



HAL
open science

Efficacité et expérience utilisateur de guidages visuels, auditifs et haptiques pour les piétons âgés

Angélique Montuwy

► **To cite this version:**

Angélique Montuwy. Efficacité et expérience utilisateur de guidages visuels, auditifs et haptiques pour les piétons âgés. Sociologie. Université Paris-Saclay, 2018. Français. NNT: . tel-01990653

HAL Id: tel-01990653

<https://hal.science/tel-01990653v1>

Submitted on 23 Jan 2019

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.

Efficacité et expérience utilisateur de guidages visuels, auditifs et haptiques pour les piétons âgés

Thèse de doctorat de l'Université Paris-Saclay
préparée à Télécom ParisTech

École doctorale n°578 Sciences de l'Homme et de la Société
Spécialité de doctorat : Psychologie

Thèse présentée et soutenue à Paris, le 19/10/2018, par

Angélique Montuwy

Composition du Jury :

Valérie Gyselinck Directrice de recherche, IFSTTAR (LPC)	Rapporteuse
Françoise Darses Professeure, IRBA (ASCO)	Rapporteuse
Samuel Huron Maître de conférences, Telecom ParisTech (I3)	Examineur
Jérôme Dinet Professeur, Université de Lorraine (2LPN)	Président du jury
Béatrice Cahour Chercheure CNRS, Telecom ParisTech (I3)	Directrice de thèse
Aurélié Dommes Chargée de recherche, IFSTTAR (LEPSIS)	Co-Directrice de thèse

Thèse financée par l'Institut Française de Sciences et Technologies des Transports, de

l'Aménagement et des Réseaux **IFSTTAR** :

14-20 Boulevard Newton - Cité Descartes

77447 Marne la Vallée Cedex 2

www.ifsttar.fr



Thèse réalisée à **Télécom ParisTech** :

Laboratoire Sciences Economiques et Sociales / Institut Interdisciplinaire de

l'Innovation (I3)

46, Rue Barrault – 75 013 PARIS

www.telecom-paristech.fr et www.i-3.fr



École doctorale **SHS – Université Paris Saclay** :

Espace Technologique / Immeuble Discovery

Route de l'Orme aux Merisiers – 91190 Saint-Aubin

www.universite-paris-saclay.fr



REMERCIEMENTS

Aux membres du jury, Mme Valérie Gyselinck, Mme Françoise Darses, Mr Samuel Huron et Mr Jérôme Dinet d'avoir accepté de faire partie de mon jury et d'évaluer ce travail.

A ma directrice de thèse, Béatrice Cahour pour sa disponibilité. Tu as pris le temps, le risque (et, osons le dire, parfois la peine) de m'initier à la psychologie ergonomique et de me faire découvrir de nouvelles méthodes et points de vue théoriques qui ont grandement contribué, je crois, à enrichir ce travail de thèse.

A ma co-directrice de thèse, Aurélie Dommes pour son soutien et son accompagnement. Tu as su poser les jalons pour que cette thèse se déroule au mieux, tout en m'offrant une grande liberté d'expression et de choix, afin de trouver ma propre voie. Notre collaboration à trois têtes a été, je l'espère, aussi fructueuse pour vous que pour moi.

A l'IFSTTAR qui a financé ma thèse et en particulier au laboratoire Perception, Simulateurs et Simulations (LEPSIS) pour son accueil durant ces trois années. Merci à Eric Dumont, directeur du laboratoire, pour m'avoir offert les moyens de mener ce travail à bien dans de bonnes conditions matérielles et humaines.

A mes collègues et amis des sites IFSTTAR de Satory, Marne-La-Vallée et Nantes. Merci notamment à Valentin pour nos questionnements existentiels, et à Joffrey pour nos discussions insoumises. Merci aussi à l'équipe simulateur et à Fabrice, pour le soutien technique, psychologique et musical. C'est avec tristesse que je vous quitte.

A tous les personnels du département SES de Télécom ParisTech et en particulier à Anaïs et Anthony qui m'ont ouvert la porte de leur bureau et de leurs discussions amusées. Je suis désolée de n'avoir été une membre du RJCE plus active.

A chacun des participants rencontrés durant mes diverses études. Merci pour votre enthousiasme, votre constance, et votre intérêt pour ces travaux. Partager ces heures de passation avec vous a été un grand plaisir et un grand enrichissement.

A mes attentifs relecteurs : Béatrice, Aurélie, et mes camarades bretons Tangi et Laurent.

A Marianna Obrist et à l'équipe du SCHI Lab de l'Université du Sussex (Brighton, UK) pour m'avoir accueillie quelques temps.

A mon père pour son accompagnement et son soutien sans faille dans les moments difficiles. Tu as été un cobaye de grande qualité pour toutes mes études !

A Vincent pour son soutien et sa présence au quotidien, dans les bons et dans les mauvais moments. Tu as vu de près ce qu'était une thèse, à ton tour maintenant !

A ma maman,

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	13
PARTIE THEORIQUE.....	15
CHAPITRE 1 – LA MOBILITE PIETONNE, UN ENJEU POUR L’AUTONOMIE DES PLUS AGES.....	17
1- <i>Bénéfices de la mobilité piétonne pour les personnes âgées</i>	17
1.1- Vieillesse mondiale de la population à horizon 2050	17
1.2- La marche préserve santé, qualité de vie et autonomie	17
2- <i>La mobilité piétonne dans les déplacements des âgés</i>	18
2.1- La marche comme moyen de déplacement en ville	18
2.2- La mobilité des personnes âgées	18
2.3- Part de la marche dans les déplacements des personnes âgées.....	19
3- <i>Difficultés rencontrées dans la mobilité piétonne avec l’âge</i>	21
<i>Synthèse</i>	22
CHAPITRE 2 - NAVIGATION SPATIALE ET VIEILLISSEMENT	23
1- <i>Navigation et cognition spatiale : concepts généraux</i>	23
1.1- Cognition spatiale à petite et grande échelle et navigation	23
1.2 – Recherche d’itinéraire et orientation.....	24
1.3-Rôle des cartes cognitives dans la navigation spatiale.....	25
2- <i>Informations spatiales et intégration de connaissances</i>	27
2.1- Modes d’acquisition d’informations spatiales.....	27
2.2- Cadres de références et stratégies égocentrées et allocentrées	28
2.3- Modèle Repère-Itinéraire-Configuration	29
2.4 – Capacités et habiletés visuo-spatiales.....	31
2.4.1 – Orientation spatiale et intégration de trajet	31
2.4.2 - Mémoire de travail spatiale et attention visuo-spatiale	32
2.4.3 - Visualisation spatiale.....	32
3- <i>Perception</i>	33
3.1- La vue	33
3.2- L’ouïe	34
3.3- Le système somesthésique.....	35
3.4 - Le système vestibulaire	35
3.5- Intégration multisensorielle	36
4- <i>Le rôle pluriel de l’attention pour la navigation</i>	37
4.1- Les différentes formes de l’attention	37
4.1.1- Une définition de l’attention	37
4.1.2- Pluralité de l’attention	37
4.2- Les formes d’attention mises en jeu dans la navigation spatiale piétonne	38
4.2.1- Attention préparatoire.....	38
4.2.2- Attention sélective	39
4.2.3- Attention partagée.....	39
4.2.4 – Attention en navigation et <i>situation awareness</i>	40
4.3- Déclins attentionnels liés à l’âge	41
<i>Synthèse</i>	42
CHAPITRE 3 – AIDES A LA NAVIGATION PIETONNE	43
1 - <i>Carte papier et aides technologiques à la navigation</i>	43
1.1 – Principes génériques de conception des aides à la navigation	43
1.2 – Avantages et limites des cartes papiers	44
1.3 – Avantages et limites des aides technologiques à la navigation	45
1.4 - Aides technologiques à la navigation et guidage pas-à-pas	47
2 - <i>Aides technologiques visuelles</i>	48
2.1 - Texte	48
2.2 - Flèche 2D	48
2.3 - Cartes numériques 2D	48
2.4 - Cartes 3D	49

2.5 - Réalité augmentée	50
2.6 - Limites des aides visuelles	51
3 - Les aides auditives	52
3.1 - Aides auditives verbales	52
3.2 - Aides auditives non-verbales.....	53
3.3 - Limites des aides auditives	55
4 - Les aides haptiques	55
4.1 - Aides haptiques et encodage d'informations.....	56
4.2 - Aides haptiques et confirmation de trajet.....	57
4.3 - Limites des aides haptiques vibrotactiles	58
5 - Vers des aides à la navigation multimodales	58
Synthèse.....	60
CHAPITRE 4 – EXPERIENCE UTILISATEUR	61
1- L'acceptabilité et l'expérience utilisateur.....	61
1.1 - Modèles génériques.....	61
1.2 - Modèles d'acceptabilité des aides à la navigation	65
2- UX et principes de conception pour les personnes âgées.....	68
2.1 - L'UX chez les personnes âgées	68
2.2- Synthèse des dimensions de l'UX à questionner	69
2.3 - La conception numérique des interfaces et des instructions de guidage pour les personnes âgées	70
2.3.1 - Conception d'interfaces numériques	70
2.3.2 – Conception d'instructions de guidage	71
3- Méthodes d'évaluation de l'UX.....	72
3.1 - Questionnaires	72
3.2- Mesures physiologiques et d'observation	73
3.3 – Méthodes par verbalisation.....	73
Synthèse.....	74
PROBLEMATIQUE ET ARTICULATION METHODOLOGIQUE	75
CHAPITRE 5 - PROBLEMATIQUE	77
<i>Question n°1 : quels sont les usages, motifs et limites à la mobilité piétonne et à l'usage d'aides à la navigation par les personnes âgées aujourd'hui ?</i>	<i>78</i>
<i>Question n°2 : par quelle(s) modalité(s) sensorielle(s) présenter des instructions de guidage pas-à-pas pour orienter des piétons en environnement urbain inconnu ?.....</i>	<i>78</i>
<i>Question n°3 : par quel(s) dispositif(s) technologique(s) sensoriel(s) guider les personnes âgées en contexte urbain avec la meilleure efficacité et expérience utilisateur ?</i>	<i>79</i>
<i>Question n°4 : quelle est l'acceptabilité a priori de guidages technologiques futuristes pour des personnes plus ou moins âgées ?.....</i>	<i>79</i>
CHAPITRE 6 – ARTICULATION METHODOLOGIQUE.....	81
1- Ancrage disciplinaire et théorique	81
1.1- Psychologie ergonomique et psychologie cognitive	81
1.2- Analyse de l'activité située.....	81
2- Articulation des méthodes.....	83
2.1- Tâches de navigation	83
2.1.1 – Tâches de navigation en environnement virtuel.....	84
2.1.2 - Tâche de navigation en environnement naturel.....	84
2.2- Mesures de performance	85
2.3- Tests cognitifs et questionnaires d'autoévaluation	87
2.4- Tâches de rappel et de reconnaissance	87
2.5- Entretiens d'explicitation	88
2.6- Questionnaires.....	88
Synthèse.....	89

PARTIE EMPIRIQUE	91
CHAPITRE 7 – ETUDE 1 : EN SAVOIR PLUS SUR LA MOBILITE QUOTIDIENNE DES PERSONNES AGEES.....	93
1- <i>Objectifs de l'étude</i>	93
2- <i>Méthodologie</i>	94
2.1- Population.....	94
2.2- Questions posées.....	94
2.3- Procédure.....	94
2.4- Analyse des données	94
3- <i>Résultats</i>	95
3.1- Fréquence de déplacements tous modes confondus	95
3.2 – Fréquence de déplacement à pied	95
3.3- Motifs et objectifs des déplacements à pied.....	96
3.3- Motivations aux déplacements piétons	100
3.4- Environnements fréquentés à pied	101
3.5- Déplacements à pied en environnement inconnu	102
3.6- Utilisation d'aides dans les environnements inconnus.....	103
4- <i>Discussion</i>	105
<i>Synthèse</i>	107
CHAPITRE 8 – ETUDE 2 : PERCEPTION ET COMPREHENSION D'INSTRUCTIONS DE GUIDAGE PAS-A-PAS EN ENVIRONNEMENT VIRTUEL :	
COMPARAISONS INTER-AGES ET MULTI-SENSORIELLES.....	109
1- <i>Objectifs de l'étude</i>	109
2- <i>Méthodologie</i>	112
2.1- Population	112
2.2 – Conditions expérimentales et instructions de guidage	112
2.2.1- Carte papier	113
2.2.2- Instructions visuelles de guidage	114
2.2.3- Instructions auditives de guidage.....	114
2.2.4- Instructions haptiques de guidage	116
2.2.5 - Combinaisons multi-sensorielles	117
2.3 – Environnement virtuel de simulation	118
2.4 – Phase d'apprentissage des instructions de guidage	118
2.5 – Tâches de navigation en environnement virtuel	119
2.6 – Entretiens post-activité relatifs à l'expérience utilisateur	119
2.7 – Tâche de reconnaissance de repères spatiaux	120
2.8 - Questionnaires et tests.....	121
2.9 – Procédure	122
2.10 – Analyse des données.....	123
2.10.1 – Données des questionnaires.....	123
2.10.2 – Données relatives aux tâches en environnement virtuel	123
2.10.3 – Données relatives aux entretiens post-activité.....	123
2.10.4- Données relatives à la tâche de reconnaissance	124
3- <i>Résultats</i>	126
3.1- Données descriptives de la population.....	126
3.1.1- Données relatives à la santé des participants.....	126
3.1.2- Données relatives aux habitudes de mobilité.....	126
3.1.3- Usages des technologies de navigation.....	127
3.1.4 – Autoévaluation des capacités d'orientation spatiale.....	129
3.1.5 - Score de rotation mentale	131
3.2 - Analyses relatives aux performances lors de la tâche de navigation piétonne sur simulateur	133
3.2.1- Nombre de répétitions nécessaires à la familiarisation	133
3.2.2 – Temps de parcours supplémentaire par rapport au temps optimal	134
3.2.3 – Taux d'orientations correctes aux intersections simples.....	136
3.2.4- Taux d'orientations correctes aux intersections complexes	137
3.2.5- Analyse des résultats par rapport au profil des participants	138
3.3 - Analyses relatives à la reconnaissance de repères.....	139
3.4- Analyse de l'expérience utilisateur à partir des entretiens	139
3.4.1- Expérience utilisateur avec le guidage visuel.....	140
3.4.2- Expérience utilisateur avec le guidage auditif	142
3.4.3- Expérience utilisateur avec guidage haptique	143
3.4.4- Expérience utilisateur avec la combinaison des guidages visuel et auditif	144
3.4.5- Expérience utilisateur avec la combinaison des guidages visuel et haptique	145
3.4.6- Expérience utilisateur avec la combinaison des guidages auditif et haptique.....	146

3.4.7- Expérience utilisateur avec la carte papier	147
4- Discussion	150
Synthèse.....	156
CHAPITRE 9 – ETUDE 3 : EXPERIENCE UTILISATEUR ET EFFICACITE DE GUIDAGES PAS-A-PAS AUPRES DE PIETONS AGES EN ENVIRONNEMENT NATUREL	157
1- Objectifs de l'étude	157
2- Méthodologie.....	160
2.1 – Population	160
2.2 - Conditions et dispositifs testés	160
2.2.1- Aide à la navigation habituelle	160
2.2.2- Lunettes de réalité augmentée : flèches de guidage.....	161
2.2.3- Casque à conduction osseuse : sons pseudo-spatialisés	162
2.2.4- Montre connectée : vibration d'alerte et flèches	163
2.2.5- Application pour téléphone intelligent	164
2.3 - Environnement de navigation	166
2.4 - Phase d'apprentissage.....	166
2.5 - Tâches de navigation en environnement naturel.....	167
2.5.1- Parcours avec l'aide à la navigation habituelle	167
2.5.2- Parcours avec les aides visuelle, auditive et vibro-visuelle	168
2.6 - Entretiens post-activité	169
2.7 - Tâche de rappel de repères et du trajet	170
2.8 - Procédure	170
2.9 - Analyse des données	172
2.9.1- Analyse des données relatives aux tâches de navigation	172
2.9.2- Analyse des données relatives aux entretiens	172
2.9.3- Analyse des données relatives au rappel du trajet.....	179
2.9.4- Analyse des données relatives aux enregistrements vidéo.....	179
3- Résultats	180
3.1 – Résultats liés à la performance de navigation	180
3.1.1 – Apprentissage des messages	180
3.1.2 - Temps de trajet par rapport au temps annoncé.....	180
3.1.3 - Taux d'orientations correctes en intersection simple	181
3.1.4 - Taux d'orientations correctes en intersections complexes	182
3.1.5 - Nombre de messages rejoués au cours du trajet	182
3.2 - Résultats relatifs à l'expérience utilisateur.....	183
3.2.1 – Transformation de l'attention au cours du temps	183
3.2.1.1- Perceptibilité des messages	183
3.2.1.2 – Attention portée aux messages.....	185
3.2.1.3 - Attention à l'environnement et à la sécurité	187
3.2.2 – Compréhension de la situation au cours du temps	189
3.2.2.1 – Compréhension des messages a priori, hors contexte urbain	189
3.2.2.2 – Compréhension des messages en contexte urbain.....	190
3.2.3 – Emergence d'états émotionnels au cours du temps	193
3.2.3.1 – Sentiment de confiance en soi et dans le dispositif	193
3.2.3.2 - Confort physique et esthétique	195
3.2.3.3 – Etat émotionnel	197
3.2.4 – Utilité perçue	198
3.2.5 – Attentes des participants	199
3.2.6 – Analyse synthétique et statistique des données d'entretiens	200
3.3 – Analyse des données relatives au rappel du trajet.....	201
3.4- Analyse des inattentions sur enregistrements vidéo	202
4-Discussion	205
Synthèse.....	212
CHAPITRE 10 – ETUDE 4 : ACCEPTABILITE A PRIORI D'AIDES FUTURISTES A LA NAVIGATION PIETONNE	213
1- Objectifs de l'étude	213
2- Méthodologie.....	214
2.1- Population	214
2.2- Dispositifs futuristes proposés	214
2.2.1- Lentille de réalité augmentée	215
2.2.2- Vêtements vibrants	216
2.2.3- Application de musique spatialisée et casque à conduction osseuse	217

2.2.4- Carte intelligente	218
2.2.5- Clip olfactif	219
2.3- Questionnaire	219
2.4- Procédure	220
2.5- Analyse des données	220
3- Résultats	221
3.1 - Motivations à se déplacer davantage à pied	221
3.2 - Motivations à utiliser davantage d'aides technologiques à la navigation	222
3.3 - Informations de guidage préférées pour être guidé a priori	224
3.4 - Acceptabilité du guidage visuel par lentille connectée	225
3.5 - Acceptabilité du guidage tactile par vêtements vibrants	226
3.6 - Acceptabilité du guidage auditif par musique spatialisée et casque à conduction osseuse	228
3.7 - Acceptabilité du guidage par carte connectée	229
3.8 - Acceptabilité du guidage olfactif par clip nasal	231
3.9 - Comparaison des guidages entre eux chez les retraités et non retraités : analyses statistiques	233
3.10 – Comparaison des guidages entre eux : commentaires	238
4- Discussion	240
Synthèse.....	242
DISCUSSION GENERALE.....	243
CHAPITRE 11- DISCUSSION DES APPORTS DE LA THESE	245
1- <i>Apports relatifs aux connaissances sur le vieillissement</i>	245
1.1- Connaissances sur les habitudes de mobilité des personnes âgées	245
1.2- Connaissances sur les difficultés de navigation des âgés	247
2- <i>Apports relatifs aux différences inter-genres</i>	248
3- <i>Apports relatifs aux messages de guidage pas-à-pas</i>	249
3.1- Connaissances sur les jugements a priori relatifs aux modalités sensorielles de guidage	249
3.2- Connaissances sur la perception et la compréhension de messages de guidage	250
3.3- Connaissances sur les messages en carrefour complexe	251
3.4- Connaissances sur la multi-sensorialité des messages	253
4- <i>Apports relatifs aux aides à la navigation</i>	254
4.1- Connaissances sur l'utilisation des aides technologiques à la navigation	254
4.2- Connaissances sur les critères d'acceptabilité des aides	255
4.3- Connaissances orientées vers la conception universelle	257
5- <i>Discussion méthodologique</i>	258
CHAPITRE 12 – LIMITES, RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES	259
1- <i>Limites de la thèse</i>	259
1.1- Limites liées aux études	259
1.1.1- Population des études	259
1.1.2- Choix de conception des études	259
1.2- Limites liées à la technologie actuelle	260
1.2.1- Limites liées aux dispositifs	260
1.2.2- Limites liées à la précision de la localisation	261
1.3- Limites liées à la méthode	261
1.3.1 - Validité des simulateurs	261
1.3.2- Limites en environnement naturel	261
1.3.3- Limites des entretiens d'explicitation	262
1.3.4- Limites des questionnaires	262
2- <i>Recommandations pour la conception d'aides à la navigation adaptées à un public âgé</i>	263
2.1- Modalités sensorielles et messages de guidage	263
2.2 - Paradigmes de navigation	264
2.3- Dispositifs technologiques	265
2.4- Méthodes de conception	265
3- <i>Perspectives de recherche</i>	266
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	269
ANNEXES.....	293

INTRODUCTION

La mobilité piétonne est un mode de déplacement simple, durable et gratuit, qui est communément partagé par une grande partie de la population et qui permet de réduire le trafic routier, la pollution atmosphérique associée et de favoriser l'activité physique des individus (ITF, 2012). Si les politiques de mobilité durable offrent un regain d'intérêt pour la mobilité piétonne, ceci s'opère dans un contexte de vieillissement mondial de la population. En effet, selon l'OMS (2015), le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus devrait doubler d'ici 2050, pour représenter à terme plus de 20% de la population mondiale.

Or, la mobilité piétonne constitue un des modes de déplacement principaux des personnes âgées, surtout en ville. La dernière enquête nationale transports et déplacements montre en effet que, en 2008, en France, 39% des déplacements s'effectuaient à pied chez les personnes âgées de 75 ans et plus, contre 16% chez les actifs de plus de 50 ans, la dépendance à la marche augmentant avec l'âge (CGDD, 2010). La mobilité piétonne représente donc un enjeu majeur pour l'autonomie et la santé des personnes âgées, des difficultés liées à la mobilité piétonne pouvant conduire à terme à des stratégies d'évitement (Burns, 1999) et à un risque d'isolement voire de dépression.

La mobilité piétonne des personnes âgées peut cependant s'avérer particulièrement complexe dans des environnements urbains pas toujours adaptés aux piétons, du fait d'aménagements non-optimaux (trottoirs partagés, passages piétons sans îlot) et de capacités perceptives, cognitives et motrices réduites. Cette complexité peut amener les personnes âgées à n'emprunter que des chemins connus, réduisant d'autant leurs déplacements en ville. Ainsi, si à 55 ans, les personnes effectuent en moyenne 4 déplacements par jour en dehors de leur domicile (tout moyen de transport confondu), ce nombre est réduit de moitié à 75 ans (LMI, 2014), limitant d'autant l'autonomie de ces personnes.

L'amélioration de la qualité et du confort des cheminements piétons peut s'envisager par des modifications d'infrastructure, mais aussi par l'apport aux usagers piétons âgés d'une solution de guidage efficace et adaptée afin de faciliter leur navigation en environnement urbain, en prenant en compte les déclins cognitifs et perceptifs liés au vieillissement normal, mais aussi les ressources attentionnelles et sensorielles nécessaires à la navigation piétonne. Afin de limiter la dépendance au dispositif, celui-ci devrait également favoriser une meilleure connaissance de l'environnement alentour, et offrir une bonne expérience utilisateur, afin de faciliter son appropriation.

La thèse présentée ici vise à lever certaines barrières liées à l'usage de la marche à pied en ville avec l'avancée en âge, en identifiant des moyens d'améliorer les capacités de navigation des piétons âgés en milieu urbain complexe grâce à des aides technologiques à la navigation (i.e. pas de carte papier, du fait des difficultés rencontrées par les personnes âgées pour les lire et les interpréter). Pour cela, plusieurs études ont été réalisées, en environnement virtuel, en contexte naturel et par questionnaire. Ces travaux impliquent l'évaluation de plusieurs solutions innovantes de guidage pour la navigation piétonne s'appuyant sur diverses modalités sensorielles (vue, ouïe et sens du toucher), pour, in fine, parvenir à faire émerger des préconisations pour la conception d'un dispositif de guidage adapté aux personnes âgées.

Plus spécifiquement, les objectifs de cette thèse sont de :

- Identifier les usages, motivations et limites rencontrés aujourd'hui par les personnes âgées dans leur mobilité piétonne quotidienne et dans leurs usages d'aides à la navigation piétonne.
- Comparer plusieurs instructions de guidage pas-à-pas et plusieurs dispositifs technologiques innovants, reposant sur le sens de la vue, de l'audition et/ou du toucher, entre des piétons plus ou moins âgés pour les aider à aller d'un point A à un point B dans un environnement urbain inconnu.
- Evaluer les différentes dimensions de l'expérience utilisateur entrant en ligne de compte dans l'acceptabilité des guidages aujourd'hui (par exemple : compréhensibilité des messages, discrétion du dispositif, sentiment de sécurité) et dans le futur.
- Dresser la liste des préconisations pour la conception d'un guidage adapté aux personnes âgées, pas toujours à l'aise avec les technologies, et prenant en compte les dimensions perceptivo-cognitives de l'utilisateur et les contraintes liées à sa navigation en milieu urbain réel.

PARTIE THEORIQUE

CHAPITRE 1 – La mobilité piétonne, un enjeu pour l'autonomie des plus âgés

Ce chapitre présente le contexte et les enjeux principaux de la mobilité piétonne des personnes âgées au regard du vieillissement de la population à l'échelle mondiale, des mobilités quotidiennes opérant dans la société en général, et des déclin et limites pouvant être des obstacles à la mobilité piétonne des personnes âgées (urbanistiques, motrices et cognitives).

1- Bénéfices de la mobilité piétonne pour les personnes âgées

1.1- Vieillesse mondiale de la population à horizon 2050

Alors que la population mondiale croît de plus de 80 millions d'habitants par an (ONU, 2015) et que l'espérance de vie mondiale ne cesse de s'améliorer (ONU, 2013), les personnes âgées de 60 ans et plus représentent une part toujours plus importante de la population mondiale. Ainsi, entre 2015 et 2050, si la baisse de la mortalité continue, le nombre de personnes âgées de 60 ans et plus devrait doubler dans le monde pour représenter, à terme, plus de 20% de la population mondiale, soit environ 2 milliards d'individus.

Selon les projections de l'INSEE, la France devrait suivre la tendance mondiale, avec une augmentation particulièrement importante de la part de la population âgée de 75 ans et plus. En effet, si ceux-ci représentent 9,1% de la population en 2015 (soit environ 5,6 millions de personnes), leur part devrait passer à 15,1% de la population à l'horizon 2050, soit une augmentation de 95%, pour atteindre 10,9 millions de personnes (cf. tableau 1).

Année	60 ans et plus ...	Dont 75 ans et plus	Population totale
2015	15,7M (24,6 %)	5,6 M (9,1%)	63,7 M
2050	22,3M (31,6%)	10,9M (15,6%)	70 M
Progression sur 35 ans	+42%	+95%	//

Tableau 1 : Projections de l'INSEE pour 2050 en France

L'accroissement du nombre d'individus âgés voire très âgés, l'amélioration de l'espérance de vie, les efforts politiques et sociaux menés pour le maintien à domicile des personnes vieillissantes, ainsi que la densification urbaine qui s'opère aujourd'hui partout dans le monde posent la question de la préservation de la mobilité et de la qualité de vie des personnes âgées dans des environnements urbains denses et pas toujours adaptés à cette population.

Pour bien vieillir et pour prévenir la perte de mobilité et d'autonomie, une activité physique régulière telle que la marche à pied est souvent conseillée, compte tenu des bénéfices physiques, psychologiques et sociaux qu'elle apporte. Cette pratique doit toutefois prendre en compte les difficultés d'ordre urbanistique liées à l'aménagement de l'espace piéton en milieu urbain, et les difficultés d'ordre physique et cognitif associées au processus de vieillissement normal.

1.2- La marche préserve santé, qualité de vie et autonomie

La mobilité piétonne présente de nombreux intérêts en termes de préservation de la santé, de l'environnement et de la qualité de vie, qui sont largement mis en avant par les pouvoirs publics depuis quelques années dans le cadre du développement des politiques de mobilité durable (Fériel, 2015 ; Terrin, 2011). Les bénéfices de la marche à pied sont nombreux et variés dans le champ de la prévention des risques physiques liés au vieillissement. Ainsi, à travers plusieurs études longitudinales, on observe une baisse de la mortalité chez les personnes marchant régulièrement, qu'ils s'agissent de seniors âgés autour de 55-65 ans (Franco et al., 2005 ; Hakim et al., 1998) ou de personnes plus âgées (au-delà de 75 ans) (Benetos et al.,

2005 ; Landi et al., 2004). La pratique régulière et modérée de la marche à pied (environ 20 minutes au moins 3 fois par semaine) mobilise les capacités cardio-respiratoires des individus âgés (Malbut et al., 2002), et est conseillée pour la prévention des risques cardio-vasculaires mais aussi de nombreuses maladies chroniques (Vogel et al., 2009). Le fait de marcher régulièrement, même de manière modérée, intervient ainsi positivement dans la réduction des risques de maladies coronariennes, du mauvais cholestérol et des triglycérides (Halverstadt et al., 2007), de la masse grasse (Irwin et al., 2003), du risque de diabète de type 2 (Jeon et al., 2007), du risque d'accident vasculaire cérébral (Wendel-Vos et al., 2004) et du risque d'hypertension artérielle (Whelton et al., 2002). La pratique de la marche à pied chez les personnes âgées permet également de prévenir le cancer du côlon et le cancer du sein (Hardman, 2001), d'améliorer la densité osseuse, ce qui limite le risque de fractures, en particulier chez les femmes (Cummings et al., 1995), de réduire le risque de chute (Tinetti, 2003), et d'améliorer la force musculaire (Fiatarone et al., 1994). Par ailleurs, la marche permettrait de préserver les capacités cognitives et de réduire les risques de maladie d'Alzheimer (Larson et al. 2006).

