également moins à retourner au point de départ en utilisant l'assistant points de repère ($M = 0,78$, $SD = 0,80$) et l'assistant points cardinaux ($M = 1,19$, $SD = 0,68$), comparativement aux participants en tâche simple utilisant l'assistant points de repère ($M = 1,25$, $SD = 0,85$) et l'assistant points cardinaux ($M = 1,45$, $SD = 0,74$) ($F(1, 86) = 5,05$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$).

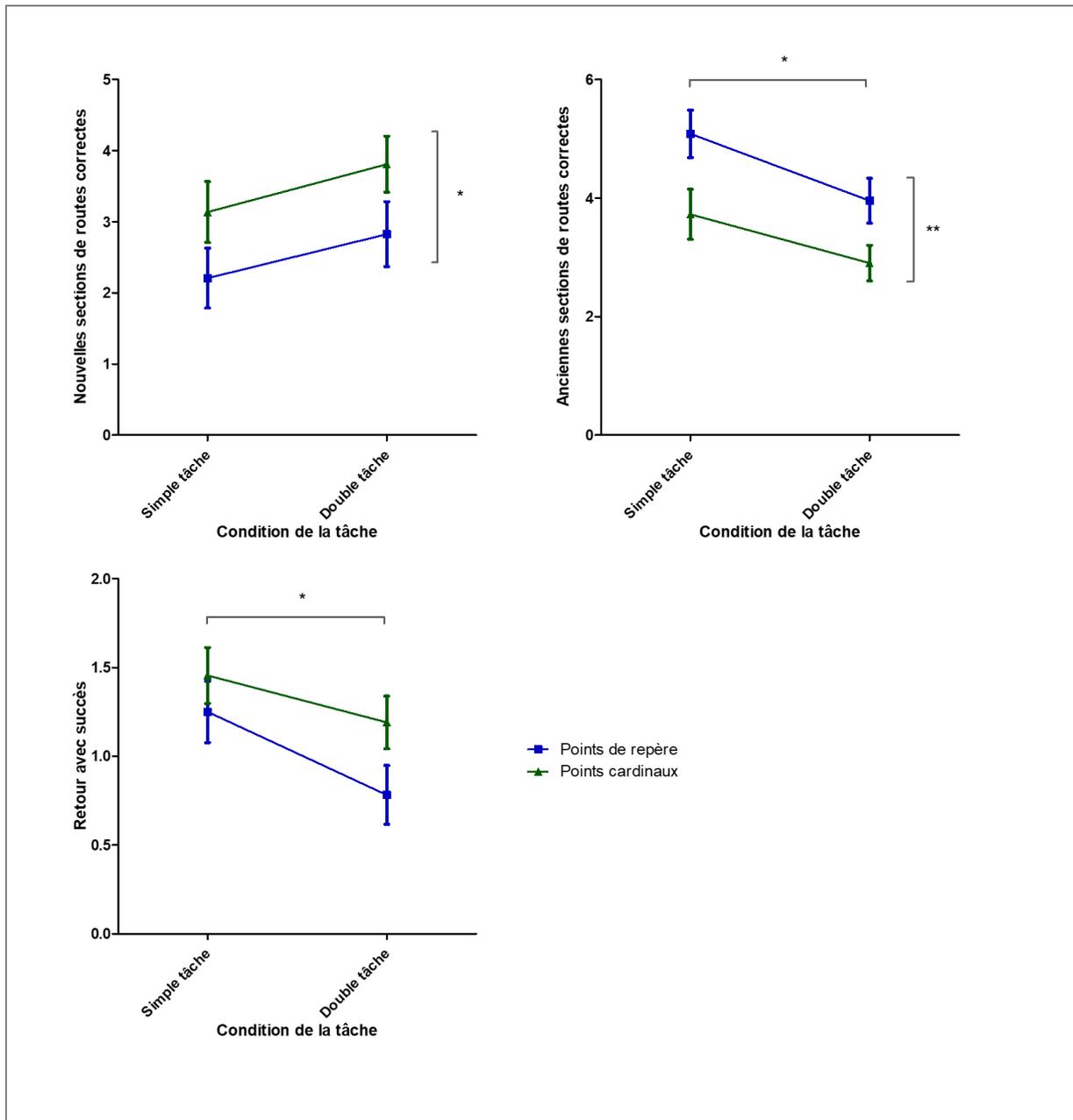


Figure 26 : Effets des assistants de navigation et des conditions de réalisation de la tâche sur la réalisation du trajet « raccourci ». Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

Une ANOVA comparant les ratios d'utilisation de nouveaux segments de route corrects dans les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée. Nous avons considéré les deux facteurs « assistant de navigation » (points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou double). Les participants ont réalisé un trajet davantage raccourci avec l'assistant points cardinaux en simple tâche ($M = 1,0$, $SD = 0,98$) et en double tâche ($M = 1,46$, $SD = 1,23$) qu'avec l'assistant points de repère en simple tâche ($M = 0,57$, $SD = 0,84$) et en double tâche ($M = 0,74$, $SD = 1,0$) ($F(1, 86) = 7,14$, $p < .01$, $\eta^2 = .07$). Ce résultat est représenté en Figure 27.

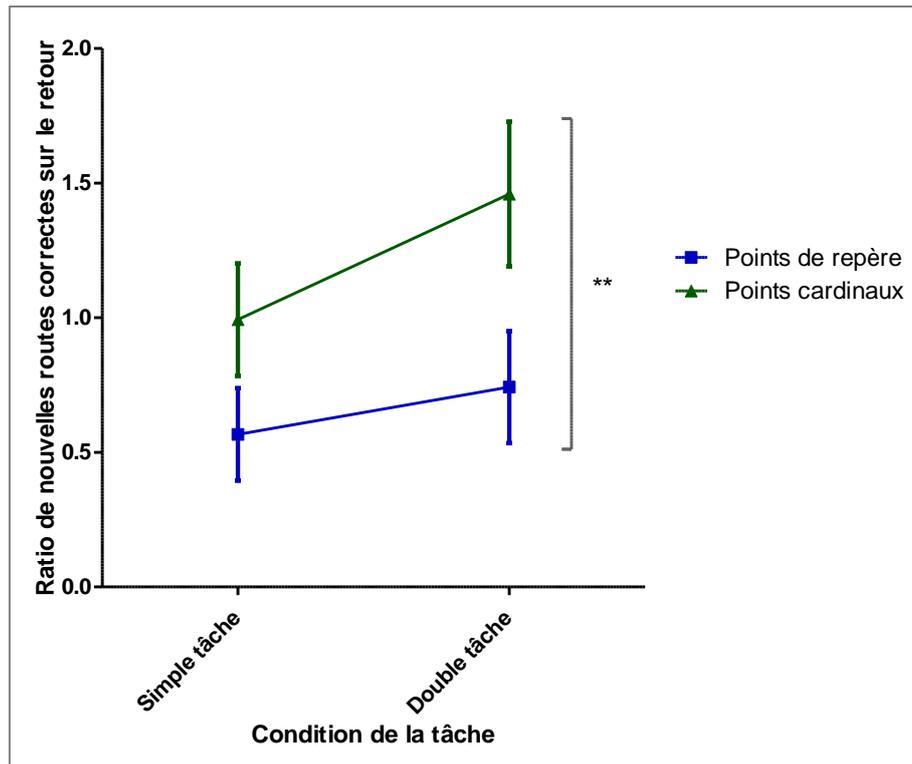


Figure 27 : Effet des assistants de navigation sur le ratio de nouvelles routes dans la bonne direction empruntées lors du trajet « raccourci » par rapport aux autres routes. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

Une ANOVA comparant les durées des trajets « raccourcis » dans les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée. Nous avons considéré les deux facteurs « assistant de navigation » (points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou double). Nous avons considéré les durées pour les 37 participants ayant complété les deux trajets (retour effectif au point de départ). L'analyse montre un effet principal des conditions de réalisation de la tâche. Les participants en condition de double tâche réalisent plus rapidement le chemin de retour avec l'assistant points de repère ($M = 299$ s, $SD = 80,3$ s) et avec l'assistant points cardinaux ($M = 260$ s, $SD = 53,3$ s) que les participants en condition de simple tâche avec l'assistant points de repère ($M = 355$ s, $SD = 85,2$ s) et avec l'assistant points cardinaux ($M = 349$ s, $SD = 101$ s) ($F(1, 33) = 5,61$, $p < .05$, $\eta^2 = .14$). Ce résultat est représenté en Figure 28.

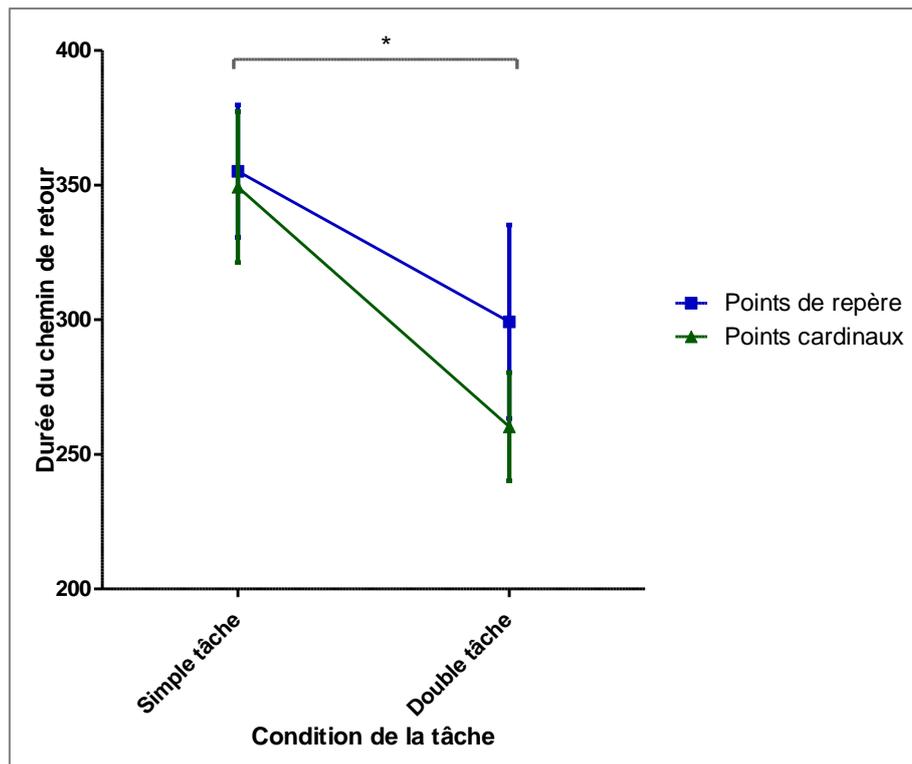


Figure 28 : Effet des conditions de la tâche sur la durée de réalisation du trajet « raccourci ». Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

Une analyse de corrélation entre les réponses aux questions sur la connaissance préalable du jeu vidéo et les comportements observés pendant le trajet « raccourci » a été réalisée. Elle ne montre pas de corrélation entre la connaissance préalable et l'utilisation du jeu et les performances mesurées. Le niveau de connaissance préalable de la carte du jeu n'est pas corrélé avec l'utilisation de nouvelles ($r(33) = .20, p = .26$) ou d'anciennes routes ($r(33) = -.05, p = .76$) correctes, le ratio de nouvelles routes correctes ($r(33) = .04, p = .80$), le retour effectif au point de départ ($r(33) = .27, p = .11$), ni la durée du raccourci ($r(12) = -.16, p = .60$). Il ne semble donc pas y avoir d'effet d'une connaissance préalable du jeu vidéo sur la réalisation du trajet « raccourci ».

3.2. Evaluation de la construction de représentations spatiales

3.2.1. Représentations point de repère

Une MANOVA comparant les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée en considérant les deux facteurs « assistant de navigation » (points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou double). Les variables dépendantes considérées sont le score de reconnaissance sur 40 et le

temps de réponse moyen. L'analyse indique un effet des conditions de réalisation de la tâche (trace de Pillai = 0,09, $F(4,38)$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,09$).

Les analyses univariées appliquant une correction de comparaison multiple indiquent un effet des conditions de réalisation de la tâche sur le score sur 40 et sur les temps de réaction moyens (Benjamini & Hochberg, 1995). Ces résultats sont représentés en Figure 29.

Les participants ayant effectué la navigation dirigée en condition de double tâche ont un score de reconnaissance moins élevé après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 25,2$, $SD = 3,11$) et l'assistant points cardinaux ($M = 25$, $SD = 4,35$) que les participants en condition de simple tâche après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 26,6$, $SD = 2,62$) et l'assistant points cardinaux ($M = 27,2$, $SD = 3,29$) ($F(1, 86) = 6,34$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$).

Les participants ayant effectué la navigation dirigée en condition de double tâche répondent également moins rapidement après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 1512$ ms, $SD = 227$ ms) et l'assistant points cardinaux ($M = 1484$ ms, $SD = 262$ ms) que les participants en condition de simple tâche après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 1448$ ms, $SD = 233$ ms) et l'assistant points cardinaux ($M = 1342$ ms, $SD = 183$ ms) ($F(1, 86) = 4,58$, $p < .05$, $\eta^2 = .05$).

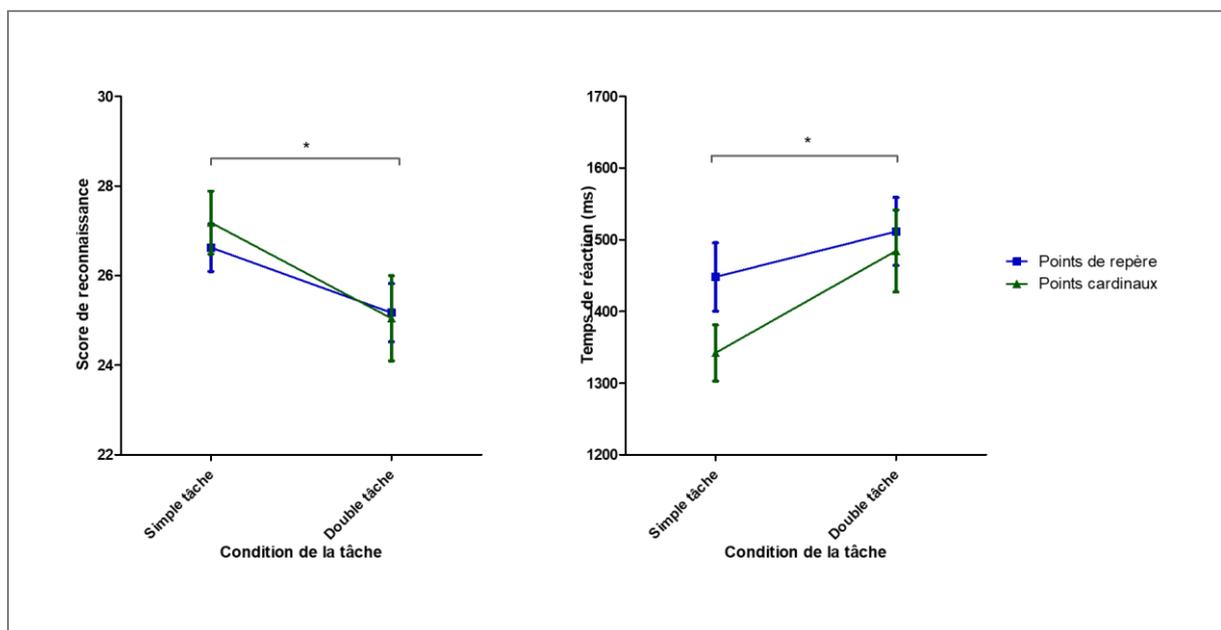


Figure 29 : Effets des conditions de réalisation de la tâche sur le score de reconnaissance des points de repère et le temps de réponse. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

Une MANOVA comparant les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée en considérant les deux facteurs « assistant de navigation » (points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou

double). Les variables dépendantes considérées sont les scores détaillés de reconnaissance des points de repère (détections correctes, fausses alarmes, rejets corrects et oublis). L'analyse indique un effet des conditions de réalisation de la tâche (trace de Pillai = 0,11, $F(2,67)$, $p < 0,05$, $\eta^2 = 0,11$). Les analyses univariées appliquant une correction de comparaison multiple indiquent un effet des conditions de réalisation de la tâche sur les rejets corrects et les fausses alarmes (Benjamini & Hochberg, 1995). Ces résultats sont représentés en Figure 30.

Les participants en condition de double tâche effectuent moins de détections correctes après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 14$, $SD = 3,64$) et l'assistant points cardinaux ($M = 14,4$, $SD = 3,28$) que les participants en condition de simple tâche après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 16$, $SD = 2,61$) et l'assistant points cardinaux ($M = 15,6$, $SD = 3,30$) ($F(1, 86) = 5,74$, $p < .05$, $\eta^2 = .06$).

Les participants en condition de double tâche font également davantage de fausses alarmes après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 5,26$, $SD = 3,58$) et l'assistant points cardinaux ($M = 5,05$, $SD = 3,11$) que les participants en condition de simple tâche après avoir utilisé l'assistant points de repère ($M = 3,42$, $SD = 2,64$) et l'assistant points cardinaux ($M = 3,64$, $SD = 3,13$) ($F(1, 86) = 6,09$, $p < .05$, $\eta^2 = .07$).

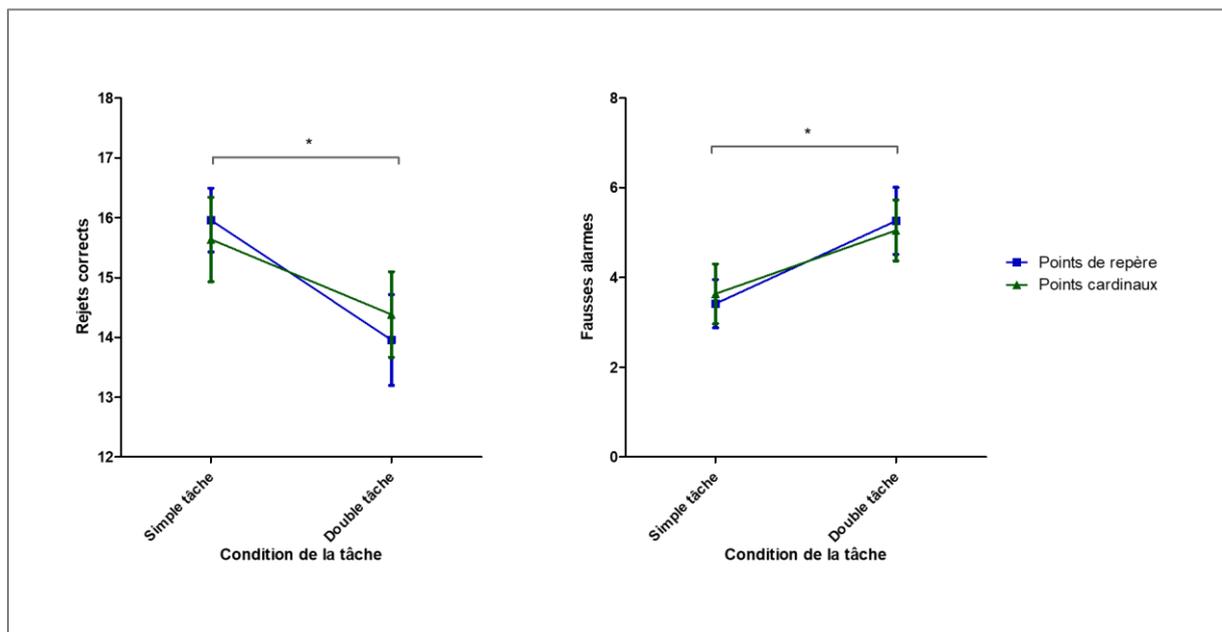


Figure 30 : Effets des conditions de réalisation de la tâche sur les rejets corrects et les fausses alarmes lors de la tâche de reconnaissance des points de repère. Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

3.2.2. Représentations survol

Une ANOVA comparant les scores de tracés de parcours pour les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée en considérant les deux facteurs « assistant de navigation » (points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou double). L'analyse n'indique pas d'effet des variables indépendantes sur la capacité à tracer son parcours sur le plan, pour l'assistant de navigation ($F(1, 86) = 1,28, p = .26, \eta^2 = .02$) comme pour les conditions de réalisation de la tâche ($F(1, 86) = 0,19, p = .67, \eta^2 = .00$). Les scores sont détaillés dans le Tableau 9.