Ces bénéfices sur la santé et la forme physique des individus âgés viennent s'ajouter à d'autres bénéfices de la marche en milieu urbain, d'ordres psychologiques et sociaux cette fois. Ainsi, plusieurs études s'intéressant à la marchabilité¹ ont montré que favoriser la marche à pied comme mode de déplacement local permet de développer plus d'interactions sociales (Friedman et al., 2012) et une plus grande implication des âgés dans la vie de la communauté (Walford et al., 2011). Cette vie sociale permettrait par ailleurs de réduire les risques de dépression chez les personnes âgées (Berke, Gottlieb, Moudon, et Larson, 2007), souvent isolées et privées de moyens de transport leur permettant de sortir de leur périmètre d'habitation.

2- La mobilité piétonne dans les déplacements des âgés

2.1- La marche comme moyen de déplacement en ville

Les déplacements piétons sont aujourd'hui peu pris en compte dans les enquêtes relatives aux déplacements, le mode piéton étant souvent traité comme un mode de déplacement par défaut face à d'autres moyens de transport motorisé (voiture, bus) ou plus doux (vélo). Il est de ce fait peu questionné, et l'est en général sous le seul angle de la sécurité des parcours. Des données génériques existent cependant sur les déplacements piétons (ici données de l'Enquête Nationale Transports Déplacements de 2008). Ainsi, on sait que la marche à pied représente 22,3 % des déplacements en semaine en 2008, et qu'elle est impliquée en multi-modalité dans 46% des déplacements. Elle représente donc un moyen de transport conséquent au quotidien.

La marche à pied est perçue comme un moyen de faire du sport, de se promener ou encore de se rendre sur un lieu de pratique sportive. Elle est également souvent pratiquée pour les achats quotidiens de proximité. Ainsi, trois déplacements à pied sur quatre se font sur des parcours de moins de 900 mètres, et d'une durée moyenne de 13,4 minutes. La marche représente une part de plus en plus importante dans les déplacements locaux dans les grandes villes (commune de plus de 100 000 habitants) alors que la part de la marche a diminué dans les agglomérations plus petites ou les aires rurales. Parmi les marcheurs, on compte 61% de femmes, et deux groupes sont très représentés : les jeunes et les personnes âgées.

2.2- La mobilité des personnes âgées

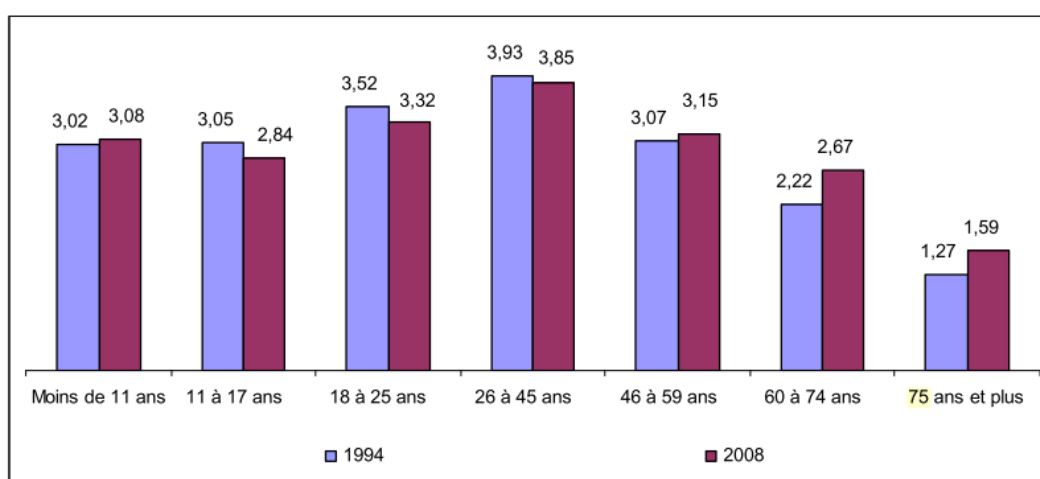
Avec l'avancée en âge, les personnes ont tendance à réduire le nombre de leurs déplacements quotidiens (voir figure 1). On observe ainsi que, par tranche d'âge, le nombre de déplacements quotidiens par personne est d'abord croissant jusqu'à l'âge de 45 ans puis décroissant. Il se maintient à un niveau assez élevé jusqu'à 74 ans (2,67 déplacements par jour en 2008) avant de chuter fortement au-delà (1.59 déplacement par jour en moyenne en 2008).

¹ Marchabilité : degré avec lequel un environnement urbain bâti favorise les déplacements piétons (Marshall, Brauer & Frank, 2009)

Plusieurs facteurs peuvent expliquer la réduction du nombre de déplacements quotidiens avec l'avancée en âge. Le premier est le départ à la retraite et la diminution mécanique des déplacements liés à l'activité professionnelle. Ainsi, les personnes immobiles du lundi au vendredi sont avant tout des personnes âgées : 46 % ont plus de 65 ans contre 24 % en moyenne, et 63 % sont des retraités contre 24 % en moyenne.

La seconde explication est relative à l'abandon progressif de l'automobile chez les plus âgés. En effet, les politiques publiques visant à réduire la conduite automobile, le coût afférant à la possession d'un véhicule personnel et les préoccupations en termes de compétences de conduite et de sécurité routière chez les âgés tendent à réduire leur usage de la voiture au profit de la mobilité piétonne (Dunbar et Holland, 2004). Si les personnes ayant eu une voiture ont tendance à continuer de l'utiliser (Mori et Mizohata, 1995), la part de leurs déplacements effectués à pied augmente considérablement, même en milieu rural (Noble, 2000). Ainsi, 69% des déplacements des retraités âgés de moins de 75 ans s'effectuent en voiture, mais cette part tombe à 51% chez les plus de 75 ans (voir tableau 2).

La mobilité des personnes âgées de plus de 75 ans tant néanmoins à augmenter. Alors qu'une sur deux effectuait au moins un déplacement quotidien en 1994 (tous modes confondus), cette part est passée à 57 % en 2008.



Champ : déplacements locaux un jour de semaine ouvré des individus âgés de 6 ans ou plus résidant en France métropolitaine.
Sources : SOeS, Insee, Inrets, enquêtes nationales transports 1994, 2008

Figure 1 : Nombre de déplacements quotidiens par tranches d'âge

2.3- Part de la marche dans les déplacements des personnes âgées

Si les promenades et la marche à pied peuvent être des pratiques choisies, dont les personnes âgées identifient bien les avantages pour la santé (Carp, 1972), la mobilité piétonne demeure par ailleurs souvent le seul moyen de transport de populations ayant dû renoncer à l'usage de la voiture pour se déplacer.

La mobilité piétonne constitue ainsi un des modes de déplacement principaux des personnes âgées, en particulier en ville. Ainsi en 2008, en France, si 24% des déplacements s'effectuaient à pied chez les jeunes retraités âgés de 60 à 74 ans, contre 64% en voiture, cette part montait à 39% chez les 75 ans et plus, contre 51% pour la voiture (voir tableau 2).

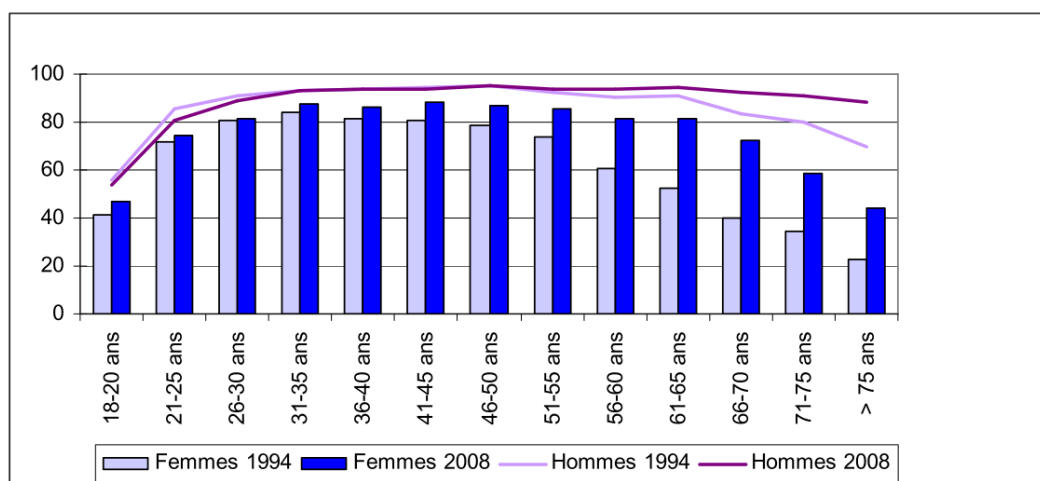
Le recours à la mobilité piétonne est particulièrement important dans les déplacements locaux, puisqu'elle est utilisée à plus de 45% chez les femmes âgées de 75 ans et plus, et plus de 25% pour les hommes (ENTD, 2008). La différence homme/femme dans le recours à la mobilité piétonne peut s'expliquer en partie par le fait que les femmes âgées sont plus rarement titulaires du permis de conduire que les hommes (voir figure 2). Ainsi, environ 90% des hommes et seulement un peu plus de 40% des femmes âgées de plus de 75 ans possédaient le permis

de conduire en 2008. Les femmes âgées d'aujourd'hui ont donc été et sont encore largement dépendantes de leurs conjoints pour les déplacements motorisés, et compte-tenu de leur espérance de vie plus importante, elles se retrouvent souvent sans voiture personnelle suite au décès du conjoint.

	Voiture (en %)	Deux roues motorisé (en %)	Transport collectif (en %)	Vélo (en %)	Autre mode mécanisé (en %)	Marche (en %)	Ensemble
Élève jusqu'à 18 ans	40	2	17	5	1	35	2,96
Étudiant de 19 ans ou plus	46	0	23	5	0	25	3,26
Actif moins de 31 ans	71	4	9	1	0	14	3,69
Actif 31-50 ans	78	2	5	2	0	13	3,78
Actif plus de 50 ans	73	1	8	2	0	16	3,22
Chômeur	51	2	8	2	1	36	3,09
Autre inactif	56	1	4	2	1	37	2,85
Retraité moins de 75 ans	69	0	3	3	1	24	2,70
Retraité 75 ans ou plus	51	1	5	2	1	39	1,63
Ensemble	65	2	8	3	1	22	3,15

Champ : déplacements locaux un jour de semaine ouvré des individus âgés de 6 ans ou plus résidant en France métropolitaine.
Source : SOeS, Insee, Inrets, enquête nationale transports 2008

Tableau 2 : Déplacements quotidiens par personne et répartition modale selon la position d'activité



Sources : SOeS, Insee, Inrets, enquête nationale transport 1994, 2008

Figure 2 : Taux de possession du permis de conduire par âge et par sexe en 1994 et 2008

La perte de mobilité associée à la réduction ou à l'arrêt de l'usage de la voiture peut entraîner des situations d'isolement voire de dépression (Berke et al., 2007 ; Marottoli et al., 1997). Si la pratique de la marche présente de nombreux avantages pour la préservation de la santé et de la vie sociale des personnes âgées, il n'en demeure pas moins qu'être piéton âgé en environnement urbain présente de nombreuses difficultés, qu'elles soient liées à l'aménagement ou aux fonctions motrices, perceptives ou cognitives. Les difficultés liées à la mobilité piétonne pourraient conduire à terme à des stratégies d'évitements (Burns, 1999), à une diminution accrue des déplacements et plus largement, de l'autonomie et de la qualité de vie des personnes âgées (Urry, 2007).

3- Difficultés rencontrées dans la mobilité piétonne avec l'âge

La mobilité piétonne des personnes âgées peut s'avérer particulièrement complexe dans des environnements urbains pas toujours adaptés aux piétons vieillissants. La place prédominante de la voiture a donné lieu pendant de nombreuses années à des aménagements centrés sur les transports motorisés, au détriment des piétons (Scharlach, 2009), entraînant insécurité et accidents. La largeur ou l'entretien de trottoirs peuvent ainsi être des freins à la marche des personnes âgées, tout comme l'absence de bancs, la rareté des passages piétons aménagés etc. Si de nouvelles politiques d'aménagement ont vu le jour, les environnements urbains modernes peuvent toutefois sembler particulièrement complexes pour les piétons âgés, compte tenu de la cohabitation de nombreux modes de transports (voiture, bus, vélo, etc.). Les trottoirs peuvent ainsi être partagés entre plusieurs usagers (vélos, trottinettes, piétons), les intersections comporter plusieurs voies sans îlot central permettant au piéton de traverser en deux temps, les rues à sens unique peuvent être empruntées dans les deux sens par les vélos ou par les bus, ce qui peut surprendre les piétons, les ronds-points peuvent être source de désorientation (Davidse, 2007) etc.

Une littérature consacrée au développement de la marchabilité urbaine, prenant en considération les spécificités des piétons âgés, a émergé au cours de la dernière décennie. Ces travaux proposent d'aborder la question de l'aménagement (bâti, chaussée, esthétique et sécurité), afin de créer des quartiers favorisant une mobilité piétonne sûre et agréable pour les personnes âgées (Weiss, 2010). Les aménagements proposés sont cependant très coûteux, longs à mettre en place, et difficiles à envisager dans des espaces urbains denses qui ne peuvent être repensés de zéro compte tenu de leur historicité, de leur architecture, de leur activité économique et de leur population actuelle.

Les activités piétonnes en milieu urbain complexe (telles que la traversée de rue, l'orientation, la planification d'itinéraires, etc.) font appel à de fortes contraintes perceptives, cognitives et motrices, qui sont affaiblies par l'avancée en âge, et peuvent rendre vulnérables les piétons âgés. Le nombre d'accidents mortels lors de la traversée de rue est, par exemple, révélateur des difficultés liées à l'âge durant les activités piétonnes (Dommes et al., 2014). Ainsi, en 2013 en France 52% des piétons tués avaient 65 ans et plus. Plus précisément, les piétons de la classe d'âge des 75 ans et plus représentaient à eux seuls 38,1% de cette mortalité (ONISR, 2014). Avec l'âge, plusieurs difficultés physiques et motrices à la mobilité piétonne apparaissent, entraînant une diminution de la vitesse de marche, une diminution de la distance pouvant être parcourue confortablement, des efforts plus importants pour marcher, et une probabilité de chutes plus importante (Dunbar et Holland, 2004). Les personnes âgées présentent en effet des capacités respiratoires affaiblies et un risque accru de maladies cardio-vasculaires, limitant du même fait leurs efforts physiques (Arking, 1998). On observe également une perte de masse osseuse, en particulier chez les femmes (Arking, 1998) et une diminution importante de la puissance musculaire et du nombre de fibres musculaires pouvant soutenir la posture. Ainsi, on estime qu'à l'âge de 80 ans, la puissance musculaire est de 40% inférieure à ce qu'elle était à 30 ans (Shumway-Cook et Woollacott, 2001). Ces éléments sont à mettre en relation avec le nombre plus important de chutes et de fractures des personnes âgées. Le sens de l'équilibre est également altéré, compte tenu d'une diminution des cellules sensorielles du système vestibulaire (Rosenhall et Rubin, 1975). Les personnes âgées ont également tendance à bouger moins vite que les jeunes, et à décélérer moins vite lorsqu'ils sont engagés dans un mouvement rapide (Ketcham et Stelmach, 2001). Ainsi, on estime que la vitesse de marche décroît de 4 centimètres par seconde et par an à partir de 70 ans (Dahlsledt, 1978), les femmes marchant en moyenne moins rapidement que les hommes (environ 0.15m/s de moins). Les personnes âgées ont également tendance à faire de plus petits pas (Kwon et al., 2001). Ces modifications de la vitesse de marche avec l'âge sont à mettre en relation avec une plus faible tonicité musculaire, mais également avec un comportement plus sécuritaire des personnes âgées (Dunbar et Holland,

2004).

Au-delà des aspects physiques et urbanistiques évoqués précédemment, les déclin perceptifs et cognitifs liés à l'âge impactent également la mobilité piétonne, en ce qu'ils conduisent à des prises de décision pas toujours adaptées à la situation. L'une des difficultés majeures des personnes âgées lorsqu'elles se déplacent à pied en ville relève de la navigation spatiale. La navigation spatiale consiste à suivre un itinéraire en s'orientant correctement, en choisissant la route à suivre, en restant sur sa voie et en reconnaissant le point d'arrivée (Ross et Blash, 2000). Si des éléments de santé physique (tel que l'hypertension) peuvent impacter négativement les performances de navigation spatiale (Deshmukh et al., 2009), ce sont principalement des déclin perceptifs et cognitifs qui sont en jeu.

Les capacités de navigation spatiale sont au cœur de la mobilité piétonne des personnes âgées, et leur déclin peut entraîner des situations d'évitement voire de repli, mais aussi une exposition accrue aux risques de la route. Les aspects cognitifs et perceptifs de la navigation spatiale seront abordés dans le détail dans le chapitre suivant.

Synthèse

- La population mondiale est vieillissante, et de plus en plus concentrée dans les zones urbaines, où l'incitation à marcher est forte.
- La pratique de la marche présente de nombreux bénéfices pour la santé physique et psychologique des personnes âgées.
- Au-delà des bénéfices pour la santé, la mobilité piétonne est au cœur des logiques de déplacement des personnes âgées en ville.
- Avec l'avancée en âge, les déplacements quotidiens sont moins nombreux et de plus en plus souvent réalisés à pied, au détriment de la voiture.
- Il existe une différence assez nette en termes de mobilité piétonne entre les jeunes retraités et les retraités plus âgés (moins de 75 ans ou plus de 75 ans), et entre les hommes et les femmes : les femmes âgées de 75 ans et plus sont celles qui dépendent le plus de la marche.
- Alors que les personnes âgées sont dépendantes de la marche pour leur mobilité, des difficultés liées à l'aménagement, aux déclin physiques et moteurs, et aux déclin de la navigation spatiale peuvent impacter leur autonomie quotidienne du fait de stratégies d'évitement

CHAPITRE 2 - Navigation spatiale et vieillissement

Ce chapitre présente les principaux aspects perceptifs et cognitifs impliqués dans les activités de navigation spatiale et leurs altérations avec l'âge. Nous aborderons dans un premier temps les définitions de la navigation spatiale, de la recherche d'itinéraire, et de l'orientation spatiale. Nous verrons ensuite ce qu'est une information spatiale et comment celle-ci devient une connaissance effective pour la navigation, au travers d'habiletés visuo-spatiales. Nous présenterons également les différentes modalités sensorielles impliquées dans la navigation. Enfin, nous aborderons le rôle tout particulier de l'attention dans les activités de navigation spatiale et d'orientation.

1- Navigation et cognition spatiale : concepts généraux

L'étude de la cognition spatiale s'intéresse à l'acquisition de connaissances spatiales et à la manipulation de ces connaissances dans le but de se représenter l'espace mais aussi d'agir dans celui-ci ou avec celui-ci (Denis, 1997, 2012). Au sens que lui confère la cognition spatiale à grande échelle (voir ci-après), la navigation spatiale peut être envisagée comme une capacité cognitive spatiale de haut niveau, processus complexe et multi-sensoriel qui requiert des fonctions cognitives (détection de situation, maintien du but en mémoire, sélection de stratégie de navigation) et perceptives (visuelle, proprioceptive, vestibulaire) variées (Moffat, 2009) afin de déterminer et de maintenir une trajectoire d'un point A à un point B (Lithfous et al., 2013 ; Roche et al., 2005). Nous présenterons, dans cette partie, les notions de cognition spatiale, de navigation spatiale, d'intégration de trajet, leur complexité et leurs relations.

1.1- Cognition spatiale à petite et grande échelle et navigation

Il existe plusieurs définitions et modèles de la cognition spatiale (Dejos, 2013). La définition la plus complète nous semble être celle d'une habileté par laquelle un organisme *acquiert, représente, organise, comprend les informations et navigue dans un environnement spatial* (Spence et Feng, 2010). La cognition spatiale vise une mise à jour constante des connaissances spatiales à travers des représentations à court et long termes (Golledge, 1999). Elle s'appuie pour cela sur des informations issues de la vue, de l'ouïe, du sens vestibulaire, de la proprioception ou encore du sens olfactif (Roche et al., 2005) et sur des habiletés visuo-spatiales telles que la formation d'images mentales, la mémoire spatiale ou encore la navigation (Klencklen, Després, et Dufour, 2012).

Il semble nécessaire de distinguer deux formes de cognition spatiale. La cognition spatiale à petite échelle relève des fonctions visuo-spatiales telles que les capacités à encoder et manipuler mentalement des objets de petites tailles, en s'appuyant sur la mémoire de travail spatiale (Taillade, N'Kaoua, Arvind Pala, et Sauzéon, 2014). Ces fonctions sont généralement évaluées par des tests papier-crayon (Klencklen et al., 2012) qui ne prennent pas en compte la nature dynamique de la cognition spatiale telle que mobilisée par les individus dans leur environnement au quotidien (Moffat, 2009). La cognition spatiale à grande échelle relève pour sa part de la capacité d'apprentissage spatial et de navigation. Elle dépend de la mémoire à long terme, du développement de représentations spatiales, de l'intégration de trajet et de stratégies de navigation. Les capacités de navigation sont notamment évaluées par des tests en environnement virtuel (Klencklen et al., 2012), bien que ces environnements permettent difficilement de tenir compte des interactions fortes qui existent entre les composantes cognitives et sensorimotrices de la navigation (Lovden et al., 2005). Les habiletés spatiales à petite et à grande échelle ne sont pas totalement dissociées. En effet, si la navigation spatiale nécessite d'autres aptitudes que celles évaluées par les tests papier-crayon, telles que par exemple le développement de différents niveaux de représentation spatiale, des capacités de

rotation mentale ou de formation d'images mentales sont également nécessaires à une navigation effective.

Difficile à caractériser, la navigation spatiale a parfois été décrite comme un concept élastique (Klencklen et al., 2012) aux multiples acceptions et définitions. Montello (2005) décrit la navigation spatiale humaine sous forme de deux composantes indissociables : la recherche d'itinéraire et la locomotion, part active de la navigation. De l'avis même de l'auteur, cette distinction est principalement conceptuelle car dans la vraie vie, ces deux composantes ne peuvent aller l'une sans l'autre (Montello et Sas, 2006). Aussi, nous envisagerons dans cette thèse la navigation spatiale comme un mouvement coordonné et orienté vers un but dans l'environnement, mouvement pour lequel nous appliquons nos compétences de perception, de cognition et des comportements moteurs.

La cognition spatiale est jugée particulièrement vulnérable au vieillissement (Moffat, 2009), tant à grande qu'à petite échelle (Taillade et al., 2014), par rapport à d'autres aspects de la cognition comme le langage par exemple (Jenkins et al., 2000 ; Park, 2000). Ces déclin de la cognition spatiale, liés à l'âge, conduisent les personnes âgées à considérer les tâches de navigation comme plus difficiles que les jeunes (Kirasic, 2000), pouvant restreindre leurs activités de tous les jours (Klencklen et al., 2012), voire conduire à des stratégies d'évitement (Burns, 1999).

1.2 – Recherche d'itinéraire et orientation

La recherche d'itinéraire (*wayfinding*) est au cœur de la navigation. Pour certains auteurs, la recherche d'itinéraire est un processus cognitif relativement statique, basé sur des cartes cognitives (voir définition plus bas), visant à la résolution de problèmes spatiaux en continu (Montello et Sas, 2006), et consistant à déterminer et suivre un itinéraire entre un point d'origine et une destination dans un environnement familier ou non (Golledge, 1995). La recherche d'itinéraire s'appuie en cela sur des informations d'origine externes (environnement, carte papier, aides technologiques) et interne (proprioception, mémoire) et résulte en une mise en mouvement effective par la locomotion. D'autres auteurs envisagent au contraire navigation et recherche d'itinéraire de manière unitaire puisque « *l'acte de se déplacer dans un environnement est un composant nécessaire à notre connaissance de cet environnement, alors l'acte de wayfinding doit contenir en même temps le mouvement/déplacement et le processus cognitif* » (Conroy, 2001). Quelle que soit l'approche adoptée, on retiendra que la recherche d'itinéraire vise essentiellement à traiter l'information provenant de l'environnement, des supports d'aides et des expériences passées afin d'identifier sa propre position et la position à atteindre, et à définir un itinéraire optimal en fonction des informations disponibles (en mémoire, dans l'environnement, à travers les aides à la navigation) et des habiletés de chaque individu (Chen et Stanney, 1999).

Parmi les capacités cognitives spatiales nécessaires à la navigation et à la recherche d'itinéraire, l'orientation spatiale revêt une importance toute particulière. L'orientation spatiale est le processus par lequel une personne sait où elle se trouve par rapport à quelque chose d'autre (Garling et Golledge, 1989). Elle relève de la capacité à situer son corps par rapport à des points de référence dans un environnement spatial (Burles et al., 2014). Si des désorientations ponctuelles et temporaires sont courantes, maintenir son orientation est primordial pour une navigation efficace (Montello et Sas, 2006). Afin de maintenir leur orientation en cours de navigation, les individus vont principalement adopter deux stratégies : vérifier qu'ils sont sur la bonne route à travers un faisceau d'indices visuels tels que les repères (*landmarks*) (Heuten et al., 2008) ou les indications de leur aides à la navigation, et se baser sur la navigation à l'estime, c'est-à-dire garder une trace de la vitesse, de l'accélération, de la direction prise et de la durée de leur trajet pour estimer où ils se trouvent (Montello et Sas, 2006).

Pour des raisons de commodité, nous faisons le choix d'utiliser par la suite le terme *navigation*

pour décrire l'ensemble des processus cognitifs et moteurs impliqués pour se rendre d'un point A à un point B dans un environnement connu ou inconnu, et l'expression *recherche d'itinéraire*, pour caractériser les processus de résolution de problèmes spatiaux qui visent à trouver son chemin, processus dont l'orientation spatiale fait partie.

1.3- Rôle des cartes cognitives dans la navigation spatiale

La navigation spatiale est complexe, et repose sur des composantes très variées. Wolbers et Hegarty (2010) proposent ainsi une vue globale et non exhaustive des informations, des processus et des représentations spatiales utiles à la navigation spatiale humaine (voir figure 3). Ces différentes composantes de la navigation spatiale vont s'articuler, pour donner lieu notamment à la construction de cartes cognitives, qui sont des supports pour la prise de décision quant aux directions spatiales à emprunter. Ces prises de décisions vont ensuite être mises en œuvre par la locomotion (voir figure 4, d'après Chen et Stanney, 1999).

On voit, sur la figure 4, que la perception à travers nos sens (visuel, auditif, proprioceptif, vestibulaire etc.) d'informations à propos de l'environnement est à la base de la navigation spatiale. L'acquisition de ces informations va dépendre de stratégies (égocentrée, allocentrée) et des supports d'information (information directe depuis l'environnement, information symbolique à travers des panneaux, etc. ou encore informations issues des aides à la navigation) pouvant être convoqués par l'individu. Ces informations sensorielles vont être traitées par le cerveau, et vont aussi permettre d'inférer d'autres informations à propos de l'environnement (par exemple : j'entends des jeux d'enfants à ma gauche, je peux inférer la présence d'une école). Ces informations seront stockées pour certaines en mémoire sous différentes formes de représentations spatiales. Elles vont s'agréger à d'autres connaissances, spatiales ou non, issues de l'expérience passée et contenues en mémoire à long terme, par un processus de construction de cartes cognitives. Ce processus de construction de la carte cognitive est dépendant de la motivation de l'individu, de ses habiletés visuo-spatiales et de son expérience. Sur la base de la carte cognitive établie et des informations disponibles à un instant T, l'individu va prendre des décisions de navigation (aller à gauche, à droite etc.) afin d'atteindre son but, et mettre ces décisions en exécution à travers une mise en mouvement dans son environnement. Ce mouvement va être source de nouvelles informations sensorielles (l'individu va voir de nouveaux bâtiments, entendre de nouvelles instructions de guidage de la part de son GPS, acquérir des informations sensorimotrices), et va venir enrichir l'expérience vécue de navigation en mémoire à long terme, ce qui va conduire à de nouvelles prises de décisions, etc.

Le terme de carte cognitive a été introduit par Tolman (1948), et depuis les années 1970, de nombreux travaux se sont intéressés à la construction, à la nature et à la fonction des cartes cognitives (pour une revue, voir Kitchin, 1994). Les cartes cognitives sont des constructions mentales que nous utilisons pour comprendre et connaître notre environnement (Kaplan, 1973), qui sous-tendent notre comportement de navigation (Tversky, 1992), en nous permettant de prédire les propriétés d'un environnement qui est trop large pour être perçu en entier, et d'établir une matrice de l'environnement dans laquelle les expériences nouvelles sont intégrées (Stea et Blaut, 1973). Si plusieurs stratégies et représentations de l'environnement peuvent être utilisées pour naviguer, la plus importante et flexible semble notre capacité à former des cartes cognitives (Burles et al., 2014). L'intérêt de la recherche s'est en particulier porté sur les types de connaissances agrégées au sein des cartes cognitives. Au contraire d'une représentation unique de l'espace, les cartes cognitives dépendent de l'âge et de l'expérience de chacun (Allen et al., 1979, Kirasic et al., 1992), incorporent des représentations de différents niveaux (Hirtle et Jonides, 1985), et sont par nature distordues, incomplètes et schématiques (Tversky, 1992 ; Downs et Stea, 1973). Bien que certaines formes de connaissances configurationnelles puissent être contenues dans les cartes cognitives (informations topologiques, métriques), les connaissances spatiales utilisées en navigation semblent relever pour beaucoup des repères environnementaux identifiés comme stables et robustes par les individus (Foo et al., 2005 ;

Vuong et Tarr, 2004). Les cartes cognitives sont aussi porteuses de sens et de valeurs pour les personnes (Kitchin, 1994), car construites au cours de leurs activités quotidiennes.

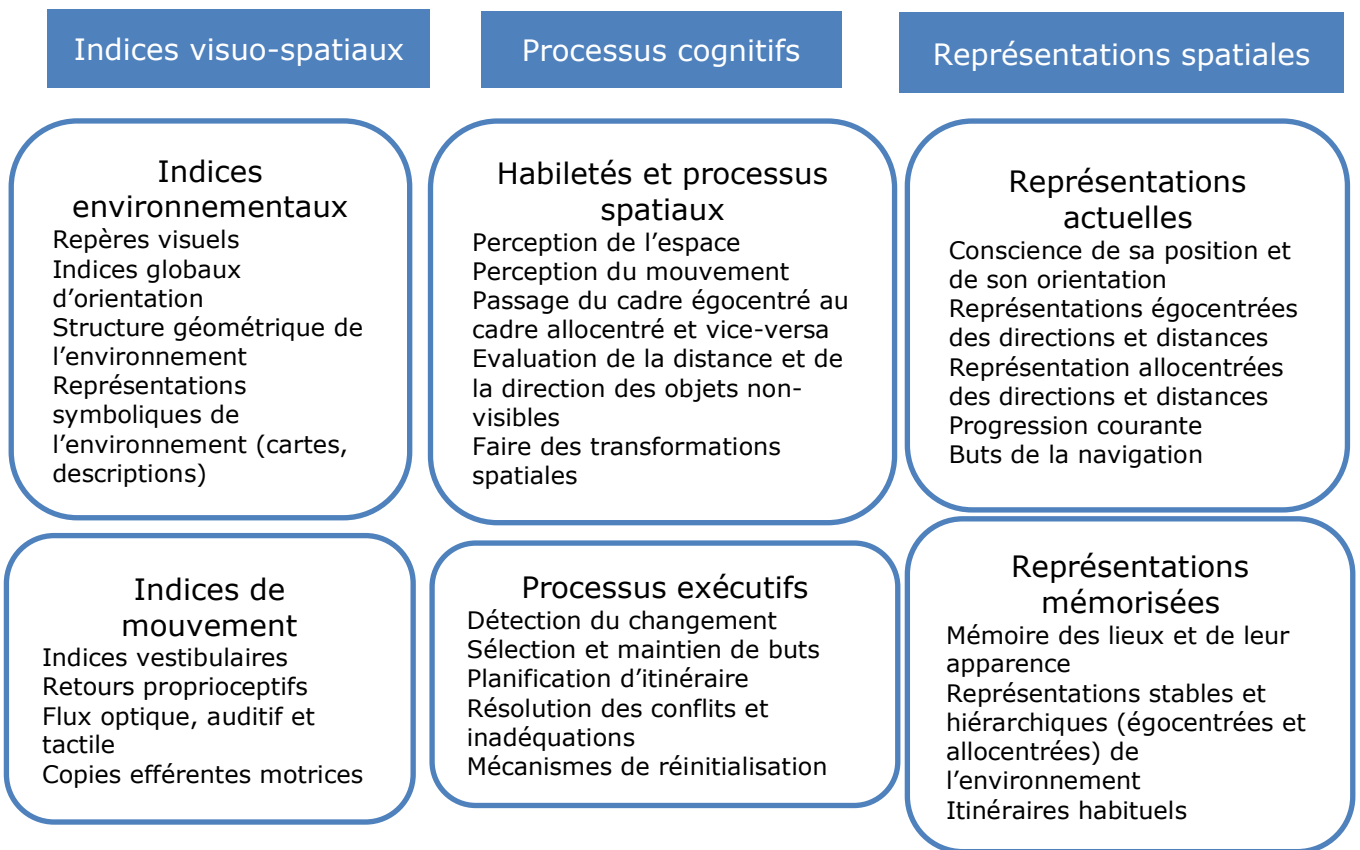


Figure 3 : Complexité des informations, processus et représentations utiles à la navigation (Wolbers et Hegarty, 2010)

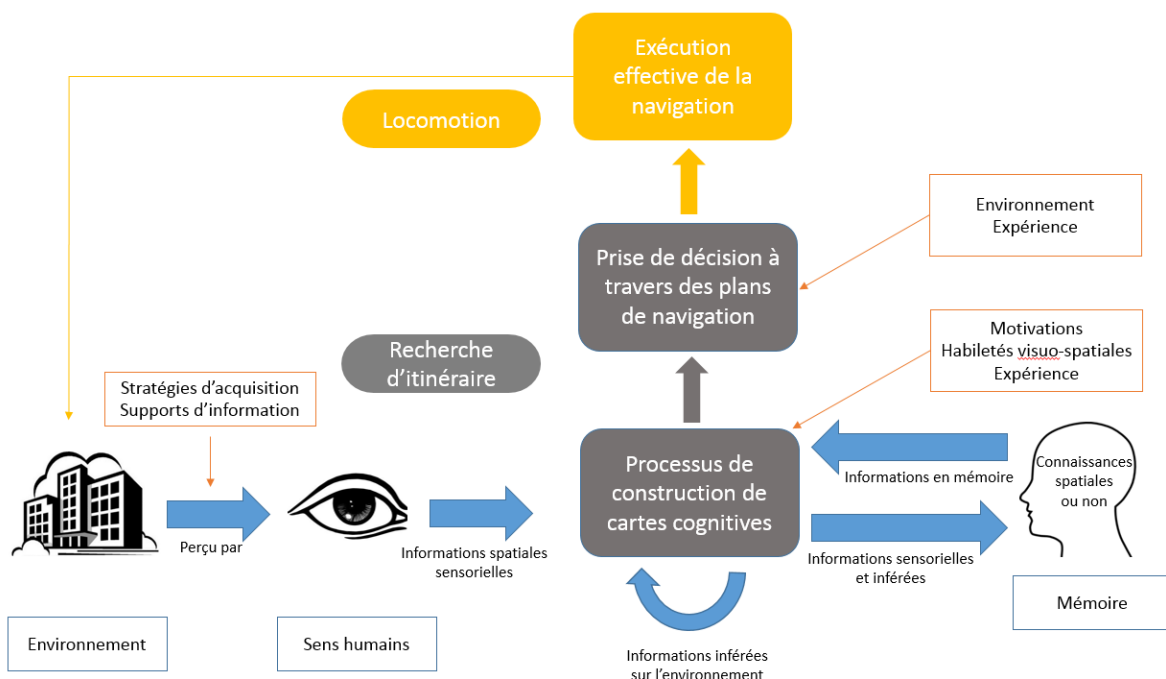


Figure 4 : Processus général de navigation (d'après Chen et Stanney, 1999)

Si la recherche d'itinéraire (et donc la navigation spatiale) repose en partie sur la construction de cartes cognitives adaptées à l'environnement et au contexte, ces cartes ne sont qu'un support parmi d'autres aux processus de prise de décisions. En situation de navigation, les aides à la navigation sont également des supports à la recherche d'itinéraire et à l'orientation (Chen et Stanney, 1999) qui peuvent fournir des indications sur la direction à prendre et/ou sur la position courante des individus.

Les personnes âgées ont de plus grandes difficultés à constituer et utiliser des cartes cognitives de l'environnement que les personnes jeunes (Dejos, 2013; Klencklen et al., 2012). Ceci se traduit par plus de difficultés de localisation des objectifs de navigation (Moffat, 2001), plus de distance parcourue pour atteindre l'objectif, un temps de marche accru et plus d'erreurs relatives à la mémoire spatiale à long terme (Lithfous et al., 2013). C'est pourquoi les aides à la navigation peuvent constituer des éléments de prise de décision pertinents. Nous verrons dans la partie suivante les connaissances spatiales qui peuvent être mobilisées pour la navigation, à travers les cartes cognitives notamment, et les déclinés liés à l'âge dans la constitution et la mobilisation de ces connaissances.

2- Informations spatiales et intégration de connaissances

La navigation spatiale et la recherche d'itinéraire reposent, comme nous l'avons vu, sur des informations et des connaissances spatiales que nous intégrons sous forme de représentations de l'espace et de l'environnement à travers, notamment, des cartes cognitives. Ces informations peuvent être issues de l'environnement direct de navigation, mais aussi être fournies par des aides et supports externes. Cette partie présente les différents types d'informations pouvant être mobilisés dans la navigation et les traitements opérés sur ces informations.

2.1- Modes d'acquisition d'informations spatiales

La recherche d'itinéraire nécessite de mobiliser des connaissances préalables ainsi que des informations spatiales afin de s'orienter et de naviguer dans l'environnement. Les informations spatiales peuvent être issues de sources directes, à travers l'exploration active de l'environnement mais aussi de sources indirectes (tels que des éléments langagiers comme des instructions verbales, des substituts symboliques comme des panneaux etc.) (Fontaine, 2000). L'utilisation de sources indirectes d'information, telles que les aides technologiques à la navigation, si elle peut apporter de l'information pertinente et à jour, pose toutefois des problèmes de traduction et d'interprétation de l'information (Daniel, 2012). La forme et la modalité de l'information indirecte sont souvent cruciales pour une bonne recherche d'itinéraire, mais le prorata d'information verbale et graphique adapté varie selon la personne et le contexte, de même que les modalités sensorielles les plus efficaces (Montello et Sas, 2006).

Les informations directes sont elles aussi dépendantes de l'environnement, qui influe à la fois sur l'information disponible et sur l'information nécessaire pour la recherche d'itinéraire. Ainsi, trois facteurs de l'environnement affectent l'orientation et la recherche d'itinéraire : la différenciation des éléments visuels, l'accès visuel (c'est-à-dire le degré avec lequel les différentes parties de l'environnement et repères peuvent être vus depuis différents points de vue), et la complexité de la configuration (Weisman, 1981). On peut également ajouter un quatrième facteur, la signalisation, qui prend en compte le placement et la lisibilité d'informations indirectes dans l'environnement (Montello et Sas, 2006).

2.2- Cadres de références et stratégies égocentrées et allocentrées

Afin d'encoder et de traiter les informations spatiales, mais aussi de construire et mobiliser des représentations spatiales de notre environnement, nous disposons de plusieurs cadres de référence : un cadre égocentré et un cadre allocentré (Tversky et al. 1997). Ces cadres de référence sont souvent associés à des stratégies de navigation spatiale, c'est-à-dire des processus d'encodage et d'utilisation des représentations stockées en mémoire spatiale pour la navigation (Roche et al., 2005). Les stratégies égocentrée et allocentrée ne sont pas exclusives l'une de l'autre, et leur utilisation va dépendre des ressources de l'individu et des informations internes et externes dont il dispose (Dejos, 2013). D'ailleurs, la flexibilité des stratégies de navigation va de pair avec une orientation efficiente (Dejos, 2013; Lithfous et al., 2013).

La stratégie égocentrée (aussi appelée *Route Learning*) est une stratégie en « vue à la première personne ». Elle est fondée sur le point de vue de l'individu qui intègre les relations spatiales entre les objets, les repères qu'il voit et la position de son propre corps. Cette stratégie fournit donc des informations spatiales qui sont directement utilisables par l'individu pour naviguer, en ne lui demandant que peu d'efforts (Brunet, 2014). Elle n'offre cependant pas beaucoup de flexibilité, car le référentiel spatial est constamment mis à jour lors des déplacements et des rotations du corps (Dejos, 2013). Cette stratégie est particulièrement utile pour l'apprentissage de routes et d'itinéraires fixes (Lithfous et al., 2013). Il convient cependant ici de bien distinguer la stratégie utilisée de la représentation spatiale qu'elle fonde. Ainsi, l'encodage ou l'appui sur des informations visuelles pour naviguer à travers une stratégie égocentrée ne correspond que pour partie à une représentation de type itinéraire (voir point suivant), dans la mesure où cette dernière intègre aussi des informations de distance, d'angle, et des informations proprioceptives (Roche et al., 2005) qui sont acquises via l'intégration de trajet (voir plus loin).

La stratégie allocentrée (aussi appelée *Place Learning*) est une stratégie en « vue du dessus ». Elle repose sur l'utilisation et la mobilisation de cartes décentrées de l'individu, qui permettent d'envisager l'environnement dans sa globalité (Dejos, 2013; Lithfous et al., 2013). Il s'agit de construire et d'utiliser des vues externes et indépendantes de l'individu, plus flexibles et robustes, mais qui demandent un effort cognitif plus important pour être utilisées dans une perspective égocentrée (Heuten et al., 2008). La navigation allocentrée est perçue comme la difficulté de navigation la plus importante chez des personnes âgées (Lithfous et al., 2013). En effet, les déclinés liés à la construction et au rappel de connaissances et de représentations spatiales semblent davantage dépendants des stratégies de navigation allocentrées que des stratégies égocentrées (Desrocher et Smith, 1998). Ainsi, les personnes âgées ont plus de difficultés à développer des représentations sur la base d'une stratégie allocentrée et à utiliser une telle stratégie pour naviguer (Taillade et al., 2014). Cette difficulté à apprendre, retenir et utiliser des informations dans un cadre de référence allocentré peut être due à un déclin de la mémoire spatiale à long terme, notamment pour la localisation spatiale des repères (Antonova et al., 2009), à un déclin de la mémoire de travail spatiale, qui ne permet plus d'effectuer des tâches aussi complexe qu'auparavant (Klencklen et al., 2012), ou encore à une altération de l'hippocampe (Klencklen et al., 2012). Ces changements impliquent un usage accru de stratégies de navigation égocentrées par les personnes âgées (Klencklen et al., 2012), bien que celles-ci soient moins flexibles pour la navigation.

2.3- Modèle Repère-Itinéraire-Configuration

L'intégration des informations issues de l'environnement et de sources externes va donner lieu à la construction et au transfert en mémoire de représentations de trois niveaux : les repères, les itinéraires et les configurations (Modèle *Landmark-Route-Survey*). Ce modèle en trois niveaux de représentations spatiales a été développé par Siegel et White (1975) et largement discuté dans la littérature (par exemple Head et Isom, 2010) (voir figure 5).

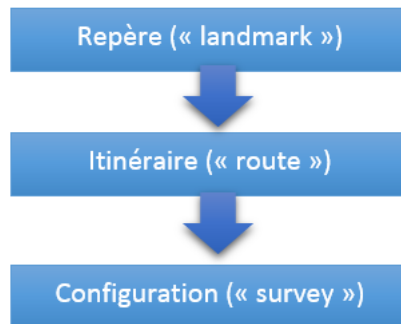


Figure 5 : Modèle hiérarchique Repère - Itinéraire - Configuration (Siegel et White, 1975)

Les connaissances de type repère (*landmark*) consistent en des informations visuelles relatives à des endroits spécifiques, acquis par la navigation dans l'environnement ou par des représentations externes, comme des films ou des photographies (Chen et Stanney, 1999). Les repères dépendent d'un cadre de référence égocentré (Darken, 1996) et sont des sortes d'ancres qui servent à organiser les autres informations spatiales (Couclelis et al. 1987). May et al. (2003) en s'appuyant sur la manière dont les individus indiquent naturellement un itinéraire, mettent en avant que les indices les plus utilisés sont les repères visuels, bien devant les types de route, les distances, les jonctions et les noms de rues, qui sont peu utilisés. La navigation basée sur les repères serait plus rapide que la navigation par nom de rue (Tom et Denis, 2003, cités par Wither et al., 2013), permettrait d'augmenter la confiance en soi (May et al., 2003) et de diminuer le nombre d'erreur de navigation (Ross, 2004, cité par Goodman, Brewster, et Gray, 2005).

Exemple de Paris² : une personne peut reconnaître des points de repère comme la Tour Eiffel, l'Arc de Triomphe, la Pyramide du Louvre, ou le Centre Pompidou sans forcément être capable de s'y rendre ou de les placer sur une carte.



Les connaissances de type itinéraire (*route*) consistent en des séquences d'actions nécessaires pour suivre une route particulière, prenant en compte un début, des points de repère, et un point d'arrivée (Chen et Stanney, 1999). Il s'agit d'une connaissance procédurale, linéaire et chronologique, associant des informations prescriptives (actions) et des informations descriptives (repères visuels) (Golledge, 1999 ; Klein, 1982). L'acquisition de ces connaissances dépend de l'expérience vécue de navigation (Goldin et Thorndyke, 1981) dans un cadre de

² Exemples extraits de la thèse de Marie Dejos (2012) « *Approche écologique de l'évaluation de la mémoire épisodique et de la navigation spatiale dans la maladie d'Alzheimer* »

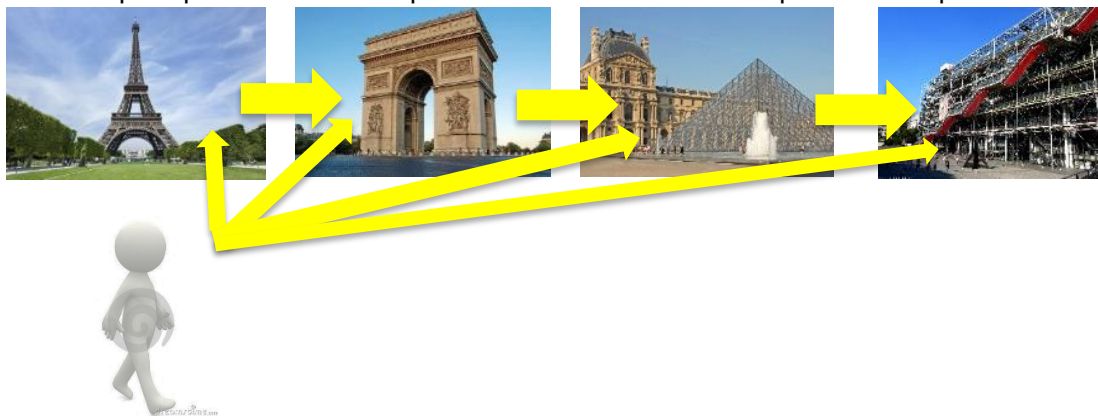
référence égocentré (Darken et Sibert, 1996) et de l'intégration de trajet (Taillade et al., 2014). Les connaissances de type itinéraire, sans être suffisantes pour naviguer de manière optimale et prendre des raccourcis, supportent la navigation dans de nombreux cas (Foo et al., 2005).

Exemple de Paris : si une personne possède une connaissance de type itinéraire pour se rendre de la Tour Eiffel au Centre Pompidou (en passant par l'Arc de Triomphe puis la Pyramide du Louvre), elle pourra reproduire ce parcours et le rappeler verbalement. Mais si l'itinéraire connu est impossible à suivre (route barrée, travaux ...), alors la personne ne peut atteindre son objectif.



Les connaissances de type configuration (*survey*) décrivent les relations entre les repères et les itinéraires, comme une sorte de « vue du dessus » (Chen et Stanney, 1999) intégrant des propriétés métriques des éléments. Elles définissent la connaissance de la position relative des points de repères dans l'espace et la distance entre ces repères (Dejos, 2013). Ces connaissances peuvent être acquises à travers une carte ou d'autres médias, avec l'aide des processus d'intégration de trajet, et nous permettent d'être autonome dans les environnements inconnus (Chen et Stanney, 1999; Taillade et al., 2014).

Exemple de Paris : une personne disposant d'une connaissance de la configuration de l'environnement parisien peut se déplacer et se rendre où elle le désire en empruntant des raccourcis puisqu'elle connaît la position relative des divers points de repères.



On observe plus de difficultés de navigation avec l'âge dans les environnements nouveaux (Devlin, 2001) que dans les environnements déjà connus, sous-entendant une difficulté accrue à constituer de nouvelles connaissances spatiales ou à utiliser ces dernières pour la navigation. Les personnes âgées présentent peu de difficultés à mémoriser des points de repères dans un environnement inconnu et ont de bonnes capacités de rappel des repères selon un point de vue égocentré (Pouliot et Gagnon, 2005) tant que leur nombre demeure assez faible (Olson et al., 2004). Cependant, les personnes âgées ont des difficultés à sélectionner des repères qui soient pertinents pour leur navigation (Kirasic, 1992 ; Klencklen et al., 2012) ou à inhiber les informations environnementales non pertinentes (Mammarella, 2009). Selon Goodman et al. (2005), les repères visuels sont pourtant des éléments importants pour les déplacements des seniors, dont ils bénéficient plus d'ailleurs que les jeunes. Si l'âge affecte la sélection des repères, il impacte également négativement les capacités d'organisation temporelle et spatiale de ces repères en mémoire, la reconnaissance de scènes, et l'intégration des informations de direction liées aux repères (Head et Isom, 2010). Ceci conduit à des difficultés dans la constitution de

connaissances de type itinéraire nécessaires à une navigation égocentrée (Lipman, 1991 ; Klencklen et al., 2012) dans les environnement connus et à fortiori inconnus (Dejos, 2013). Concernant les connaissances de type configurationnel, les personnes âgées ont plus de difficultés que les jeunes à se remémorer et à parcourir une route apprise sur une carte (Wilkniss et al., 1997), à replacer sur une carte les repères rencontrés lors de la navigation (Head et Isom, 2010) ou encore à identifier dans l'environnement réel des repères dessinés sur une carte (Lithfous et al., 2013). Ceci est dû à une plus faible flexibilité dans les stratégies de navigation, et aux difficultés liées aux stratégies allocentrées en particulier (Head et Isom, 2010). On observe également quelques différences liées au genre : les femmes semblent préférer les connaissances de type itinéraire (Lawton, 1994; Taillade et al., 2014) et s'appuient beaucoup sur les points de repère pour naviguer (Foo et al., 2005; Maguire, Burgess, et O'Keefe, 1999), tandis que les hommes s'appuient davantage sur les propriétés métriques, les connaissances de type configuration et les points cardinaux (Foo et al., 2005; Maguire et al., 1999; Taillade et al., 2014).

2.4 – Capacités et habiletés visuo-spatiales

Parmi les capacités cognitives les plus importantes dans la construction de connaissances spatiales, on trouve les capacités et habiletés visuo-spatiales, c'est-à-dire les capacités à manipuler et organiser des objets dans l'espace (Downs et Stea, 2011). Selon Smets, Brake Te, Neerinx, et Lindenberg (2008), ces habiletés expliquent la majeure partie de la variance observée entre les participants d'études de performance de navigation. Les habiletés visuo-spatiales des individus influencent en effet l'acquisition de connaissances spatiales et les stratégies de navigation des individus. Elles recoupent les habiletés d'orientation spatiale et une multitude d'autres habiletés et capacités, qui ne font pas toujours l'unanimité chez les chercheurs (Pellegrino et Goldman, 1983). Trois catégories d'habiletés visuo-spatiales sont toutefois régulièrement abordées dans la littérature relative à la construction de connaissances spatiales (Ashraf, 2005) : l'orientation spatiale, l'attention visuo-spatiale (cognition spatiale à grande échelle) et la visualisation spatiale (cognition spatiale à petite échelle).

2.4.1 – Orientation spatiale et intégration de trajet

L'orientation spatiale, dont nous avons vu l'importance pour la navigation et la recherche d'itinéraire, demande une mise à jour constante de la représentation de la position du corps par rapport à l'espace, ce qui passe par les mécanismes de l'intégration de trajet (aussi appelée *path integration* ou *dead reckoning*). L'intégration de trajet repose sur l'intégration multi-sensorielle d'informations issues du flux optique, du système vestibulaire et de la proprioception (Berthoz et Viaud-Delmon, 1999; Dejos, 2013). Les informations visuelles permettent d'identifier les points de repères dans l'environnement ainsi que leur ordre temporel (Loomis et al., 1999). A travers le mouvement du corps, les informations vestibulaires et proprioceptives vont permettre d'estimer la vitesse, l'accélération, la distance parcourue et le déplacement angulaire (Lithfous et al., 2013) afin de constituer un « vecteur de retour » (*homing vector*) (Mahmood, Adamo, Briceno et Moffat, 2009). Ces informations et traitements sont essentiels pour la mise en œuvre de stratégies égocentrées et allocentrées (Lithfous et al., 2013) et la construction de représentations spatiales et de cartes cognitives (Berthoz et Viaud-Delmon, 1999).

Le fonctionnement de l'intégration multi-sensorielle et de l'intégration de trajet requiert de nombreux processus cognitifs (Roche et al., 2005) et n'est pas clairement expliqué pour le moment (Berthoz et Viaud-Delmon, 1999). La désorientation spatiale peut être due à un problème concernant une modalité sensorielle, la mémoire spatiale (voir ci-dessous), ou encore à une mauvaise compensation de la désadéquation qui peut intervenir entre les informations issues des différents canaux sensoriels. Les émotions pourraient être également en lien avec certains dysfonctionnements du système vestibulaire ou de la mémoire spatiale, qui sont essentiels à l'intégration de trajet (Berthoz et Viaud-Delmon, 1999).

La désorientation spatiale est plus fréquente chez les personnes âgées de 70 ans et plus (Hunt et Waller, 1999), en lien avec des difficultés d'intégration de trajet. Si les personnes âgées présentent des capacités similaires aux individus jeunes pour l'estimation de distances courtes (Mahmood et al., 2009) elles sous-estiment beaucoup plus les distances longues que les jeunes et leurs difficultés s'accroissent d'autant plus que les tâches demandent d'évaluer une distance et un angle en même temps (Mahmood et al., 2009). Les difficultés d'intégration de trajet semblent être dues en particulier aux déclin de la mémoire de travail (Park, 2000) et à une réduction de l'attention visuo-spatiales (Salthouse, 1996).

2.4.2 - Mémoire de travail spatiale et attention visuo-spatiale

La mémoire spatiale est la capacité à se rappeler de la position des objets, le contexte spatial d'un souvenir, ou encore les aspects topographiques d'un environnement. Cette mémoire est à la confluence des habiletés visuo-spatiales et de la navigation (Klencklen et al., 2012). On peut distinguer la mémoire spatiale à long terme, qui correspond au stockage des représentations spatiales acquises avec l'expérience (Lithfous et al., 2013) et la mémoire de travail spatiale, qui est l'habileté à encoder, transformer et maintenir des informations spatiales pour la perception et l'action (Corbetta, Kincade, et Shulman, 2002) et la construction de nouvelles connaissances spatiales. Cette habileté est à mettre en relation avec l'attention visuo-spatiale, qui est la capacité essentielle à sélectionner les éléments à analyser dans l'environnement pour soutenir la navigation (Corbetta et al., 2002; Montello et Sas, 2006).

Les capacités de mémoire spatiale et les capacités d'attention visuo-spatiale sont impactées négativement avec l'âge (Gras, Daniel, Labiale, Piolino, et Gyselinck, 2012), entraînant plus de difficultés à acquérir de nouvelles connaissances à propos de l'environnement (Gyselinck et al., 2013 ; Klencklen et al., 2012) et à établir des connaissances qui soient aisément mobilisables dans un but de navigation.

2.4.3 - Visualisation spatiale

La construction et l'utilisation de représentations spatiales efficaces pour la navigation sollicite des capacités de visualisation spatiale, telle que la rotation mentale (Dejos, 2013). Il s'agit des capacités à traiter et interpréter des informations visuelles (Kolb et Whishaw, 1985) et à se représenter et à manipuler des informations spatiales (Dror et Kosslyn, 1994). Quatre composantes sont généralement identifiées : la génération d'images mentales, le maintien d'images en mémoire de travail, le parcours mental d'images, et la rotation d'images (Dror et Kosslyn, 1994). La génération d'images mentales est la capacité à former des images visuelles, ce qui requiert de faire appel à la mémoire visuelle. Le maintien d'images est la capacité à se rappeler d'images. Le parcours mental d'images est la capacité à déplacer son attention dans une image. Enfin, la rotation d'images consiste à visualiser mentalement des images selon certaines altérations ou rotations (Dror et Kosslyn, 1994)

On observe chez les personnes âgées plus de difficultés de génération ou encore de rotation d'images mentales que chez les personnes jeunes (De Beni et al., 2006 ; Taillade et al., 2014), mais assez peu de difficultés concernant le maintien en mémoire ou le parcours mental d'images (Dror et Kosslyn, 1994). Ceci laisse entrevoir la grande variabilité des changements pouvant intervenir dans le cerveau avec l'âge. On observe également des différences liées au genre : les capacités de rotation mentale des hommes semblent notamment plus importantes que celles des femmes (Lawton, 1994), et ils ont davantage confiance en leurs habiletés spatiales que les femmes (Devlin, 2003).