	Score au tracé (SD)	
	Tâche simple	Tâche double
Points de repère	10,9 (6,29)	9,74 (5,39)
Points cardinaux	11,6 (5,09)	11,8 (6,07)

Tableau 9 : Scores moyens et écarts-types pour les quatre conditions expérimentales au tracé de parcours.

Une MANOVA selon les mêmes facteurs comparant la disposition des points de repère (scores r , DI , ϕ , θ du logiciel GMDA) a été réalisée. Elle n'indique pas d'effet des variables indépendantes sur la capacité à disposer les points de repère sur le plan, pour l'assistant de navigation (trace de Pillai = 0,00, $F(0,08)$, $p = 0,99$) comme pour les conditions de réalisation de la tâche (trace de Pillai = 0,07, $F(1,77)$, $p = 0,14$). Les scores sont détaillés dans le Tableau 10.

Assistant	Tâche	r (SD)	DI (SD)	ϕ (SD)	θ (SD)
Points de repère	Simple	0,347 (0,146)	91,6 (7,33)	0,295 (0,140)	114 (73,4)
	Double	0,342 (0,132)	91,8 (5,95)	0,275 (0,150)	213 (136)
Points cardinaux	Simple	0,332 (0,105)	92,5 (5,19)	0,266 (0,099)	168 (106)
	Double	0,378 (0,123)	89,7 (7,55)	0,317 (0,136)	163 (97,4)

Tableau 10 : Scores moyens et écarts-types pour les quatre conditions expérimentales pour les quatre indicateurs de disposition des points de repère.

3.3. Mesure de l'utilisabilité des assistants de navigation

Une ANOVA comparant l'utilisabilité des deux assistants pour les quatre conditions expérimentales de la tâche de navigation dirigée a été réalisée en considérant les deux facteurs « assistant de navigation » (points de repère ou points cardinaux) et « conditions de réalisation de la tâche » (simple ou double). L'analyse montre un effet principal de l'assistant de navigation ($F(1, 86) = 13.93, p < .001, \eta^2 = .14$). Les participants jugent l'assistant points de repère plus efficace et plus satisfaisant en simple tâche ($M = 75,5, SD = 16$) et en double tâche

(M = 69,9, SD = 18,5) que l'assistant points cardinaux en simple tâche (M = 57,6, SD = 21,8) et en double tâche (M = 57,1, SD = 21,4). Ce résultat est représenté en Figure 31.

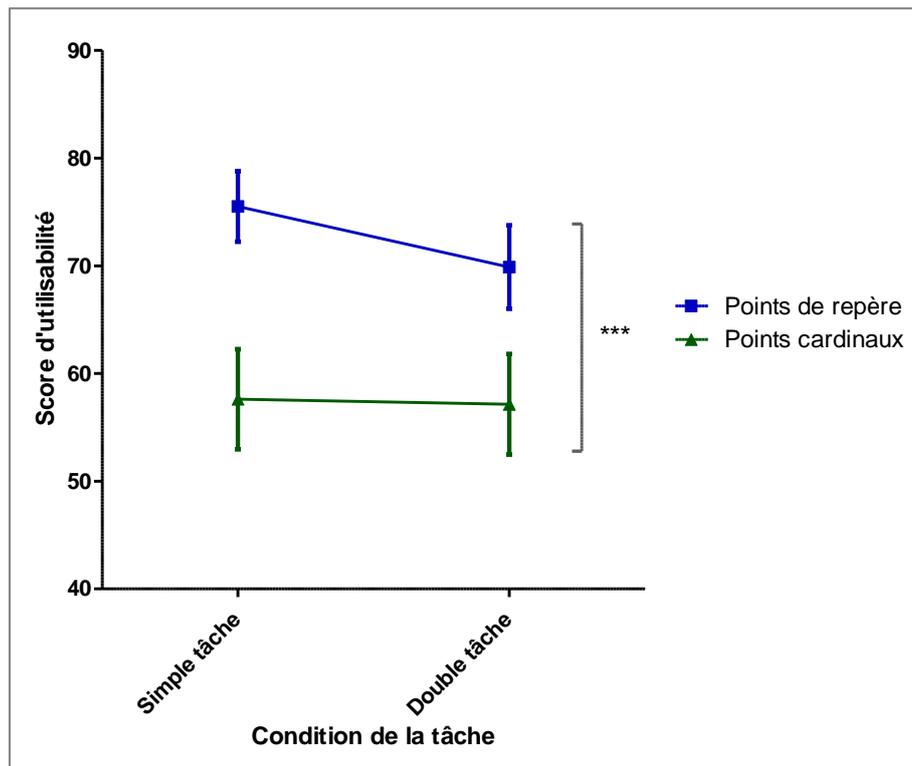


Figure 31 : Effet des assistants de navigation sur le score au questionnaire d'utilisabilité (SUS). Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

Une ANOVA sur les demandes du participant à réentendre les instructions (nombre de fois où un participant prononce « répéter ») n'indique pas d'effet de l'assistant de navigation ($F(1, 86) = 3,44, p = .07$) ni des conditions de réalisation de la tâche ($F(1, 86) = 0,00, p = 1$). Les participants demandent autant de répétitions dans tous les cas, indépendamment de l'assistant de navigation et de la réalisation d'une tâche interférente. Les scores sont détaillés dans le Tableau 11.

	Demandes de répétitions (SD)	
	Tâche simple	Tâche double
Points de repère	4,21 (3,16)	4,52 (4,69)
Points cardinaux	6,50 (5,09)	6,19 (4,66)

Tableau 11 : Nombres moyens et écarts-types des demandes de répétitions d'instructions pour les quatre conditions expérimentales.

3.4. Synthèse des effets de l'assistant de navigation

Le type d'assistant de navigation présente quatre effets sur les performances de navigation dirigée, évaluées par la tâche de trajet « guidé ». Par rapport aux participants utilisant l'assistant points cardinaux, les participants utilisant l'assistant points de repère ont fait :

- Moins d'erreurs,
- Moins d'explorations visuelles,
- Moins d'arrêts,
- Des arrêts moins fréquents (durée plus élevée entre deux arrêts).

Le type d'assistant de navigation présente également deux effets sur la construction de représentations spatiales, évaluée par la tâche de trajet « raccourci ». Par rapport aux participants utilisant l'assistant points cardinaux, les participants utilisant l'assistant points de repère ont emprunté :

- Moins de nouvelles routes dans la bonne direction,
- Davantage d'anciennes routes dans la bonne direction,
- Un raccourci de moins bonne qualité.

Enfin, l'assistant points de repère est jugé le plus utilisable, d'après l'évaluation par le questionnaire SUS. Ces résultats sont résumés dans le Tableau 12.

Evaluation (Tâche correspondante)	Variables dépendantes	Assistant points de repère		Assistant points cardinaux		Significativité et taille d'effet
		Tâche simple	Tâche double	Tâche simple	Tâche double	
Performances de navigation dirigée (Trajet « guidé »)	Erreurs	2,96 (2,93)	4,04 (4,27)	7,0 (6,84)	6,81 (5,48)	** $\eta^2 = .11$
	Explorations visuelles	25,5 (8,46)	29,3 (10,7)	36,0 (10,3)	31,9 (12,2)	** $\eta^2 = .09$
	Arrêts	16,2 (5,93)	16,3 (5,97)	25,5 (10,7)	22,8 (10,7)	*** $\eta^2 = .18$
	Durée entre deux arrêts (s)	68,4 (18,6)	69,4 (16,3)	54,5 (13,4)	64,8 (29,0)	* $\eta^2 = .05$
Construction et utilisation des représentations spatiales (Trajet « raccourci »)	Nouvelles routes correctes	2,21 (2,06)	2,83 (2,19)	3,14 (2,01)	3,81 (1,81)	* $\eta^2 = .05$
	Anciennes routes correctes	5,08 (1,95)	3,96 (1,82)	3,73 (1,98)	2,90 (1,37)	** $\eta^2 = .10$
	Qualité du raccourci (ratio de nouvelles routes correctes)	0,57 (0,84)	0,74 (1,0)	1,0 (0,98)	1,46 (1,23)	** $\eta^2 = .07$
Utilisabilité (Questionnaire SUS)	Score d'utilisabilité	75,5 (16)	69,9 (18,5)	57,6 (21,8)	57,1 (21,4)	*** $\eta^2 = .14$

Tableau 12 : Effets du facteur « assistant de navigation » sur les variables à travers les différentes évaluations. Les valeurs indiquées sont les moyennes, avec l'écart-type entre parenthèses. Les scores les plus élevés pour chaque mesure sont écrits en gras. Les significativités statistiques sont marquées d'un astérisque (* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$).

4. Discussion

4.1. Effet bénéfique de l'assistant points de repère sur la qualité de la navigation dirigée

Deux prototypes d'assistants de navigation ont été comparés dans cette étude. L'un représentait une aide dont les principes étaient basés sur l'utilisation des points de repère. Le second était une aide basée sur des représentations survol, similaire aux aides les plus couramment disponibles pour le grand public. Sur la base des données vidéo des trajets effectués par les participants, nous avons réalisé des analyses sur trois comportements observables : faire une erreur, explorer visuellement l'environnement et s'arrêter complètement. Pour ces trois indicateurs, plusieurs différences ont été observées selon l'aide à la navigation.

Tout d'abord, en ce qui concerne l'efficacité de la navigation, les participants utilisant l'assistant points de repère font moins d'erreurs que les participants utilisant l'assistant points

cardinaux, indépendamment des conditions de réalisation de la tâche. Ce résultat prouve une fois de plus que l'utilisation d'informations sur les points de repère peut faciliter la navigation dirigée (Denis, 1997; Denis et al., 2007, 2014). Notre résultat suggère donc que dans le but d'augmenter l'efficacité de la navigation dirigée en réduisant le nombre d'erreurs qu'une personne peut commettre en suivant des directions, une aide à la navigation devrait envisager l'utilisation d'instructions basées sur des points de repère.

La navigation dirigée repose également sur la prise de décision et l'orientation, qui ont lieu tout au long du voyage (Montello, 2017; Vandenberg, 2016). Une difficulté de navigation dirigée peut donc se traduire non seulement par une erreur, mais aussi par des hésitations dans l'accomplissement du voyage. Les participants qui ont utilisé l'assistant points cardinaux ont réalisé davantage d'explorations visuelles de leur environnement que les participants ayant utilisé l'assistant points de repère. Ils ont également effectué davantage d'arrêts et selon une fréquence accrue, ce qui induit un déplacement plus hésitant et intermittent. Ces hésitations pourraient s'expliquer par des difficultés de prise de décision et d'orientation (Vandenberg, 2016). Les participants, n'étant pas sûrs de leur itinéraire, s'interrompent pour observer l'environnement ou planifier leur parcours. Nos résultats suggèrent donc un effet facilitateur de l'aide basée sur des points de repère sur la navigation dirigée.

Nos résultats corroborent ceux de la littérature, qui désigne les représentations basées sur des points de repère comme étant les plus utiles sur le plan cognitif pour la navigation dirigée. Il est important de noter que l'assistant points cardinaux étant basé sur des instructions réelles données par les aides à la navigation les plus couramment utilisées, nos résultats montrent que ces systèmes d'aide ne permettent pas un déplacement optimal. Les utilisateurs de ces aides peuvent être surpassés par les utilisateurs d'une aide basée sur des points de repère lorsqu'il s'agit de situations de navigation réalistes.

Il convient de noter une limite à ces résultats. Alors que l'assistant points cardinaux était basé sur les aides à la navigation les plus courantes, il ne s'appuyait que sur des fonctionnalités vocales dans cette étude. La plupart des aides à la navigation actuelles offrent bien des fonctionnalités vocales qui ressemblent de près aux instructions que nous avons utilisées dans cette étude. Cependant, elles fournissent souvent en complément une carte en vue aérienne qui peut être observée simultanément, ce qui n'était pas le cas de notre prototype. L'utilisation simultanée de ces deux formats d'informations peut faciliter la compréhension des instructions données.

4.2. Effet négatif de l'assistant points de repère sur la construction de représentations spatiales

Après s'être déplacés en ville à l'aide de l'un ou l'autre des deux assistants de navigation, les participants devaient retourner à leur point de départ selon le chemin qu'ils estimaient le plus court et le plus rapide possible, sans assistance. Dans les deux quartiers, plusieurs chemins possibles existaient. L'emprunt de sections correspondant à un « raccourci » (nouvelles routes menant au point de départ plus rapidement qu'en rebroussant le trajet « guidé ») a été considéré comme un indicateur de l'utilisation de représentations « survol » des quartiers virtuels. Les résultats montrent que les participants ayant préalablement utilisé l'assistant points cardinaux empruntent davantage de nouvelles routes dans la bonne direction, et que les participants ayant utilisé l'assistant points de repère reprennent davantage le trajet qu'ils ont effectué à l'aller, lors du trajet « guidé ». Lorsque l'emprunt de nouvelles sections de route dans la bonne direction est considéré en proportion de l'ensemble du trajet « raccourci » (par le calcul d'un ratio), nos analyses confirment que ces deux effets sont mutuellement exclusifs. Les participants ayant utilisé l'assistant points de repère empruntent proportionnellement davantage d'anciennes routes au détriment de nouvelles routes. A l'inverse, les participants ayant utilisé l'assistant points cardinaux empruntent une proportion plus importante de nouvelles routes correctes sur l'ensemble du trajet « raccourci ».

Ces résultats mettent en évidence un effet du type d'assistant de navigation sur la construction et l'utilisation de représentations spatiales de survol. Plus performant pour le guidage, l'assistant points de repère est associé à de plus faibles performances lors d'un déplacement libre de retour au point de départ. Ces résultats viennent nuancer ceux de la littérature suggérant l'utilisation de points de repère pour améliorer la navigation dirigée, en indiquant un potentiel désavantage d'une aide exclusivement basée ce type de représentations. Dans notre étude, les participants avaient accès à deux modalités d'informations spatiales : une information visuelle identique pour tous (vue à la première personne), à laquelle s'ajoutait une information verbale variant selon les conditions expérimentales (par les instructions de l'assistant). Les instructions de l'assistant de navigation utilisaient deux niveaux de représentations spatiales différents. Il apparaît ainsi que l'assistant points de repère a amélioré la qualité de la navigation dirigée, mais qu'il n'a pas permis pas de former une représentation survol de l'environnement aussi complète que l'assistant points cardinaux.

Une explication possible à cette différence réside dans la nature des instructions communiquées, et dans leur rapport à l'information spatiale visuellement recueillie par les

participants. L'assistant points de repère fournit une information de même niveau que les représentations construites à partir de la perception visuelle de l'environnement. A l'inverse, l'assistant points cardinaux fournit une information d'un niveau de représentation spatiale différent de l'information visuelle.

L'assistant points cardinaux utilise des informations survol qui permettent au participant de développer une représentation spatiale interne sous forme de vue aérienne. A l'inverse, l'assistant points de repère fournit une information spatiale relative au point de vue du participant, et ne l'amène pas à se représenter le quartier virtuel à vol d'oiseau. Les représentations ainsi développées seraient donc insuffisantes pour être utilisées ensuite lors d'un déplacement autonome dans l'environnement. Nos résultats confirment ceux de Picucci et al. (2013), qui montrent que la construction de représentations spatiales internes est dépendante de la façon dont l'environnement est présenté. Dans l'étude de ces auteurs, deux modes de présentation de l'environnement sont proposés, uniquement visuel ou uniquement verbal. Nos résultats suggèrent que cette dépendance de la construction de modèles mentaux au mode de présentation de l'espace existe également pour des présentations selon la même modalité visuelle, mais dont le format de présentation verbale varie. En particulier, nos participants utilisant l'assistant points cardinaux ont donc accès à deux types d'informations différents. Selon Tom et Tversky (2012), la construction de modèles mentaux repose en partie sur l'association de différents niveaux d'information spatiale. Dans notre étude, l'association d'informations égocentriques (par la vue à la première personne) et allocentrique (par l'assistant points cardinaux) permettrait ainsi la construction de modèles mentaux plus complets. Ces modèles mentaux plus complets expliqueraient la meilleure qualité du raccourci des participants utilisant l'assistant points cardinaux.

En revanche, la construction de représentations point de repère n'apparaît pas favorisée par l'utilisation de l'assistant points de repère. Ces représentations étaient évaluées par la tâche de reconnaissance à partir des photographies. Nos analyses n'indiquent aucune différence dans les scores en fonction de l'assistant de navigation utilisé. De plus, quel que soit le type d'assistant utilisé, la capacité à reproduire l'environnement sur des cartes à l'issue du déplacement ne semble pas varier. Les scores aux tâches de tracé de parcours et de disposition des points de repère n'indiquent aucune différence de performance entre les deux groupes. Malgré les dispositions prises afin de ne pas faciliter la distinction des différentes aires urbaines sur le plan vierge, il semble que la tâche de tracé de parcours n'ait pas permis suffisamment de variabilité dans les productions. De plus, les scores obtenus quant à la disposition des points de repère sur le plan semblent indiquer une trop grande complexité de la tâche. Nos résultats indiquent des effets plancher (score de disposition générale) ou plafond (indice de distorsion). Une grande partie des participants a mentionné lors des passations que

cette tâche de disposition des points de repère était difficile. Une explication possible réside dans le nombre important de points de repère à disposer sur le plan.

4.3. Meilleure utilisabilité de l'assistant points de repère

Si l'efficacité objectivement mesurée pour une tâche donnée joue un rôle substantiel dans l'expérience qu'un utilisateur aura de n'importe quel système, son évaluation subjective ainsi que la satisfaction de l'utilisateur permettent de mesurer la facilité d'utilisation réelle de ce système (Brooke, 2013). Brooke (2013) indique qu'il est en effet possible qu'un système permette à ses utilisateurs d'accomplir efficacement leurs tâches, mais au prix d'un coût temporel et d'efforts qui le rendent inutilisable. L'utilisabilité des deux assistants de navigation a donc été évaluée afin d'approfondir l'analyse de leur effet sur l'expérience globale de l'utilisateur. Nos résultats indiquent que les participants ont évalué différemment l'utilisabilité de l'assistant de navigation qui leur a été fourni, indépendamment des conditions de réalisation de la tâche de navigation : l'assistant points de repère a été jugé « bon » en moyenne, ce qui souligne une grande acceptabilité de cette aide, tandis que l'assistant points cardinaux a été évalué seulement comme « passable », ce qui indique sa faible acceptabilité. En outre, les participants demandent autant de répétitions d'instructions avec l'assistant points de repère qu'avec l'assistant points cardinaux. Les participants apparaissent donc faire un usage de l'assistant points de repère similaire à celui d'un assistant points cardinaux.

Ces résultats complètent ceux relatifs à la performance, car ils montrent non seulement qu'une aide basée sur les points de repère augmente objectivement la qualité de la navigation dirigée, mais aussi qu'elle est subjectivement évaluée comme meilleure qu'une aide basée sur des représentations survol.

4.4. Bénéfices de l'assistant points de repère pour les participants avec une incapacité cognitive induite

Un objectif de cette étude était d'évaluer l'efficacité d'un dispositif adapté pour des individus ayant un handicap cognitif. Nous avons cherché à produire une surcharge cognitive pour deux groupes de participants sains afin d'induire une limitation du maintien des informations spatiales en mémoire de travail.

L'administration de la tâche interférente est associée à une diminution de certaines performances dans notre expérience. Lors des trajets « raccourcis », les participants en condition de double tâche parviennent moins à réatteindre leur point de départ, quel que soit

l'assistant de navigation utilisé. De plus, après le déplacement, les participants ayant effectué le *tapping* reconnaissent moins de points de repère et répondent plus lentement que les participants ayant été en condition de tâche simple. En particulier, les participants en condition de double tâche effectuent moins de rejets corrects, et davantage de fausses alarmes. Ainsi, davantage de photographies de distracteurs sont faussement reconnues par ces participants, et davantage de photographies de points de repère effectivement rencontrés sont incorrectement rejetées comme étant des distracteurs. Ces résultats semblent confirmer l'effet souhaité de la double tâche : les participants concernés apparaissent avoir formé des représentations internes incomplètes, limitant leur capacité à trouver un chemin pour rentrer au point de départ et à reconnaître des points de repère. Il est à noter qu'un effet inattendu de la double tâche est relevé. Les participants effectuant le *tapping* parviennent moins à rentrer au point de départ lors de la tâche de raccourci, mais ceux y parvenant réalisent le trajet plus rapidement que les participants en situation de tâche simple. Ce résultat suggère que cette tâche interférente a eu un effet variable selon les participants.

En revanche, les mesures effectuées lors de la navigation guidée montrent que les participants effectuant la tâche interférente ont des performances similaires aux autres participants. Une seule différence est mesurée : ces participants explorent visuellement leur environnement plus fréquemment que les participants en condition de tâche simple lorsqu'ils utilisent l'assistant points cardinaux. Ces résultats suggèrent que malgré la limitation du maintien de l'information spatiale en mémoire de travail, les participants avec une incapacité induite par la double tâche ont bénéficié de l'utilisation d'un assistant de navigation, quel que soit l'assistant. De plus, les bénéfices constatés de l'utilisation de l'assistant points de repère se retrouvent chez les participants en condition de double tâche. Ces participants réalisent une navigation dirigée plus efficace avec l'assistant points de repère qu'avec l'assistant points cardinaux.

Ces résultats représentent un argument en faveur des assistances à la navigation, et en particulier des assistances utilisant les points de repère, pour améliorer la mobilité des individus ayant un handicap cognitif. Ces résultats confirment également ceux de Sohlberg et al. (2007). Ces auteurs montraient que les participants ayant un handicap cognitif bénéficiaient de l'usage d'un assistant de navigation utilisant des indications auditives basées sur les points de repère. Nos résultats confirment que les performances de déplacement aidé d'un assistant point de repère sont améliorées, comparativement aux performances obtenues à l'aide d'un assistant de navigation inspiré des outils actuellement disponibles pour le grand public.

4.5. Conclusion

Cette étude visait à évaluer les performances induites par une aide à la navigation basée sur des points de repère auprès d'individus contrôles et ayant une incapacité cognitive, ainsi que l'utilisabilité de ce dispositif. Les résultats de notre étude corroborent la littérature sur le fait qu'une aide basée sur des points de repère permet d'obtenir de meilleures performances de navigation et une meilleure utilisabilité que les aides basées sur des représentations survol. De plus, cette aide semble représenter une possibilité d'amélioration pour la mobilité des individus ayant un handicap cognitif. En revanche, une telle aide n'apparaît pas favoriser la construction et l'emploi de représentations survol.

Nos résultats suggèrent plusieurs perspectives de recherche. Notre étude visait à évaluer un prototype d'aide basé sur des représentations de points repères, utilisant donc un assistant « simplifié », uniquement vocal. Des études ultérieures pourraient donc explorer l'efficacité et l'utilisabilité d'une telle aide basée sur des points de repère, avec une interface visuelle incorporant ces repères, afin de comparer cette solution avec les aides réelles existantes. De plus, de futures études pourraient complexifier la tâche de tracé sur plan et simplifier la tâche de disposition de points de repère. La simplification de la tâche de disposition pourrait par exemple être opérée en diminuant le nombre de points à placer, ou en utilisant des points de repère choisis par les participants. Ces modifications pourraient occasionner plus de variabilité entre les participants et rendre les mesures davantage exploitables, afin d'explorer plus finement les effets des assistants de navigation sur la construction des différents niveaux de représentations spatiales.

Troisième partie
Discussion générale

Discussion générale

Cette dernière partie de la thèse synthétise et propose une discussion critique des principales contributions théoriques et expérimentales. Nous explorons également les perspectives méthodologiques et applicatives ouvertes par les études effectuées. Les limites de ce travail sont également définies et discutées.

Cette thèse avait pour objectif principal d'analyser les composantes de la navigation affectées par le handicap cognitif et contraignant la chaîne du déplacement, afin d'identifier des leviers en matière de solutions d'aide à la mobilité. Nous avons tout d'abord constitué un état de l'art sur la cognition spatiale et la navigation dirigée dans le champ du handicap cognitif. Puis, dans une première étude, nous avons approfondi les connaissances actuelles sur la mobilité urbaine des personnes ayant un handicap cognitif, en recueillant des données sur le terrain. Ensuite, par une seconde étude, nous avons évalué l'efficacité d'un prototype adapté d'aide à la navigation.

1. Contributions théoriques

1.1. Le caractère multifactoriel de la navigation dirigée pour étudier le handicap cognitif

Plusieurs auteurs désignent par la navigation dirigée l'ensemble des composantes de la réalisation d'un trajet reliant un point de départ à une destination (Golledge, 1991, 1995; Montello, 2017; Vandenberg, 2016). Cette activité comprend des composantes « représentationnelles » et « dynamiques » (Waller & Nadel, 2013). La qualité de navigation dirigée est également dépendante de paramètres de l'environnement comme sa disposition spatiale (Gärling, Böök, et al., 1986). La navigation dirigée est donc multifactorielle : elle dépend des caractéristiques de l'individu et de l'espace dans lequel il se déplace.

Le handicap cognitif est également modélisé comme une interaction de facteurs individuels et environnementaux (Fougeyrollas, 2010; World Health Organization, 2012). Cette approche multifactorielle souligne le fait que le handicap n'est pas un attribut d'un individu, mais une inadéquation entre ses objectifs, ses caractéristiques personnelles et son environnement. Dans notre première étude, nous avons exploré les difficultés dans la chaîne du déplacement d'individus ayant un handicap cognitif. Afin de constituer notre échantillon,

nous avons choisi le critère de la reconnaissance légale du handicap cognitif. Cette reconnaissance légale repose uniquement sur l'évaluation médicale de l'individu, et ne rend pas compte des interactions entre les différents facteurs produisant le handicap.

Le modèle multifactoriel de la navigation dirigée s'est avéré être adapté à l'investigation auprès de cette population. Nous avons pu explorer les aspects « représentationnels » de la navigation dirigée par l'intermédiaire du questionnaire sur les compétences spatiales (Pazzaglia et al., 2000). L'entretien semi-dirigé selon la technique des incidents critiques a permis de révéler des difficultés concernant les aspects « dynamiques » de la navigation et les aspects environnementaux. Ces difficultés rendent compte d'interactions entre les différents facteurs produisant le handicap. Nos analyses ont permis de mettre en évidence des situations résultant de l'interaction entre les incapacités cognitives, les objectifs des individus lors des déplacements et les caractéristiques de l'environnement.

Les résultats de nos études suggèrent que des incapacités dans la cognition spatiale ne prédisent pas à elles seules de difficultés dans la navigation dirigée. Dans notre première étude, les participants ayant un handicap cognitif rapportent principalement des situations d'égarement, ce qui semble correspondre à une difficulté dans la résolution de problème spatial. Pourtant, nos résultats ne montrent pas de différence dans les compétences spatiales entre les participants ayant un handicap cognitif et les participants contrôles. Ce résultat pourrait confirmer ceux de Claessen et al. (2017) indiquant que les personnes ayant un handicap cognitif peuvent présenter des difficultés dans la navigation dirigée, sans qu'il y ait atteinte de leurs représentations spatiales. Dans notre seconde étude, nous avons cherché à provoquer une incapacité cognitive chez des participants par la mise en œuvre d'un protocole de double tâche. La tâche interférente avait pour objectif de limiter le maintien de l'information spatiale en mémoire de travail (De Beni et al., 2005; Gyselinck et al., 2009). Les résultats montrent que les participants effectuant une tâche interférente parviennent moins à retourner au point de départ lors de la tâche de « raccourci », comparativement aux participants en condition de tâche simple. Cela suggère que ces participants ont effectivement acquis des représentations spatiales incomplètes du fait de la réalisation de la double tâche. En revanche, ils présentent des performances de navigation dirigée (nombres d'erreurs, d'explorations visuelles, d'arrêts) équivalentes à celles des participants en condition de tâche simple lorsqu'ils bénéficient d'un guidage. Ces résultats indiquent que l'assistance à la navigation a permis d'accomplir le déplacement malgré des limitations dans la construction des représentations spatiales.

Ces éléments renforcent l'idée que des difficultés de navigation dirigée peuvent résulter d'une interaction entre des facteurs personnels, environnementaux et contextuels. La littérature sur la navigation dirigée des personnes ayant un handicap cognitif n'apporte pas de

réponse complète sur les facteurs principalement impliqués dans ces difficultés de navigation, et se focalise principalement sur les aspects cognitifs spatiaux. En revanche, nos études nous permettent de tracer certaines pistes de réflexion.

En particulier, dans notre première étude, les causes des situations complexes sont apparemment similaires entre les participants. Pourtant, les deux groupes mentionnent des types différents de situations complexes résultant de ces mêmes causes. Il est possible qu'un individu sans handicap soit plus à même de détecter un changement potentiel et d'adapter son itinéraire en conséquence, déclarant ainsi non pas le précurseur initial mais le nouvel itinéraire comme problématique. En revanche, les participants atteints d'un handicap cognitif peuvent éprouver des difficultés à adapter leur comportement en conséquence à un nouvel élément qui n'est pas encore jugé problématique. Un autre résultat intéressant réside dans l'attrait des participants sans handicap vers les « autres » types de stratégies de résolution de problèmes, en comparaison des participants ayant un handicap. Dans notre étude, les modalités « autres » regroupent des événements ou des actions uniques qui ne peuvent être combinés avec aucune autre modalité. Les participants ayant un handicap cognitif choisissent donc des solutions uniques et inclassables moins fréquemment que les personnes sans handicap.

Ces deux résultats suggèrent une plus faible flexibilité des personnes ayant un handicap cognitif, comparativement à des individus sans handicap. Les individus ayant un handicap cognitif semblent moins s'adapter à un contexte spécifique, et présentent une moins grande diversité dans les solutions mises en œuvre. Dans la littérature, la flexibilité cognitive est définie comme la connaissance qu'a un individu des options permises par une situation, sa volonté et son efficacité à s'adapter à cette situation en fonction des stimuli environnementaux (Martin & Rubin, 1995; Scott, 1962). Plusieurs études, dans d'autres domaines que celui de la cognition spatiale, mettent en évidence des difficultés de flexibilité chez des individus ayant des incapacités cognitives d'étiologies variées (Grattan & Eslinger, 1989; Milders et al., 2008; Rasquin et al., 2002).

1.2. La flexibilité cognitive, facteur potentiellement déterminant

Dans la navigation dirigée, la flexibilité cognitive est considérée comme essentielle, notamment parce qu'elle permet la bascule entre l'utilisation des différents niveaux de modèles mentaux (Bocchi et al., 2017). Certaines études dans le champ de la navigation dirigée ont porté sur la flexibilité des personnes âgées. Par exemple, Harris et al. (2012) ont montré que ces individus étaient moins flexibles sur des tâches spatiales que des personnes jeunes. Dans l'étude de ces auteurs, les participants doivent localiser une récompense dans un labyrinthe en forme de croix. La récompense est indiquée selon des instructions allocentriques

(directions cardinales) ou égocentriques (tourner à droite ou à gauche). Les participants réalisent plusieurs blocs d'essais successifs selon les deux modes d'instructions. Les résultats montrent que les participants âgés parviennent à compléter correctement les deux types de blocs. En revanche, lorsqu'un changement inattendu dans le type de consigne survient au cours d'un bloc, les personnes âgées commettent davantage d'erreurs de chemin que les personnes jeunes. Les auteurs interprètent cette baisse de performance localisée comme une difficulté à s'adapter à cet imprévu et à être flexible.

Ce changement « inattendu » renvoie aux situations complexes décrites par les participants lors de notre première étude. En effet, les difficultés rapportées surviennent presque exclusivement lors de situations où les personnes cherchent à atteindre une destination déterminée, à un moment précis. Nos analyses relèvent qu'un événement imprévu comme une erreur de l'individu ou un problème dans les transports amène fréquemment une difficulté à atteindre la destination ou un contretemps. La survenue d'un événement imprévu correspond ainsi à un moment critique du déplacement où la flexibilité permet d'adopter une stratégie de résolution de problème pertinente. L'interaction entre le caractère imprévu d'une situation et la flexibilité cognitive de l'individu pourrait ainsi représenter un facteur déterminant dans la mobilité des personnes ayant un handicap cognitif.

1.3. Des arguments en faveur d'une approche holistique de la navigation dirigée

Plusieurs facteurs sont à considérer dans les interactions qui déterminent la réalisation de la navigation dirigée. Les résultats de notre première étude montrent que toutes les situations complexes ne consistent pas uniquement à trouver son chemin. Une situation fréquente pour les personnes atteintes de handicap cognitif concerne un événement désagréable, qui provoque un inconfort, soit physique, soit émotionnel (par exemple, transports encombrés, conditions météorologiques défavorables). Dans ces situations, la stratégie de résolution de problèmes associée est le plus souvent la passivité, car les gens attendent que la situation se termine ou suivent simplement les instructions données par les travailleurs du transport. Ce profil de situation complexe ne semble pas faire allusion à une solution particulière dans une perspective d'aide à la navigation dirigée, car il concerne des conditions désagréables plutôt que la cognition spatiale. Toutefois, si ce profil d'événements ne se rattache pas à la prise de décision, à l'orientation, à l'intégration du trajet ou à la clôture du déplacement (Vandenberg, 2016), celui-ci peut avoir un impact direct sur le suivi d'un chemin de son origine à sa destination (Golledge, 1992). Cela est particulièrement vrai dans

le cas des conflits interindividuels, un type d'évènement qui se produit particulièrement fréquemment chez les personnes atteintes de handicap cognitif.

Les résultats de nos deux études confirment le caractère multifactoriel de la navigation dirigée. Les difficultés rencontrées par les individus ayant une incapacité cognitive (réelle ou simulée) n'apparaissent pas systématiquement liées à leurs capacités spatiales, mais également à leur flexibilité cognitive ou à une interaction défavorable entre l'environnement et le contexte du déplacement.

Une définition de référence dans la littérature conceptualise la navigation dirigée en tant que résolution de problème spatial (Arthur & Passini, 2002; Golledge et al., 1996; Passini, 1984). Cette définition nous semble partiellement adaptée, car elle est compatible avec la notion de flexibilité dans la résolution de ce problème. En revanche, elle met l'accent sur les aspects uniquement spatiaux du déplacement. Nos résultats nous amènent à davantage considérer une posture holistique quant à l'étude de la navigation dirigée. Nos études relèvent la nature multifactorielle des activités de navigation dirigée dans la vie réelle, qui dépendent non seulement des propriétés réelles de l'environnement mais aussi de propriétés non spatiales, notamment des préférences, des capacités et des croyances d'un individu (Montello, 2017). Ces analyses soulignent l'intérêt de prendre en compte la mobilité dans son ensemble lorsque l'on parle de navigation dirigée pour des populations spécifiques, car un évènement induisant une difficulté réelle et récurrente pour atteindre une destination peut survenir séparément d'un handicap impliquant les principales composantes des modèles de la navigation dirigée (Vandenberg, 2016).

2. Contributions méthodologiques

Les deux études de cette thèse ont employé des outils à ce jour rarement employés dans la littérature : des entretiens semi-dirigés et questionnaires auprès d'individus ayant un handicap cognitif, une double tâche pour simuler des effets d'une incapacité cognitive et un jeu vidéo pour mener une expérimentation sur la navigation dirigée. Ces outils ont présenté des qualités méthodologiques notables et peuvent représenter des points de départ pour de futures études dans le domaine des sciences cognitives. Les utilisations de ces outils, ainsi que leurs limites, sont discutées dans cette section.

2.1. Investigation auprès des personnes ayant un handicap cognitif par entretiens et questionnaires

Les entretiens semi-dirigés sont rarement employés auprès d'individus ayant un handicap cognitif. La raison principale semble être que ces personnes peuvent rencontrer des difficultés à restituer des récits d'expériences et à décrire leurs ressentis (Paterson & Scott-Findlay, 2002). L'alternative principalement rencontrée consiste à interroger des aidants de ces personnes. En revanche, certaines études indiquent que cette alternative n'est pas pleinement satisfaisante : les réponses données par des proches sont considérées comme ayant un faible niveau de fiabilité (Cusick et al., 2000).

A l'inverse, l'interrogation des personnes concernées permet d'éviter des biais cognitifs dans les réponses, et est soutenue par plusieurs auteurs (Cambridge & Forrester-Jones, 2003; Gilbert, 2004; Heal & Sigelman, 1995). De ce fait, l'OMS préconise l'implication des personnes ayant un handicap dans le recueil des données, afin d'obtenir des données fiables (World Health Organization, 2012). Notre démarche pour la première étude de cette thèse s'inscrit dans cet objectif.

Nous relevons plusieurs bénéfices de l'emploi de cette méthodologie. Premièrement, les entretiens semi-dirigés selon la technique des incidents critiques (Flanagan, 1954) ont permis de recueillir 218 récits de situations complexes auprès de notre échantillon. Parmi ces 218 incidents critiques, 126 proviennent du groupe de personnes ayant un handicap. En moyenne, les personnes ayant un handicap ont rapporté environ trois incidents chacun. La technique des incidents critiques nous a donc permis de recueillir un corpus important, la majorité des participants restituant plusieurs épisodes complexes de leur mobilité. Certains récits étaient incomplets, nécessitant leur exclusion de l'échantillon lors de l'analyse des correspondances multiples. Cependant, la proportion d'incidents critiques incomplets et exclus pour cette analyse est d'environ la moitié pour chaque groupe (personnes ayant un handicap et participants contrôles). Ces récits incomplets ne sont donc pas spécifiques aux personnes ayant un handicap : ces participants n'apparaissent pas faire davantage de récits incomplets que les participants contrôles.