A travers les paragraphes précédents, nous avons vu que le vieillissement normal affecte les représentations spatiales, les stratégies de navigation, ainsi que les habiletés visuo-spatiales à petite et grande échelle nécessaires à l'acquisition et à la mobilisation de connaissances sur l'environnement, et plus largement à la navigation spatiale. Ces représentations de

l'environnement sont fondées sur les informations sensorielles acquises au cours de la navigation. La partie suivante vise à éclairer ces déclins perceptifs liés à l'âge pouvant impacter la navigation.

3- Perception

Lorsque nous naviguons à pied dans la ville, nous faisons appel à l'intégralité de nos sens pour maintenir notre équilibre, nous orienter, nous déplacer en sécurité, acquérir des connaissances à propos de notre environnement ou encore nous remémorer un trajet ou un événement relatif à celui-ci. Cette partie présente les principaux sens convoqués lors de la navigation spatiale piétonne (vue, ouïe, somesthésie et sens vestibulaire), ainsi que les déclins opérant avec le vieillissement normal et leurs conséquences sur l'activité de navigation spatiale piétonne.

3.1- La vue

Le sens de la vue est le sens le plus sollicité lors de la recherche d'itinéraire et de la navigation spatiale piétonne, et repose sur un organe sensoriel : l'œil. Grâce à nos yeux, nous pouvons connaître les tailles, couleurs, formes et textures des objets de l'environnement, ainsi qu'estimer leur vitesse et la nature de leur mouvement. Pour assurer le bon fonctionnement de l'œil, il est nécessaire que les différents milieux franchis par la lumière restent transparents, que les muscles responsables de l'ouverture de la pupille ainsi que de la courbure du cristallin fonctionnent correctement, et que les photorécepteurs situés sur la rétine permettent la formation et la transmission d'une image nette au cerveau. Or ces différents aspects sont modifiés au cours du vieillissement normal.

En effet, l'œil a tendance à perdre de sa transparence avec l'âge. Un drainage inadéquat de l'humeur aqueuse peut provoquer un glaucome, réduisant le champ de vision des individus. Une opacification du cristallin peut également se produire, laissant moins bien passer la lumière : c'est la cataracte (Dunbar, G., Holland, 2004). En plus de cette perte de transparence, la pupille voit son diamètre se réduire, laissant entrer moins de lumière dans l'œil (Charlier et Hache, 1985). Ce changement est d'autant plus gênant que l'œil est moins sensible aux faibles intensités lumineuses avec l'âge (Mc Farland et al., 1960) : on ne perçoit à 60 ans qu'un tiers de la lumière perçue à 20 ans (Weale, 1963). Il faut donc beaucoup plus de lumière et/ou plus de temps aux personnes âgées pour voir le même objet que les personnes jeunes (Eriksen et al., 1970), et elles ont plus de difficultés à voir dans les environnements sombres (North, 1993). Les personnes âgées sont également moins sensibles aux contrastes, quelle que soit la fréquence lumineuse (Arden et Jacobsen, 1978). On observe ainsi une baisse de sensibilité et une altération de toutes les couleurs, mais les teintes de bleu sont les plus touchées (Gilbert, 1957). Le vieillissement normal affecte également les capacités d'accommodation de l'œil, c'est-à-dire la capacité à former une image nette sur la rétine. Ceci est dû à la perte de flexibilité du cristallin (Courtis, 1985), génératrice de presbytie. La plus petite distance à laquelle on peut voir nettement s'accroît avec l'âge, et le changement de focus entre 2 objets à des distances différentes est également plus difficile (Grundy, 1987). Les déclins visuels liés à la pupille et au cristallin vont de pair avec des modifications structurelles de la rétine (Marmor, 1985), à partir 60 ans notamment. On assiste aussi parfois à une dégénérescence de la macula (DMLA), zone de la rétine ayant la plus forte acuité, dans laquelle les photorécepteurs se retrouvent systématiquement détruits, entraînant une vision troublée, voir une tâche sombre au milieu du champ de vision.

Au cours du vieillissement normal, la somme des signaux visuels reçus par l'organisme par unité de temps se réduit (Birren et Schaie, 1977), et le temps nécessaire à traiter une même quantité d'information s'accroît. Ceci a nécessairement des conséquences sur la qualité et la vitesse du traitement de l'information visuelle nécessaire à la navigation spatiale piétonne. Qui plus est, à mesure de l'avancée en âge, la qualité des informations visuelles varie considérablement en fonction des individus et du contexte de navigation (milieu éblouissant,

sombre) compte tenu des pertes de sensibilité lumineuse, de contraste, de capacité d'accommodation et d'évaluation des mouvements, et des différentes maladies affectant la transparence de l'œil et la formation d'images nettes. Ces constats permettent de mieux entrevoir les difficultés pouvant être rencontrées par les personnes âgées au quotidien, et posent des questions quant aux supports et aides externes visuelles qui pourraient assister les individus dans leur navigation. En effet, les déclin visuels liés à l'âge doivent nourrir une réflexion quant aux couleurs, aux contrastes, aux animations, à la luminosité du support proposé, ainsi que la nécessaire accommodation de l'œil lors du partage d'attention entre l'aide et l'environnement parcouru.

3.2- L'ouïe

Le système auditif est un système sensoriel extrêmement réactif (beaucoup plus que le système visuel par exemple), qui permet dès le plus jeune âge de s'orienter vers les stimuli nouveaux. Ce système repose sur un organe, l'oreille, qui a pour fonction d'amplifier et de transformer les ondes sonores issues de l'air environnant en informations nerveuses traitées par le cerveau. L'oreille humaine est très sensible et peut entendre des sons de très faible intensité, couvrant un spectre de fréquence allant de 20Hz à 20 kHz. Tout comme pour la vue, il est possible de distinguer avec l'âge des déclin auditifs liés aux structures et fonctions de l'oreille et des déclin liés au traitement de l'information auditive dans le cerveau.

On distingue, deux types de surdités acquises, pouvant intervenir avec l'âge. La surdité de conduction est relative aux pertes d'audition liées à l'oreille externe et à l'oreille moyenne. Elle consiste le plus souvent en une moins bonne concentration et amplification des sons, et peut être compensée par le port d'un appareillage externe (Wingfield, Tun, Mccoy, et Mccoy, 2013). La surdité de perception est quant à elle liée à la cochlée. La cause la plus fréquente de cette surdité de perception au cours du vieillissement normal est la presbyacousie (Bouccara, Ferrary, Mosnier, Bozorg Grayeli, et Sterkers, 2005). La presbyacousie évolue variablement selon les personnes, l'âge et le genre. Ainsi, on observe des pertes d'audition chez 43,8 % des 60-69 ans et 66% des 70-79 ans, avec une prévalence plus forte chez les hommes que chez les femmes. La presbyacousie a pour conséquence une moindre discrimination des fréquences, une perte importante de l'audition des fréquences aiguës (qui restent très bien discriminées jusque 1kHz, et devient très difficiles à percevoir au-delà de 6kHz (Willott, 1991)), et une plus faible discrimination de la voix (Wingfield et al., 2013). Concernant le traitement de l'information auditive, le vieillissement normal impacte négativement la discrimination des fréquences composant un signal complexe, ainsi que la capacité à détecter et retenir l'ordre temporel des sons brefs (Wingfield et al., 2013). Les tests d'écoute dichotique auprès des personnes âgées ont également mis en avant un avantage de l'oreille droite par rapport à l'oreille gauche (Hommet et al., 2009). Ceci pourrait être dû une atteinte préférentielle des structures du cerveau droit avec l'âge (qui traite les informations issues de l'oreille gauche).

Si les pertes d'audition liées à l'amplitude du son et à la surdité de conduction sont communément admises (faire répéter, parler plus fort ...) nous voyons que le déclin auditif lié à l'âge repose également sur une moins bonne discrimination de la parole, une moins bonne perception des sons aiguës, et une différenciation entre les deux oreilles. Ces éléments doivent être pris en compte lors de la conception d'aides à la navigation reposant sur le sens de l'audition. En effet, une aide classique de type GPS n'est pas nécessairement bien comprise, compte tenu des difficultés à discriminer les voix, qui plus est dans un contexte bruyant. Un système non verbal, s'appuyant sur la spatialisation du son, devrait quant à lui tenir compte des fréquences perçues par les personnes âgées, afin d'assurer leur compréhension et leur bonne localisation, les fréquences trop hautes pouvant être mal localisées dans l'environnement avec l'âge (Stephens, 1982).

3.3- Le système somesthésique

Le système somesthésique est au cœur d'une large gamme de sensation : le toucher, la pression, la vibration, le chaud, le froid, la conscience de la position des différentes parties du corps, la douleur ... Aussi, il convient de distinguer le sens haptique, qui correspond à ce que l'on appelle plus communément le sens du toucher, et la proprioception, qui correspond à la perception consciente ou non de la position des différentes parties du corps et de leur tonus. Le sens haptique et la proprioception reposent sur des fibres nerveuses dites afférentes, dont le diamètre et le champ récepteur sont variables, et dont les extrémités se ramifient sous la peau ou dans les muscles. Ce sont par ces fibres que vont initialement se former les sensations haptiques et proprioceptives. Peu de littérature est consacrée aux déclinis haptiques et proprioceptifs intervenant au cours du vieillissement normal (Kalisch, Kattenstroth, Kowalewski, Tegenthoff, et Dinse, 2012), bien que ces sens soient essentiels à la reconnaissance d'objets, au maintien de l'équilibre, ou plus simplement à l'efficacité de nos mouvements dans la vie de tous les jours.

Concernant les déclinis haptiques en particulier, on constate une altération de la peau en surface, qui perd par exemple de son élasticité (Cua et al., 1990), mais aussi en profondeur, avec une plus faible densité des corpuscules de Meissner et de Pacini, responsables des sensations de vibrations de basse et haute fréquences. On observe également une diminution de la vitesse de conduction des informations nerveuses (Valerio et al, 2004). Des changements intervenant dans le cerveau avec l'âge affectent également la discrimination tactile d'objets (Kalisch et al., 2012). Les femmes âgées, en particulier, font plus d'erreurs de reconnaissance haptique que les hommes, ceci étant potentiellement dû à de plus faibles capacités de rotation mentale. Enfin, l'acuité tactile, c'est-à-dire la capacité à distinguer deux points statiques ou en mouvement sur la peau, diminue elle aussi avec l'âge (Kalisch et al., 2012). Tout ceci peut poser question dans le cadre de la conception d'aides à la navigation vibrotactiles.

3.4 - Le système vestibulaire

Le système vestibulaire est au cœur de la perception des déplacements du corps, de la position de la tête et de l'orientation spatiale par rapport à la pesanteur. Il repose sur des structures de l'oreille interne situées proches de la cochlée et sur des noyaux vestibulaires responsables du contrôle des muscles posturaux, des muscles du cou et des muscles extra-oculaires.

Si la mobilité piétonne demande un contrôle permanent de l'équilibre et de la posture, les vertiges et les pertes d'équilibre augmentent en fréquence avec l'âge, en particulier chez les femmes (Sloane, Baloh, et Honrubia, 1989). Ainsi, chez les personnes âgées de 70 ans et plus, la perte des cellules vestibulaires serait de 40%, comparativement à un individu jeune (Rosenhall et Rubin, 1975), ceci entraînant un mécanisme de compensation basé sur un plus fort recours au sens de la vue pour le maintien de l'équilibre (Ketcham et Stelmach, 2001). On observe également une diminution du nombre de neurones du noyau vestibulaire, et une diminution du nombre de fibres vestibulaires (Richter, 1980) limitant le traitement cognitif de l'information vestibulaire par le cerveau. D'un point de vue fonctionnel, les personnes âgées ont du mal à retrouver leur équilibre, ce qui peut augmenter le nombre de chutes, et elles ont également plus de difficultés à exécuter une double tâche alors qu'elles marchent compte tenu de l'attention accrue que leur demande le maintien de l'équilibre et de la posture (Shumway-Cook et Woollacott, 2001).

Bien que le fonctionnement du système vestibulaire lors de la navigation piétonne ne soit pas conscient, nous voyons qu'avec l'âge, il peut être générateur de déséquilibres voire de chutes, avec des conséquences médicales et psychologiques importantes. De plus, compte tenu de la plus grande nécessité pour les personnes âgées de maintenir leur attention sur la tâche de marche afin de limiter les risques de chutes, la mise en œuvre d'aides à la navigation adaptées au vieillissement demande de limiter le partage d'attention et l'effet « double-tâche » afin

d'assurer la sécurité des piétons âgés.

3.5– Intégration multisensorielle

Nous l'avons vu, les multiples sens impliqués dans la mobilité piétonne (vision, proprioception, système vestibulaire), ou pouvant être mobilisés dans le cadre de l'utilisation d'une aide à la navigation piétonne (vision, audition, haptique), sont altérés par le vieillissement normal, entraînant généralement une perte de sensibilité et une moins bonne discrimination des stimuli. Ces sens ne sont toutefois pas isolés, et assez paradoxalement, les déclin des systèmes sensoriels pris individuellement peuvent conduire à une assez bonne intégration multisensorielle chez les personnes âgées (Freiherr, Lundström, Habel, et Reetz, 2013). On observe par exemple des difficultés importantes relatives aux sens vestibulaire et proprioceptif qui sont vulnérables au vieillissement normal (Wilkniss et al., 1997), ceci amenant les personnes âgées à s'appuyer davantage sur le sens visuel et le flux optique afin de maintenir leur équilibre (Mahmood et al., 2009; Taillade et al., 2014). Cette intégration multisensorielle s'appuie sur la multimodalité, c'est-à-dire sur le fait que nous bénéficions de plusieurs canaux sensoriels distincts, impliquant de plus grandes chances d'identifier un événement correctement et rapidement s'il implique plusieurs canaux (Freiherr et al., 2013). D'après Guerreiro et al. (2010), les personnes âgées ont par exemple plus de difficultés à sélectionner une information pertinente quand elle est plongée parmi d'autres informations qui font appel à la même modalité sensorielle.

Dans le cadre de la conception d'aides à la navigation piétonne pour les personnes âgées, présenter des informations sous diverses modalités sensorielles peut donc s'avérer intéressant, car cela permet d'éviter la surcharge des canaux sensoriels et d'augmenter la capacité de traitement de l'information (Wickens, 1984). Cependant, pour qu'une interaction multimodale soit efficace, il faut que les informations présentées soient coordonnées et congruentes dans l'espace et le temps (Kolers et Brewster, 1985), afin de limiter la surcharge attentionnelle ou le partage de l'attention entre l'aide à la navigation et l'environnement. Si beaucoup d'études s'intéressent à la perception sensorielle visuelle ou auditive (en particulier), les interactions entre les modalités sensorielles ont en effet un impact sur la perception des stimuli, avec certains effets de dominance.

Concernant les interactions visuelle-auditive, Walter et Scott (1981) montrent que qu'un son court semble durer plus longtemps qu'une lumière allumée pendant la même durée. La perception auditive domine temporellement la perception visuelle. Concernant la perception de la localisation spatiale des stimuli, en revanche, le visuel domine l'auditif (Walter et Scott, 1981). Concernant les interactions visuelles, auditives et haptiques, Rock et Victor (1964) montrent que le visuel domine le toucher dans la perception des formes des objets. Une étude de Handel et Buffardi (1969) s'intéresse à la présentation de pattern gauche/droite utilisant une ou plusieurs modalités sensorielles. La reconnaissance des patterns auditifs seuls et tactiles seuls semble plus simple que pour le visuel seul, mais la combinaison visuel + auditif est la meilleure dans certains cas. Ces résultats sont particulièrement intéressants car ils montrent que la reconnaissance de patterns multi-sensoriels semble indépendante des modalités qui les composent, même si auditif et visuel se complètent mieux que les autres : « *the perceptual characteristics of pairs of modalities are not simply the summation of the characteristics of the individual modalities.* » (Handel et Buffardi, 1969). On observe certaines difficultés liées à l'âge dans la perception d'information multimodales. Par exemple, si les jeunes et les âgés sont distraits de la même manière par des informations verbales non pertinentes lorsqu'ils réalisent une tâche visuelle (Rouleau et Belleville, 1996), les personnes âgées sont plus perturbées que les jeunes quand elles sont engagées dans une tâche auditive qui est perturbée par une distraction visuelle (Van Gerven et Guerreiro, 2016), ceci mettant en jeu les mécanismes de l'attention.

4- Le rôle pluriel de l'attention pour la navigation

Nous avons vu que l'attention visuo-spatiale est au fondement du développement de connaissances spatiales à propos de l'environnement (partie 2 de ce chapitre). Nous avons également évoqué les risques liés au partage de l'attention entre différentes sources d'informations sensorielles (partie 3 de ce chapitre). Aussi, l'attention joue un rôle tout particulier dans le contexte de navigation spatiale piétonne sur les plans cognitifs et perceptifs afin de s'orienter avec efficacité tout en assurant sa propre sécurité. Cette partie aborde les différents types d'attention mobilisés dans la navigation spatiale avec aide au guidage, et les déclinés attentionnels liés à l'âge.

4.1- Les différentes formes de l'attention

4.1.1- Une définition de l'attention

L'attention est une fonction exécutive qui prend de nombreuses formes et repose sur différentes aires cérébrales. Elle ne peut se résumer à une seule opération mentale. Il existe en effet une grande diversité de processus attentionnels orientés vers la sélection de l'information, la focalisation sur une source, la mobilisation plus ou moins intense de ressources attentionnelles, la résistance à la distraction ou encore le contrôle flexible de l'attention afin de garder une cohérence dans l'exécution d'une tâche (Camus, 1996). Ces processus attentionnels forment un système complexe nécessaire à la sélection et au traitement des informations, et donc à l'activité réflexive résultant en une décision d'action (Sieroff, 2008 ; James, 1890).

L'attention s'appuie sur des représentations (pour déterminer ce à quoi on fait attention à priori). Pour maintenir ces représentations « actives », elle utilise la mémoire de travail. Les processus attentionnels sont donc liés à la mémoire de travail par la nécessité de maintenir continuellement disponibles des représentations différentes dont le nombre risque d'excéder les capacités de la mémoire à court terme (Camus, 1996).

L'étude des processus attentionnels vise à comprendre comment une information franchit toutes les étapes du traitement cognitif, alors que de nombreuses autres ne sont pas perçues consciemment par le sujet. Plusieurs auteurs s'accordent autour de l'idée de capacités de traitement de l'information limitées (limitation des ressources attentionnelles (Kahneman, 1973), métaphore du « goulot d'étranglement » perceptif (Broadbent, 1958)) et d'un double processus de facilitation et d'inhibition permettant de mettre en valeur une information cible parmi un ensemble d'autres informations (distracteurs).

Si plusieurs stimuli peuvent être perçus et/ou plusieurs tâches peuvent être réalisées en parallèle lorsqu'au moins l'une d'elles est automatisée (Sieroff et Piquard, 2004), il peut y avoir interférence quand deux tâches sont en compétition (double tâche ou task-switching) et qu'une sélection est nécessaire, ou lors de la recherche d'une cible parmi des stimuli distracteurs présentant de fortes similarités (Sieroff, 2008).

4.1.2- Pluralité de l'attention

Trois composantes sont régulièrement utilisées pour expliquer les différentes formes que prend l'attention : l'intensité, la sélectivité et le contrôle de l'attention. Une première distinction s'opère ainsi entre attention endogène (ou maintenue, ou top-down) et attention exogène (ou transitoire, ou bottom-up). L'attention endogène repose sur la volonté du sujet qui dirige et contrôle son attention (il *fait attention*) en fonction de sa motivation et du contenu de sa mémoire de travail (Sieroff, 2008). Cette forme d'attention repose sur des attentes, une évaluation de probabilités d'apparition du stimulus, des stratégies propres à chaque sujet, etc. L'attention exogène est celle qui est capturée par un événement extérieur, une modification de l'environnement (par exemple un bruit de klaxon), et repose sur des mécanismes automatiques innés ou acquis par entraînement. Laberge (1995) compare l'attention exogène à une étincelle qui amorce la flamme de l'attention endogène. La seule étincelle n'est pas suffisante pour éclairer

suffisamment l'événement. Seule la flamme (endogène) par sa durée permet d'éclairer la scène.

Il existe plusieurs théories de l'attention qui se distinguent notamment par les composantes d'intensité et de sélectivité qu'elles décrivent. L'intensité fait référence à l'état général de préparation en vue du traitement de l'information alors que la sélectivité vise à choisir pour un traitement approfondi (dans la limite des ressources disponibles) une information parmi toutes celles qui sont simultanément présentes à la conscience. Le modèle d'Eriksen (Eriksen et St. James, 1986) compare l'attention à un pinceau (ou faisceau attentionnel pour Posner, 1980) dont la taille peut varier. Ce pinceau peut être très fin, réunissant une grande quantité de ressources attentionnelles sur une source de stimuli donnée, ou au contraire très large, étalant sur une grande surface de stimuli la même quantité de ressources attentionnelles, afin de s'adapter aux besoins de la tâche à accomplir selon qu'elle exige focalisation ou partage des ressources. L'attention dispose ainsi d'un gradient : une attention diffuse permet un traitement en parallèle d'une grande partie du champ visuo-spatial mais ne permet pas une grande « magnification » des informations perçues (Camus, 1996).

La sélectivité de l'attention s'appuie à la fois sur des mécanismes de facilitation tels que l'ajustement de la sensibilité perceptive (Treisman, 1960), la priorité cognitive dans le choix des traitements à effectuer (Camus, 1996), ou encore la préparation à l'apparition d'une information (Laberge, 1995) et également des mécanismes d'inhibition des distracteurs tels que leur blocage (Broadbent, 1958), l'atténuation de leur traitement (Treisman, 1960), leur rejet (Neisser, 1967), ou la suppression de leur traitement (Johnston et Dark, 1986).

4.2- Les formes d'attention mises en jeu dans la navigation spatiale piétonne

Nous nous intéressons dans cette partie aux trois types d'attention qui semblent en jeu dans la perception et la mise en œuvre de nos informations de navigation : l'attention préparatoire (Siéroff, 2008) (ex : se concentrer une région spatiale ou un moment pour percevoir l'information), l'attention sélective (Posner et Snyder, 1975) (qui vise à discriminer un stimulus parmi un ensemble de stimuli plus ou moins semblables dans l'environnement), et l'attention partagée (Kahneman, 1973) (qui vise à faire deux tâches en même temps). Il n'est pas dit que d'autres processus attentionnels (en particulier des processus exogènes) n'interviennent pas dans certains cas, mais ils requièrent peu de mise en concurrence dans l'attribution de ressources attentionnelles (dans la mesure où ils « saisissent » l'attention et ne font pas l'objet d'une attention volontaire).

4.2.1- Attention préparatoire

L'attention préparatoire vise à se préparer consciemment au traitement d'une information ou à la réponse à un stimulus, elle consiste en des attentes et anticipations de ce qui va être perçu. Elle s'appuie sur des éléments d'amorçage ou d'indigage qui peuvent être des informations sur l'endroit (où l'indication attendue va apparaître spatialement ?), l'objet (qu'est-ce qui va apparaître ?) ou encore le moment (quand ça va apparaître ?) d'apparition de la cible (Jones et Yee, 1993 ; Laberge, 1995). L'information est traitée plus rapidement et avec plus de précision quand l'attention du sujet attirée (on dit aussi orientée) au préalable grâce à un indice (Camus, 1996 ; Siéroff, 2008). Cette préparation réduit le coût attentionnel (puisqu'il s'agit de désengager l'attention de sa position actuelle, de la déplacer, puis enfin de la réengager dans une position nouvelle selon Posner (1994)) mais, en cas de dissonance entre l'indice et la cible (l'information n'est pas exactement à l'endroit, au moment, ou dans la forme que l'on aurait pensé) alors un surcoût considérable intervient (plus que lorsqu'il n'y a pas d'indice d'amorçage) (Posner, 1980).

Cette attention préparatoire concerne non seulement le sens de la vue (Posner, 1980) mais aussi l'audition (attention portée sur une oreille (Mondor et Bryden, 1992)) ou la préparation motrice (Requin, 1985), ce qui en fait une attention très présente dans les tâches de la vie

quotidienne (Siéoff et Auclair, 2007). Ainsi, dans une tâche de navigation, les personnes peuvent s'attendre à l'approche des carrefours (indigage visuel et/ou temporel) à un message de guidage, et faire ainsi attention à la zone où se situe leur GPS dans leur champ de vision (recherche de la cible).

4.2.2- Attention sélective

L'attention sélective vise à extraire une cible pertinente d'un ensemble de stimuli appelés distracteurs (par exemple, extraire un son de guidage du bruit ambiant). Ces distracteurs peuvent interférer avec la cible à cause de leur identité (leur sens, l'objet qu'ils constituent – ex : la fréquence du son est similaire) ou à cause de leur localisation spatiale (ex : plusieurs choses pouvant ressembler à une flèche sont dans la même zone du champ de vision). Ils sont présentés soit avant la cible, soit en même temps (la distraction étant plus faible avec des distracteurs asynchrones).

L'attention sélective nécessite donc de se focaliser sur la cible et/ou d'inhiber les distracteurs (Posner et Snyder, 1975 ; Posner, 1980 ; Eriksen et St-James, 1986). Les mécanismes d'inhibition interviennent à un niveau central de traitement et sont particulièrement utiles quand des distracteurs sont « physiquement » proches de la cible (donc situés dans la zone de l'espace focalisé par l'attention) (Camus, 1996). Le temps de réponse pour sélectionner le stimulus va dépendre ainsi de la similarité de la cible avec ses distracteurs, de la complexité des informations, ou encore du nombre de distracteurs présents dans la scène (Wolfe, 1998), permettant selon les cas un traitement groupé et parallèle des informations (quasiment automatique), ou nécessitant au contraire de considérer un par un chaque stimulus pour en déterminer les caractéristiques propres et la pertinence.

L'attention sélective peut intervenir de pair avec l'attention préparatoire. Par exemple, certains auteurs estiment que les opérations de sélection d'un son basées sur les traits acoustiques (fréquence) sont plus précises et moins coûteuses en ressource attentionnelles que les opérations de sélection basé sur les traits sémantiques (Johnston et Heinz, 1978). Lorsque la focalisation attentionnelle sur une oreille (attention préparatoire) s'ajoute à une différence acoustique, la tâche est encore davantage facilitée (Camus, 1996).

4.2.3- Attention partagée

A la différence de l'attention préparatoire et de l'attention sélective qui sont orientées vers la détection d'un stimulus, le traitement d'une information précise et la réalisation d'une tâche particulière, l'attention partagée consiste à « faire plusieurs choses à la fois » (par exemple, parler à l'expérimentateur tout en faisant attention à la circulation environnante et à la potentielle apparition d'un message de guidage).

Kahneman (1973) propose un modèle de l'attention basé sur des ressources mentales limitées. Plus les ressources sont investies dans une tâche, meilleur est le traitement, et inversement (Camus, 1996). En situation d'attention partagée, les ressources sont divisées entre les différents traitements et cette répartition autorise un certain niveau de performance tant que les ressources sont suffisantes. Au-delà, un arbitrage va être opéré entre les différentes tâches exécutées en parallèle, grâce à des processus de contrôle qui permettent d'allouer les ressources. C'est la tâche à effectuer qui détermine a priori le montant de ressources devant lui être assigné. Cependant, le sujet peut aussi faire des choix délibérés d'allocation de ressources attentionnelles (faire plus attention à sa sécurité qu'aux messages de guidage par GPS lors de traversées de rues par exemple).

Selon les types de tâches et leur proximité, leur complexité et les objectifs du sujet, le partage et la concurrence des ressources varie. Ainsi, il est plus facile d'exécuter simultanément une tâche visuo-motrice et une tâche langagière que deux tâches langagières, comme si les ressources mentales étaient organisées de manière hiérarchisée (Siéoff, 2008). Allant dans ce sens, Wickens (1984) définit un modèle à plusieurs réservoirs dépendant de : la modalité

d'entrée du stimulus (visuelle ou auditive), la modalité de sortie de la réponse (verbale ou manuelle), les niveaux de traitement impliqués (encodage, traitement central de l'information, sélection de réponse) et les codes utilisés (verbaux ou spatiaux). Dans ce modèle, les tâches seraient concurrentes en ressources dès lors qu'elles font appel à des modalités identiques, comme nous l'avons évoqué plus haut.

4.2.4 – Attention en navigation et *situation awareness*

Nous voyons que 3 formes d'attention interviennent à différents niveaux de la tâche de navigation, de la recherche et anticipation très précises d'information de guidage à la dimension globale de la navigation urbaine. Bien que, pour des raisons de commodité, nous présentons ces trois formes d'attention séparément, il n'en demeure pas moins qu'elles interviennent conjointement, au cœur de l'activité dynamique de navigation spatiale. La théorie de la *situation awareness* (Endsley, 1995), nous permet d'illustrer à quel point ces différentes formes d'attention et les différentes sollicitations de la mémoire de travail au cours de l'activité de navigation forment un tout cohérent.

Cette théorie identifie 3 niveaux de conscience/représentation de la situation (*awareness*), alimenté par un réservoir attentionnel commun (figure 6).

Le premier niveau concerne la perception des informations dans leur environnement, et les processus attentionnels sont donc essentiels ici. Ce niveau consiste à extraire ce qui est pertinent pour l'activité : « *The first step in achieving situation awareness is to perceive the status, attributes and dynamics for relevant elements in the environment* » (Endsley, 1995, p. 36). Dans le cadre de l'utilisation d'aides à la navigation, l'attention sélective joue un rôle important dans ce niveau de *situation awareness* (voir 4.2.2 de ce chapitre), en concourant à la recherche et à l'identification de l'information pertinente au vu du contexte et des multiples distracteurs, afin d'orienter l'action en cours (par exemple : percevoir une information qui indique de tourner à gauche à la prochaine intersection, située à une dizaine de mètres). Mais l'attention partagée peut aussi être présente en amont puisqu'avant de se focaliser sur ce qui est pertinent, on va souvent explorer l'ensemble du champ attentionnel, tout en anticipant ce qu'on va percevoir (attention préparatoire).