Un autre outil dans notre première étude est le questionnaire d'auto-évaluation (Pazzaglia et al., 2000) visant à mesurer les compétences spatiales de nos participants. Notre étude était la première à administrer ce questionnaire à des personnes ayant un handicap cognitif. En revanche, nos résultats n'indiquent pas de différences entre nos groupes de participants. Nous avons suggéré que cette absence de différence dans l'utilisation des représentations spatiales était possible, celle-ci ne représentant pas le seul facteur prédisant

la qualité de la navigation dirigée. Cependant, une autre explication possible est que cet outil pourrait ne pas être valide pour un public d'individus ayant un handicap cognitif. Plusieurs auteurs ont par exemple montré de faibles capacités de métacognition à la suite d'une lésion cérébrale (Bivona et al., 2008; Ciurli et al., 2010; O'Keeffe et al., 2007). Dans le champ des études auprès des personnes âgées, des auteurs comparant les réponses d'individus à des questionnaires et leurs performances réelles à des tâches de navigation dirigée montrent que ces individus surestiment leurs performances (Taillade et al., 2016). De ce fait, il est possible que dans le cas de notre étude, un questionnaire d'auto-évaluation soit inadéquat pour des individus ayant des difficultés à évaluer leur cognition, ou que ces personnes surestiment leurs capacités.

2.2. La double tâche pour provoquer une incapacité cognitive

De nombreuses études sur le handicap limitent les capacités de participants n'ayant pas de handicap à l'aide de supports expérimentaux (Schwartz, 1999). Par exemple, dans le cas de la cécité, de nombreuses études bandent les yeux de participants. En revanche, peu d'études ont documenté des méthodes permettant de limiter les capacités cognitives de participants sans incapacités afin de simuler un handicap cognitif. Notre seconde étude emploie un paradigme de double tâche à cette fin.

Le paradigme de la double tâche est fréquemment employé dans la littérature sur la cognition spatiale, notamment pour explorer le rôle de la mémoire de travail (Gyselinck & Meneghetti, 2011). En revanche, notre deuxième étude constitue à notre connaissance la première utilisation de cette méthodologie dans le but de simuler une incapacité cognitive. La littérature sur la double tâche documente qu'une tâche interférente limite les ressources cognitives pouvant être assignées à la tâche principale, et réduit la performance à la tâche principale (Leplat & Sperandio, 1967). Nous avons donc choisi d'administrer une tâche interférente de *tapping* spatial afin d'induire une limitation du maintien de l'information spatiale en mémoire de travail.

Nos résultats indiquent plusieurs effets de cette tâche interférente sur les performances des participants aux tâches de navigation dirigée et de reconnaissance de points de repère. Les participants en condition de double tâche parviennent le moins à rentrer à leur point de départ lors de la tâche de raccourci. De plus, lors de la tâche de reconnaissance de points de repère, ces participants obtiennent les scores les plus faibles, et les temps de réaction les plus élevés. En revanche, un effet inattendu est observé : bien que moins de participants effectuant la tâche interférente soient parvenus à retourner au point de départ, ceux y étant parvenu l'ont fait plus rapidement que les participants en condition de tâche simple. Certaines études

documentent un effet bénéfique d'une tâche interférente sur la réalisation d'une tâche, en entraînant un effet « dopant » (« *boost* ») sur l'attention (Swallow & Jiang, 2010, 2013). Dans le cas de notre étude, il semble que la tâche de *tapping* a entraîné ce bénéfice dans l'utilisation des représentations spatiales pour une partie des participants.

L'utilisation de la tâche de type spatial visait à éviter l'utilisation d'une tâche interférant avec les modalités de traitement sollicitées par l'assistant de navigation, qui étaient vocales. Nos résultats semblent indiquer que cette tâche interférente a limité certaines performances. Toutefois, d'autres études apparaissent nécessaires pour confirmer l'applicabilité de ce protocole afin d'induire une incapacité cognitive. D'autres tâches interférentes existent, comme des tâches de comptage à rebours. Ce type de tâche n'était pas adapté à notre étude, sa modalité interférant avec les instructions audio fournies par l'assistant de navigation. En revanche, de futurs protocoles pourraient tester les effets de ces autres tâches afin de simuler une incapacité.

2.3. Intérêt de l'utilisation d'un jeu vidéo

À notre connaissance, la seconde étude de cette thèse est l'une des premières à utiliser un jeu vidéo disponible dans le commerce pour mettre en œuvre des tâches de navigation dirigée. Nos résultats apportent des preuves sur plusieurs intérêts méthodologiques de l'utilisation d'un jeu vidéo comme outil de recherche s'approchant au mieux d'un environnement réaliste, notamment en regard de sa validité, de sa fidélité, de la reproductibilité qu'il permet et de sa contrôlabilité.

Tout d'abord, l'environnement virtuel du jeu vidéo permet la validité expérimentale. La meilleure performance de navigation permise par un assistant de navigation basé sur des points de repère, attendue en conditions réelles (Denis et al., 2007), est aussi observée dans l'environnement offert par le jeu. Ce résultat suggère donc une bonne fidélité psychologique du jeu vidéo, dans le sens où il déclenche des réactions comportementales proches de la vie réelle (Leplat, 1997). Cela peut s'expliquer par le fait que *Grand Theft Auto V* présente un degré élevé de fidélité physique et spatiale au monde réel. D'autres études devraient approfondir cet aspect en comparant l'exécution des tâches dans des environnements réels et dans des jeux vidéo, afin d'évaluer non seulement la détection d'un effet dans les deux environnements, mais aussi de comparer les tailles d'effet associées dans les deux conditions.

De plus, l'environnement virtuel offert par le jeu vidéo permet la reproductibilité des tâches selon les mêmes paramètres. Contrairement aux études sur la navigation spatiale qui utilisent des éléments de jeu vidéo modifiés pour construire de nouveaux environnements (par

exemple, Ledoux et al., 2014), la présente étude utilise l'environnement virtuel existant de *Grand Theft Auto V*. L'environnement virtuel exact utilisé dans cette étude peut donc être observé et parcouru par n'importe quel utilisateur de *Grand Theft Auto V*.

Enfin, la contrôlabilité du jeu vidéo nous a permis d'opérer la tâche de navigation dirigée en fixant tous les paramètres utiles. Ainsi, les éléments pertinents pour la tâche elle-même, liés à l'environnement (par exemple l'heure de la journée, les conditions météorologiques) ou à l'affichage (par exemple le point de vue, l'affichage tête haute) ont pu être adaptés à partir de l'interface du jeu. Il convient de souligner qu'outre la modification de la vitesse de marche effectuée à partir de la plateforme *3D Rudder*, tous les paramètres souhaités ont pu être mis en œuvre dans cette étude grâce aux fonctionnalités préexistantes dans le jeu vidéo. Aucune personnalisation ou développement supplémentaire en laboratoire n'a dû être mis en œuvre, ce qui a permis de réduire considérablement la charge habituellement associée au développement d'environnements virtuels.

En revanche, une limite potentielle concerne l'environnement virtuel du jeu. *Grand Theft Auto V* offre un environnement virtuel réaliste, cependant la ville fictive de Los Santos est basée sur les environnements urbains nord-américains. Aussi, bien que nous ayons utilisé deux quartiers ressemblant à des environnements urbains européens, certaines différences peuvent exister entre ces endroits et les villes françaises réelles que nos participants traversent quotidiennement. L'utilité d'un environnement virtuel de jeu vidéo simulant les caractéristiques de lieux réels (nord-américains, dans notre étude) devrait être évaluée auprès d'un public international.

Néanmoins, compte tenu de ses qualités, l'utilisation d'un jeu vidéo apparaît être une solution clé en main satisfaisante et peu coûteuse pour les études sur la navigation spatiale. Elle semble pouvoir permettre de surmonter certaines barrières habituellement liées au développement d'environnements vastes et vivants, tout en possédant des qualités méthodologiques substantielles.

3. Perspectives d'applications

Les résultats obtenus confirment que les situations où les individus perdent leur chemin sont les situations complexes les plus fréquemment citées par les personnes ayant un handicap cognitif. Cette situation est également citée, moins fréquemment, par le groupe contrôle. Ce résultat confirme que la navigation dirigée est une activité cognitivement coûteuse, et qu'une assistance peut représenter une solution pertinente. Toutefois, la plupart des assistances existantes ne répondent pas efficacement aux besoins humains car elles

utilisent des représentations spatiales survol (Grison & Gyselinck, 2019). Par exemple, Google Maps, l'application mobile la plus utilisée pour l'aide aux déplacements (Panko, 2018), présente principalement des informations spatiales de survol, tant visuellement (plans vus de haut) qu'à l'oral (la première instruction d'un trajet piéton, par exemple, donne une direction cardinale à suivre). Ces informations sont complexes à traiter.

Cette inadéquation entre les besoins cognitifs humains et l'aide fournie peut s'avérer d'autant plus problématique pour des individus ayant des incapacités dans la navigation dirigée. Il existe peu de travaux dans la littérature concernant l'utilisation de smartphones par les personnes ayant un handicap cognitif, cependant des résultats semblent montrer une bonne acceptabilité de ces dispositifs (Kwan et al., 2018). Des applications d'aide au déplacement adaptées pourraient donc représenter une solution pertinente afin d'avancer vers une meilleure adaptation à la population cible.

Nos résultats nous permettent de préconiser que des aides à la navigation ayant pour objectif d'augmenter l'efficacité de la navigation dirigée devraient envisager l'utilisation d'instructions basées sur des points de repère. En revanche, il est à noter qu'une telle aide semble entraîner la construction d'une carte cognitive moins complète de l'environnement parcouru. Nous suggérons donc d'évaluer l'effet et l'utilisabilité d'une aide à la navigation combinant deux types d'informations spatiales : points de repère et survol. L'utilisation complémentaire de ces deux niveaux de représentation spatiale pourrait occasionner des effets bénéfiques dans la navigation dirigée en permettant la construction d'une carte cognitive plus complète. Ces préconisations rejoignent les travaux de Tom et Tversky (2012), qui notent que la construction des modèles mentaux repose en partie sur l'association de différents niveaux d'information spatiale.

En particulier, concernant la population d'individus ayant un handicap cognitif, les résultats de la deuxième étude suggèrent qu'un bénéfice dans la navigation dirigée peut être attendu de l'utilisation d'une aide fondée sur les points de repère. Une telle aide utilise des informations spatiales de même type que celles données par des personnes réelles, et représente donc un substitut potentiellement intéressant. Ce dispositif apparaît éviter au moins deux limites de la demande d'aide à un individu : la difficulté à anticiper la mise en œuvre de cette stratégie, et la difficulté pour un passant à satisfaire la demande (Lemoncello et al., 2010b; Sohlberg et al., 2007).

Nos résultats permettent également de formuler des propositions en vue d'améliorer les formations visant à améliorer la mobilité des personnes ayant un handicap cognitif. Nos études montrent que ces individus demandent principalement l'intervention d'une personne extérieure lorsque la situation s'avère complexe. Cependant, nous avons vu que les demandes

de ce public sont souvent vagues, rendant difficile pour l'aidant de comprendre le besoin et de fournir une aide suffisante. Notre résultat souligne donc un point d'amélioration possible de la mobilité. Des actions de formation pourraient améliorer la chaîne du déplacement en cas de survenue d'un évènement complexe, en favorisant des demandes claires permettant l'obtention de renseignements adaptés.

De plus, nos études permettent de proposer la flexibilité cognitive en tant que facteur important dans la navigation dirigée des personnes ayant un handicap cognitif. A ce titre, la formation « NICE » évaluée par Cho et al. (2017) semble présenter deux aspects pertinents pour la navigation dirigée des personnes ayant un handicap cognitif. Les deux dernières étapes de cette formation visent à faire lister aux participants des stratégies de résolution potentielles et à créer des intentions de stratégies pour des situations futures (Cho & Sohlberg, 2015). Ces deux éléments correspondent à la définition de la flexibilité cognitive (Martin & Rubin, 1995). La limite principale de cette formation réside dans son coût temporel (six sessions d'une heure réparties sur plusieurs jours), principalement lié au nombre de thématiques abordées. Centrer ce type de formation sur la flexibilité cognitive pourrait donc représenter une piste d'amélioration intéressante.

4. Conclusion générale

Cette thèse propose des contributions théoriques, méthodologiques et applicatives dans le champ de la mobilité des individus ayant un handicap cognitif. A ce jour, peu d'études ont exploré les problématiques de déplacement de ces individus dans la vie quotidienne. Cette thèse propose une analyse exploratoire de situations de déplacement complexes, et détaille les composantes de la chaîne de déplacement. Plusieurs de ces composantes présentent des spécificités pour les personnes ayant un handicap cognitif. Ces spécificités, telles que le fait de se perdre et le besoin d'une aide extérieure, ouvrent des pistes d'amélioration de la mobilité par l'assistance à la cognition spatiale. Elles soulignent l'importance de prendre en compte le caractère multifactoriel de la navigation dirigée dans l'étude du handicap. Les modèles théoriques de la navigation dirigée sur lesquels nous nous sommes appuyés nous permettent également de proposer la flexibilité cognitive comme un facteur potentiellement déterminant dans la mobilité des personnes ayant un handicap.

Comme nous l'avons vu, de nombreux outils visent à assister la cognition spatiale, cependant ces outils peu adaptés au public général sont également inadaptés aux personnes ayant un handicap cognitif. Cette thèse explore les effets d'une aide audio à la navigation, utilisant des instructions basées sur des représentations point de repère, en comparaison

d'une aide basée sur des représentations survol. Les résultats relèvent les bénéfices de chaque aide, et mettent en avant une supériorité de l'aide basée sur les points de repère dans la navigation dirigée des individus. En outre, cette aide est jugée la plus utilisable. Nos résultats indiquent que cette aide est également efficace pour des individus ayant une incapacité cognitive induite par la réalisation d'une tâche interférente.

Cette thèse présente également plusieurs intérêts méthodologiques. Trois outils utilisés sont rarement rencontrés dans la littérature : le recours à des entretiens semi-dirigés auprès d'individus ayant un handicap cognitif, l'emploi d'une double tâche pour induire une incapacité cognitive standardisée, et l'appui sur un jeu vidéo pour proposer des tâches de navigation dirigée. Ces trois outils présentent des intérêts méthodologiques pour les études dans le champ de la cognition spatiale.

Nos travaux représentent un point de départ potentiel, tant dans les méthodologies que nous employons que dans les résultats que nous discutons. Ils permettent l'ouverture de réflexions sur les composantes de la mobilité et sur les leviers d'amélioration dont les sciences cognitives peuvent se saisir. En revanche, cette thèse ne peut prétendre apporter des réponses complètes à l'ensemble des problématiques soulevées par ces études. Plusieurs travaux permettraient de compléter les contributions de cette thèse. L'exploration du rôle de la flexibilité cognitive dans la navigation dirigée d'individus ayant un handicap cognitif permettrait d'affiner les préconisations formulées en ciblant ce facteur potentiellement déterminant. De plus, une évaluation de l'efficacité et de l'utilisabilité d'une aide à la navigation basée sur des points de repère auprès d'individus ayant un handicap cognitif dans un environnement réel permettrait de vérifier que ces effets que nous avons obtenus en laboratoire s'appliquent dans la même mesure auprès de la population réelle. Ces travaux, en addition aux contributions apportées par cette thèse, permettront d'aboutir à une amélioration de la mobilité des individus ayant un handicap cognitif.

Travaux cités

- [1] Afonso, A., Blum, A., Katz, B. F. G., Tarroux, P., Borst, G., & Denis, M. (2010). Structural properties of spatial representations in blind people : Scanning images constructed from haptic exploration or from locomotion in a 3-D audio virtual environment. *Memory & Cognition*, 38(5), 591-604. <https://doi.org/10.3758/MC.38.5.591>
- [2] Aguirre, G. K., & D'Esposito, M. (1999). Topographical disorientation : A synthesis and taxonomy. *Brain*, 122(9), 1613-1628. <https://doi.org/10.1093/brain/122.9.1613>
- [3] Allison, S. L., Fagan, A. M., Morris, J. C., & Head, D. (2016). Spatial Navigation in Preclinical Alzheimer's Disease. *Journal of Alzheimer's Disease*, 52(1), 77-90. <https://doi.org/10.3233/JAD-150855>
- [4] American Psychiatric Association. (2013). Schizophrenia Spectrum and Other Psychotic Disorders. In *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-5®)* (p. 87-122). American Psychiatric Pub.
- [5] Anderson, F. T., Strube, M. J., & McDaniel, M. A. (2019). Toward a better understanding of costs in prospective memory : A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, 145(11), 1053-1081. <https://doi.org/10.1037/bul0000208>
- [6] Antonakos, C. L. (2004). Compensatory wayfinding behavior in topographic disorientation from brain injury. *Journal of Environmental Psychology*, 24(4), 495-502. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2004.09.002>
- [7] Arthur, P., & Passini, R. (2002). *Wayfinding : People, Signs, and Architecture*. Focus Strategic Communications.
- [8] Avraam, S., Hatzipanayioti, A., & Avraamides, M. N. (2020). Orientation-dependent spatial memories for scenes viewed on mobile devices. *Psychological Research*, 84(3), 643-649. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1069-5>
- [9] Baddeley, A. D. (1983). Working memory. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 302(1110), 311-324. <https://doi.org/10.1098/rstb.1983.0057>
- [10] Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. In G. H. Bower (Éd.), *The psychology of learning and motivation* (Academic Press, Vol. 8, p. 47-89).
- [11] Bailenson, J. N., Shum, M. S., & Uttal, D. H. (2000). The initial segment strategy : A heuristic for route selection. *Memory & Cognition*, 28(2), 306-318. <https://doi.org/10.3758/BF03213808>
- [12] Bangor, A., Kortum, P., & Miller, J. (2009). Determining What Individual SUS Scores Mean : Adding an Adjective Rating Scale. *Journal of Usability Studies*, 4(3), 10.
- [13] Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate : A Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society:*