Le deuxième niveau concerne la compréhension de la situation, de l'information en contexte. Il consiste à interpréter l'information sélectionnée au niveau 1 en fonction de ses objectifs : « *Level 2 : Situation Awareness goes beyond simply being aware of the elements that are present to include an understanding of those elements in light of operator goals* » (Endsley, 1995, p.37). L'attention est nécessaire tout au long de ce processus.

Enfin, le troisième niveau concerne les inférences / projections qu'il est possible d'établir concernant l'évolution de la situation : « *The ability to project the future actions of the elements in the environment [...] forms the third and highest level of Situation Awareness* (Edsley, 1995, p. 37). A partir de l'expérience de perception et de compréhension de l'information en contexte acquise aux niveaux 1 et 2, en situation de navigation piétonne, il devient possible pour l'individu d'inférer un certain nombre d'éléments pour la suite de l'activité (telles que par exemple la distance à laquelle l'information de guidage va être reçue, le type de message auquel il peut s'attendre etc.). Ce niveau s'appuie donc en particulier, dans le cas qui nous intéresse, sur les capacités d'attention préparatoire (voir 4.2.1 de ce chapitre).

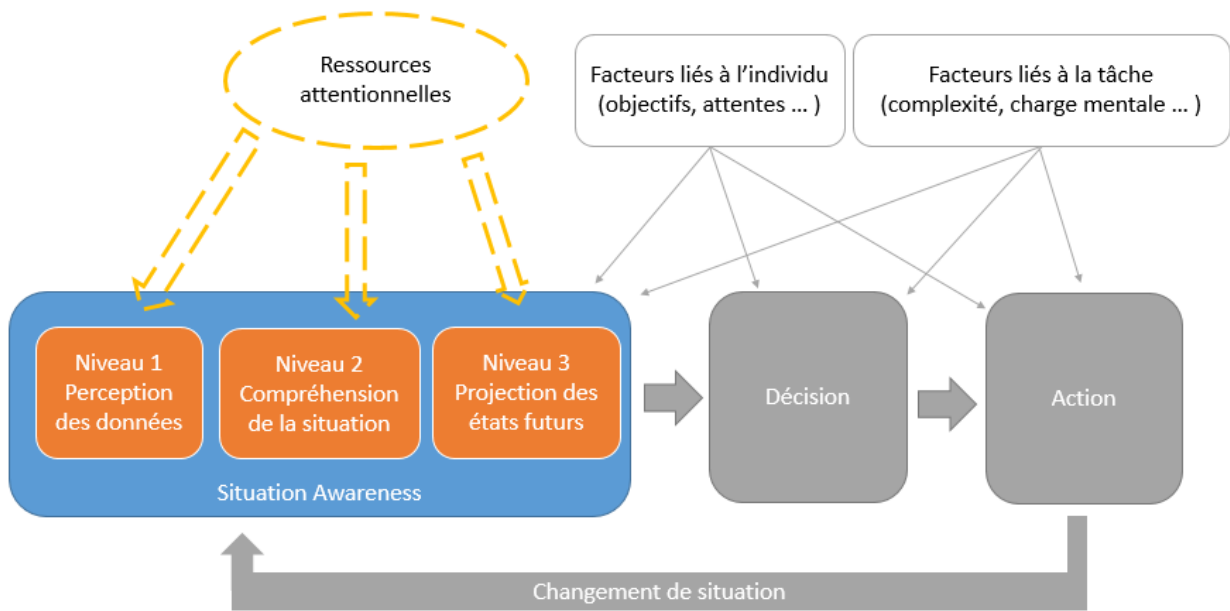


Figure 6 : Modèle simplifié de la situation awareness d'après Endsley (1995)

On notera, au fil des paragraphes précédents, que la question de la spatialisation des stimuli (pour l'amorçage dans le cas de l'attention préparatoire ; pour la sélection dans le cas de l'attention sélective ; et pour les interactions multi-sensorielles visuelle et auditive) semble très importante. L'attention est « orientée » dans l'espace (Siéroff, 2008).

4.3- Déclins attentionnels liés à l'âge

Les ressources attentionnelles et les capacités de mémoire de travail sont globalement moins importantes chez les personnes âgées (Craik et Byrd, 1982), ce qui rendrait le traitement de l'information moins efficace. De plus, la résistance à la distraction (inhiber les distracteurs) et la flexibilité cognitive (savoir désengager et réengager son attention) constituent deux attributs dynamiquement indissociables des processus attentionnels (Camus, 1996), qui sont impactés par l'avancée en âge.

Les références consacrées aux déclins attentionnels traitent peu de l'attention préparatoire chez les sujets âgés sains. L'attention sélective est par contre plus étudiée, et semble clairement décliner avec l'âge. Cette perte d'efficacité serait liée à un trouble du désengagement de l'attention d'un objet vers l'autre (plus de difficulté à identifier et reconnaître un objet pertinent), alors que l'attention sélective basée sur des indices spatiaux serait préservée (Parasuraman et Greenwood, 1998). Le vieillissement normal s'accompagne également d'une baisse des processus de contrôle (Siéroff et Piquard, 2004). En effet, les personnes âgées ont plus de difficultés à allouer leur attention en situation de double tâche (Verhaeghen et Cerella, 2002). Elles ont aussi de plus faibles processus inhibiteurs lorsqu'elles doivent ignorer des distracteurs ou des informations non pertinentes (Kok, 1999), ceci conduisant potentiellement à une surcharge d'information en mémoire de travail.

En situation de navigation, le nombre de tâches susceptibles d'être en concurrence pour les ressources attentionnelles augmente avec l'âge. En effet, les compétences sensori-motrices nécessaires pour marcher requièrent plus de contrôle attentionnel chez les sujets âgés que chez les sujets adultes (Lindenberger, Marsiske, et Baltes, 2000) pour éviter une chute notamment. Un contrôle attentionnel va donc s'ajouter aux contrôles déjà nécessaires à la sécurité routière, à la perception des informations de guidage ou encore à l'attention à l'environnement.

Nous avons vu dans cette partie que les déclin perceptifs et cognitifs liés à l'âge impactent négativement la navigation spatiale des personnes âgées. Nous verrons, dans la partie suivante, que certains dispositifs d'aides technologiques sont susceptibles d'aider à compenser ces déclin à travers des informations de guidage pertinentes, des messages aisément perceptibles sollicitant divers canaux sensoriels, et des modalités d'interaction requérant le moins de ressources attentionnelles possible.

Synthèse

- La navigation spatiale est un processus complexe et multi-sensoriel qui requiert de nombreuses fonctions cognitives et perceptives pour aller d'un point A à un point B. Ces fonctions perceptives et cognitives sont dégradées avec l'avancée en âge.
- La navigation requiert, sur le plan cognitif, la résolution de problèmes spatiaux en continu et s'appuie pour cela sur de multiples informations et connaissances spatiales.
- Les informations spatiales sont acquises dans l'environnement direct ou à travers des supports externes (panneaux, cartes) et sont de plusieurs types (repères à la première personne, itinéraires entre plusieurs repères, vues du dessus). Les personnes âgées utilisent plus d'informations en première personne que les personnes jeunes.
- Les connaissances spatiales sont intégrées à travers des habiletés cognitives visuo-spatiales à petite et grande échelle (rotation mentale, visualisation d'images mentales, orientation, intégration de trajet, mémoire de travail spatiale etc.). Ces habiletés sont impactées par l'âge, conduisant à plus de difficultés relatives à ces connaissances.
- La vue, l'ouïe, le sens haptique ou encore le sens vestibulaire sont des sources d'informations spatiale mobilisées pour la navigation. L'ensemble de ces sens décline avec l'âge.
- L'attention est au cœur de la navigation spatiale pour l'acquisition d'informations sensorielles, la recherche d'éléments pertinents ou encore la sécurité du déplacement. L'attention est, elle aussi, déclinante avec l'avancée en âge.

CHAPITRE 3 – Aides à la navigation piétonne

Au cours du chapitre précédent, nous avons vu que la navigation spatiale et la recherche d'itinéraire dépendent de l'intégration d'informations multi-sensorielles à propos de l'environnement. Compte tenu de la grande variabilité interindividuelle dans les tâches de navigation spatiale, liée en particulier aux déclinis dus à l'âge, l'acquisition d'informations à propos de l'environnement et l'activité d'orientation en milieux urbains inconnus peuvent être soutenues par l'usage d'aides à la navigation (Chen et Stanney, 1999). Ce chapitre vise à présenter les recommandations existant dans la littérature à propos des informations de guidage à utiliser, la forme des messages à présenter, le canal sensoriel à convier, pour aider leur perception et la limitation du partage de l'attention. Nous présenterons aussi les aides existantes (commercialisées ou sous forme de prototypes), leurs avantages et limites. Nous distinguerons dans un premier temps les aides non technologiques (cartes papier) des aides technologiques, et leurs usages auprès des personnes âgées en particulier. Puis nous nous intéresserons aux dispositifs visuels, auditifs et haptiques, aux types d'information délivrés, et aux bénéfices et limites de ces dispositifs, en particulier auprès des adultes âgés.

1 - Carte papier et aides technologiques à la navigation

Si les aides à la navigation pour voiture ont été largement étudiées et développées, l'intérêt pour les aides à la navigation pour piétons est relativement récent (une dizaine d'années). Les études se consacrent en bonne partie aux aides technologiques à la navigation piétonne basées sur l'usage du GPS, et sur leur comparaison à des dispositifs classiques, tels que des cartes papier.

1.1 – Principes génériques de conception des aides à la navigation

La conception d'aides à la navigation, technologique ou non, qui soient efficaces demande de prendre en compte les caractéristiques de la recherche d'itinéraire et les processus de cognition spatiale sous-jacents (Ziefle, 2010, cité par Li et al., 2014). Les aides à la navigation doivent également, pour être des supports à l'autonomie, aider à l'acquisition de connaissances spatiales (Pielot et Boll, 2010 ; Richter, 2010 cité par Giannopoulos, Kiefer, et Raubal, 2015) et prendre en compte les ressources cognitives, perceptives et attentionnelles de l'utilisateur final pour choisir le moment, le type et le mode de communication de l'information de guidage adéquats (Kray, Coors, Elting, et Laakso, 2005). Wither et al. (2013) notent ainsi que la majorité des points de décision relatifs à la navigation coïncident avec une intersection, ce qui peut orienter la conception d'aides à la navigation en proposant des informations de préférence aux abords des intersections ou des changements de direction. Kray et al. (2005) soulignent de leur côté que la demande cognitive associée à l'utilisation de dispositifs numériques mobiles tels que les aides technologiques à la navigation peut être plus importante que celle associée à d'autres types de dispositifs numériques, tels que les ordinateurs (Elting, 2002, cité par Kray et al., 2005), ce qui doit nourrir une réflexion importante sur la manière de communiquer l'information de navigation, pour limiter les demandes attentionnelles notamment. Il pourrait être envisagé, par exemple, de fournir l'information de guidage dans l'environnement direct de l'utilisateur, sur son corps, dans son champ de vision, pour éviter le partage attentionnel. Etter et Specht (2005) soulignent que la direction de la destination est une information cruciale pour la navigation, tout comme Pielot et Boll (2010). Cette prédominance de l'information de direction doit amener à considérer ce qu'est un changement de direction et ses différentes modalités (aller tout droit, tourner dans un rond-point etc.).

Au-delà des aspects cognitifs ici énoncés, la conception d'aide à la navigation doit également tenir compte du contexte d'usage (Valentin et al. 2010). Plusieurs composantes à l'usage en

activité de déplacement piéton urbain doivent ainsi être questionnées (Stern et Portugli, 1999) : les objectifs et motifs du déplacement, l'expérience et les caractéristiques du navigant, et l'environnement dans lequel intervient le déplacement. Allen (1999) identifie trois buts possibles au déplacement, qui vont conditionner la nécessité et le type d'informations utiles à la navigation : les déplacements liant un lieu familier à un autre lieu familier, les déplacements exploratoires, sans but précis, et les déplacements liant un lieu familier à une nouvelle destination inconnue. On peut également identifier différents motifs au déplacement piéton (Uzan, 2011) : pratiquer une activité physique, alimenter une relation sociale avec d'autres, à travers une balade, découvrir l'environnement (tourisme), ou encore atteindre un lieu, une personne, un objet. Par ailleurs, il convient de tenir compte de l'expérience, des stratégies de navigation préférentielles, des capacités d'orientation spatiale, de la motivation et de l'anxiété spatiale des individus (Brunet, 2014) lors de la conception et de l'usage d'aides pour la navigation, qu'il s'agisse de cartes ou d'aides technologiques.

Bien que ces principes de conception soit clairement établis dans la littérature (prise en compte de l'expérience, du contexte, des capacités propres à chaque usager), il existe cependant relativement peu de travaux s'attachant à la conception d'aides à la navigation spécialement dédiées aux spécificités et variabilités des personnes âgées.

1.2 – Avantages et limites des cartes papiers

Les cartes de navigation en deux dimensions, généralement présentées sur support papier, sont les aides à la navigation non technologiques les plus communes (Chittaro et Burigat, 2005). Présentant un haut degré d'abstraction, elles permettent d'estimer facilement les distances entre les lieux (Kolbe, 2004), de définir sa propre route ou de trouver des raccourcis, à contrario de beaucoup de d'aides technologiques qui sont basées sur des données GPS (Pielot et Henze, 2009).

Les cartes, en tant que représentations schématiques, offrent des informations supposées pertinentes au détriment d'autres (Tversky, 2003) et, compte tenu de leur haut degré d'abstraction et de codage de l'information, peuvent demander un effort d'interprétation conséquent et entraîner une charge cognitive³ importante (Kolbe, 2004 ; Tkacz, 1998). Il s'agit en effet d'appliquer des connaissances représentées sous forme allocentrée à l'environnement direct égocentré (Pielot et Henze, 2009), impliquant une forte distance cognitive, à savoir l'effort requis pour passer de l'information virtuelle allocentrée au réel égocentré et réciproquement (Kim et Dey, 2009). De plus, l'usage de cartes requiert souvent toute l'attention visuelle de l'usager, perturbant alors la tâche en cours et affaiblissant la perception de l'environnement (Liljedahl et al., 2012) en ce qu'elle conduit à une division de l'attention (Wickens, 2000, cité par Kim et Day, 2009). Cependant, comme le soulignent Rukzio, Müller, et Hardy (2009), les aides technologiques (telles que les applications GPS sur smartphone) peuvent impliquer également une certaine distance cognitive, car elles nécessitent d'associer des informations virtuelles avec l'environnement réel visible alentour.

Il est à noter que, si dans la plupart des publications considérées ci-après, la comparaison entre une carte papier et une aide technologique de quelque ordre qu'elle soit tend généralement à favoriser l'aide technologique sur le plan des performances comme de l'acceptabilité, les résultats ne sont pas toujours tranchés. Du point de vue de l'acceptabilité, les cartes bénéficient en effet souvent d'un effet de familiarité et sont jugées de ce fait plus utiles et plus utilisables chez les jeunes comme chez les plus âgés (Wither et al., 2013 ; Smets et al., 2008) que des aides technologiques moins familières. Du point de vue des performances de navigation, les

³ La charge cognitive désigne l'effort mental en mémoire de travail résultant des contraintes relatives à l'exécution d'une tâche. D'après Sweller, Van Merriënboer et Paas (1998), on peut distinguer 3 types de charge cognitive : la charge intrinsèque, qui est la charge liée à la tâche elle-même ; la charge extrinsèque, qui est liée à la présentation, au contexte de l'information ou de la tâche ; et la charge essentielle qui est la charge relative au passage des représentations en mémoire à long terme.

temps de parcours (Xu et al., 2014 ; Wither et al., 2013 ; Rukzio et al., 2009 ; Rehrl et al., 2014 ; Pielot et Boll, 2010 ; McGookin et al., 2009), le nombre d'erreurs (Wither et al., 2013 ; Rehrl et al., 2014 ; Pielot et Boll, 2010) et les tests de rappel de l'environnement (Xu et al., 2014) ne présentent pas toujours de différence significative selon qu'il s'agisse d'une carte papier ou d'une aide technologique. En revanche, les aides technologiques sont souvent plus efficaces dans la limitation du nombre d'interaction avec le dispositif et la charge mentale impliquée dans la tâche (Pielot et Boll, 2010 ; Rukzio et al., 2009).

Les difficultés liées à l'usage de cartes papier sont importantes chez les personnes âgées en particulier. Comme nous l'avons vu précédemment, les personnes âgées ont en effet plus de difficultés à créer et utiliser des connaissances configurationnelles (Lipman et Caplan, 1992) et à utiliser des stratégies de navigation allocentrées. Une étude d'Aubrey, Li et Dobbs (1994) s'est ainsi intéressée aux usages de cartes « vous êtes ici » auprès de 26 individus jeunes (M=26.2 ans) et 26 individus âgés (M=71.2 ans). Cette étude pointe les difficultés des âgés à suivre une telle carte quand celle-ci n'est pas bien alignée avec l'environnement (plus de temps et plus d'erreurs que les jeunes pour réaligner mentalement la carte). Au contraire, quand la carte est alignée, on n'observe pas de différence significative de performance. Ceci peut être mis en lien avec les moins bonnes habiletés de rotation mentale des personnes âgées (Berg, Hertzog, Hunt, 1982), ainsi que leurs difficultés sur les tâches d'évaluation de perspective (Kirasic, 1990). Une seconde étude menée par Sjölander, Höök, Nilsson et Andersson (2005) auprès de 24 sujets jeunes (M= 25.5 ans) et 24 sujets âgés (M=66.8 ans) s'intéresse à l'apport d'une carte pour les performance de navigation en intérieur. Ils constatent que les jeunes sont meilleurs que les âgés sur temps nécessaire à la tâche et sur l'efficacité, que cela soit avec ou sans carte. Les personnes âgées ne bénéficient pas plus de l'ajout d'une carte que les jeunes, et n'améliorent pas leur performance de navigation ni leurs connaissances de l'environnement avec la carte. Par contre, ils se sentent plus en sécurité, évaluant leur sens de l'orientation comme meilleur, et évoquent moins de sentiment de perte d'orientation.

Globalement, les personnes âgées ont plus de difficultés à passer des informations d'une carte 2D à l'environnement 3D que les personnes jeunes (Wilkniss et al., 1997), ou encore à replacer dans l'environnement 2D de la carte des informations issues de leur expérience de navigation en 3D (Head et Isom, 2010). Aussi, les progrès technologiques actuels pourraient offrir l'opportunité de créer des aides qui proposent des informations en vue égocentrée aux personnes âgées plutôt que des informations dans un cadre allocentré, afin de correspondre davantage aux stratégies de navigation naturellement convoquées avec l'âge (Sjölander et al., 2005).

1.3 – Avantages et limites des aides technologiques à la navigation

Face au haut degré d'abstraction des cartes, l'usage des données GPS a permis ces dernières décennies le développement d'aides technologiques à la navigation, d'abord pour la voiture, et aujourd'hui pour les piétons. Ces dispositifs présentent le double avantage de diminuer considérablement la charge mentale nécessaire pour la navigation par rapport aux cartes, et d'offrir la possibilité de personnaliser les informations fournies (Rukzio et al., 2009). D'abord conçus comme des objets propres, les applications pour PDA puis pour smartphone ont permis de généraliser l'usage des fonctionnalités GPS, en transformant à la demande nos téléphones en aides à la navigation (Rehrl et al., 2014). Ces dispositifs, en tant que services mobiles par définition, ont fait l'objet de réflexions quant à leur design d'interaction.

Ainsi, Kristoffersen (1999, cité par Holland, Morse, et Gedenryd, 2002) propose trois principes pour la conception de services mobiles : nécessiter peu ou pas d'attention visuelle, offrir des entrées tactiles structurées et proposer un retour audio à l'utilisateur, l'objectif étant de constituer une interface qui demande une attention minimum (Holland et al., 2002). Constanza (2006) et Van Erp (2005) ont également énoncé certains principes d'interaction pour les aides technologiques : être personnalisable en fonction de l'utilisateur et de l'activité, délivrer des

informations faciles à comprendre, et ne pas interférer avec l'activité. Ces considérations sont essentielles car les interactions de l'utilisateur avec son environnement physique et social (70% des individus dans les rues bondées sont en petits groupes) doivent être vues comme plus importantes que les interactions de l'utilisateur avec le dispositif (Moussaid, 2010, cité par Robinson et Jones, 2010).

Plusieurs limites tant techniques que liées à l'usage de ce type de technologies sont toutefois pointées dans la littérature. Ces dispositifs auraient ainsi tendance à désengager l'utilisateur de l'environnement et à le rendre plus dépendant, comparativement à une carte papier (Pielot et Henze, 2009). L'acquisition de connaissances spatiales (Pielot et Boll, 2010 ; Aslan, 2006 cité par Heinroth et Buhler, 2008), et le développement de compétences pour la recherche d'itinéraires (Parush, 2007 cité par Giannopoulos et al., 2015) pourraient ainsi en être impactés à terme. Les aides technologiques, tout comme les cartes papier, peuvent également être source de division de l'attention, et entraîner une charge mentale importante chez les adultes jeunes et âgés pour être comprises (Kim et Dey, 2009). Certaines de ces limites peuvent s'expliquer par la conception actuelle des aides à la navigation. En effet, si ces aides piétonnes s'inspirent très largement du fonctionnement des GPS pour voiture, ceci n'est pas toujours adapté aux piétons, qui ont plus de liberté de mouvement que les voitures, et se déplacent moins rapidement. La prise en compte des déplacements piétons demande plus de précision de localisation (Wither et al., 2013), et l'utilisation d'informations adaptées au fait que les piétons puissent davantage regarder autour d'eux que les voitures (Pielot et Boll, 2010 ; Wither et al., 2013). Si plusieurs travaux laissent espérer une meilleure précision GPS d'ici quelques années (Marais et al., 2015), le développement technologique actuel n'offre qu'une faible précision de localisation pour les piétons (Pielot et Henze, 2009, Pielot et Boll, 2010), la précision étant encore moins bonne sur smartphone (Liljedahl et al., 2012). Par ailleurs, peu d'aides technologiques à la navigation s'appuient sur les repères de l'environnement alentour pour guider le piéton (Goodman et al. 2005), qu'il s'agisse de repère en deux dimensions (noms de rues, square) ou en 3 dimensions (bâtiments, monuments) (Millonig, 2007 cité par Wither et al., 2013), bien que ces repères soient essentiels dans la navigation des adultes jeunes et à fortiori des âgés. Ceci est principalement dû à des raisons computationnelles, qui font l'objet de nombreux travaux en traitement de l'image (voir par exemple Wenig et al. 2017). En effet, si l'appui sur des photos de lieux peut s'avérer une solution satisfaisante dans un cadre expérimental (Beeharee, 2006, cité par Heinroth et Buhler, 2008), le choix automatique de repères pour la navigation est loin d'être un problème trivial (Wither et al., 2013), qu'il s'agisse de la localisation GPS desdits repères (Hile, 2008), de leur prépondérance pour la navigation (Raubal, 2002) ou encore de l'identification de la structure des bâtiments (Klippel, 2005). La faible taille des écrans est aussi une limite technique importante aides technologiques (Willis, 2007, cité par Rukzio et al., 2009), en particulier chez les personnes âgées qui peuvent souffrir du problème des « gros doigts » (Kerber, Krüger, Löchtefeld, 2014).

Du point de vue de la personnalisation du dispositif et de son adaptation au contexte, enfin, si les auteurs s'accordent à dire qu'il faudrait adapter l'information délivrée en fonction de la connaissance préalable du trajet et des habiletés spatiales de l'utilisateur (Roger et al., 2011), ceci n'est que rarement le cas aujourd'hui, compte tenu de limites techniques liées à l'évaluation de ces composantes.

1.4 - Aides technologiques à la navigation et guidage pas-à-pas

Plusieurs paradigmes existent quant à la présentation des informations de guidage à travers des aides technologiques : usage de repères 2D ou 3D (ex : « aller vers la tour puis, au niveau de la boulangerie, tourner dans la rue du Moulin » (voir Wenig et al., 2017)), recherche active (ex : « allez vers le nord-ouest, allez globalement dans cette direction »), ou encore guidage pas-à-pas (« tournez à droite, puis prenez la 2^e à gauche »). Dans cette thèse, nous nous intéresserons particulièrement à ce dernier type de guidage, en ce qu'il est le plus facile à mettre en œuvre compte tenu des limitations techniques actuelles, et le plus familier pour bon nombre de personnes âgées, habituées au fonctionnement du GPS en voiture.

Il est souvent reproché aux aides technologiques pas-à-pas de conduire les individus à se désengager de leur environnement, se contentant de suivre « bêtement » les indications. Il leur est aussi reproché d'être parfois trop détaillées, produisant une forte charge cognitive ou complexité inutile (Klippel, 2009, cité par Jacob et al., 2012). Aussi, des auteurs comme Robinson et Jones (2010) ont cherché à favoriser l'exploration individuelle à travers une recherche active dans l'environnement plutôt que le guidage pas-à-pas. Dans le dispositif qu'ils proposent, une fonction de scan actif offre à l'utilisateur de prendre le chemin qu'il veut et d'être guidé de nouveau quand il le souhaite, permettant de combiner guidage et connaissance préalable de l'environnement. Si ce dispositif s'avère efficace, Robinson et Jones (2010) remarquent toutefois une tendance à emprunter les déjà routes connues. Riebeck, Stark, et Modsching (2008) soulignent quant à eux un intérêt de ce type de guidage dans un cadre touristique.

Aussi, si le guidage pas-à-pas présente certaines limites en ce qu'il n'aide pas nécessairement à la construction de connaissances spatiales ou aux développements de compétences de planification (Chalmé et al., 2000), il convient néanmoins d'opérer une différenciation dans les besoins, entre la recherche d'itinéraires au quotidien, généralement orientée vers un but précis et la navigation touristique de type flânerie (McGookin, Brewster, et Priego, 2009). Il peut aussi être envisagé d'associer guidage pas-à-pas et guidage par repères (May et al., 2003) pour faciliter les processus d'acquisition de connaissances spatiales. Par ailleurs, le guidage pas-à-pas peut s'avérer plus adapté aux besoins des personnes ayant des ressources cognitives limitées, dans la mesure où cette solution présente des informations pertinentes et faciles à traiter pour ces personnes. Les guidages par recherche active, au contraire, demandent à l'utilisateur et au dispositif de guidage de « se partager le travail » ce qui peut induire une charge et des difficultés accrues (Liljedahl et al., 2012) pour les personnes déficientes. Aussi, nous choisissons de nous concentrer sur le guidage pas-à-pas car nous pensons que ces dispositifs correspondent davantage aux besoins quotidiens d'individus naviguant dans un environnement peu ou pas connu, ou présentant des limites perceptives et cognitives liées au vieillissement. Néanmoins, nous ne négligeons pas la possibilité, à terme, pour les concepteurs, de combiner un tel mode de guidage avec des points de repères, aussi utiles à la navigation spatiale des plus âgés.

Dans les sections suivantes, nous nous attacherons à identifier plus particulièrement les bénéfices et limites à utiliser les modalités sensorielles visuelle, auditive et haptique pour communiquer l'information de guidage. Il existe un effet considérable du format et du contenu de la source d'information sur le comportement de recherche d'itinéraire, qu'il convient d'éclairer ici (Chen et Stanney, 1999).

2 - Aides technologiques visuelles

Le sens de la vue est le sens le plus sollicité au cours de la navigation piétonne, mais aussi le sens qui semble le plus naturel pour communiquer des informations relatives à l'environnement. Aussi, la présentation visuelle des informations sur PND est, selon Kolbe (2004), plus importante pour l'orientation et la recherche d'itinéraires que la présentation d'informations sous forme audio. Un article de référence proposé par Kray et al. (2005), s'appuyant sur une étude exploratoire (N=10) auprès de participants âgés de 33 à 63 ans, identifie les avantages et limites à l'utilisation de texte, de flèche, de carte 2D et de carte 3D pour la navigation piétonne. La figure 7 illustre les différents modes d'affichage considérés.

2.1 - Texte

Le texte est la manière la plus facile à mettre en œuvre pour communiquer une information de navigation. Cependant, le texte n'est pas toujours adapté pour donner des informations contextuelles un peu longues (voir figure 7.a), car il peut entraîner un coût cognitif important pour son maintien en mémoire et son interprétation, et demande un partage de l'attention conséquent (Kray et al., 2005).

Une étude de Goodman et al. (2005) menée auprès de 32 jeunes (âgés de 19 à 34 ans) et 32 personnes âgées (âgées de 63 à 77 ans) compare un dispositif fournissant des informations photographiques, textuelles et verbales selon une perspective égocentrée à une carte numérique en 2D. Cette étude montre que les personnes âgées mettent significativement moins de temps à naviguer avec ce dispositif qu'avec la carte, et avec une charge cognitive moindre (selon le test du NASA TLX). Une seconde étude (Goodman et al., 2005) menée auprès d'individus âgés de 60 à 78 ans (N=24) souligne que les individus âgés présentent une légère préférence pour la modalité textuelle par rapport au guidage verbal auditif, ceci étant dû au temps d'affichage plus long du texte et au moindre difficultés de perception (par rapport à la voix).