- Series B (Methodological)*, 57(1), 289-300. <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x>
- [14] Bernard, J.-M. (2003). Analysis of Local or Asymmetric Dependencies in Contingency Tables using the Imprecise Dirichlet Model. *ISIPTA*, 3, 14–17.
- [15] Bickenbach, J. E., Chatterji, S., Badley, E. M., & Üstün, T. B. (1999). Models of disablement, universalism and the international classification of impairments, disabilities and handicaps. *Social Science & Medicine*, 48(9), 1173-1187. [https://doi.org/10.1016/S0277-9536\(98\)00441-9](https://doi.org/10.1016/S0277-9536(98)00441-9)
- [16] Bird, C. M., Shallice, T., & Cipolotti, L. (2007). Fractionation of memory in medial temporal lobe amnesia. *Neuropsychologia*, 45(6), 1160-1171. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.10.011>
- [17] Bisiach, E., & Luzzatti, C. (1978). Unilateral Neglect of Representational Space. *Cortex*, 14(1), 129-133. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(78\)80016-1](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(78)80016-1)
- [18] Bivona, U., Ciurli, P., Barba, C., Onder, G., Azicnuda, E., Silvestro, D., Mangano, R., Rigon, J., & Formisano, R. (2008). Executive function and metacognitive self-awareness after Severe Traumatic Brain Injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14(5), 862-868. <https://doi.org/10.1017/S1355617708081125>
- [19] Bocchi, A., Carrieri, M., Lancia, S., Quaresima, V., & Piccardi, L. (2017). The Key of the Maze : The role of mental imagery and cognitive flexibility in navigational planning. *Neuroscience Letters*, 651, 146-150. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.05.009>
- [20] Boccia, M., Vecchione, F., Piccardi, L., & Guariglia, C. (2017). Effect of Cognitive Style on Learning and Retrieval of Navigational Environments. *Frontiers in Pharmacology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00496>
- [21] Bohil, C. J., Alicea, B., & Biocca, F. A. (2011). Virtual reality in neuroscience research and therapy. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(12), 752-762. <https://doi.org/10.1038/nrn3122>
- [22] Bonora, V., Chesnais, S., Leclercq, S., & Fromy, E. (2019). *Foot-operated controller, device and furniture comprising it, method of operating it* (United States Patent N° US10514773B2). <https://patents.google.com/patent/US10514773B2/en>
- [23] Boring, Edwin G. (1945). Topographical orientation. In E. G. Boring (Éd.), *Psychology for the armed services*. (p. 154-166). The Infantry Journal. <https://doi.org/10.1037/11211-008>
- [24] Bosch, S. J., & Gharaveis, A. (2017). Flying solo : A review of the literature on wayfinding for older adults experiencing visual or cognitive decline. *Applied Ergonomics*, 58, 327-333. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.07.010>
- [25] Broadbent, H. J., Farran, E. K., & Tolmie, A. (2014). Egocentric and allocentric navigation strategies in Williams syndrome and typical development. *Developmental Science*, 17(6), 920-934. <https://doi.org/10.1111/desc.12176>

- [26] Bronzaft, A. L., Dobrow, S. B., & O'Hanlon, T. J. (1976). Spatial Orientation in a Subway System. *Environment and Behavior*, 8(4), 575-594. <https://doi.org/10.1177/001391657684005>
- [27] Brooke, J. (1996). SUS-A quick and dirty usability scale. In *Usability evaluation in industry* (CRC Press, p. 189-194).
- [28] Brooke, J. (2013). SUS : A Retrospective. *J. Usability Studies*, 8(2), 29–40.
- [29] Brunyé, T., Mahoney, C., Gardony, A., & Taylor, H. (2010). North is up(hill) : Route planning heuristics in real-world environments. *Memory & Cognition*, 38(6), 700-712. <https://doi.org/10.3758/MC.38.6.700>
- [30] Buchner, A., & Jansen-Osmann, P. (2008). Is Route Learning More Than Serial Learning? *Spatial Cognition & Computation*, 8(4), 289-305. <https://doi.org/10.1080/13875860802047201>
- [31] Burgess, N., Maguire, E. A., & O'Keefe, J. (2002). The Human Hippocampus and Spatial and Episodic Memory. *Neuron*, 35(4), 625-641. [https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(02\)00830-9](https://doi.org/10.1016/S0896-6273(02)00830-9)
- [32] Burkhardt, J.-M. (2003). Réalité virtuelle et ergonomie : Quelques apports réciproques. *Le travail humain*, Vol. 66(1), 65-91.
- [33] Burnett, G. (2000). 'Turn right at the Traffic Lights' : The Requirement for Landmarks in Vehicle Navigation Systems. *The Journal of Navigation*, 53(3), 499-510. <https://doi.org/10.1017/S0373463300001028>
- [34] Caduff, D., & Timpf, S. (2008). On the assessment of landmark salience for human navigation. *Cognitive Processing*, 9(4), 249-267. <https://doi.org/10.1007/s10339-007-0199-2>
- [35] Cambridge, P., & Forrester-Jones, R. (2003). Using individualised communication for interviewing people with intellectual disability : A case study of user-centred research. *Journal of Intellectual & Developmental Disability*, 28(1), 5-23. <https://doi.org/10.1080/136682503100008687>
- [36] Carson, A. J., MacHale, S., Allen, K., Lawrie, S. M., Dennis, M., House, A., & Sharpe, M. (2000). Depression after stroke and lesion location : A systematic review. *The Lancet*, 356(9224), 122-126. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02448-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02448-X)
- [37] Castelli, L., Latini Corazzini, L., & Geminiani, G. C. (2008). Spatial navigation in large-scale virtual environments : Gender differences in survey tasks. *Computers in Human Behavior*, 24(4), 1643-1667. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.06.005>
- [38] Chapin, F. S. (1974). *Human activity patterns in the city : Things people do in time and in space* (Vol. 13). Wiley-Interscience.
- [39] Cho, Y. S., & Sohlberg, M. M. (2015). Training Adults with Brain Injury How to Help-Seek when Lost: A Pilot Study. *Brain Impairment*, 16(2), 90-103. <https://doi.org/10.1017/BrImp.2015.4>
- [40] Cho, Y. S., Sohlberg, M. M., Albin, R., Diller, L., Horner, R., Rath, J., & Bullis, M. (2017). Training adults with acquired brain injury how to help-Seek when wayfinding : An

- understudied critical life skill. *Neuropsychological Rehabilitation*, 29(6), 928-945. <https://doi.org/10.1080/09602011.2017.1344131>
- [41] Ciurli, P., Bivona, U., Barba, C., Onder, G., Silvestro, D., Azicnuda, E., Rigon, J., & Formisano, R. (2010). Metacognitive unawareness correlates with executive function impairment after severe traumatic brain injury. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16(2), 360-368. <https://doi.org/10.1017/S135561770999141X>
- [42] Claessen, M. H. G., & van der Ham, I. J. M. (2017). Classification of navigation impairment : A systematic review of neuropsychological case studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 73, 81-97. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.12.015>
- [43] Claessen, M. H. G., Visser-Meily, J. M. A., Meilinger, T., Postma, A., de Rooij, N. K., & van der Ham, I. J. M. (2017). A systematic investigation of navigation impairment in chronic stroke patients : Evidence for three distinct types. *Neuropsychologia*, 103, 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.07.001>
- [44] Cornell, E. H., & Greidanus, E. (2006). Path Integration During a Neighborhood Walk. *Spatial Cognition & Computation*, 6(3), 203-234. https://doi.org/10.1207/s15427633scc0603_2
- [45] Corneloup, V., & Burkhardt, J.-M. (2016). An Exploratory Study of Higher Order Driving Skills and Difficult Situations Experienced by Novice Drivers During Their First Months of Driving to Develop Simulation-based Training. *Proceedings of the European Conference on Cognitive Ergonomics*, 8:1–8:8. <https://doi.org/10.1145/2970930.2970939>
- [46] Corroyer, D., & Rouanet, H. (1994). Sur l'importance des effets et ses indicateurs dans l'analyse statistique des données. *L'Année psychologique*, 94(4), 607-623. <https://doi.org/10.3406/psy.1994.28794>
- [47] Couclelis, H., Golledge, R. G., Gale, N., & Tobler, W. (1987). Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 7(2), 99-122. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(87\)80020-8](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(87)80020-8)
- [48] Courbois, Y., Blades, M., Farran, E. K., & Sockeel, P. (2013). Do individuals with intellectual disability select appropriate objects as landmarks when learning a new route? *Journal of Intellectual Disability Research*, 57(1), 80-89. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.2011.01518.x>
- [49] Courbois, Y., Farran, E. K., Lemahieu, A., Blades, M., Mengue-Topio, H., & Sockeel, P. (2013). Wayfinding behaviour in Down syndrome : A study with virtual environments. *Research in Developmental Disabilities*, 34(5), 1825-1831. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2013.02.023>
- [50] Coutrot, A., Schmidt, S., Coutrot, L., Pittman, J., Hong, L., Wiener, J. M., Hölscher, C., Dalton, R. C., Hornberger, M., & Spiers, H. J. (2019). Virtual navigation tested on a mobile app is predictive of real-world wayfinding navigation performance. *PLOS ONE*, 14(3), e0213272. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213272>

- [51] Cusick, C. P., Gerhart, K. A., & Mellick, D. C. (2000). Participant-Proxy Reliability in Traumatic Brain Injury Outcome Research. *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 15(1), 739.
- [52] Daniel, M.-P., Dibo-Cohen, C. M., Carité, L., Boyer, P., & Denis, M. (2007). Dysfunctions of Spatial Cognition in Schizophrenic Patients. *Spatial Cognition & Computation*, 7(3), 287-309. <https://doi.org/10.1080/13875860701608368>
- [53] Davis, R., Ohman, J. M., & Weisbeck, C. (2017). Salient Cues and Wayfinding in Alzheimer's Disease Within a Virtual Senior Residence. *Environment and Behavior*, 49(9), 1038-1065. <https://doi.org/10.1177/0013916516677341>
- [54] Dawson, D. R., & Chipman, M. (1995). The Disablement Experienced by Traumatically Brain-Injured Adults Living in the Community. *Brain Injury*, 9(4), 339-353. <https://doi.org/10.3109/02699059509005774>
- [55] De Beni, R., Pazzaglia, F., Gyselinck, V., & Meneghetti, C. (2005). Visuospatial working memory and mental representation of spatial descriptions. *European Journal of Cognitive Psychology*, 17(1), 77-95. <https://doi.org/10.1080/09541440340000529>
- [56] De Vega, M., & Marschark, M. (1996). Visuospatial cognition: An historical and theoretical introduction. In *Models of visuospatial cognition* (p. 3–19). Oxford University Press.
- [57] Delpolyi, A. R., Rankin, K. P., Mucke, L., Miller, B. L., & Gorno-Tempini, M. L. (2007). Spatial cognition and the human navigation network in AD and MCI. *Neurology*, 69(10), 986-997. <https://doi.org/10.1212/01.wnl.0000271376.19515.c6>
- [58] Delgrange, R., Burkhardt, J.-M., & Gyselinck, V. (2020a). Difficulties and problem-solving strategies in wayfinding among adults with cognitive disabilities : A look at the bigger picture. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00046>
- [59] Delgrange, R., Burkhardt, J.-M., & Gyselinck, V. (2020b). Exploring human behavior with Grand Theft Auto V : A study of assisted cognition in wayfinding. *International Journal of Virtual Reality*, 20(1), 33-47. <https://doi.org/10.20870/IJVR.2020.20.1.3249>
- [60] Denis, M. (1997). The description of routes : A cognitive approach to the production of spatial discourse. *Cahiers de psychologie cognitive*, 16(4), 409–458.
- [61] Denis, M., Michon, P.-E., & Tom, A. (2007). Assisting pedestrian wayfinding in urban settings : Why references to landmarks are crucial in direction-giving. *Applied spatial cognition: From research to cognitive technology*, 25–51.
- [62] Denis, M., Mores, C., Gras, D., Gyselinck, V., & Daniel, M.-P. (2014). Is Memory for Routes Enhanced by an Environment's Richness in Visual Landmarks? *Spatial Cognition & Computation*, 14(4), 284-305. <https://doi.org/10.1080/13875868.2014.945586>
- [63] Denis, M., Pazzaglia, F., Cornoldi, C., & Bertolo, L. (1999). Spatial discourse and navigation : An analysis of route directions in the city of Venice. *Applied Cognitive Psychology*, 13(2), 145-174. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0720\(199904\)13:2<145::AID-ACP550>3.0.CO;2-4](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0720(199904)13:2<145::AID-ACP550>3.0.CO;2-4)

- [64] Doig, E., Fleming, J., & Tooth, L. (2001). Patterns of community integration 2-5 years post-discharge from brain injury rehabilitation. *Brain Injury*, 15(9), 747-762. <https://doi.org/10.1080/02699050119845>
- [65] Downs, R. M., & Stea, D. (1973). *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior*. Transaction Publishers.
- [66] Dutton, G. N. (2003). Cognitive vision, its disorders and differential diagnosis in adults and children: Knowing where and what things are. *Eye*, 17(3), 289-304. <https://doi.org/10.1038/sj.eye.6700344>
- [67] Ehrlich, M.-F., Tardieu, H., & Cavazza, M. (1993). *Les Modèles mentaux: Approche cognitive des représentations*. FeniXX.
- [68] Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (1990). Normal aging and prospective memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16(4), 717-726. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.16.4.717>
- [69] Einstein, G. O., & McDaniel, M. A. (2005). Prospective Memory: Multiple Retrieval Processes. *Current Directions in Psychological Science*, 14(6), 286-290. <https://doi.org/10.1111/j.0963-7214.2005.00382.x>
- [70] Ellis, J. A., & Cohen, G. (2008). Memory for intentions, actions, and plans. In G. Cohen & M. A. Conway (Éds.), *Memory in the real world* (3^e éd., p. 141–172). Psychology Press.
- [71] Epstein, C. J. (1989). Down Syndrome. In J. A. Hobson (Éd.), *Abnormal States of Brain and Mind* (p. 43-44). Birkhäuser. https://doi.org/10.1007/978-1-4899-6768-8_18
- [72] Etienne, A. S., & Jeffery, K. J. (2004). Path integration in mammals. *Hippocampus*, 14(2), 180-192. <https://doi.org/10.1002/hipo.10173>
- [73] Evans, G. W., Skorpanich, M. A., Gärling, T., Bryant, K. J., & Bresolin, B. (1984). The effects of pathway configuration, landmarks and stress on environmental cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 4(4), 323-335. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(84\)80003-1](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(84)80003-1)
- [74] Farran, E. K., Blades, M., Boucher, J., & Tranter, L. J. (2010). How do individuals with Williams syndrome learn a route in a real-world environment? *Developmental Science*, 13(3), 454-468. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2009.00894.x>
- [75] Farrell, M. J., & Robertson, I. H. (1998). Mental rotation and automatic updating of body-centered spatial relationships. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 24(1), 227.
- [76] Flanagan, J. C. (1954). The critical incident technique. *Psychological Bulletin*, 51(4), 327-358. <https://doi.org/10.1037/h0061470>
- [77] Fornasari, L., Chittaro, L., Ieronutti, L., Cottini, L., Dassi, S., Cremaschi, S., Molteni, M., Fabbro, F., & Brambilla, P. (2013). Navigation and exploration of an urban virtual environment by children with autism spectrum disorder compared to children with typical development. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(8), 956-965. <https://doi.org/10.1016/j.rasd.2013.04.007>

- [78] Fougeyrollas, P. (2010). *La funambule, le fil et la toile : Transformations réciproques du sens du handicap*. Presses de l'Université Laval Québec.
- [79] Fougeyrollas, P., & Boukala, M. (2009). Entretien avec Patrick Fougeyrollas. *La nouvelle revue de l'adaptation et de la scolarisation*, N° 45(1), 165-174.
- [80] Fougeyrollas, P., & Roy, K. (1996). Regard sur la notion de rôles sociaux. Réflexion conceptuelle sur les rôles en lien avec la problématique du processus de production du handicap. *Service social*, 45(3), 31-54. <https://doi.org/10.7202/706736ar>
- [81] Fowler, O. S. (1853). *Memory and Intellectual Improvement : Applied to Self-education and Juvenile Instruction*. Fowlers and Wells.
- [82] Friard, O., & Gamba, M. (2016). BORIS: a free, versatile open-source event-logging software for video/audio coding and live observations. *Methods in Ecology and Evolution*, 7(11), 1325-1330. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12584>
- [83] Gardony, A. L., Taylor, H. A., & Brunyé, T. T. (2016). Gardony Map Drawing Analyzer : Software for quantitative analysis of sketch maps. *Behavior Research Methods*, 48(1), 151-177. <https://doi.org/10.3758/s13428-014-0556-x>
- [84] Gärling, T. (1989). The role of cognitive maps in spatial decisions. *Journal of Environmental Psychology*, 9(4), 269-278. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(89\)80009-X](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(89)80009-X)
- [85] Gärling, T., Böök, A., & Lindberg, E. (1986). Spatial orientation and wayfinding in the designed environment: A conceptual analysis and some suggestions for postoccupancy evaluation. *Journal of Architectural and Planning Research*, 3(1), 55-64.
- [86] Gärling, T., & Gärling, E. (1988). Distance Minimization in Downtown Pedestrian Shopping. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 20(4), 547-554. <https://doi.org/10.1068/a200547>
- [87] Gärling, T., & Golledge, R. G. (1989). Environmental Perception and Cognition. In E. H. Zube & G. T. Moore (Éds.), *Advance in Environment, Behavior, and Design : Volume 2* (p. 203-236). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4613-0717-4_7
- [88] Gärling, T., Säisä, J., Book, A., & Lindberg, E. (1986). The spatiotemporal sequencing of everyday activities in the large-scale environment. *Journal of Environmental Psychology*, 6(4), 261-280. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(86\)80001-9](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(86)80001-9)
- [89] Gartner, G. (2012). *Putting Emotions in Maps – The Wayfinding Example*. 5.
- [90] Gaver, W. W. (1993). What in the World Do We Hear? : An Ecological Approach to Auditory Event Perception. *Ecological Psychology*, 5(1), 1-29. https://doi.org/10.1207/s15326969eco0501_1
- [91] Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception : Classic Edition*. Psychology Press. <https://doi.org/10.4324/9781315740218>
- [92] Gilbert, T. (2004). Involving people with learning disabilities in research : Issues and possibilities. *Health & Social Care in the Community*, 12(4), 298-308. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2524.2004.00499.x>

- [93] Gobet, F., Lane, P. C. R., Croker, S., Cheng, P. C.-H., Jones, G., Oliver, I., & Pine, J. M. (2001). Chunking mechanisms in human learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 5(6), 236-243. [https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01662-4](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01662-4)
- [94] Gobet, F., Lloyd-Kelly, M., & Lane, P. C. R. (2016). What's in a Name? The Multiple Meanings of "Chunk" and "Chunking". *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00102>
- [95] Golden, B., Bodin, L., Doyle, T., & Stewart, W. (1980). Approximate Traveling Salesman Algorithms. *Operations Research*, 28(3-part-ii), 694-711. <https://doi.org/10.1287/opre.28.3.694>
- [96] Golledge, R. G. (1991). Cognition of physical and built environments. *Environment, cognition, and action: An integrated approach*, 35–62.
- [97] Golledge, R. G. (1992). Place recognition and wayfinding : Making sense of space. *Geoforum*, 23(2), 199-214. [https://doi.org/10.1016/0016-7185\(92\)90017-X](https://doi.org/10.1016/0016-7185(92)90017-X)
- [98] Golledge, R. G. (1999). Human wayfinding and cognitive maps. In *Wayfinding Behavior : Cognitive Mapping and Other Spatial Processes* (p. 5-45). JHU Press.
- [99] Golledge, R. G. (1995). Path selection and route preference in human navigation : A progress report. In A. U. Frank & W. Kuhn (Éds.), *Spatial Information Theory A Theoretical Basis for GIS* (p. 207-222). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-60392-1_14
- [100] Golledge, R. G., Gale, N., Pellegrino, J. W., & Doherty, S. (1992). Spatial Knowledge Acquisition by Children : Route Learning and Relational Distances. *Annals of the Association of American Geographers*, 82(2), 223-244. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1992.tb01906.x>
- [101] Golledge, R. G., Klatzky, R. L., & Loomis, J. M. (1996). Cognitive Mapping and Wayfinding by Adults Without Vision. In J. Portugali (Éd.), *The Construction of Cognitive Maps* (p. 215-246). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-0-585-33485-1_10
- [102] Golledge, R. G., & Stimson, R. J. (1997). Spatial cognition, cognitive mapping, and cognitive maps. *Spatial Behavior: A Geographic Perspective edited by G. Golledge*, 224–257.
- [103] Gomez, J., Montoro, G., Torrado, J. C., & Plaza, A. (2015). *An Adapted Wayfinding System for Pedestrians with Cognitive Disabilities* [Research Article]. Mobile Information Systems; Hindawi. <https://doi.org/10.1155/2015/520572>
- [104] Grattan, L. M., & Eslinger, P. J. (1989). Higher cognition and social behavior : Changes in cognitive flexibility and empathy after cerebral lesions. *Neuropsychology*, 3(3), 175-185. <https://doi.org/10.1037/h0091764>
- [105] Griffin, D. R. (1948). Topographical Orientation. In E. G. Boring, H. S. Langfeld, & H. P. Weld (Éds.), *Foundations of psychology*. (p. 380-392). John Wiley & Sons Inc. <https://doi.org/10.1037/11332-017>
- [106] Grison, E., & Gyselinck, V. (2019). La cognition spatiale pour repenser les aides à la navigation. *L'Année psychologique*, Vol. 119(2), 243-278.