2.2 - Flèche 2D

Les flèches en deux dimensions (*2D route sketches*, voir figure 7.b) sont très communes dans la navigation automobile. Présentant un haut degré d'abstraction, elles permettent de se passer d'informations superflues qui entraîneraient une charge cognitive importante, mais elles limitent considérablement la possibilité d'affichage d'informations contextuelles sur l'environnement, ce qui peut poser des difficultés dans la mise en rapport de l'information virtuelle avec le réel. Utilisées par Chittaro et Burigat (2005) pour la navigation en extérieur et Li et al. (2014) pour la navigation en intérieur dans deux études consacrées aux piétons jeunes, les flèches semblent cependant moins adéquates que les cartes 2D en termes de performances de navigation. Néanmoins, il n'existe pas, à notre connaissance, d'étude de ce type avec des personnes âgées.

2.3 - Cartes numériques 2D

Les avancées en termes de numérisation permettent aujourd'hui de proposer les cartes sous format numérique, limitant ainsi certains inconvénients des cartes papier énoncés plus haut (voir figure 7.c). Les cartes numériques peuvent permettre la rotation automatique du support et son orientation en fonction du déplacement de l'individu (*heading-up*), ne nécessitant ainsi aucune rotation mentale et permettant d'aller plus vite avec une moindre charge cognitive que les cartes statiques (*north-up*) (Smets et al., 2008).

Les cartes 2D numériques sont aujourd'hui le moyen le plus commun de présenter un itinéraire à suivre (GPS, application smartphone etc.). Assez abstraites, elles peuvent parfois nécessiter d'y ajouter des informations sur les routes et les points de repères pour faciliter la correspondance entre la carte et l'environnement réel. Elles contraignent également à adopter un degré de « zoom » adapté pour ne donner à l'utilisateur ni trop, ni trop peu d'informations, ce

qui n'est pas trivial (Kray et al., 2005). Si elles s'avèrent particulièrement intéressantes lors de la préparation de l'itinéraire, elles perdent en praticité quand il s'agit de les utiliser au cours de la navigation (Kray et al., 2005), comme l'illustre l'étude de Pielot et Henze (2009) auprès d'usagers jeunes. Aussi, pour Walther-Franks et Malaka (2008), les possibilités technologiques actuelles permettent de faire bien mieux que des cartes 2D numériques, les faibles tailles d'écran rendant leur lecture difficile par tout un chacun.

2.4 - Cartes 3D

Les cartes en trois dimensions, basées sur la génération d'environnements virtuels semblables aux environnements réels, offrent une correspondance beaucoup plus directe entre les informations issues de l'aide à la navigation et le contexte d'utilisation, limitant du même fait la distance cognitive (c'est-à-dire l'effort pour passer de la visualisation virtuelle à la visualisation réelle) et la charge associée (voir figure 7.d) (Kray et al., 2005). Elles représentent cependant un défi technique considérable pour l'heure (Hile, Liu, et Borriello, 2009). Les cartes 3D permettent d'être actif dans l'environnement et sont intuitives (Kray, 2005), elles facilitent la reconnaissance des repères et des itinéraires (Raikkolainen, 2001, cité par Chittaro, 2005) mais nécessitent cependant plus de temps pour s'orienter et les utiliser (Laasko, 2003, cité par Chittaro, 2005 ; Kray, 2005). Enfin, si les usagers de tous âges semblent apprécier ce type de guidage, la question de son utilité au quotidien est régulièrement posée (Kray, 2005).

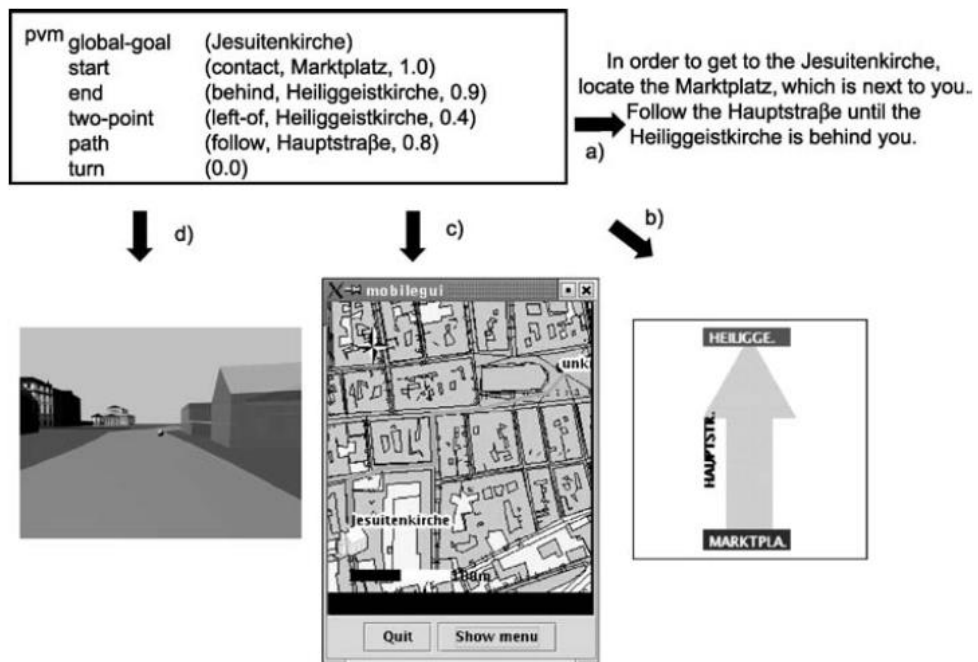


Figure 7 : modes d'affichage de l'information visuelle proposés par Kray et al. (2005)

2.5 - Réalité augmentée

Nous venons de voir que la présentation visuelle d'informations sur support numérique doit prendre en considérations deux dimensions (Kray, 2005) :

- d'une part, il s'agit de présenter les informations de navigation dans leur contexte en limitant la distance cognitive et la charge mentale associée, et
- d'autre part, il convient de tirer le meilleur parti des moyens techniques existants tout en favorisant une bonne acceptabilité du dispositif.

La prise en compte de ces deux aspects a conduit plusieurs auteurs, à partir du milieu des années 2000, à s'intéresser aux possibilités offertes par la réalité augmentée (RA) pour la navigation automobile et piétonne. Face aux difficultés techniques liées à la mise en œuvre de dispositifs de réalité augmentée, plusieurs études ont d'abord cherché à évaluer des formes de "pseudo réalité augmentée" (Milgram et Kishino, 1994). Chittaro et Burigat (2005) et Kolbe (2004) ont ainsi procédé par incrustations de flèches dans des photographies ou des enregistrements vidéo. Ces deux études conduisent à conclure que les photographies et vidéos augmentées sont des aides intuitives et efficaces pour l'orientation et la navigation. Les utilisateurs (jeunes dans ces études) tendent d'ailleurs à préférer le dispositif de pseudo réalité augmentée aux cartes (Chittaro et Burigat, 2005).

Les études suivantes vont s'intéresser à une réalité augmentée plus dynamique, à travers des applications pour PDA puis pour smartphone, et prendre davantage en considération les performances de navigation et le contexte d'utilisation. Vont ainsi être comparées des modalités de réalité augmentée implicites (ligne au sol à suivre, principe du « Follow me » (Rehrl et al., 2014)) et explicites (flèches directionnelles) comme le font Walther-Franks et Malaka (2008) (voir figure 8). Ils en concluent que les aides mobilisant la réalité augmentée sur écran (de PDA ou de smartphone) facilitent l'orientation de l'utilisateur par rapport à une carte alignée sur le Nord et présentent une meilleure acceptabilité.

Des résultats similaires apparaissent dans la littérature consacrée à la navigation automobile auprès de personnes âgées de 65 ans et plus (N=12) (Kim et Dey, 2009). La réalité augmentée dans le champ de vision (projection sur le pare-brise) avait ainsi permis de réduire la division de l'attention et la charge mentale, de favoriser le focus de l'attention là où elle est nécessaire, faciliter la traduction de l'information virtuelle au monde réel en induisant moins de distance cognitive, et enfin réduire le temps de parcours et le nombre d'erreurs par rapport à un GPS classique. Ce type d'aide était également bien accepté des conducteurs âgés et préféré à la carte numérique par deux tiers d'entre eux (Kim et Dey, 2009).



Figure 8 : Application de réalité augmentée en mode explicite, implicite et carte (Walther-Franks et Malaka, 2008)

La réalité augmentée peut également permettre d'ajouter des points de repères, qui sont particulièrement mobilisés dans la navigation piétonne (May et al., 2003) et permettre ainsi de réduire la charge mentale nécessaire à la navigation. Selon Hile et al. (2009), dans le cadre d'un

guidage pas-à-pas, les flèches en surimpression sont le meilleur moyen de décrire une action de navigation en lien avec un point de repère.

Les travaux de Wither et al. (2013) s'appuyant sur des aides photo-réalistes (de type Google Street-View) enrichies d'informations sur les points de repères, et les travaux de Rehrl et al. (2014) comparant une application de réalité augmentée implicite sur smartphone à des informations auditives et sous forme de carte, concluent tous deux à un partage de l'attention et une charge cognitive plus élevée avec le dispositif de réalité augmentée auprès de participants jeunes. Ils notent toutefois que les individus trouvent d'autant plus d'intérêt à la réalité augmentée pour la navigation piétonne qu'ils ont déjà une expérience avec cette technologie (Mulloni et al., 2011), et que le partage de l'attention peut en partie s'expliquer par un effet de nouveauté auprès des personnes les moins habituées (Wither et al., 2013). Il est par ailleurs à noter que, si les aides mobilisant la réalité augmentée peuvent présenter des limites en termes de partage de l'attention et de charge mentale, elles sont généralement mobilisées autour des intersections (Mulloni, Seichter, et Schmalstieg, 2011), avant et après les carrefours complexes (Rehrl et al., 2014) tandis que les cartes sont utilisées tout au long du chemin. De plus, les études menées aujourd'hui dans le cadre de la navigation piétonne utilisent des dispositifs déportés tels que les smartphones. L'information n'est pas incrustée directement dans le champ visuel de l'utilisateur (comme cela peut être le cas dans le cadre de la navigation automobile (Kim et Dey, 2009)). Les lunettes de réalité augmentée devraient permettre de réduire le partage de l'attention inhérent à l'usage de la réalité augmentée, c'est pourquoi nous les utiliserons prioritairement dans le cadre des études réalisées dans cette thèse.

2.6 - Limites des aides visuelles

Plusieurs articles pointent certaines limites de conception aux aides à la navigation piétonne s'appuyant sur le sens de la vue. Ainsi, la prise en compte de la luminosité de l'environnement est nécessaire pour garantir une bonne lisibilité de l'information dans des espaces sombres comme en plein soleil (Winkler et al., 2011 ; Kray et al., 2005). Il est également primordial de prendre en compte les facteurs de déformations de l'image, notamment lorsqu'il s'agit de flèches, car cela peut conduire à une mauvaise évaluation de la profondeur à laquelle tourner (Li et al., 2014 pour les flèches 2D ; Walther-Franks et Malaka, 2008 pour l'incrustation 3D). Un autre facteur limitant est celui de la taille des écrans, comme l'illustrent Kerber, Kruger, et Lochtefeld (2014) qui notent des difficultés de lecture sur montre intelligente (*smartwatch*) mais aussi des difficultés d'interaction tels que le problème des « gros doigts » (Baudisch, 2009, cité par Kerber et al., 2014).

Une autre limitation très importante des aides visuelles à la navigation piétonne est le partage d'attention qu'elles requièrent, entraînant une charge cognitive parfois importante, et une baisse de vigilance vis-à-vis de l'environnement direct. Le sens de la vue étant le plus mobilisé dans le cadre de la navigation, il peut être pertinent d'envisager des aides à la navigation mobilisant d'autres modalités sensorielles, comme par exemple l'audition ou le sens du toucher.

3 - Les aides auditives

Une littérature abondante s'est constituée au cours des années 2000 autour des aides à la navigation piétonne mobilisant le sens de l'ouïe. S'intéressant à des populations spécifiques (ex : déficients visuels, pompiers en intervention) ou non, ces études proposent de nombreuses manières de communiquer des informations de navigation à travers le canal auditif (son verbal ou non verbal), en fonction des caractéristiques de l'environnement.

3.1 - Aides auditives verbales

La communication d'informations verbales de navigation via le canal auditif doit permettre de réduire considérablement le partage de l'attention visuelle (Kray et al., 2005) et de diminuer le temps de navigation (d'après Chewar, 2002, cité par Chittaro et Burigat, 2005). Les individus s'appuient par ailleurs naturellement sur la communication verbale pour demander leur chemin (Heinroth et Buhler, 2008). Ainsi, cette modalité a été mise en œuvre avec succès dans l'étude menée par Heinroth et Buhler (2008) au cours de laquelle les individus jeunes s'appuient bien davantage sur les indications orales fournies par l'aide technologique dont ils disposent que sur les photos des lieux ou la carte. De même, Rehl et al. (2014) soulignent un temps de parcours plus faible et une meilleure expérience utilisateur avec le dispositif auditif verbal plutôt que la réalité augmentée, auprès de participants jeunes.

Si la communication verbale d'information est assez simple à mettre en œuvre techniquement, elle souffre cependant des mêmes limites que la présentation d'informations sous forme textuelle. La communication audio verbale peut être adaptée pour des informations relativement simples, mais rend difficile l'ajout de précisions sur le contexte et l'environnement (Kray et al., 2005 ; Chittaro et Burigat, 2005 ; Heinroth et Buhler, 2008). Il est nécessaire d'offrir la possibilité de réentendre ce qui a été dit (Rehl et al., 2014) pour favoriser le sentiment de contrôle du dispositif (Kray et al., 2005) ainsi qu'offrir la possibilité de confirmer l'itinéraire emprunté (Heinroth et Buhler, 2008) (voir par exemple la figure 9, où il est offert à l'utilisateur de rejouer ou de couper le son du dispositif). La voix utilisée comme médium à la communication doit aussi être considérée avec attention afin de garantir une bonne compréhension des messages et une bonne acceptabilité de l'aide (Kray et al., 2005).

Si l'étude de Goodman et al. (2005) ne permet pas de différencier aides textuelles et aides auditives verbales sur le plan des performances de navigation chez les personnes âgées, elle identifie toutefois certains risques à l'usage d'informations auditives verbales pour le guidage des personnes âgées. D'une part, un risque lié à l'usage d'un casque pour la transmission des informations verbales. En effet, les casques sont souvent mal perçus et acceptés par les personnes âgées, pour des considérations de sécurité (Goodman, 2004). D'autre part, une attention toute particulière doit être portée au débit de la voix utilisée pour communiquer les informations de navigation. En effet, si la question de la voix est cruciale pour les aides verbales, elle l'est d'autant plus que les troubles auditifs liés à l'âge peuvent altérer la reconnaissance des informations verbales, qui plus est dans un contexte de navigation bruyant.

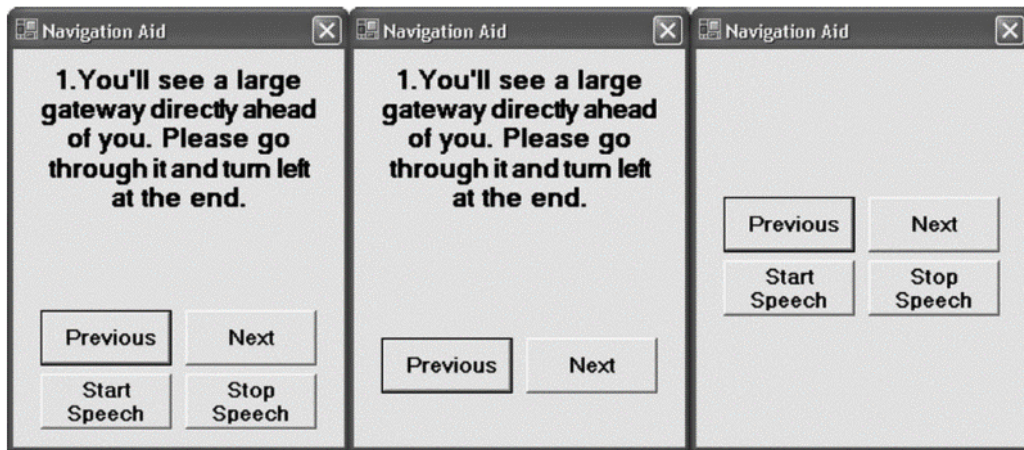


Figure 9 : aide à la navigation avec voix et texte en même temps (à gauche), texte seul (au centre) ou voix seule (à droite) (Goodman et al., 2005)

Devant les limites aux aides verbales illustrées ci-dessus, parti a été pris par certains auteurs de développer des aides à la navigation non verbales, s'appuyant sur la capacité naturelle de l'être humain à bien localiser les sons dans son environnement (Liljedahl et al., 2012).

3.2 - Aides auditives non-verbales

Plusieurs atouts plaident en faveur du son non-verbal pour la navigation piétonne, c'est-à-dire d'un guidage par signaux sonores de type « bip » ne faisant pas appel à la voix pour communiquer des informations de direction. En premier lieu, les sons non-verbaux demandent moins d'attention pour être compris que les sons verbaux (Etter et Specht, 2005), réduisant ainsi la charge cognitive (Holland et al., 2002). En effet, les messages verbaux durent généralement plus d'une seconde, ce qui peut rendre leur traitement difficile (Stokes, 1988 cité par Walker et Lindsay, 2006) en comparaison à un son de type « bip ». Le son non-verbal peut également permettre de meilleures performances de navigation par rapport au son verbal dans des situations multitâches à forte charge cognitive associée (Klatzky, 2006 cité par Wilson et al., 2007). De plus, en réduisant le recours à la voix, le son non-verbal perturbe moins la perception des bruits ambiants et permet de ne pas entraver les conversations (Wickens, 1992 cité par Walker et Lindsay, 2006 ; Holland et al., 2002). Les individus ont également moins de difficulté à localiser les sons non-verbaux que les sons verbaux (d'après une étude réalisée en environnement virtuel par Tran, 2000 et citée par Walker et Lindsay, 2003), ce qui permet de s'appuyer davantage sur la localisation du son pour transmettre de l'information. Enfin, le son verbal ne permet de traiter qu'une information spatiale à la fois (« au prochain rond-point » puis « tourner à droite »), à contrario des sons non verbaux (Mowbray, 1953, cité par Walker et Lindsay, 2003) qui peuvent contenir dans un seul « bip » plusieurs informations.

Les études consacrées au son non-verbal pour la navigation ne traitent aujourd'hui que de personnes jeunes. Certaines s'intéressent cependant à des situations de déficience qui peuvent s'étendre aux personnes âgées (personnes déficientes visuelles, pompiers avec un champ de vision restreint dans une pièce enfumée, etc.) (Walker et Lindsay, 2006 ; Wilson et al., 2007).

Il existe dans la littérature deux façons principales et non exclusives d'utiliser le son non-verbal pour la navigation : d'une part, le son peut être une sorte de miroir aux mouvements, utilisant la spatialisation pour orienter l'individu ; d'autre part, il peut permettre de développer un vocabulaire sonore pour donner des indications sur l'environnement. L'utilisation de ces deux types de conception est particulièrement bien illustrée par la conception de cartes sonores (Heuten et al., 2006) dans lesquelles chaque aire de la carte de la ville correspond à un son (méthode de sonification, Kramer, 1999, cité par Frey, 2006. Par exemple, un plan d'eau correspondra au son de fontaine, un square à un son de rires d'enfants etc.). Ce son est lui-

même localisé dans l'environnement (méthode de spatialisation, par un jeu d'intensité et de localisation binaurale des sources). Ainsi, les usagers peuvent décomposer les sons qui les entourent pour identifier les lieux présents, leur orientation et leur distance, permettant ainsi de traiter plus d'une information spatiale à la fois. Heuten et al. (2006) montrent que ce double usage du son non-verbal permet une bonne construction de cartes cognitives chez les individus jeunes, notamment en termes de relations spatiales entre les objets.

Si quelques auteurs se sont intéressés aux possibilités offertes par la musique pour la navigation non-verbale (Hazzard, Benford, et Burnett, 2014; Strachan et al., 2005), la plupart des études consacrées aux aides technologiques à la navigation mobilisant du son non-verbal travaillent à la conception de messages (de « bips ») spatialisés sur un plan azimutal (horizontal). En utilisant les capacités humaines de localisation binaurale (différenciation entre l'oreille gauche et l'oreille droite qui permet de dire si un son vient de la gauche ou de la droite, de l'avant ou de l'arrière de la tête) ainsi que les caractéristiques du son (hauteur, timbre etc.) on peut ainsi communiquer des informations de direction et de distance (Holland et al., 2002). Une étude de référence sur la question est celle consacrée à l'usage des balises (*beacons*) pour la navigation dans les environnements virtuels par Tran (2000, cité par Walker et Lindsay, 2003). Il détermine qu'un son adapté à la navigation devrait être non verbal, à large bande, avec une bonne balance entre basse et haute fréquences afin d'être plaisant à entendre et facile à localiser. Selon lui, les sons de sonar de fréquence de 1kHz seraient tout à fait adéquat (Tran, 2000, cité par Walker et Lindsay, 2003). D'autres études (Walker et Lindsay, 2003, 2006) sont venues corroborer ces résultats auprès de participants jeunes.

Aussi, un son non verbal, pour être utilisé dans un contexte de guidage pas-à-pas, doit être modulé en fonction de la direction et de la distance de la prochaine intersection pertinente (*waypoint*). L'information de direction est généralement communiquée par une spatialisation stéréo oreille gauche/oreille droite du son (Etter et Specht, 2005 ; Strachan et al., 2005 ; Walker et Lindsay, 2006 ; Wilson et al., 2007, McGookin et al., 2009 ; Liljedahl et al., 2012). Ceci peut être amélioré par la combinaison d'un son principal et d'un son de poursuite (*chase tone*) (Holland et al., 2002) permettant une orientation plus fine, ainsi que la prise en compte de deux tonalités pour donner les indications avant/arrière (Holland et al., 2002). La distance, quant à elle, peut s'appuyer sur le tempo des sons (métaphores du compteur Geiger ou Geiger inversé) (Holland et al., 2002, Walker et Lindsay, 2006, Wilson et al., 2007 ; McGookin et al., 2009) et/ou sur leur volume (Strachan et al., 2005). Par ailleurs, le choix peut être fait de fournir des informations sonores à intervalle régulier tant que l'individu se déplace, y compris le long de lignes droites (Wilson et al., 2007), ou de ne transmettre des informations que lorsqu'un changement de direction doit s'opérer (Holland et al., 2002).

La navigation piétonne aidée de sons non-verbaux spatialisés semble intuitive (Holland et al., 2002 ; Etter et Specht., 2005 ; Strachan et al., 2005) et satisfaisante aux utilisateurs, qui présentent moins de sentiments de désorientation et une meilleure confiance dans le dispositif de guidage qu'avec une carte (Liljedahl et al., 2012). De plus, les résultats tendent à montrer un partage de l'attention moindre (Liljedahl al., 2012) et un temps de parcours réduit (McGookin et al., 2009). Il n'existe cependant pas, à notre connaissance, d'études s'intéressant spécifiquement aux aides auditives à la navigation piétonne auprès de personnes âgées au travers de l'utilisation d'informations non-verbales, ce pourquoi nous creuserons cette possibilité dans nos études.

3.3 - Limites des aides auditives

Si l'appui sur la modalité auditive à travers des sons verbaux ou non verbaux peut permettre une navigation piétonne effective, l'utilisation de dispositifs technologiques mobilisant le canal auditif rencontre toutefois un certain nombre de limites environnementales. En effet, au même titre que la vue, l'ouïe est particulièrement mobilisée au cours des tâches de navigation dans un environnement urbain. Cet environnement est souvent très bruyant tant en extérieur (Giannopoulos et al., 2015) qu'en intérieur (Winkler, 2011), ce qui peut rendre difficile la perception des messages sonores.

L'utilisation d'un casque n'est par ailleurs pas recommandée car elle isole socialement le piéton (McGookin et al., 2009) en limitant ses possibilités de conversation et l'empêche d'entendre l'environnement sonore alentour, ce qui peut s'avérer dangereux (Frey, 2007). Le manque de discrétion de certains casques peut aussi entraîner une faible acceptabilité auprès d'utilisateurs jeunes (Pielot, Poppinga, Heuten, et Boll, 2012, cités par Giannopoulos et al., 2015), et a fortiori âgés.

Plusieurs solutions ont été proposées pour palier à ces problèmes, comme l'usage d'une seule oreillette (Goodman et al. 2005), ou d'un casque à conduction osseuse, qui permet de dégager le pavillon de l'oreille afin d'entendre les bruits alentours (Wilson et al., 2007). Par ailleurs, un tel casque permet d'améliorer la perception des sons pour les personnes souffrant de surdité de conduction. Nous utiliserons donc un dispositif de ce type dans nos études.

Cependant, devant les questions de sécurité du piéton, d'efficacité et d'acceptabilité des dispositifs d'aide proposés jusqu'ici, il peut être intéressant de considérer également d'autres modalités sensorielles que la vue et l'ouïe pour la communication d'informations de navigation.

4 - Les aides haptiques

Les informations haptiques sont définies par Jacob et al. (2012) comme correspondant à des retours de forces, des mouvements et/ou des vibrations. La perception de ces informations dépend en premier lieu du sens du toucher, sous ses aspects kinesthésiques et cutanés (Brewster et Brown, 2001). Dans la littérature consacrée aux aides technologiques haptiques pour la navigation piétonne, la transmission d'informations à l'individu se fait quasi-exclusivement par retours vibrotactiles, compte tenu de la grande efficacité cutanée pour la perception des informations (Brewster et Brown, 2001). Les travaux relatifs aux modalités de communication tactiles chez les personnes aveugles (en braille) ont par ailleurs montré depuis longtemps leur efficacité (Geldard, 1957, cité par Brewster et Brown, 2001).

Les vibrations sont des stimuli probablement ancrés très profondément dans l'expérience humaine (Frey, 2007), mais pourtant peu utilisés dans les interfaces homme/machine (Tan, 1997, cité par Brewster et Brown, 2001). Elles peuvent être principalement utilisées de deux manières dans la navigation piétonne : soit pour communiquer une information propre (« tourner à gauche, à droite »), soit pour valider des informations perçues par les canaux visuels ou auditifs (ex : vibration quand la personne est orientée dans la bonne direction). Ces deux modes sont décrits métaphoriquement par Frohlich (2011, cité par Pielot et al. 2012), qui s'intéresse aux possibilités vibrotactiles offertes par les smartphones : d'une part, la métaphore dite du "*magic wand*", assez intuitive, correspond à une recherche active d'informations dans l'environnement (ex : la personne bouge son téléphone dans l'environnement, et il vibre quand il pointe la bonne direction). D'autre part, la métaphore dite du "*sixth sense*" permet de communiquer une information à travers une vibration encodée (ex : une vibration pour aller à droite, pour aller à gauche), garantissant une plus grande discrétion du dispositif (qui peut rester dans la poche) mais demandant cependant l'apprentissage des messages vibrotactiles (voir figure 10).

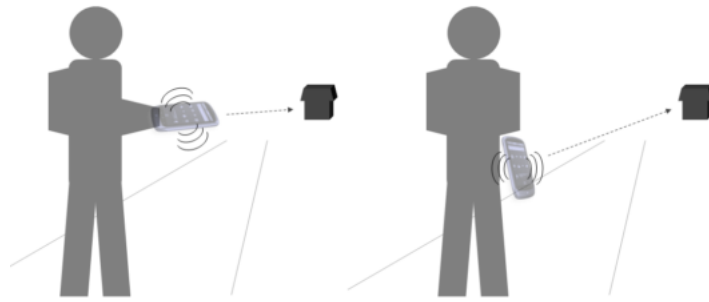


Figure 10 : A gauche, la métaphore du magic wand (la personne scanne l'environnement), à droite, la métaphore du sixth sense (messages encodés) (Frolich, 2011)

4.1 - Aides haptiques et encodage d'informations

Dans un article de référence daté de 2001, Brewster et Brown proposent le développement de "Tactons", éléments de langage tactiles structurés, permettant un mode de communication complexe complémentaire aux indices visuels et auditifs. La conception de ces messages vibrotactiles pourrait s'appuyer selon eux sur la modulation de 7 paramètres : fréquence, amplitude, forme d'onde, durée, rythme, localisation sur le corps et motif joué sur la peau. Si ces messages peuvent être utiles dans différents contextes et auprès de divers publics (personnes déficientes visuelles, pompiers en intervention, soldats, etc.), les auteurs soulignent leur pertinence dans le cadre de services portatifs et mobiles tels que les aides à la navigation.