- [107] Grison, E., Gyselinck, V., & Burkhardt, J.-M. (2016). Exploring factors related to users' experience of public transport route choice : Influence of context and users profiles. *Cognition, Technology & Work*, 18(2), 287-301. <https://doi.org/10.1007/s10111-015-0359-6>
- [108] Gyselinck, V., & Meneghetti, C. (2011). The role of spatial working memory in understanding verbal descriptions : A window onto the interaction between verbal and spatial processing. In *Spatial working memory* (p. 159-180). Psychology Press.
- [109] Gyselinck, V., Meneghetti, C., Bormetti, M., Orriols, E., Piolino, P., & De Beni, R. (2013). Considering spatial ability in virtual route learning in early aging. *Cognitive Processing*, 14(3), 309-316. <https://doi.org/10.1007/s10339-013-0557-1>
- [110] Gyselinck, V., Meneghetti, C., De Beni, R., & Pazzaglia, F. (2009). The role of working memory in spatial text processing : What benefit of imagery strategy and visuospatial abilities? *Learning and Individual Differences*, 19(1), 12-20. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2008.08.002>
- [111] Gyselinck, V., & Pazzaglia, F. (2012). *From Mental Imagery to Spatial Cognition and Language : Essays in Honour of Michel Denis*. Psychology Press.
- [112] Hamburger, K., & Röser, F. (2014). The Role of Landmark Modality and Familiarity in Human Wayfinding. *Swiss Journal of Psychology*, 73(4), 205-213. <https://doi.org/10.1024/1421-0185/a000139>
- [113] Hanson, S., & Hanson, P. (1993). The Geography of Everyday Life. In T. Gärling & R. G. Golledge (Éds.), *Advances in Psychology* (Vol. 96, p. 249-269). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)60046-1](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)60046-1)
- [114] Harris, M. A., Wiener, J. M., & Wolbers, T. (2012). Aging specifically impairs switching to an allocentric navigational strategy. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 4. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2012.00029>
- [115] Hart, R. A., & Moore, G. T. (1973). The Development of Spatial Cognition : A Review. In *Image & environment : Cognitive mapping and spatial behavior* (p. 246-288). AldineTransaction.
- [116] Hayes-Roth, B., & Hayes-Roth, F. (1979). A Cognitive Model of Planning. *Cognitive Science*, 3(4), 275-310. https://doi.org/10.1207/s15516709cog0304_1
- [117] Heal, L. W., & Sigelman, C. K. (1995). Response biases in interviews of individuals with limited mental ability. *Journal of Intellectual Disability Research*, 39(4), 331-340. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2788.1995.tb00525.x>
- [118] Hegarty, M., Richardson, A. E., Montello, D. R., Lovelace, K., & Subbiah, I. (2002). Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence*, 30(5), 425-447. [https://doi.org/10.1016/S0160-2896\(02\)00116-2](https://doi.org/10.1016/S0160-2896(02)00116-2)
- [119] Hermer-Vazquez, L., Spelke, E. S., & Katsnelson, A. S. (1999). Sources of Flexibility in Human Cognition : Dual-Task Studies of Space and Language. *Cognitive Psychology*, 39(1), 3-36. <https://doi.org/10.1006/cogp.1998.0713>

- [120] Hidayetoglu, M. L., Yildirim, K., & Akalin, A. (2012). The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment. *Journal of Environmental Psychology*, 32(1), 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.09.001>
- [121] Hirtle, S. C., & Hudson, J. (1991). Acquisition of spatial knowledge for routes. *Journal of Environmental Psychology*, 11(4), 335-345. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80106-9](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80106-9)
- [122] Hochmair, H. (2005). Towards a Classification of Route Selection Criteria for Route Planning Tools. In P. F. Fisher (Éd.), *Developments in Spatial Data Handling* (p. 481-492). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-26772-7_37
- [123] Huang, H., Gartner, G., Klettner, S., & Schmidt, M. (2014). Considering Affective Responses towards Environments for Enhancing Location Based Services. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-4, 93-96. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-93-2014>
- [124] Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental models in cognitive science. *Cognitive Science*, 4(1), 71-115. [https://doi.org/10.1016/S0364-0213\(81\)80005-5](https://doi.org/10.1016/S0364-0213(81)80005-5)
- [125] Johnson-Laird, P. N. (2006a). Icons and Images. In *How we reason* (p. 21-37). Oxford University Press.
- [126] Johnson-Laird, P. N. (2006b). Intuitions and Unconscious Reasoning. In *How we reason* (p. 60-72). Oxford University Press.
- [127] Kaplan, R. (1976). *Way-finding in the natural environment*. Dowden, Hutchinson and Ross.
- [128] Kaplan, S. (1973). Cognitive maps in perception and thought. In R. M. Downs & D. Stea (Éds.), *Image and Environment: Cognitive Mapping and Spatial Behavior* (p. 63-78). Transaction Publishers.
- [129] Kawa, R., & Pisula, E. (2010). Locomotor activity, object exploration and space preference in children with autism and Down syndrome. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 70(2), 131-140.
- [130] Kessels, R. P. C., de Haan, E. H. F., Kappelle, L. J., & Postma, A. (2001). Varieties of human spatial memory: A meta-analysis on the effects of hippocampal lesions. *Brain Research Reviews*, 35(3), 295-303. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(01\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(01)00058-3)
- [131] Khan, N., & Rahman, A. U. (2018). Rethinking the Mini-Map: A Navigational Aid to Support Spatial Learning in Urban Game Environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 34(12), 1135-1147. <https://doi.org/10.1080/10447318.2017.1418804>
- [132] Kimura, K., Reichert, J. F., Olson, A., Pouya, O. R., Wang, X., Moussavi, Z., & Kelly, D. M. (2017). Orientation in Virtual Reality Does Not Fully Measure Up to the Real-World. *Scientific Reports*, 7(1), 18109. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18289-8>
- [133] Kinsbourne, M. (1987). Mechanisms of Unilateral Neglect. In M. Jeannerod (Éd.), *Advances in Psychology* (Vol. 45, p. 69-86). North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0166-4115\(08\)61709-4](https://doi.org/10.1016/S0166-4115(08)61709-4)

- [134] Kitchin, R. M. (1994). Cognitive maps : What are they and why study them? *Journal of Environmental Psychology*, 14(1), 1-19. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80194-X](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80194-X)
- [135] Klatzky, R. L., Golledge, R. G., Loomis, J. M., Cicinelli, J. G., & Pellegrino, J. W. (1995). Performance of blind and sighted persons on spatial tasks. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 89(1), 70-82.
- [136] Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Beall, A. C., Chance, S. S., & Golledge, R. G. (1998). Spatial Updating of Self-Position and Orientation During Real, Imagined, and Virtual Locomotion. *Psychological Science*, 9(4), 293-298. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00058>
- [137] Klatzky, R. L., Loomis, J. M., Golledge, R. G., Cicinelli, J. G., Doherty, S., & Pellegrino, J. W. (1990). Acquisition of Route and Survey Knowledge in the Absence of Vision. *Journal of Motor Behavior*, 22(1), 19-43. <https://doi.org/10.1080/00222895.1990.10735500>
- [138] Koch, I., Poljac, E., Müller, H., & Kiesel, A. (2018). Cognitive structure, flexibility, and plasticity in human multitasking-An integrative review of dual-task and task-switching research. *Psychological Bulletin*, 144(6), 557-583. <https://doi.org/10.1037/bul0000144>
- [139] Kosslyn, S. M., Koenig, O., Barrett, A., Cave, C. B., Tang, J., & Gabrieli, J. D. E. (1989). Evidence for two types of spatial representations: Hemispheric specialization for categorical and coordinate relations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15(4), 723-735. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.15.4.723>
- [140] Koutsoklenis, A., & Papadopoulos, K. (2011a). Auditory Cues Used for Wayfinding in Urban Environments by Individuals with Visual Impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(10), 703-714. <https://doi.org/10.1177/0145482X11110501016>
- [141] Koutsoklenis, A., & Papadopoulos, K. (2011b). Olfactory Cues Used for Wayfinding in Urban Environments by Individuals with Visual Impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 105(10), 692-702. <https://doi.org/10.1177/0145482X11110501015>
- [142] Koutsoklenis, A., & Papadopoulos, K. (2014). Haptic Cues Used for Outdoor Wayfinding by Individuals with Visual Impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, 108(1), 43-53. <https://doi.org/10.1177/0145482X1410800105>
- [143] Kwan, R. Y. C., Cheung, D. S. K., & Kor, P. P.-K. (2018). The use of smartphones for wayfinding by people with mild dementia. *Dementia*, 1471301218785461. <https://doi.org/10.1177/1471301218785461>
- [144] Landis, T., Cummings, J. L., Benson, D. F., & Palmer, E. P. (1986). Loss of Topographic Familiarity: An Environmental Agnosia. *Archives of Neurology*, 43(2), 132-136. <https://doi.org/10.1001/archneur.1986.00520020026011>
- [145] Le Roux, B., & Rouanet, H. (2010). *Multiple Correspondence Analysis*. SAGE.
- [146] Ledoux, A.-A., Boyer, P., Phillips, J. L., Smith, A., Labelle, A., & Bohbot, V. D. (2014). Structural Hippocampal Anomalies in a Schizophrenia Population Correlate with

- Navigation Performance on a Wayfinding Task. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00088>
- [147] Lemoncello, R., Sohlberg, M. M., & Fickas, S. (2010a). How best to orient travellers with acquired brain injury: A comparison of three directional prompts. *Brain Injury*, 24(3), 541-549. <https://doi.org/10.3109/02699051003610425>
- [148] Lemoncello, R., Sohlberg, M. M., & Fickas, S. (2010b). When directions fail: Investigation of getting lost behaviour in adults with acquired brain injury. *Brain Injury*, 24(3), 550-559. <https://doi.org/10.3109/02699050903446807>
- [149] Leonardi, M., Bickenbach, J., Ustun, T. B., Kostanjsek, N., & Chatterji, S. (2006). The definition of disability: What is in a name? *The Lancet*, 368(9543), 1219-1221. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)69498-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(06)69498-1)
- [150] Leplat, J. (1997). Simulation et simulateur: Principes et usages. In *Regards sur l'activité en situation de travail: Contribution à la psychologie ergonomique* (p. 157-181). PUF.
- [151] Leplat, J., & Sperandio, J.-C. (1967). La mesure de la charge de travail par la technique de la tâche ajoutée. *L'Année psychologique*, 67(1), 255-277. <https://doi.org/10.3406/psy.1967.27563>
- [152] Lester, A. W., Moffat, S. D., Wiener, J. M., Barnes, C. A., & Wolbers, T. (2017). The Aging Navigational System. *Neuron*, 95(5), 1019-1035. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2017.06.037>
- [153] Lezak, M. D. (1982). The problem of assessing executive functions. *International journal of Psychology*, 17(1-4), 281-297.
- [154] Lhuillier, S., Gyselinck, V., Dutriaux, L., Grison, E., & Nicolas, S. (2018). "Like a ball and chain": Altering locomotion effort perception distorts spatial representations. *Journal of Environmental Psychology*, 60, 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.10.008>
- [155] Li, H., Thrash, T., Hölscher, C., & Schinazi, V. R. (2019). The effect of crowdedness on human wayfinding and locomotion in a multi-level virtual shopping mall. *Journal of Environmental Psychology*, 65, 101320. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2019.101320>
- [156] Lind, S. E., Williams, D. M., Raber, J., Peel, A., & Bowler, D. M. (2013). Spatial navigation impairments among intellectually high-functioning adults with autism spectrum disorder: Exploring relations with theory of mind, episodic memory, and episodic future thinking. *Journal of abnormal psychology*, 122(4), 1189.
- [157] Lingwood, J., Blades, M., Farran, E. K., Courbois, Y., & Matthews, D. (2018). Using virtual environments to investigate wayfinding in 8- to 12-year-olds and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 178-189. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.08.012>
- [158] Lloyd, J., Riley, G. A., & Powell, T. E. (2009). Errorless learning of novel routes through a virtual town in people with acquired brain injury. *Neuropsychological Rehabilitation*, 19(1), 98-109. <https://doi.org/10.1080/09602010802117392>

- [159] Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Golledge, R. G., Cicinelli, J. G., Pellegrino, J. W., & Fry, P. A. (1993). Nonvisual navigation by blind and sighted : Assessment of path integration ability. *Journal of Experimental Psychology: General*, 122(1), 73-91. <https://doi.org/10.1037/0096-3445.122.1.73>
- [160] Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Golledge, R. G., & Philbeck, J. W. (1999). Human navigation by path integration. In R. G. Golledge (Éd.), *Wayfinding behavior : Cognitive mapping and other spatial processes* (p. 125–151). The John Hopkins University Press.
- [161] Lord, F. E. (1941). A Study of Spatial Orientation of Children. *The Journal of Educational Research*, 34(7), 481-505. <https://doi.org/10.1080/00220671.1941.10881022>
- [162] Lynch, K. (1960a). The city image and its elements. In *The Image Of The City* (MIT PRes, p. 46-90).
- [163] Lynch, K. (1960b). The image of the environment. *The image of the city*, 11, 1–13.
- [164] MacDonald, S. E., Spetch, M. L., Kelly, D. M., & Cheng, K. (2004). Strategies in landmark use by children, adults, and marmoset monkeys. *Learning and Motivation*, 35(4), 322-347. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2004.03.002>
- [165] MacGregor, J. N., & Chu, Y. (2011). Human Performance on the Traveling Salesman and Related Problems : A Review. *Journal of Problem Solving*, 3(2), 1-29. <https://doi.org/10.7771/1932-6246.1090>
- [166] Martin, M. M., & Rubin, R. B. (1995). A New Measure of Cognitive Flexibility. *Psychological Reports*, 76(2), 623-626. <https://doi.org/10.2466/pr0.1995.76.2.623>
- [167] McKone, E., Aitkin, A., & Edwards, M. (2005). Categorical and coordinate relations in faces, or Fechner's law and face space instead? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31(6), 1181.
- [168] Meilinger, T., Knauff, M., & Bühlhoff, H. H. (2008). Working Memory in Wayfinding—A Dual Task Experiment in a Virtual City. *Cognitive Science*, 32(4), 755-770. <https://doi.org/10.1080/03640210802067004>
- [169] Meissonnier, J. (2016). Le pôle d'échanges multimodaux comme lieu d'attente : Nœud des problèmes rencontrés en situation de handicap psychique, cognitif ou mental ? *Espace populations sociétés. Space populations societies*, 2016/2. <https://doi.org/10.4000/eps.6298>
- [170] Meneghetti, C., Borella, E., Gyselinck, V., & De Beni, R. (2012). Age-differences in environment route learning : The role of input and recall-test modalities in young and older adults. *Learning and Individual Differences*, 22(6), 884–890.
- [171] Meneghetti, C., Labate, E., Pazzaglia, F., Hamilton, C., & Gyselinck, V. (2017). The role of visual and spatial working memory in forming mental models derived from survey and route descriptions. *British Journal of Psychology*, 108(2), 225-243. <https://doi.org/10.1111/bjop.12193>
- [172] Mervis, C. B., Robinson, B. F., Bertrand, J., Morris, C. A., Klein-Tasman, B. P., & Armstrong, S. C. (2000). The Williams Syndrome Cognitive Profile. *Brain and Cognition*, 44(3), 604-628. <https://doi.org/10.1006/brcg.2000.1232>

- [173] Michon, P.-E., & Denis, M. (2001). When and Why Are Visual Landmarks Used in Giving Directions? In D. R. Montello (Éd.), *Spatial Information Theory* (p. 292-305). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-45424-1_20
- [174] Milders, M., Ietswaart, M., Crawford, J. R., & Currie, D. (2008). Social behavior following traumatic brain injury and its association with emotion recognition, understanding of intentions, and cognitive flexibility. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 14(2), 318-326. <https://doi.org/10.1017/S1355617708080351>
- [175] Miller, G. A., Galanter, E., & Pribram, K. H. (1960). *Plans and the structure of behavior*. Henry Holt and Co. <https://doi.org/10.1037/10039-000>
- [176] Miller, J., & Carlson, L. (2011). Selecting landmarks in novel environments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 184-191. <https://doi.org/10.3758/s13423-010-0038-9>
- [177] Moffat, S. (2016). Spatial cognition and wayfinding. In N. A. Pachana (Éd.), *Encyclopedia of Geropsychology* (p. 2236–2244). Springer.
- [178] Montello, D. R. (2005). Navigation. In *The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking* (p. 257-294). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511610448.008>
- [179] Montello, D. R. (2017). Cognition and Spatial Behavior. In *International Encyclopedia of Geography* (p. 1-20). American Cancer Society. <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg0498>
- [180] Morris, R. G. M. (1981). Spatial localization does not require the presence of local cues. *Learning and Motivation*, 12(2), 239-260. [https://doi.org/10.1016/0023-9690\(81\)90020-5](https://doi.org/10.1016/0023-9690(81)90020-5)
- [181] Morton, M. V., & Wehman, P. (1995). Psychosocial and emotional sequelae of individuals with traumatic brain injury : A literature review and recommendations. *Brain Injury*, 9(1), 81-92. <https://doi.org/10.3109/02699059509004574>
- [182] Murakoshi, S., & Kawai, M. (2000). Use of Knowledge and Heuristics for Wayfinding in an Artificial Environment. *Environment and Behavior*, 32(6), 756-774. <https://doi.org/10.1177/00139160021972784>
- [183] Nadel, L. (2013). Cognitive maps. In *Handbook of spatial cognition* (p. 155-171). American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/13936-009>
- [184] Nakamura, F., & Ooie, K. (2017). A study on mobility improvement for intellectually disabled student commuters. *IATSS Research*, 41(2), 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2017.07.002>
- [185] Newbigging, E. D., & Laskey, J. W. (1996). Riding the bus : Teaching an adult with a brain injury to use a transit system to travel independently to and from work. *Brain Injury*, 10(7), 543-550. <https://doi.org/10.1080/026990596124250>
- [186] Nico, D., Piccardi, L., Iaria, G., Bianchini, F., Zompanti, L., & Guariglia, C. (2008). Landmark based navigation in brain-damaged patients with neglect.