Plusieurs études consacrées aux aides à la navigation haptiques ont par la suite repris les principes édictés par Brewster et Brown (2001), en variant le nombre de vibreurs utilisés, leur position sur le corps, le rythme, la durée et l'intensité des vibrations, et ce à travers une large gamme de dispositifs (smartphone, bracelet, ceinture, semelle, vêtements etc.). Ainsi, Rümelin, Rukzio, et Hardy (2011) utilisent le vibreur d'un smartphone et conçoivent deux tactons modulés selon leur rythme pour indiquer la direction courante et la direction à suivre, et selon leur intensité pour indiquer la distance de la prochaine intersection à des sujets jeunes. Pielot et al. (2012), dans le cadre de leur PocketNavigator, proposent 8 tactons modulés selon la durée et le rythme (sur le principe du langage morse) pour une navigation sous forme de boussole via une application smartphone (voir figure 11, gauche). Dans une autre étude, Pielot et Boll (2010) proposent une ceinture haptique formée de 8 vibreurs dont la localisation sur la peau indique la direction à emprunter en continu. Frey (2007), faisant le constat que le pied est la partie du corps la plus impliquée dans la marche, conçoit des chaussures haptiques permettant aux individus de se maintenir sur une route prédéfinie par la localisation de vibrations sous la voûte plantaire. Ce type de chaussures est commercialisé depuis 2015 à des fins de navigation (voir figure 11, droite). Enfin, Brunet (2014) s'intéresse dans sa thèse à la conception de métaphores vibrotactiles pour la navigation (tourner, s'arrêter, rencontrer un point d'intérêt etc.) à travers un bracelet vibrant. Ces métaphores sont reprises par Anastassova, Dommes et Chevalier (2015) pour proposer un bracelet vibrant pour la navigation urbaine des personnes jeunes et âgées. Ce bracelet est composé de 3 vibreurs pour faciliter la perception et l'interprétation des messages, design validé à travers une récente étude sur le nombre de vibreurs nécessaire pour la navigation haptique par bracelet (Cammann, Stolz et Wölfel, 2017).

Ces dispositifs vibrotactiles semblent relativement efficaces pour aider à la navigation piétonne, bien qu'ils demandent des phases d'apprentissage plus ou moins longues en fonction du nombre de messages vibratoires impliqués (Rümelin et al., 2011). Ainsi, concernant les performances de navigation, les aides haptiques permettent de réduire la charge mentale associée (Duistermaat et al, 2007, cités par Pielot et Boll, 2010), de réduire les interactions avec le dispositif et la division de l'attention (Pielot et al., 2012). Ces aides permettent aussi de diminuer le risque de collision avec d'autres piétons (Pielot et Boll, 2010) et de prêter davantage attention à l'environnement (Pielot et Boll, 2010). L'évaluation d'un bracelet de guidage haptique

(Anastassova, Dommès, Chevalier, 2015) auprès de 20 jeunes adultes ($M=27.05$, $SD=5.68$), 20 jeunes âgés ($M=66.61$, $SD=2.33$) et 18 âgés plus âgés ($M=74.45$, $SD=2.74$) a permis de conclure à un temps de navigation et à un nombre d'erreurs réduit dans les carrefours simples chez tous les participants, avec un bénéfice très net du bracelet vibrotactile pour les personnes les plus âgées, par rapport à l'usage d'une carte papier. En termes d'acceptabilité des dispositifs vibrotactiles tels que le bracelet ici considéré, les personnes très âgées semblent manifester un plus grand intérêt à leur utilisation que les individus plus jeunes. Ceci peut être dû à une différence en termes de représentation, les premiers y voyant un aspect pratique et ludique tandis que les seconds y associent une image plus péjorative liée au handicap ou à la grande vieillesse. Devant ces résultats encourageants, nous utiliserons dans les études suivantes un dispositif similaire à ce bracelet pour la navigation des piétons âgés.



Figure 11 : Gauche : tactons développés par Pielot et al. (2012) dans le cadre de leur application PocketNavigator. Droite, chaussures et semelles haptiques

Si l'encodage d'informations vibrotactiles de navigation peut aider à dépasser les limites des dispositifs audio-visuels énoncées préalablement, notamment en termes de partage de l'attention, il peut conduire néanmoins à des performances de navigation moins bonnes que d'autres dispositifs sollicitant d'autres canaux sensoriels. Ainsi, dans le cadre d'une navigation nécessitant des informations de guidage complexe, les aides auditives verbales (Rümelin et al., 2011), une carte papier (Anastassova et al. 2015) ou encore un guidage par flèches (Meier et al., 2015) peuvent s'avérer plus efficaces.

4.2 - Aides haptiques et confirmation de trajet

L'haptique vibratoire peut également être utilisé dans le cadre d'une recherche active d'informations de navigation. Au lieu de fournir une information pas-à-pas, la vibration vise à confirmer une direction pointée à travers un smartphone (Jacob et al. 2012), le regard (Giannopoulos et al. 2015), ou plus simplement sur une carte (Smets et al., 2008 ; Pielot et Henze, 2009). Les études de Smets et al. (2008) et Pielot et Henze (2009) s'intéressent aux bénéfices de l'haptique auprès de personnes jeunes afin de leur indiquer la direction dans laquelle une carte doit être orientée. Ces deux études, menées auprès de personnes jeunes, permettent de conclure que l'ajout de l'information haptique de direction sur une carte non-alignée conduit à des performances de navigation similaires à celles avec des cartes alignées sur la direction empruntée. Le sentiment de désorientation des individus est moins important, la distance parcourue pour atteindre la destination est moindre, mais la vitesse de marche décroît elle aussi significativement (Pielot et Henze, 2009). Des conclusions similaires quant à la vitesse de marche peuvent être tirées de l'étude de Jacob et al. (2012) qui compare navigation haptique par recherche active dans l'environnement avec un smartphone et navigation visuelle via photographies. Ces travaux montrent également que le rappel de l'environnement est meilleur,

ce qui a été récemment corroboré par Giannopoulos et al. (2015) dans le cadre de l'interaction regard/vibration.

Ces conclusions relatives aux avantages de l'haptique dans le cadre d'une recherche active d'informations environnementales doivent toutefois être pondérées par la plus faible utilité perçue du dispositif par rapport à une carte (Smets et al., 2008 ; Pielot et Henze, 2009). Les femmes auraient néanmoins tendance à juger l'haptique plus favorablement que la carte seule, la modalité haptique étant potentiellement mieux adaptée aux stratégies de navigation féminines (Pielot et Henze ; 2009), basées davantage sur les connaissances de type repère et itinéraire.

4.3 - Limites des aides haptiques vibrotactiles

Les aides haptiques vibrotactiles, qu'elles encodent l'information de navigation ou qu'elles participent à une recherche active dans l'environnement, présentent de nombreux atouts en termes de performance de navigation, de discrétion du dispositif (Giannopoulos et al., 2015) et de développement de connaissances spatiales de type repère et route (Giannopoulos et al., 2015) (en particulier pour les aides actives). Cependant, elles concentrent également plusieurs limites en termes d'apprentissage des informations lorsque celles-ci sont nombreuses et/ou complexes, et en termes d'acceptabilité, lorsqu'il s'agit de conserver le dispositif dans la main (Rümelin et al. 2011). Il semble particulièrement difficile de communiquer des informations complexes, telles que des informations relatives aux carrefours ou intersections complexes, à travers une aide haptique de quelque nature qu'elle soit (Anastassova et al., 2015 ; Giannopoulos et al., 2015 ; Meier et al., 2015). Aussi, il pourrait être envisagé dans le cadre d'une aide pas-à-pas, de combiner plusieurs modalités sensorielles afin de faciliter la compréhension des indications complexes notamment.

5 - Vers des aides à la navigation multimodales

Les aides technologiques à la navigation piétonne s'appuyant sur les modalités visuelle, auditive et haptique permettent généralement une amélioration des performances par rapport à une carte classique qu'il s'agisse du nombre d'erreurs, d'hésitations ou de la vitesse de parcours chez les personnes jeunes. Elles offrent de plus une meilleure expérience utilisateur, bien que celle-ci soit dépendante de l'effet de familiarité et de la complexité perçue du dispositif vis-à-vis de l'utilisateur et de son environnement. Cependant, il n'existe pas de solution optimale et universelle (Riebeck et al. 2007, cités par Rehrl et al. 2014). Aussi, afin de réduire les limites liées à l'usage de l'une ou l'autre modalité pour la navigation, proposition a été faite par plusieurs auteurs de mobiliser la multimodalité, afin d'offrir des aides technologiques aussi efficaces que possible et mieux adaptés à la multiplicité des scénarios d'usage. La multimodalité correspond de plus à une demande des usagers (Chittaro et Burigat, 2005 ; Rehrl et al., 2014).

Les études relatives aux aides multimodales se concentrent principalement sur les modalités auditive et visuelle (voir Chittaro et Burigat (2005), Heinroth et Buhler (2008), Liljedahl et al. (2012)) auprès d'individus jeunes. Ces dispositifs permettraient de compenser les limites de l'une et l'autre des modalités seules, en favorisant la navigation globale pour l'ouïe et la navigation de précision pour la vue (Lokki et Gröhn, 2005). D'autres auteurs proposent de combiner les modalités auditives et visuelles avec l'haptique afin d'aider à la conception d'aides efficaces mais aussi discrètes (Li et al., 2014) et réduisant l'attention déportée sur le dispositif (Pielot et Boll, 2010). Ces aides à la navigation demandent une réflexion particulière quant à leur conception afin de présenter des informations multimodales faciles à décoder (Wahlster, 1998, cité par Kray et al., 2005). Nous proposons, dans notre seconde étude, une évaluation de messages associant des doublets d'informations visuelles, auditives et haptiques.

Nous avons vu jusqu'ici qu'il existe, depuis quelques années, de nombreux travaux autour des aides technologiques pour la navigation piétonne, mais très peu prennent en compte les déclins perceptifs et cognitifs des personnes âgées dans leur conception, ni leurs habitudes ou

préoccupations quant à l'usage de la marche en ville. Ces conclusions nous invitent à nous questionner sur les modalités sensorielles (visuelle, auditive et haptique) et les types d'informations de guidage pas-à-pas à utiliser (flèches, bips, tactons) pour aider la navigation piétonne des personnes âgées, en prenant en compte les spécificités cognitives et perceptives liées à l'âge que nous avons abordées dans les chapitres précédents. Mais nous devons également apporter un soin particulier à la prise en compte des facteurs d'acceptabilité et d'usage de tels dispositifs d'aides par un public vieillissant, afin de favoriser l'adoption de tels systèmes auprès du grand public. Nous verrons donc, dans le chapitre suivant, les caractéristiques principales de l'expérience utilisateur et les moyens de la questionner.

Synthèse

- Les aides à la navigation, pour être efficaces, doivent être adaptées au public auquel elles s'adressent en termes de demandes cognitives, perceptives, et de contextes d'usage.
- Les personnes âgées ont des difficultés à utiliser des cartes papier pour la navigation, notamment car les informations sont présentées en vue du dessus.
- Les aides technologiques peuvent présenter un intérêt pour les personnes âgées en leur fournissant des informations en vue à la première personne, plus faciles à interpréter.
- Nous nous intéressons dans cette thèse aux aides technologiques pas-à-pas, en ce qu'elles sont les plus simples à implémenter et les plus familières pour les personnes âgées, bien qu'il leur soit reproché de limiter l'acquisition de connaissances spatiales.
- Plusieurs modalités sensorielles peuvent être utilisées : la vue, l'ouïe et l'haptique (sens du toucher).
- Les aides visuelles faisant appel à la réalité augmentée par incrustation de flèches peuvent présenter un intérêt pour les personnes âgées en ce qu'elles offrent des informations faciles à comprendre et demandent peu d'attention lorsque l'information est dans le champ de vision. Elles s'appuient toutefois sur une modalité sensorielle déjà fortement mobilisée pour la navigation piétonne (pour regarder autour de soi, faire attention à la circulation etc.).
- Les aides auditives non verbales (guidage par signaux sonores / bips) sont intéressantes pour les personnes âgées qui peuvent avoir des difficultés de perception avec les aides verbales traditionnelles (type voix du GPS). En s'appuyant sur la localisation du son dans l'espace, elles permettent de transmettre des informations de direction utiles à la navigation. Elles demandent toutefois d'utiliser un casque, ce qui peut être peu discret et potentiellement dangereux (risque de ne pas entendre un vélo arriver etc.).
- Les aides haptiques (par vibrations) sont discrètes et relativement efficaces pour la navigation. Elles s'appuient sur un sens peu mobilisé dans la tâche de navigation. Elles peuvent cependant présenter des difficultés lorsqu'il s'agit de transmettre des informations complexes.
- L'usage de plusieurs modalités sensorielles en même temps peut permettre de palier à leurs limites respectives.

CHAPITRE 4 – Expérience utilisateur

Si de nombreux travaux se sont intéressés aux possibilités offertes par les différentes modalités sensorielles pour améliorer les performances de navigation, un souci croissant de prise en considération de l'acceptabilité et de l'expérience utilisateur associées aux aides technologiques à la navigation piétonne commence à émerger dans la littérature. En effet, les différences interindividuelles sur les plans cognitifs (notamment en termes de cognition spatiale), pragmatiques (utilité, facilité d'utilisation perçues) et hédoniques (esthétique entre autres) n'ont que rarement été mesurées jusqu'à présent (Li et al., 2014), ceci limitant la validité des conclusions scientifiques dans une perspective d'usage réel du dispositif développé (Kuniavsky, 2010, cité par Li et al, 2014). A titre d'exemple, l'étude de Kerber et al. (2014) consacrée aux modes d'interaction avec une montre intelligente montre que les performances de navigation et les préférences des utilisateurs ne sont pas toujours corrélées.

Dans ce chapitre, nous aborderons les caractéristiques génériques de l'acceptabilité et de l'expérience utilisateur, et les spécificités liées aux aides à la navigation et aux publics âgés. Nous verrons aussi quelles méthodes peuvent être utilisées pour évaluer l'expérience utilisateur.

1- L'acceptabilité et l'expérience utilisateur

Cette partie vise à éclairer les différents modèles et notions qui sont utilisés quand il s'agit d'étudier ce qui fait qu'un objet ou un service technique va être adopté par un usager. Nous présenterons à la fois comment les dimensions pratiques sont prises en compte (utilité et utilisabilité), mais aussi comment l'affect entre en ligne de compte (Février et al., 2011 ; Cahour, 2010). Nous verrons également que les critères mobilisés pour comprendre l'adoption et l'usage d'aides à la navigation sont quelque peu différents de ceux envisagés par les modèles théoriques génériques.

1.1 - Modèles génériques

Avant toute chose, il convient de rappeler que les modèles présentés dans cette partie sont essentiellement axés sur la compréhension de l'intention d'usage d'une technologie (objet ou service), par un utilisateur spécifique, et dans un contexte défini (Nielsen, 1993 ; Davis, 1989 ; Hassenzahl, 2003 ; Thüring et Mahlke, 2007). Aussi, si chacun de ces modèles permet d'éclairer à sa manière la façon dont les usagers fondent leur a priori sur un service ou un produit technique ou technologique, aucun ne peut avoir de portée concrète sans avoir défini au préalable le produit concerné (dans notre cas, une aide technologique à la navigation piétonne), le contexte d'usage (dans notre cas, la navigation dans un environnement urbain inconnu virtuel ou réel), et l'utilisateur (dans notre cas, une personne âgée, avec ses propres caractéristiques et déclin perceptifs et cognitifs).

On peut définir l'acceptabilité comme l'étude des conditions qui rendent un produit ou un service acceptable pour un utilisateur *avant* un usage effectif et réel dans la vie de tous les jours. L'étude de l'acceptabilité vise donc à comprendre comment les individus se construisent un jugement vis-à-vis d'un produit ou d'un service avec lequel ils n'ont eu que peu voire aucun de contacts. Selon Nielsen (1993), l'acceptabilité d'un système peut se comprendre comme la combinaison de son acceptabilité sociale et de son acceptabilité pratique. L'acceptabilité sociale fait référence au degré avec lequel le système obéit et/ou satisfait aux exigences de la société en termes d'image, d'éthique, de légalité, etc. (Bastien et Tricot, 2008) (autrement dit dans notre cas : « à quel point est-il bien vu de porter une aide à la navigation ? Est-ce que le fait d'être géolocalisé fait de moi une personne passive dans une société de surveillance généralisée ? »). L'acceptabilité pratique, quant à elle, dépend de plusieurs facteurs tels que le coût (« est-ce

que des lunettes connectées ne sont pas trop chères pour l'usage que j'en aurais ? »), la fiabilité (« que se passe-t-il si je me trompe ? Et s'il n'y a plus de connexion ? »), l'utilité théorique ou encore l'utilisabilité du système (voir figure 12).

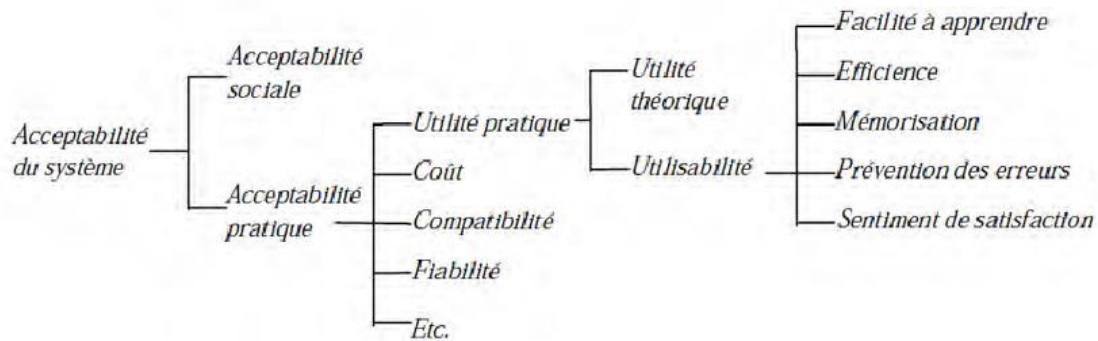


Figure 12 : Modèle d'acceptabilité de Nielsen (1993) traduit par Tricot et al., (2003)

L'utilité théorique correspond à la pertinence du but que le système ou le service permet théoriquement d'atteindre (autrement dit dans notre cas d'étude : « est-ce que cela peut me servir en théorie ? Ou est-ce un gadget a priori ? »). L'utilisabilité, quant à elle, est le degré selon lequel un produit peut être utilisé par des utilisateurs identifiés pour atteindre des buts définis avec efficacité et satisfaction dans un contexte d'utilisation spécifique (autrement dit : « comment on s'en sert concrètement ? »). On notera que, bien que très axé sur des dimensions pragmatiques (prévention des erreurs, efficacité etc.), l'utilisabilité intègre une première prise en compte de la notion d'affect à travers le sentiment de satisfaction (Nielsen, 1993 ; Février et al. 2011). Cette satisfaction peut être définie comme une réaction affective qui concerne l'acte d'usage d'un dispositif et qui peut être associée au plaisir que l'utilisateur reçoit en échange de son acte (Brangier et Barcellina, 2003). En ce sens, la prise en compte émotionnelle dans le modèle d'acceptabilité de Nielsen demeure assez restreinte (Février et al., 2011).

Le TAM (ou *Technology Acceptance Model*) est un autre modèle très utilisé dans la compréhension de l'acceptabilité et des intentions d'usage à priori d'un dispositif. Ce modèle a été révisé à plusieurs reprises (depuis Davis, 1989 jusqu'à Venkatesh et Bala, 2008) intégrant de nouvelles dimensions visant à éclairer l'acceptabilité des dispositifs technologiques.

Le cœur du TAM s'articule autour de deux notions principales qui expliquent l'intention d'usage : l'utilité perçue et la facilité d'utilisation perçue, et se rapproche en cela de la notion d'utilisabilité développée par Nielsen (voir figure 12). Bien que ne prenant pas en compte les dimensions affectives dans sa première version (voir figure 13), le TAM 3 (Venkatesh et Bala, 2008), dernier du nom, offre aujourd'hui une place assez importante aux dimensions émotionnelles (voir figure 14). Ainsi, le sentiment d'efficacité (par ex. dans nos études « est-ce que je pense que je serais capable d'utiliser ce bracelet vibrant même si j'étais seul ? »), l'anxiété (par ex. « est-ce que ça me stresse d'utiliser ce casque dans la rue ? »), le sentiment de contrôle (ou de dépendance) sur les événements (par ex. « est-ce que je suis un robot avec cette aide ? »), la dimension ludique du système (par ex. « est-ce que ça me semble rigolo de suivre des flèches pour trouver mon chemin ? ») ou encore son agréabilité perçue (par ex. « est-ce que ça me fait mal de porter ça ? ») sont à prendre en compte pour comprendre la facilité d'utilisation perçue, qui oriente l'intention d'utiliser le système.

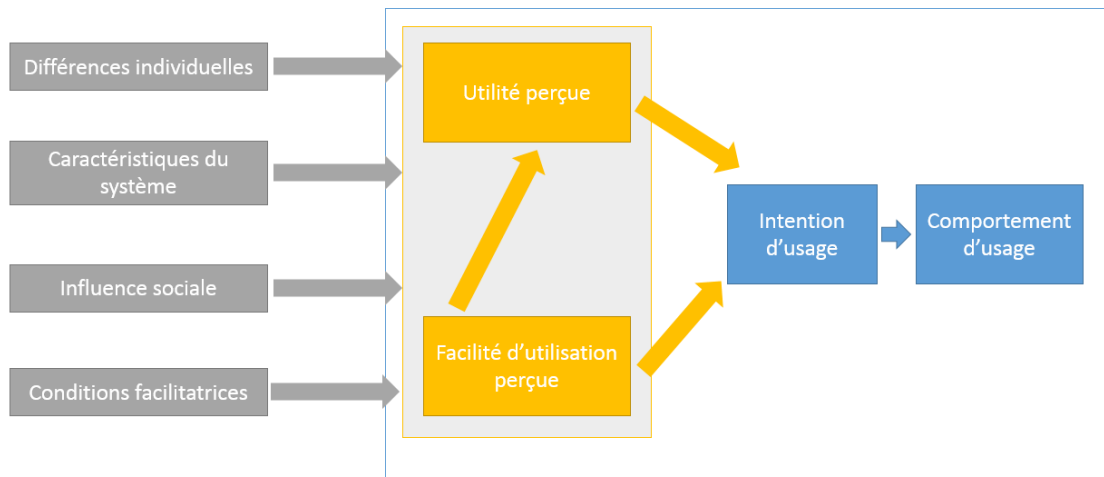


Figure 13 : première version du TAM de Davis, 1989 (d'après Venkatesh et Bala, 2008)

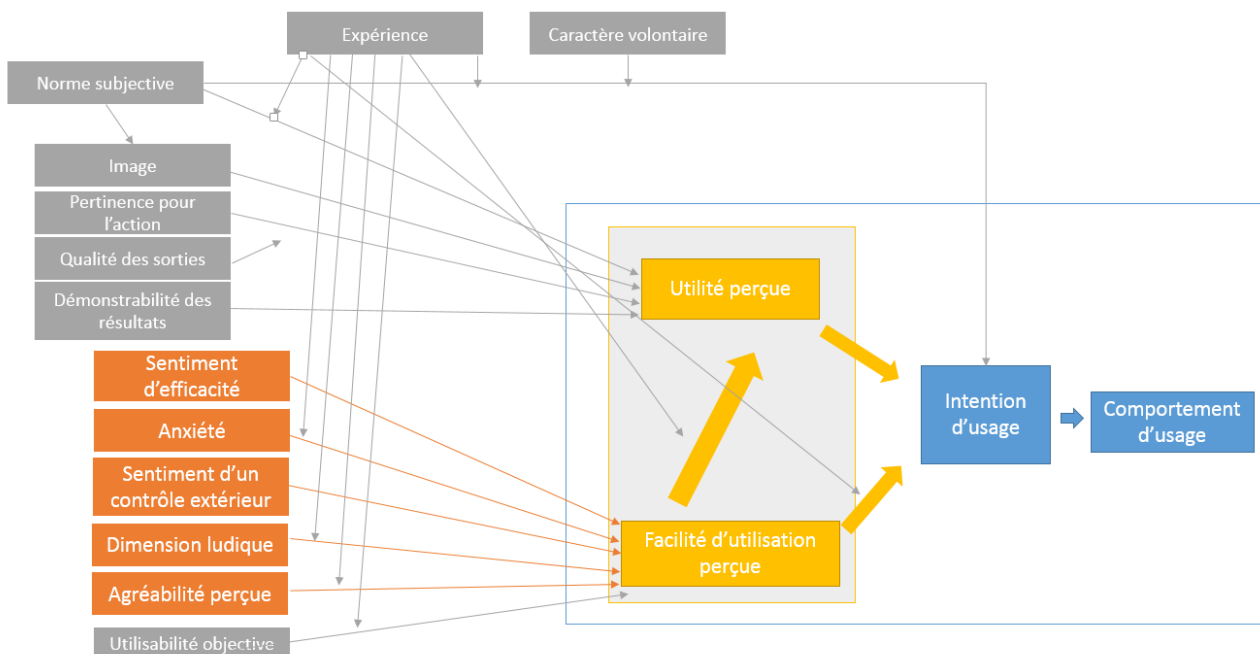


Figure 14 : TAM 3 (Venkatesh et Bala, 2008). Les items relatifs à l'affect sont en orange

Toutefois, plusieurs critiques sont généralement faites à ce modèle, en ce qu'il véhicule une conception plutôt rationnelle et déterministe du comportement des individus (Février et al., 2011), essentiellement articulée autour des critères d'utilité et d'utilisabilité (Brangier et al., 2010). Bien que la prise en compte des dimensions affectives et émotionnelles aillent au-delà de la simple satisfaction proposée par Nielsen (1993), le TAM ne semble envisager les émotions que comme des conséquences directes de l'utilisabilité du système (Février et al., 2011).

Les modèles de l'expérience utilisateur (ou UX) proposent d'aller au-delà, en mettant les dimensions affectives et émotionnelles au centre des logiques d'usages. L'expérience utilisateur prend en effet le parti d'étudier les relations homme-machine par le prisme de l'humain plutôt que par le prisme de la technique (Février et al., 2011), et permet en cela d'aller au-delà des limites des modèles classiques de l'acceptabilité qui s'appuient essentiellement sur des critères de performance tels que l'utilisabilité et l'utilité (Barcellina et Bastien, 2009). Bien que l'UX soit parfois critiquée pour être 'buzzword' (Hassenzahl et Tractinsky, 2006), un phénomène de mode

un peu fourre-tout cachant une multiplicité de dimensions mal définies (Forlizzi et Battarbee, 2004), nous pensons qu'éclairer ce que prétendent prendre en compte les études d'expérience utilisateurs nous aidera à identifier la pluralité des dimensions mobilisées dans l'activité de navigation piétonne avec une aide technologique.

Il existe deux modèles centraux de l'expérience utilisateur : celui de Hassenzahl (2003) et celui de Thüring et Mahlke (2007) (voir figure 15). Ces deux modèles sont relativement proches, et combinent principalement 3 dimensions (Février et al. 2011) : une dimension pragmatique, une dimension hédonique et une dimension affective.

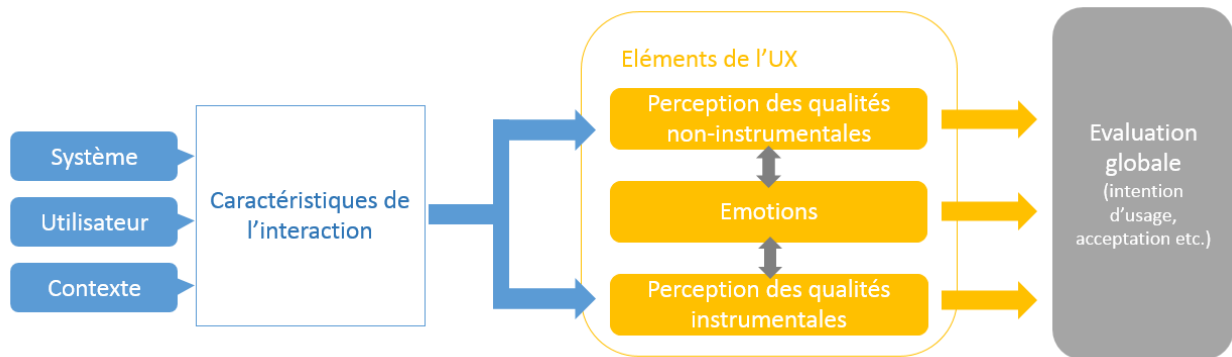


Figure 15 : Modèle de l'expérience utilisateur proposé par Thüring et Mahlke (2007)

La dimension pragmatique se réfère aux qualités pratiques et instrumentales de l'objet, à son utilisabilité. En effet, bien que l'étude de l'expérience utilisateur cherche à mettre l'accent sur l'affectif au cœur de l'interaction, il n'en demeure pas moins que ce sont les propriétés instrumentales de l'objet ou du système qui le rende efficace pour réaliser une tâche. La dimension pragmatique fait ainsi référence à ce qui est au cœur des modèles d'acceptabilité de Nielsen et du TAM vus précédemment : l'utilisabilité et l'utilité.

La dimension hédonique se réfère aux qualités non instrumentales présentées par Thüring et Malhke (2007), aussi appelées qualités hédoniques par Hassenzahl (2003). Ces qualités n'ont pas pour but de réaliser une tâche ou une action (i.e. « elles ne servent pas à l'efficacité »), mais de générer des sentiments positifs chez les utilisateurs (un accomplissement, un bien-être). Hassenzahl (2003) identifie deux caractéristiques des qualités hédoniques : l'identification et la stimulation. L'identification consiste à renvoyer une image positive de soi (par exemple, dans cette thèse : « est-ce que ça fait jeune de porter ce bracelet vibrant ? Ou est-ce que cela renvoie de moi l'image d'une personne dépendante ? »). La stimulation correspond, quant à elle, à un besoin de nouveauté (dans notre cas : « est-ce que, en portant ces lunettes connectées, je me sens comme une partie prenante de ce que sera le futur de la mobilité ? »). A ces deux dimensions (rebaptisées respectivement symboliques et motivationnelles), Thüring et Malhke (2007) ajoutent l'esthétique (i.e. « est-ce que cette montre me semble jolie ? »).