- [187] Norman, D. A., & Bobrow, D. G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7(1), 44-64. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(75\)90004-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(75)90004-3)
- [188] Nys, M., Gyselinck, V., Orriols, E., & Hickmann, M. (2015). Landmark and route knowledge in children's spatial representation of a virtual environment. *Frontiers in Psychology*, 5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01522>
- [189] Nys, M., Hickmann, M., & Gyselinck, V. (2018). The role of verbal and visuo-spatial working memory in the encoding of virtual routes by children and adults. *Journal of Cognitive Psychology*, 30(7), 710-727. <https://doi.org/10.1080/20445911.2018.1523175>
- [190] O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The Hippocampus as a Cognitive Map*. Oxford: Clarendon Press. <https://repository.arizona.edu/handle/10150/620894>
- [191] O'Keefe, F., Dockree, P., Moloney, P., Carton, S., & Robertson, I. H. (2007). Awareness of deficits in traumatic brain injury: A multidimensional approach to assessing metacognitive knowledge and online-awareness. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 13(1), 38-49. <https://doi.org/10.1017/S1355617707070075>
- [192] Padmanaban, R., & Krukar, J. (2017). Increasing the Density of Local Landmarks in Wayfinding Instructions for the Visually Impaired. In G. Gartner & H. Huang (Éds.), *Progress in Location-Based Services 2016* (p. 131-150). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-47289-8_7
- [193] Panko, R. (2018). *The Popularity of Google Maps : Trends in Navigation Apps in 2018*. The Manifest. <https://themanifest.com/app-development/popularity-google-maps-trends-navigation-apps-2018>
- [194] Pashler, H. (1993). Dual-task interference and elementary mental mechanisms. In *Attention and performance 14: Synergies in experimental psychology, artificial intelligence, and cognitive neuroscience* (p. 245-264). The MIT Press.
- [195] Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: Data and theory. *Psychological Bulletin*, 116(2), 220-244. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.116.2.220>
- [196] Passini, R. (1980). Wayfinding in complex buildings : An environmental analysis. *Man-Environment Systems*, 10(1), 31-40.
- [197] Passini, R. (1981). Wayfinding : A conceptual framework. *Urban Ecology*, 5(1), 17-31. [https://doi.org/10.1016/0304-4009\(81\)90018-8](https://doi.org/10.1016/0304-4009(81)90018-8)
- [198] Passini, R. (1984). Spatial representations, a wayfinding perspective. *Journal of Environmental Psychology*, 4(2), 153-164. [https://doi.org/10.1016/S0272-4944\(84\)80031-6](https://doi.org/10.1016/S0272-4944(84)80031-6)
- [199] Passini, R., & Proulx, G. (1988). Wayfinding without Vision : An Experiment with Congenitally Totally Blind People. *Environment and Behavior*, 20(2), 227-252. <https://doi.org/10.1177/0013916588202006>

- [200] Passini, R., Proulx, G., & Rainville, C. (1990). The Spatio-Cognitive Abilities of the Visually Impaired Population. *Environment and Behavior*, 22(1), 91-118. <https://doi.org/10.1177/0013916590221005>
- [201] Paterson, B., & Scott-Findlay, S. (2002). Critical Issues in Interviewing People with Traumatic Brain Injury. *Qualitative Health Research*, 12(3), 399-409. <https://doi.org/10.1177/104973202129119973>
- [202] Pazzaglia, F., Cornoldi, C., & Beni, R. D. (2000). Differenze individuali nella rappresentazione dello spazio e nell'abilità di orientamento: Presentazione di un questionario autovalutativo. *Giornale italiano di psicologia*, 3/2000. <https://doi.org/10.1421/310>
- [203] Pazzaglia, F., Meneghetti, C., Labate, E., & Ronconi, L. (2017). Are Wayfinding Self-efficacy and Pleasure in Exploring Related to Shortcut Finding? A Study in a Virtual Environment. In T. Barkowsky, H. Burte, C. Hölscher, & H. Schultheis (Éds.), *Spatial Cognition X* (p. 55-68). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68189-4_4
- [204] Petonito, G., Muschert, G. W., Carr, D. C., Kinney, J. M., Robbins, E. J., & Brown, J. S. (2013). Programs to Locate Missing and Critically Wandering Elders: A Critical Review and a Call for Multiphasic Evaluation. *The Gerontologist*, 53(1), 17-25. <https://doi.org/10.1093/geront/gns060>
- [205] Picucci, L., Gyselinck, V., Piolino, P., Nicolas, S., & Bosco, A. (2013). Spatial Mental Models: The Interaction of Presentation Format, Task Requirements and Availability of Working Memory Components. *Applied Cognitive Psychology*, 27(3), 314-327. <https://doi.org/10.1002/acp.2909>
- [206] Pierce, K., & Courchesne, E. (2001). Evidence for a cerebellar role in reduced exploration and stereotyped behavior in autism. *Biological Psychiatry*, 49(8), 655-664. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(00\)01008-8](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(00)01008-8)
- [207] Plancher, G., Gyselinck, V., & Piolino, P. (2018). The Integration of Realistic Episodic Memories Relies on Different Working Memory Processes: Evidence from Virtual Navigation. *Frontiers in Psychology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00047>
- [208] Porteous, J. D. (1985). Smellscape. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 9(3), 356-378. <https://doi.org/10.1177/030913338500900303>
- [209] Postma, A., Jager, G., Kessels, R. P. C., Koppeschaar, H. P. F., & van Honk, J. (2004). Sex differences for selective forms of spatial memory. *Brain and Cognition*, 54(1), 24-34. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00238-0](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00238-0)
- [210] Postma, A., & van der Ham, I. J. (2016a). Introduction. In *Neuropsychology of Space: Spatial Functions of the Human Brain* (p. xi-xvi). Academic Press.
- [211] Postma, A., & van der Ham, I. J. M. (2016b). *Neuropsychology of Space: Spatial Functions of the Human Brain*. Academic Press.
- [212] Presson, C. C., & Montello, D. R. (1988). Points of reference in spatial cognition: Stalking the elusive landmark*. *British Journal of Developmental Psychology*, 6(4), 378-381. <https://doi.org/10.1111/j.2044-835X.1988.tb01113.x>

- [213] Rainville, C., Joubert, S., Felician, O., Chabanne, V., Ceccaldi, M., & Péruch, P. (2005). Wayfinding in familiar and unfamiliar environments in a case of progressive topographical agnosia. *Neurocase*, 11(5), 297-309. <https://doi.org/10.1080/13554790591006069>
- [214] Rasquin, S. M. C., Verhey, F. R. J., Lousberg, R., Winkens, I., & Lodder, J. (2002). Vascular cognitive disorders: Memory, mental speed and cognitive flexibility after stroke. *Journal of the Neurological Sciences*, 203-204, 115-119. [https://doi.org/10.1016/S0022-510X\(02\)00264-2](https://doi.org/10.1016/S0022-510X(02)00264-2)
- [215] Ratliff, K. R., & Newcombe, N. S. (2008). Is language necessary for human spatial reorientation? Reconsidering evidence from dual task paradigms. *Cognitive Psychology*, 56(2), 142-163. <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2007.06.002>
- [216] Ravaud, J.-F. (2014). Les enquêtes en population générale sur le handicap : Un outil d'observation essentiel de la statistique publique. *Informations sociales*, n° 183(3), 40-49.
- [217] Richter, K.-F. (2007). From Turn-By-Turn Directions to Overview Information on the Way to Take. In G. Gartner, W. Cartwright, & M. P. Peterson (Éds.), *Location Based Services and TeleCartography* (p. 205-216). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-36728-4_16
- [218] Robinson, L., Brittain, K., Lindsay, S., Jackson, D., & Olivier, P. (2009). Keeping In Touch Everyday (KITE) project: Developing assistive technologies with people with dementia and their carers to promote independence. *International Psychogeriatrics*, 21(3), 494-502. <https://doi.org/10.1017/S1041610209008448>
- [219] Rosch, E., & Lloyd, B. B. (1978). Principles of Categorization. In *Cognition and categorization* (p. 27-48). Lawrence Erlbaum.
- [220] Ross, E. D. (1980). Sensory-Specific and Fractional Disorders of Recent Memory in Man : I. Isolated Loss of Visual Recent Memory. *Archives of Neurology*, 37(4), 193-200. <https://doi.org/10.1001/archneur.1980.00500530031001>
- [221] Rowe, M. A., & Glover, J. C. (2001). Antecedents, descriptions and consequences of wandering in cognitively-impaired adults and the Safe Return (SR) program. *American Journal of Alzheimer's Disease & Other Dementias*, 16(6), 344-352. <https://doi.org/10.1177/153331750101600610>
- [222] Rubens, A. B., & Benson, D. F. (1971). Associative Visual Agnosia. *Archives of Neurology*, 24(4), 305-316. <https://doi.org/10.1001/archneur.1971.00480340037003>
- [223] Ruddle, R. A., Volkova, E., Mohler, B., & Bülthoff, H. H. (2011). The effect of landmark and body-based sensory information on route knowledge. *Memory & Cognition*, 39(4), 686-699. <https://doi.org/10.3758/s13421-010-0054-z>
- [224] Ruotolo, F., Claessen, M. H. G., & van der Ham, I. J. M. (2019). Putting emotions in routes: The influence of emotionally laden landmarks on spatial memory. *Psychological Research*, 83(5), 1083-1095. <https://doi.org/10.1007/s00426-018-1015-6>
- [225] Sakai, K. (2008). Task Set and Prefrontal Cortex. *Annual Review of Neuroscience*, 31(1), 219-245. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.31.060407.125642>

- [226] Salber, D., & Coutaz, J. (1993). Applying the Wizard of Oz technique to the study of multimodal systems. In L. J. Bass, J. Gornostaev, & C. Unger (Éds.), *Human-Computer Interaction* (Vol. 753, p. 219-230). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-57433-6_51
- [227] Sargent, J., Dopkins, S., Philbeck, J., & Chichka, D. (2010). Chunking in spatial memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 36(3), 576-589. <https://doi.org/10.1037/a0017528>
- [228] Schinazi, V. R., Thrash, T., & Chebat, D. (2016). Spatial navigation by congenitally blind individuals. *WIREs Cognitive Science*, 7(1), 37-58. <https://doi.org/10.1002/wcs.1375>
- [229] Schwartz, M. (1999). Haptic perception of the distance walked when blindfolded. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(3), 852-865. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.25.3.852>
- [230] Schwering, A., Li, R., & Anacta, V. J. (2014). The use of local and global landmarks across scales and modes of transportation in verbal route instructions. *Poster session presented at the 2014 Spatial Cognition Conference, Bremen, Germany.*
- [231] Scott, W. A. (1962). Cognitive Complexity and Cognitive Flexibility. *Sociometry*, 25(4), 405-414. JSTOR. <https://doi.org/10.2307/2785779>
- [232] Secchi, S., Lauria, A., & Cellai, G. (2017). Acoustic wayfinding : A method to measure the acoustic contrast of different paving materials for blind people. *Applied Ergonomics*, 58, 435-445. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2016.08.004>
- [233] Seifert, I. (2007). Collaborative Assistance with Spatio-temporal Planning Problems. In T. Barkowsky, M. Knauff, G. Ligozat, & D. R. Montello (Éds.), *Spatial Cognition V Reasoning, Action, Interaction* (p. 90-106). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75666-8_6
- [234] Sharma, G., Kaushal, Y., Chandra, S., Singh, V., Mittal, A. P., & Dutt, V. (2017). Influence of Landmarks on Wayfinding and Brain Connectivity in Immersive Virtual Reality Environment. *Frontiers in Psychology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01220>
- [235] Sholl, M. J. (1996). From Visual Information to Cognitive Maps. In J. Portugali (Éd.), *The Construction of Cognitive Maps* (p. 157-186). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-0-585-33485-1_8
- [236] Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The Development of Spatial Representations of Large-Scale Environments. In H. W. Reese (Éd.), *Advances in Child Development and Behavior* (Vol. 10, p. 9-55). JAI. [https://doi.org/10.1016/S0065-2407\(08\)60007-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2407(08)60007-5)
- [237] Smith, A. D. (2015). Spatial navigation in autism spectrum disorders : A critical review. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00031>
- [238] Sohlberg, M. M., Fickas, S., Hung, P.-F., & Fortier, A. (2007). A comparison of four prompt modes for route finding for community travellers with severe cognitive impairments. *Brain Injury*, 21(5), 531-538. <https://doi.org/10.1080/02699050701311000>

- [239] Sohlberg, M. M., Todis, B., Fickas, S., Hung, P.-F., & Lemoncello, R. (2005). A profile of community navigation in adults with chronic cognitive impairments. *Brain Injury*, 19(14), 1249-1259. <https://doi.org/10.1080/02699050500309510>
- [240] Spikman, J. M., Deelman, B. G., & Zomer, A. H. van. (2000). Executive Functioning, Attention and Frontal Lesions in Patients with Chronic CHI. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 22(3), 325-338. [https://doi.org/10.1076/1380-3395\(200006\)22:3;1-V;FT325](https://doi.org/10.1076/1380-3395(200006)22:3;1-V;FT325)
- [241] Stea, D., & Blaut, J. M. (1973). *Some preliminary observations on spatial learning in school children*. Aldine.
- [242] Storbeck, J., & Maswood, R. (2016). Happiness increases verbal and spatial working memory capacity where sadness does not : Emotion, working memory and executive control. *Cognition and Emotion*, 30(5), 925-938. <https://doi.org/10.1080/02699931.2015.1034091>
- [243] Suzer, O. K., Olgunturk, N., & Guvenc, D. (2018). The effects of correlated colour temperature on wayfinding : A study in a virtual airport environment. *Displays*, 51, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.displa.2018.01.003>
- [244] Svenson, O. (1979). Process descriptions of decision making. *Organizational Behavior and Human Performance*, 23(1), 86-112. [https://doi.org/10.1016/0030-5073\(79\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0030-5073(79)90048-5)
- [245] Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2010). The Attentional Boost Effect : Transient increases in attention to one task enhance performance in a second task. *Cognition*, 115(1), 118-132. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.12.003>
- [246] Swallow, K. M., & Jiang, Y. V. (2013). Attentional Load and Attentional Boost : A Review of Data and Theory. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00274>
- [247] Taillade, M., N’Kaoua, B., & Sauz on, H. (2016). Age-Related Differences and Cognitive Correlates of Self-Reported and Direct Navigation Performance : The Effect of Real and Virtual Test Conditions Manipulation. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.02034>
- [248] Takahashi, N., Kawamura, M., Shiota, J., Kasahata, N., & Hirayama, K. (1997). Pure topographic disorientation due to right retrosplenial lesion. *Neurology*, 49(2), 464-469. <https://doi.org/10.1212/WNL.49.2.464>
- [249] Takahashi, Nobuyoshi, & Kawamura, M. (2002). Pure Topographical Disorientation—The Anatomical Basis of Landmark Agnosia. *Cortex*, 38(5), 717-725. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70039-X](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70039-X)
- [250] Tarr, M. J., & Warren, W. H. (2002). Virtual reality in behavioral neuroscience and beyond. *Nature Neuroscience*, 5(S11), 1089-1092. <https://doi.org/10.1038/nn948>
- [251] Taylor, H. A., Brunyé, T. T., & Taylor, S. T. (2008). Spatial Mental Representation : Implications for Navigation System Design. *Reviews of Human Factors and Ergonomics*, 4(1), 1-40. <https://doi.org/10.1518/155723408X342835>

- [252] Tinti, C., Adenzato, M., Tamietto, M., & Cornoldi, C. (2006). Visual experience is not necessary for efficient survey spatial cognition: Evidence from blindness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(7), 1306-1328. <https://doi.org/10.1080/17470210500214275>
- [253] Tolman, E. C. (1948). Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4), 189-208. <https://doi.org/10.1037/h0061626>
- [254] Tom, A. C., & Tversky, B. (2012). Remembering Routes: Streets and Landmarks. *Applied Cognitive Psychology*, 26(2), 182-193. <https://doi.org/10.1002/acp.1805>
- [255] Torrado, J. C., Montoro, G., & Gomez, J. (2016). Easing the integration: A feasible indoor wayfinding system for cognitive impaired people. *Pervasive and Mobile Computing*, 31, 137-146. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2016.02.003>
- [256] Tversky, A., & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*, 185(4157), 1124-1131. <https://doi.org/10.1126/science.185.4157.1124>
- [257] Uzan, G., & Wagstaff, P. (2018). Solid: A Model to Analyse the Accessibility of Transport Systems for Visually Impaired People. In E. Pissaloux & R. Velazquez (Éds.), *Mobility of Visually Impaired People: Fundamentals and ICT Assistive Technologies* (p. 353-373). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54446-5_12
- [258] van der Ham, I. J., & Claessen, M. H. (2016). Navigation ability. In *Neuropsychology of Space. Spatial Functions of the Human Brain* (Academic Press, p. 267–308).
- [259] van der Ham, I. J. M., Martens, M. A. G., Claessen, M. H. G., & van den Berg, E. (2017). Landmark Agnosia: Evaluating the Definition of Landmark-based Navigation Impairment. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 32(4), 472-482. <https://doi.org/10.1093/arclin/acx013>
- [260] van der Ham, I. J. M., & Ruotolo, F. (2017). On Inter- and Intrahemispheric Differences in Visuospatial Perception. In A. Postma & I. J. M. van der Ham (Éds.), *Neuropsychology of Space* (p. 35-76). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801638-1.00002-1>
- [261] Vandenberg, A. E. (2016). Human Wayfinding: Integration of Mind and Body. In R. H. Hunter, L. A. Anderson, & B. L. Belza (Éds.), *Community Wayfinding: Pathways to Understanding* (p. 17-32). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31072-5_2
- [262] Waller, D., Hunt, E., & Knapp, D. (1998). The Transfer of Spatial Knowledge in Virtual Environment Training. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(2), 129-143. <https://doi.org/10.1162/105474698565631>
- [263] Waller, D., & Nadel, L. (2013). Introduction: Frameworks for understanding spatial thought (or wrapping our heads around space). In *Handbook of spatial cognition* (p. 3-12). American Psychological Association.
- [264] Wang, L., Mou, W., & Sun, X. (2014). Development of Landmark Knowledge at Decision Points. *Spatial Cognition & Computation*, 14(1), 1-17. <https://doi.org/10.1080/13875868.2013.784768>

- [265] Wang, R. F., & Brockmole, J. R. (2003). Simultaneous spatial updating in nested environments. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(4), 981-986. <https://doi.org/10.3758/BF03196562>
- [266] Warren, W. H. (1995). Chapter 8 - Self-Motion : Visual Perception and Visual Control. In W. Epstein & S. Rogers (Éds.), *Perception of Space and Motion* (p. 263-325). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012240530-3/50010-9>
- [267] Weiskrantz, L. (1996). Blindsight revisited. *Current Opinion in Neurobiology*, 6(2), 215-220. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(96\)80075-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(96)80075-4)
- [268] Whiteley, A. M., & Warrington, E. K. (1978). Selective impairment of topographical memory : A single case study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 41(6), 575-578. <https://doi.org/10.1136/jnnp.41.6.575>
- [269] Wiener, J. M., Büchner, S. J., & Hölscher, C. (2009). Taxonomy of Human Wayfinding Tasks : A Knowledge-Based Approach. *Spatial Cognition & Computation*, 9(2), 152-165. <https://doi.org/10.1080/13875860902906496>
- [270] Wilson, P. N. (2013, janvier 11). *Use of Virtual Reality Computing in Spatial Learning Research*. Handbook Of Spatial Research Paradigms And Methodologies. <https://doi.org/10.4324/9780203727089-12>
- [271] Wolff, M., & Corroyer, D. (2004). *L'analyse statistique des données en psychologie*. Armand Colin, Paris.
- [272] World Health Organization. (2001). *International Classification of Functioning, Disability and Health*. World Health Organization. <http://www.who.int/classifications/icf/en/>
- [273] World Health Organization. (2012). *Rapport Mondial sur le Handicap*. World Health Organization. http://www.who.int/disabilities/world_report/2011/report/fr/
- [274] Yesiltepe, D., Dalton, R. C., & Torun, A. O. (2019). The role of landmarks in wayfinding : A review of the existing literature. *Journal of Spatial Information Science*, 0(0). <https://doi.org/10.5311/JOSIS.0.0.581>

Annexes

1. Guide d'entretien : étude 1

Dans cet entretien, nous allons explorer pas à pas des évènements que vous pourriez avoir rencontré. Repensez à un moment spécifique que vous avez vécu comme complexe lorsque vous vous déplaciez personnellement en ville au cours de ces derniers mois. Par exemple, un déplacement qui s'est déroulé de manière imprévue. Ce peut être un moment qui s'est révélé agréable ou désagréable.

- Pourriez-vous décrire cet évènement étape par étape, de la façon la plus détaillée possible ?
- Par quelles circonstances vous êtes-vous retrouvé dans cette situation ?
- Quel était votre état d'esprit lors de la survenue de cet évènement ?
- Pourriez-vous décrire vos ressentis émotionnels à chaque étape de cet évènement ?
- Qu'avez-vous fait, dans cette situation ?
- Si vous vous trouviez dans la même situation aujourd'hui, est-ce que vous feriez la même chose ?

Avez-vous des choses à rajouter sur ce moment ?

Si non, y a-t-il un autre moment auquel vous pensez ? Et retour à la première question.

2. Questionnaire sur les compétences spatiales (Pazzaglia et al., 2000) : étude 1 et étude 2

Les questions qui suivent portent sur votre façon générale de vous déplacer. Répondez spontanément aux questions : chacun a sa propre façon de s'orienter, il n'y a donc pas de bonne ou de mauvaise réponse. Tant que possible, ne modifiez pas après coup vos réponses déjà inscrites : votre premier ressenti est généralement le bon.

1. Pensez-vous posséder un bon sens de l'orientation ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

2. Êtes-vous considéré(e) par votre famille ou vos amis comme ayant un bon sens de l'orientation ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Pensez désormais à la façon dont vous vous orientez à l'extérieur. Est-ce que vous vous décririez comme...

3. ... Une personne qui s'oriente en se rappelant les trajets qui connectent un lieu à un autre ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

4. ... Une personne qui s'oriente en cherchant les points de repère (bâtiments, monuments, intersections...) ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

5. ... Une personne qui cherche à se créer une carte mentale de l'environnement, comme un plan en vue du dessus ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Pensez désormais à une ville qui vous est peu familière. Il peut s'agir d'une ville que vous connaissez un petit peu, mais pas comme votre quartier. Les trois questions suivantes portent sur votre représentation de cette ville. Lorsque vous pensez à cette ville...

6. ... Est-ce une représentation vue de haut, comme sur un plan, une carte ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

7. ... Est-ce une représentation en trajet, basée sur une mémorisation des itinéraires que vous y avez faits ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

8. ... Est-ce une représentation centrée sur les repères, basée sur une mémorisation de repères pris isolément (monuments, bâtiments, intersections...) ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Les questions suivantes ne portent plus spécifiquement sur la ville citée mais concernent à nouveau votre façon générale de vous orienter.

9. Quand vous êtes dans la nature (montagne, bord de mer, campagne...), essayez-vous naturellement de situer les points cardinaux (nord, est, sud, ouest) ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

10. Quand vous êtes dans votre ville, pouvez-vous facilement situer les points cardinaux (nord, est, sud, ouest) ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Imaginez désormais que quelqu'un vous décrive un trajet pour vous rendre dans un lieu non familier.

11. ... Préférez-vous vous faire une image du trajet dans votre tête ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

12. ... Préférez-vous vous rappeler verbalement ce qu'on vous a dit ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

Les questions suivantes concernent à nouveau votre façon générale de vous orienter.

13. Dans un bâtiment complexe (magasin, musée), pensez-vous spontanément à votre direction par rapport à la structure générale du bâtiment et à l'environnement externe ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

14. Quand vous êtes dans un bâtiment, pouvez-vous facilement visualiser ce qui est à l'extérieur du bâtiment dans la direction dans laquelle vous regardez ?

	1	2	3	4	5	
Pas du tout	<input type="radio"/>	Tout à fait				

15. Quand vous êtes à l'extérieur et que vous devez pointer une direction cardinale (nord, est, sud, ouest), est-ce que...

- Vous pouvez pointer immédiatement ?
- Vous devez réfléchir avant de pointer ?
- Vous avez de la difficulté ?

16. Vous êtes dans un bâtiment complexe, (plusieurs couloirs, escaliers, portes) et vous devez indiquer l'entrée principale du bâtiment, est-ce que :

- Vous pouvez pointer immédiatement ?
- Vous devez réfléchir avant de pointer ?
- Vous avez de la difficulté ?

3. Questionnaire sur l'utilisabilité de l'assistant de navigation (SUS, Brooke, 1996) : étude 2

Votre avis sur l'aide au déplacement audio que vous avez utilisée.

Ces questions portent sur l'aide audio que vous avez utilisée lors du trajet. Attention, ces questions ne portent pas sur la plateforme de déplacement ! Uniquement sur le système audio !

1. J'aimerais utiliser ce système fréquemment

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	<input type="radio"/>	Tout à fait d'accord				

2. Je trouve ce système inutilement complexe

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	<input type="radio"/>	Tout à fait d'accord				

3. Je pense que ce système était facile à utiliser

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	<input type="radio"/>	Tout à fait d'accord				

4. J'aurais besoin d'un support technique pour pouvoir utiliser ce système

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	<input type="radio"/>	Tout à fait d'accord				

5. Les différentes fonctionnalités de ce système sont bien intégrées

	1	2	3	4	5	
Pas du tout d'accord	<input type="radio"/>	Tout à fait d'accord				

6. Ce système est truffé d'incohérences

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

7. La plupart des personnes peuvent apprendre à utiliser ce système très rapidement

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

8. Ce système est lourd à utiliser

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

9. J'ai confiance en ce système

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

10. J'ai dû apprendre beaucoup choses avant de pouvoir utiliser ce système

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

4. Questions sur l'utilisation personnelle de *Grand Theft Auto V* : étude 2

1. Avant aujourd'hui, avez-vous déjà joué à l'un de ces jeux de la licence *Grand Theft Auto* (Rockstar Games) ?

- GTA IV
- GTA V (y compris GTA Online)
- GTA San Andreas
- Autres (opus principaux ou spin-offs)
- Aucun de ces jeux

2. Selon votre réponse précédente, si vous y avez joué, à quel point estimez-vous connaître GTA V (y compris GTA Online) ?

Passez cette question si vous n'avez pas joué à GTA V (y compris GTA Online).

1 2 3 4 5 6

Je ne connais pas du tout ce jeu Je connais parfaitement ce jeu

3. Toujours selon votre réponse précédente, si vous y avez joué, connaissiez-vous déjà les quartiers que vous avez traversés pendant l'expérience ? A quel point vous y repérez-vous déjà (avant le début de l'expérience) ?

Passez cette question si vous n'avez pas joué à GTA V (y compris GTA Online).

1 2 3 4 5 6

Je ne m'y repérais pas bien du tout avant le début de l'expérience Je m'y repérais déjà parfaitement avant le début de l'expérience

5. Lettre d'information : étude 1

Lettre d'information : Enquête sur la mobilité urbaine

Promoteur	Responsable scientifique de l'étude	Enquêteur
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)	Valérie GYSELINCK	Romain DELGRANGE
14-20 Boulevard Newton	Directrice de recherche	Doctorant
Cité Descartes, Champs-sur-Marne	Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR	013084xxxx
77447 Marne la Vallée Cedex 2	25 allée des Marronniers	Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR
	78000 Versailles	25 allée des Marronniers
		78000 Versailles

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer à une **enquête sur la mobilité en ville**, menée par le Laboratoire de Psychologie des Comportements et des mobilités de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR), établissement public de recherche dans les domaines de la ville et les territoires, des transports et du génie civil.

Avant de décider si vous voulez participer à cette enquête, il est important que vous sachiez pourquoi elle est menée et ce qu'elle comporte. Si vous avez des questions, ou si vous souhaitez des informations complémentaires, n'hésitez pas à les demander à la personne qui vous a présenté cette recherche (Romain Delgrange, 01 30 84 xx xx – romain.delgrange@ifsttar.fr) ou au responsable scientifique de l'étude (Valérie Gyselinck, 01 30 84 xx xx – valerie.gyselinck@ifsttar.fr).

Objectif de l'étude

L'objectif de cette enquête est de mieux comprendre l'expérience des personnes dans leurs déplacements en ville et leurs difficultés éventuelles, afin de proposer des recommandations et améliorations à destination des acteurs de la recherche sur la ville et des usagers.

Nous vous proposons donc de répondre à quelques questions portant sur vos habitudes de déplacements lors d'un échange oral qui sera enregistré par un dictaphone. Ces questions porteront sur des déplacements que vous auriez pu trouver difficiles et sur votre ressenti à propos de la mobilité en ville. L'enregistrement de l'entretien restera confidentiel, et

ne sera utilisé que pour des fins de transcription écrite et d'analyse par l'enquêteur et ne sera pas diffusé auprès d'autres personnes.

Conditions de votre participation à cette étude

Vous pouvez participer à l'étude si vous êtes majeur et s'il vous arrive de vous déplacer seul en ville (par quelque moyen que ce soit, à pieds ou par des moyens de transports).

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à cette enquête qui consiste en un seul entretien. Vous êtes aussi libre de changer d'avis par la suite et d'interrompre l'entretien à tout moment sans avoir à vous justifier et sans conséquence, en le disant simplement à l'enquêteur. Nous nous tenons à votre disposition en cas de questions. L'enquêteur (Romain Delgrange, 01 30 84 xx xx – romain.delgrange@ifsttar.fr) pourra vous transmettre, sur votre demande, les résultats globaux de l'étude à l'issue de celle-ci.

Bénéfices associés à votre participation à l'étude

L'étude permettra d'apporter des précisions sur les difficultés rencontrées lors de déplacements en ville et à terme d'améliorer ceux-ci, en proposant des recommandations à destination des utilisateurs et des acteurs de la recherche sur la ville.

La participation à cette enquête ne vous engage à rien. Il s'agira juste de répondre une fois à quelques questions sur vous et vos habitudes de déplacements.

Collecte des données personnelles

Si vous décidez de participer à l'étude, l'enquêteur va recueillir vos réponses. Ces réponses seront rendues confidentielles par l'utilisation d'un code ne faisant pas apparaître votre identité. Les résultats globaux de l'étude pourront être présentés lors de communications publiques ou scientifiques, mais aucune information permettant de vous identifier ne sera présentée. Les analyses seront faites sur l'ensemble des participants à l'enquête et non à un niveau individuel, de façon à ce qu'aucun résultat individuel ni aucune réponse individuelle ne puisse être diffusé.

6. Formulaire de recueil de consentement éclairé : étude 1

Formulaire de recueil de consentement du participant :

Enquête sur la mobilité urbaine

Promoteur	Responsable scientifique de l'étude	Enquêteur
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)	Valérie GYSELINCK Directrice de recherche Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR	Romain DELGRANGE Doctorant 013084xxxx Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR
14-20 Boulevard Newton Cité Descartes, Champs-sur-Marne 77447 Marne la Vallée Cedex 2	25 allée des Marronniers 78000 Versailles	25 allée des Marronniers 78000 Versailles

Nom :

Prénom :

Téléphone ou e-mail :

L'enquêteur Romain Delgrange (01 30 84 xx xx – romain.delgrange@ifsttar.fr) m'a proposé de participer à une enquête sur la mobilité en ville. Cette enquête est menée par le Laboratoire de Psychologie des Comportements et des Mobilités, de l'Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR). Afin d'éclaircir ma décision, j'ai reçu et compris les informations suivantes :

1) Le but de cette recherche est de mieux comprendre le vécu des personnes dans leurs déplacements en ville et les difficultés qu'elles peuvent rencontrer, afin de proposer des améliorations et des recommandations pour les acteurs de la conception et de la construction urbaine. La durée totale moyenne de l'enquête pour un participant est d'une demi-heure environ, et consistera en un seul échange oral enregistré sur dictaphone. Cet enregistrement restera confidentiel et utilisé uniquement par l'équipe de recherche.

2) J'ai bien compris que j'ai le droit de refuser de participer, ou de changer d'avis et de retirer mon consentement à tout moment, sans avoir à me justifier et sans conséquence d'aucune sorte pour moi.

3) J'ai pu poser toutes les questions que je voulais sur l'objectif de l'enquête et j'ai reçu des réponses satisfaisantes. Si j'ai d'autres questions, je pourrai les poser à tout moment en contactant l'enquêteur principal (Romain Delgrange, 01 30 84 xx xx – romain.delgrange@ifsttar.fr).

4) J'aurai la possibilité de prendre connaissance des résultats globaux de l'étude en prenant contact avec l'enquêteur principal (Romain Delgrange, 01 30 84 xx xx – romain.delgrange@ifsttar.fr) ou le responsable scientifique (Valérie Gyselinck, 01 30 84 xx xx – valerie.gyselinck@ifsttar.fr).

5) J'ai compris que les informations me concernant resteront strictement confidentielles. La publication des résultats de la recherche ne comportera aucun résultat individuel identifiant.

6) J'ai compris que ma participation à cette étude ne comporte aucun risque pour moi et ne m'engage à rien d'autre. Il s'agira uniquement de répondre à quelques questions, dans un seul entretien, à propos de moi et mes déplacements en ville.

Date et lieu :

Date et lieu :

Signature du participant :

Signature de l'enquêteur :

7. Lettre d'information : étude 2

Lettre d'information : Etude sur la cognition spatiale

Promoteur	Responsable scientifique de l'étude	Enquêteur
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)	Valérie GYSELINCK Directrice de recherche	Romain DELGRANGE Doctorant
14-20 Boulevard Newton Cité Descartes, Champs-sur-Marne 77447 Marne la Vallée Cedex 2	Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR 25 allée des Marronniers 78000 Versailles	013084xxxx Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR 25 allée des Marronniers 78000 Versailles

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer à une **étude sur la cognition spatiale**, menée par le Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées (LaPEA) (IFSTTAR / Université Paris Descartes).

Avant de décider si vous voulez participer à cette enquête, il est important que vous sachiez pourquoi elle est menée et ce qu'elle comporte.

Objectif de l'étude

L'objectif de cette enquête est de mieux comprendre l'expérience des personnes dans leurs déplacements en environnement urbain, afin de proposer des recommandations et améliorations à destination des acteurs de la recherche sur la ville et des usagers.

Nous vous proposons donc de participer à une expérience d'environ 1 heure qui comportera quelques questions sur vous ainsi que trois types de tâches : des déplacements en environnement virtuel avec utilisation d'un assistant vocal et d'une plateforme podale (joystick), des questionnaires sur ordinateur et des traçages de plans urbains. Au cours de ces tâches, vos réponses et actions seront enregistrées. Vos interactions avec l'assistant vocal seront enregistrées par le microphone de l'ordinateur. Toutes ces données, anonymes, resteront confidentielles et ne seront utilisées que pour d'analyse par l'enquêteur. Elles ne seront pas diffusées auprès d'autres personnes.

Conditions de votre participation à cette étude

Vous pouvez participer à l'étude si vous ne souffrez d'aucune douleur ou incapacité dans les jambes ou les pieds empêchant l'utilisation de la plateforme joystick.

Vous êtes libre d'accepter ou de refuser de participer à cette étude. La participation à cette étude ne vous engage à rien. Vous êtes également libre de changer d'avis et d'interrompre votre participation à tout moment sans avoir à vous justifier et sans conséquence, en le disant simplement à l'expérimentateur. L'expérimentateur pourra vous transmettre, sur votre demande, les résultats globaux de l'étude à l'issue de celle-ci.

Bénéfices associés à votre participation à l'étude

L'étude permettra d'apporter des précisions importantes sur les éléments pouvant faciliter les déplacements en ville et permettra de proposer des recommandations à destination des utilisateurs et des acteurs de la recherche sur la ville.

Collecte des données personnelles

Si vous décidez de participer à l'étude, l'expérimentateur va recueillir vos réponses. Ces réponses seront rendues confidentielles par l'utilisation d'un code ne faisant pas apparaître votre identité. Les résultats globaux de l'étude pourront être présentés lors de communications publiques ou scientifiques, mais aucune information permettant de vous identifier ne sera présentée. Les analyses seront faites sur l'ensemble des participants à l'enquête et non à un niveau individuel, de façon à ce qu'aucun résultat individuel ni aucune réponse individuelle ne puisse être diffusé.

8. Formulaire de recueil de consentement éclairé : étude 2

Formulaire de recueil de consentement du participant :

Etude sur la cognition spatiale

Promoteur	Responsable scientifique de l'étude	Enquêteur
Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR)	Valérie GYSELINCK Directrice de recherche Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR	Romain DELGRANGE Doctorant 013084xxxx
14-20 Boulevard Newton Cité Descartes, Champs-sur-Marne 77447 Marne la Vallée Cedex 2	25 allée des Marronniers 78000 Versailles	Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées, IFSTTAR 25 allée des Marronniers 78000 Versailles

Nom :

Prénom :

Téléphone ou e-mail :

L'expérimentateur (Romain Delgrange) m'a proposé de participer à une **étude sur la cognition spatiale**. Cette enquête est menée par le Laboratoire de Psychologie et d'Ergonomie Appliquées (LaPEA) (IFSTTAR / Université Paris Descartes). Afin d'éclaircir ma décision, j'ai reçu et compris les informations suivantes :

1) Le but de cette recherche est d'apporter des précisions importantes sur les éléments pouvant faciliter les déplacements en ville et permettra de proposer des recommandations à destination des utilisateurs et des acteurs de la recherche sur la ville. La durée totale moyenne de l'enquête pour un participant est d'une heure trente environ. Les données recueillies (scores, réponses, interactions avec l'assistant d'aide à la navigation) seront confidentielles et utilisées uniquement par l'équipe de recherche.

2) J'ai bien compris que j'ai le droit de refuser de participer, ou de changer d'avis et de retirer mon consentement à tout moment, sans avoir à me justifier et sans conséquence d'aucune sorte pour moi.

3) J'ai pu poser toutes les questions que je voulais sur l'objectif de l'étude et j'ai reçu des réponses satisfaisantes. Si j'ai d'autres questions, je pourrai les poser à tout moment en contactant l'enquêteur.

4) J'aurai la possibilité de prendre connaissance des résultats globaux de l'étude en prenant contact avec l'enquêteur ou le responsable scientifique.

5) J'ai compris que les informations me concernant resteront strictement confidentielles. La publication des résultats de la recherche ne comportera aucun résultat individuel identifiant.

6) J'ai compris que ma participation à cette étude ne comporte aucun risque pour moi et ne m'engage à rien d'autre.

Date et lieu :

Date et lieu :

Signature du participant :

Signature de l'expérimentateur :