La dimension affective, enfin, se réfère aux émotions ressenties par les utilisateurs du système, et à leur évaluation de la capacité du système à générer des émotions chez eux (i.e. dans le cas dans notre étude « est-ce que je ressens des émotions négatives relatives au confort de ces lunettes ? Est-ce que ça me rend heureux d'être capable d'entendre avec ce casque à conduction osseuse ? »). Cette dimension est surtout présente dans le modèle de Thüring et Mahlke (2007), dans lequel les émotions dépendent des qualités instrumentales (pragmatiques) et/ou non-instrumentales (hédoniques) du système ou de l'objet.

Si une vision holistique de l'UX vise à comprendre les critères d'acceptabilité d'un système en mettant l'humain au cœur de cette compréhension, elle vise aussi à concevoir des objets et des systèmes présentant des qualités instrumentales et non-instrumentales positives, et générant des émotions positives afin de faciliter leur adoption. D'après Norman (2004), les

utilisateurs de technologies cherchent en effet à éprouver du plaisir, de l'amusement, de la stimulation dans cet usage. Ces dimensions doivent donc être prises en compte lors de la conception. Il faut néanmoins noter que, si pour susciter des émotions positives la prise en compte des qualités non-instrumentales (telle que l'esthétique) est importante, l'utilisabilité et les qualités pragmatiques jouent également un rôle prépondérant. Ainsi quand un objet est perçu comme fortement utilisable, l'interaction est jugée plus plaisante que lorsque l'outil est considéré comme faiblement utilisable (Mahlke et Lindgaard, 2007). Un produit ou un service mal conçu sur le plan ergonomique, dont le temps de réponse est trop long, suscitera des émotions négatives comme de la frustration, de la colère (Norman, 2004).

Malheureusement, la compréhension des dimensions de l'utilisabilité qui entrent le plus en ligne de compte dans le fait de ressentir des émotions positives reste assez limitée, et est fortement liée au contexte et au produit étudié (Février et al., 2011). Ainsi, il est probable qu'une latence, même légère, dans la réponse du système soit génératrice d'émotions négatives (stress, frustration) dans le cadre de l'utilisation d'une aide à la navigation temps réel en contexte urbain dense, alors qu'elle peut être moins impactante dans d'autres situations (téléchargement, consultation d'information en ligne etc.).

1.2 - Modèles d'acceptabilité des aides à la navigation

Si les modèles d'utilisabilité, d'acceptabilité et d'expérience utilisateur présentés ci-dessus ont pour but de comprendre et/ou prédire les intentions d'usage des technologies en général, les aides à la navigation présentent quelques spécificités quant à leur acceptabilité. Il semble en effet particulièrement important de prendre en compte le contexte d'utilisation des aides à la navigation (Tscheligi et Sefelin, 2006, cités par Pielot et al., 2012) pour évaluer leur acceptabilité, et les modèles classiques tels que le TAM ne sont pas toujours adaptés, car centrés sur un contexte de pratique professionnelle fort éloigné des contraintes propres à la navigation piétonne (Arning, Ziefle, Li, et Kobbelt, 2012). Aussi, le développement de modèles spécifiques aux aides technologiques à la navigation s'avère nécessaire.

Dans le modèle proposé par Arning et al. (2012), s'intéressant à l'usage d'aides à la navigation sollicitant la modalité visuelle (guidage par flèche), la lisibilité de l'information de navigation (« est-ce que je vois bien la flèche ? »), la confiance dans le dispositif (« est-ce qu'il va me guider à bon port ? ») et le sentiment de désorientation (« est-ce que je me sens perdu ? ») sont décrits comme les éléments les plus importants pour prédire l'acceptabilité de l'aide technologique visuelle (voir figure 16). Les critères classiques de performance, d'utilité et d'utilisabilité restent basiques pour comprendre l'acceptabilité, mais sont influencés par des facteurs généralement absents des modèles plus classiques.

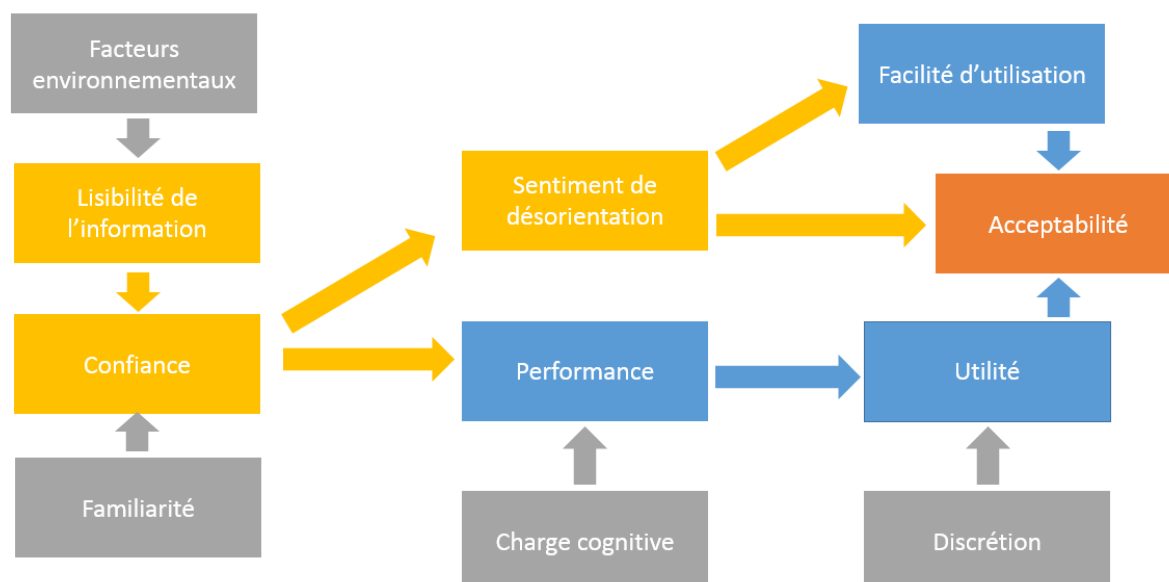


Figure 16 : modèle d'acceptabilité d'une aide à la navigation visuelle (d'après Arning et al., 2012)

Sarjakoski et Nivala (2005) insistent pour leur part sur la prise en compte d'une variété d'éléments de contexte pour faciliter l'utilisabilité de cartes digitales sur support mobile (en l'occurrence sur PDA) (voir figure 17). L'adaptation des informations à l'environnement physique (l'éclairage, la pluie etc.) est pour eux un prérequis capital pour la compréhensibilité des indications de guidage, et notamment la différenciation des symboles utilisés. Ainsi, en contexte extérieur deux informations pourtant distinctes peuvent sembler identiques du fait de l'éblouissement par le soleil (ce qui se rapproche et ce qui complète la question de la lisibilité des informations dans le modèle de Arning et al.). Les multiples caractéristiques des dispositifs pouvant fournir une application de guidage sont également à prendre en compte (la mémoire, la puissance du téléphone, par exemple). De même, la précision de la localisation est importante pour fournir des informations aussi précises que possibles (Sarjakoski et Nivala, 2005), et donc aussi fiables que possible. La carte numérique doit bien sûr tenir compte de l'orientation courante de la personne (lui indiquer de faire demi-tour si elle ne va pas dans le bon sens ...). Le guidage doit aussi prendre en considération le temps disponible : une application conçue pour flâner ne sera pas adaptée en cas de pression temporelle forte par exemple. Enfin, s'appuyer sur des repères et prendre en considération le but et le contexte social (est-ce que la personne est seule, accompagnée ? Est-ce qu'elle veut découvrir l'environnement extérieur ou simplement aller d'un point A à un point B ?), sont des moyens de favoriser l'utilisabilité d'un tel guidage.

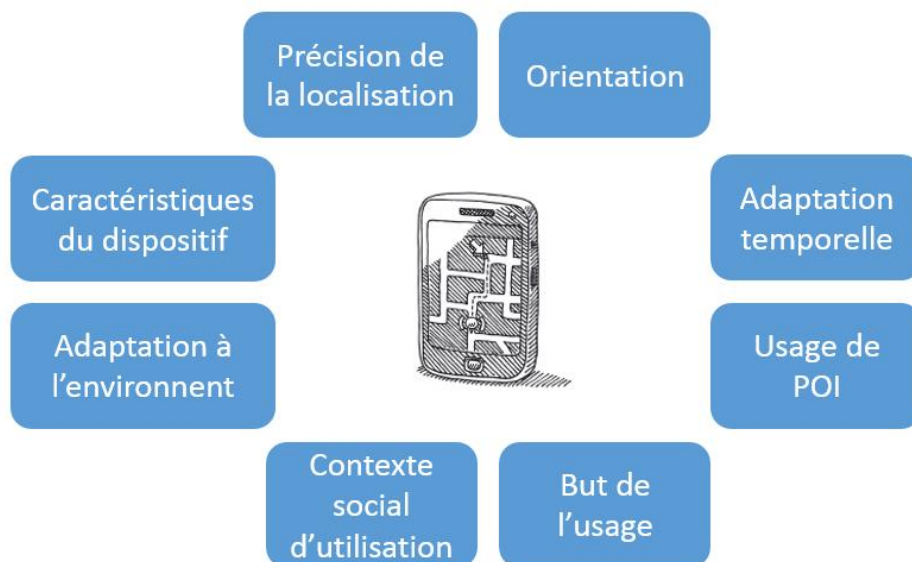


Figure 17 : Caractéristiques du contexte comme soutien à l'utilisabilité (Sarjakoski et Nivala, 2005).

Ce modèle, et celui d'Arning et al. (2012), semblent beaucoup plus orientés vers des considérations pratiques à l'intention des concepteurs d'aides à la navigation que les modèles habituels. Ils permettent (dans le cas du modèle de Sarjakoski et Nivala) de développer la notion de contexte sur laquelle se basent les modèles classiques de l'acceptabilité pour en extraire les éléments cruciaux pour l'UX des aides à la navigation : la lisibilité des informations, les caractéristiques du dispositif support, la précision du signal GPS, la prise en compte de la pression temporelle et de l'environnement social notamment. Ils permettent (dans le cas du modèle d'Arning et al.) de mettre l'accent sur trois éléments émotionnels : le sentiment de désorientation, la confiance, et dans une moindre mesure, la discrétion perçue.

Ces éléments de réflexion ne sont pourtant que peu mobilisés dans la littérature actuelle consacrée à l'évaluation d'aides à la navigation (cf. chapitre 3), littérature qui prend peu en compte la question de l'expérience utilisateur. L'importance de la lisibilité est rarement mise en avant à propos des informations visuelles (excepté Arning et al., 2012) et sonores (excepté Tran, 2000, cité par Walker et Lindsay, 2006 ; Strachan et al., 2005), alors même qu'elle impacte les performances de navigation et l'acceptabilité de l'aide, tant chez les personnes jeunes que plus âgées. On ne trouve également que quelques références au sentiment de perte de contrôle et de liberté associé à l'usage de certains aides, chez les âgés comme chez les plus jeunes (Goodman et al., 2005 ; Pielot et Boll, 2010). Quelques auteurs, enfin, insistent quant à eux sur l'esthétique du dispositif proposé (Frey, 2007), ou sur l'importance de pouvoir le personnaliser en fonction de l'utilisateur (Wilson et al., 2007). Mais cette prise en compte des dimensions de l'UX demeure, dans sa majorité, assez anecdotique, et est quasi inexistante quand il s'agit d'aides à la navigation à destination des personnes âgées.

2- UX et principes de conception pour les personnes âgées

2.1 - L'UX chez les personnes âgées

Les critères déterminants pour l'acceptabilité et la qualité de l'expérience utilisateur ne sont pas nécessairement identiques quand il s'agit de personnes jeunes et de personnes âgées. Ainsi, dans une étude consacrée à l'expérience utilisateur de personnes jeunes et âgées avec un GPS pour voiture, Al Mahmud et al. (2009) montrent que les participants âgés jugent le guidage comme significativement moins fiable et plus stressant que les participants jeunes. Aussi, dans le contexte de cette thèse orientée vers les personnes âgées, il nous semble important de prendre en considération la prépondérance de ces éléments d'expérience utilisateur.

Holzinger et al. (2008) s'intéressent à la mesure de l'utilisabilité d'applications mobiles pour les personnes âgées, et mettent en valeur, en plus des critères classiques d'utilisabilité (facilité à apprendre, prévention des erreurs, etc. ; voir Nielsen, 1993), un certain nombre d'éléments prépondérants pour les personnes âgées :

- Le sentiment de sécurité
- La discrétion
- La fiabilité perçue
- Le sentiment de contrôle
- L'adéquation aux besoins
- La compréhensibilité des informations
- Le sentiment de confiance

Ces éléments, s'ils sont pour certains présents dans d'autres modèles - telle que la question du contrôle extérieur dans le TAM 3 (Venkatesh et Bala, 2008), ou encore la question de l'adéquation au besoin, qui peut s'approcher de l'utilité perçue - occupent une place particulière dans la compréhension de l'expérience utilisateur des personnes âgées. Ainsi, la confiance, la sécurité, la discrétion, ne sont pas identifiés dans les modèles UX classiques.

Lee et Coughlin (2015) identifient pour leur part une liste de facteurs pour l'acceptabilité des technologies chez les personnes âgées. Si l'utilité, l'utilisabilité, le coût, l'accessibilité, le support technique et les émotions sont des dimensions assez classiques (notamment dans le TAM), la nécessité de support social, le besoin d'indépendance ou encore le sentiment de confiance dans le dispositif ne sont, encore une fois, pas mentionnés habituellement dans les modèles d'acceptabilité. Sur la base de cette liste de facteurs, les récents travaux préliminaires de Kim et al. (2016) cherchent à étendre le modèle TAM pour les personnes âgées. Ils proposent ainsi un modèle enrichi (voir figure 18) où l'intention d'apprendre et la facilité d'apprentissage tiennent une place toute particulière, facilité par le support social, le sentiment d'efficacité (Venkatesh et Bala, 2008) et le besoin de stimulation (Hassenzahl, 2003). En tant que modèle d'acceptabilité, toutefois, la prise en compte des affects y est limitée. C'est pourquoi nous présenterons dans la partie suivante une synthèse des dimensions pragmatiques et émotionnelles de l'expérience utilisateur des personnes âgées avec les aides à la navigation.

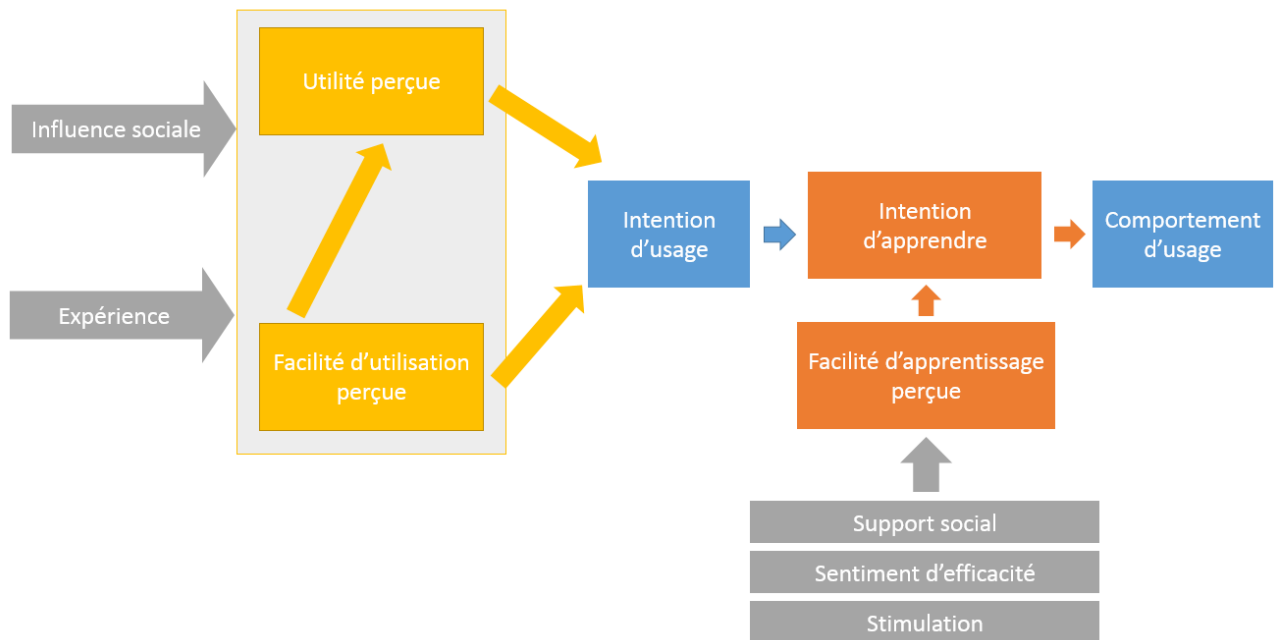


Figure 18 : Modèle de l'acceptabilité des technologies pour les personnes âgées, selon Kim et al. (2016)

2.2- Synthèse des dimensions de l'UX à questionner

Nous avons jusqu'alors présenté plusieurs modèles dédiés à la compréhension des facteurs d'utilisabilité, d'acceptabilité et d'expérience utilisateur des technologies. Ces modèles reposent sur un cadre général (Nielsen, Hassenzahl ...), mais aussi sur des spécificités, telles que celles de l'usage d'aides à la navigation technologiques (Arning, Sarjakoski) et/ou celles relatives aux personnes âgées (Kim, Holzinger ...).

Avant d'aller plus loin, nous nous proposons de résumer les facteurs et dimensions qui semblent importants afin d'éclairer l'expérience utilisateur de personnes âgées en contexte de navigation, aidées de guidages technologiques. La figure 19 reprend ainsi l'essentiel des éléments présentés et mis en valeur ci-dessus. Ce « modèle » de l'expérience utilisateur a une double visée :

- être un support à la définition des messages de guidage et des technologies utilisées dans cette thèse,
- être un support au questionnement de l'expérience utilisateur des participants.

Cette figure n'est, bien sûr, qu'une façon de représenter les éléments qui nous apparaissent pertinents au regard de la littérature détaillée plus haut dans ce chapitre. La question du coût, par exemple, n'est pas mise en valeur car, dans notre contexte, nous ne le prenons pas en compte (nous utilisons soit des prototypes « fait maison » tels que le bracelet haptique, soit des technologies peu utilisées par le grand public telles que des lunettes de réalité augmentée, soit des dispositifs très communs tels qu'un casque audio, qui ne peuvent donc être mis sur un pied d'égalité du point de vue du coût).

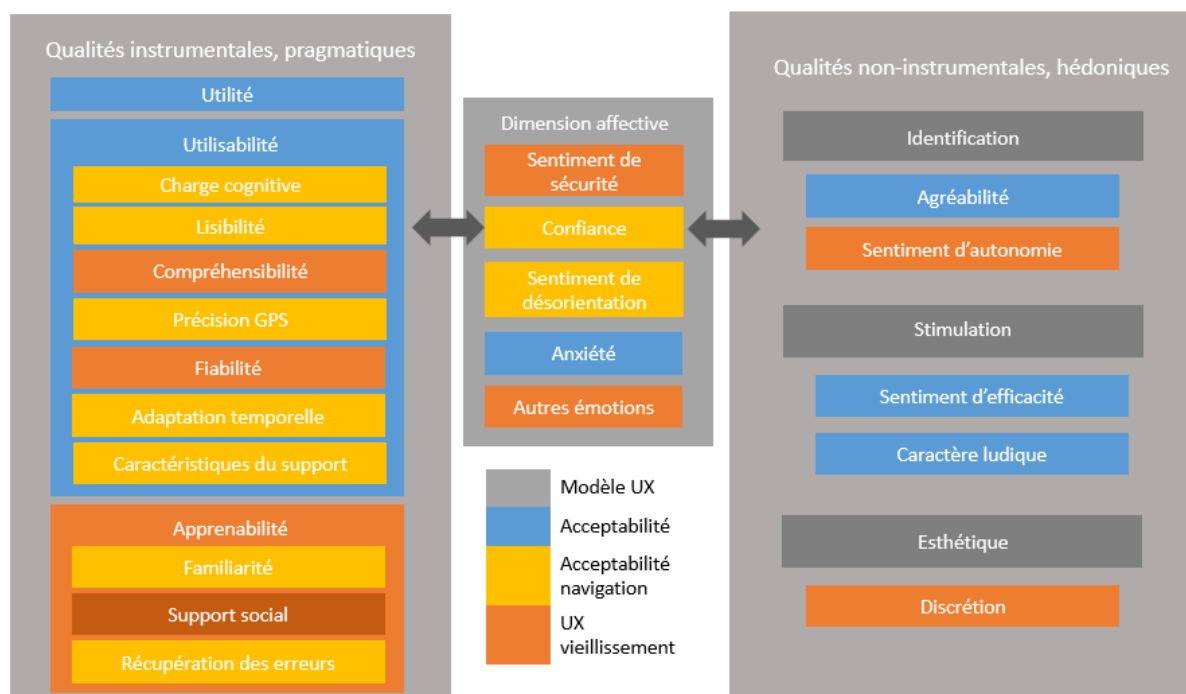


Figure 19 : Présentation de l'expérience utilisateur globale telle que questionnée dans cette thèse.

Certaines dimensions présentées sur la figure 19 font l'objet d'une littérature dédiée, visant la conception d'interfaces et d'objets adaptés aux personnes âgées. Ainsi la lisibilité, la compréhensibilité des messages, ou encore la discrétion et l'esthétique du dispositif peuvent être élaborés à travers un certain nombre de recommandations de conception. Nous verrons dans la partie suivante que ces éléments peuvent être pris en compte dès la conception des systèmes technologiques destinés aux personnes âgées.

2.3 - La conception numérique des interfaces et des instructions de guidage pour les personnes âgées

2.3.1 - Conception d'interfaces numériques

Les déclin perceptifs, cognitifs et moteurs qui peuvent intervenir lors de l'avancée en âge ont des conséquences sur la conception des interfaces numériques, et notamment celle des smartphones. Ainsi, pour faciliter l'interaction avec un dispositif numérique, il est conseillé que celui-ci présente de larges surfaces d'action bien distinctes. Ainsi, il est recommandé de préférer des boutons ou des touches larges pour cliquer plutôt que des mouvements de glissement (Van Dyk et al., 2012). Afin de faciliter l'interaction avec les touches tactiles, un large espace entre chaque bouton est recommandé (Faisal et al., 2014). On ajoutera également volontiers une information signifiant que le bouton a bien été pressé, telle qu'un son ou une vibration (Faisal et al., 2014).

Dans la mesure où les capacités de traitement de l'information et les vitesses d'action sont réduites avec l'âge, les interfaces doivent rester actives plus longtemps. On évitera ainsi d'atténuer la lumière de l'écran au bout de quelques secondes, ou de passer l'appareil en veille rapidement (Faisal et al., 2014). Dans l'idéal, il faudrait offrir aux personnes la possibilité de personnaliser leur interface.

Les personnes âgées trouvent souvent les applications trop complexes, avec trop d'informations (Kurniawan, 2008). Afin de faciliter la compréhension du système, on préférera n'avoir qu'une information, une action, une fonctionnalité par page (Faisal, 2014), la fiabilité et l'utilité étant souvent prépondérantes sur l'esthétisme auprès des personnes âgées.

2.3.2 – Conception d'instructions de guidage

Nous avons vu dans le chapitre précédent que l'âge impacte négativement les différentes modalités sensorielles que sont la vue, l'ouïe ou encore le sens haptique, avec de possibles conséquences sur la lisibilité des informations de guidage. Nous avons abordé aussi certains déclin cognitifs, qui peuvent limiter la compréhension des indications de navigation. Nous présentons ici quelques recommandations pour favoriser la perception et la compréhension des instructions de guidage pas-à-pas pour la navigation piétonne par des personnes âgées.

Afin d'améliorer la lisibilité de messages visuels, de forts contrastes et des couleurs chaudes se différenciant facilement de l'arrière-plan doivent être préférés (Farage et al., 2012). Les informations doivent également être larges, et si possible au centre du champ de vision. Sur un écran de smartphone, une taille d'icône de 25 mm aiderait grandement la lisibilité (Van Dyk et al., 2012). Les polices d'écriture d'au minimum 12pt doivent être préférées, et l'usage d'empâtements évité pour faciliter la lecture (Fisk et al., 2009 ; Faisal et al., 2014). Même si l'usage de majuscules peuvent s'avérer intéressant pour mettre en valeur une information, il est déconseillé d'utiliser les majuscules pour un bloc de texte (Farage et al., 2012). Dans l'idéal, les interfaces numériques doivent permettre d'ajuster la taille des informations aux capacités visuelles de l'utilisateur âgé, et éviter les effets de mouvements, les animations, les arrière-plans décoratifs etc. sur l'interface (Fisk et al., 2009). Concernant les questions de compréhension, il s'agit de limiter au maximum les informations non-pertinentes qui peuvent requérir un surcroît d'attention, et de favoriser les informations claires, ne présentant pas d'ambiguïté dans leur interprétation. Ainsi, il est conseillé de tester la compréhension des pictogrammes et autres messages visuels (Farage et al., 2012).

De la même manière, certains aménagements peuvent permettre une meilleure perception des sons par des utilisateurs âgés. Ainsi, les indications sonores doivent être au moins de 60dB quand elles atteignent l'oreille, et se détacher autant que possible du bruit ambiant (Kline & Scialfa, 1997). Dans l'idéal, il faudrait permettre aux personnes de contrôler le volume de la source sonore pour leur permettre d'entendre sans pour autant être surprise par le bruit (Faisal et al., 2014). Les fréquences comprises entre 500 Hz et 2 kHz sont à préférer, car elles sont celles qui sont le mieux perçues, même en cas de presbycusie. Les hautes fréquences, au contraire, sont à éviter, tant pour les indications vocales que pour les signaux sonores (Kline et Scialfa, 1997) : on préférera ainsi les voix d'hommes aux voix de femmes, et les débits de paroles lents (pas plus de 160 mots par minutes) (ETSI, 2002). On évitera également les signaux sonores d'alarme de fréquence supérieure à 2 kHz. Pour faciliter leur interprétation, les messages auditifs doivent être courts et ne comporter qu'une information (Farage et al., 2012).

Compte tenu du déclin important de la perception haptique avec l'avancée en âge, la norme ISO 9241-910: 2011 recommande de prendre en compte les spécificités des personnes âgées lors de la création de messages haptiques. Ainsi, les fréquences de vibrations entre 50 et 400 Hz sont à préférer (ETSI, 2002). Les vibrations de forte amplitude semblent également mieux perçues que les autres (Wiles et al., 1991). Les études de Kobayashi et Nakano (2015) s'intéressent à la composition de messages vibratoires complexes, et à leur apprenabilité. Ils montrent que chaque vibration composant un message vibratoire doit durer au moins 50ms et être séparé d'au moins 20ms des autres vibrations pour être facilement perçu par une personne âgée. Ils s'intéressent également au langage utilisé : les informations conçues sur une base musicale seraient ainsi moins perceptibles et compréhensibles que les informations basées sur le sens des mots (étant japonais, ils associent des patterns de vibrations à des idéogrammes). Afin de faciliter l'apprentissage des informations vibratoires, il est conseillé d'offrir aux personnes âgées la possibilité de concevoir ou de personnaliser elles-mêmes les messages vibratoires pour qu'elles y attribuent leur propre sens (Kobayashi et Nakano, 2015).

Nous avons vu, au cours de cette partie, que les personnes âgées présentent certaines spécificités qu'il convient de prendre en considération pour la conception de produits technologiques, mais aussi dans l'évaluation de leur expérience utilisateur. Nous allons désormais nous intéresser aux différentes méthodes permettant de questionner cette UX, afin d'embrasser le plus possible toutes les spécificités liées à l'activité de navigation piétonne des personnes âgées aidées d'un dispositif technologique innovant.

3- Méthodes d'évaluation de l'UX

Les études dédiées à l'évaluation d'aides à la navigation citées dans cette thèse (voir chapitre 3) ne s'intéressent que rarement à l'expérience utilisateur, et quand elles le font, utilisent le plus souvent des questionnaires tels que le TAM (Arning et al., 2012), le *System Usability Scale* (Rehrl et al., 2014) ou encore le *User Experience Questionnaire* (Giannopoulos et al., 2015). Si ces mesures permettent une standardisation des résultats, certains travaux commencent toutefois à mobiliser des entretiens plus compréhensifs (Walther-Franks et Malaka, 2008 ; Hazzard et al. 2014), afin de laisser plus de place à l'expérience vécue des individus. Nous présenterons dans cette partie ces différentes méthodes d'évaluation de l'expérience utilisateur, leurs avantages et leurs inconvénients.

3.1 - Questionnaires

Il existe une large gamme de questionnaires et de mesures métriques visant à quantifier l'utilisabilité, l'acceptabilité, l'expérience utilisateur, ou encore certaines composantes émotionnelles ou non-pragmatiques de l'UX (pour une revue, voir Tullis et Albert, 2008). Sans prétention à l'exhaustivité, on citera le SUS : *System Usability Scale* et le SUMI : *Software Usability Measurement Inventory*, dédiés aux questions d'utilisabilité, le QUIS : *Questionnaire for User Interface Satisfaction*, concernant la satisfaction, l'UTAUT : *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*, et le TAM : *Technology Acceptance Model*, a propos de l'acceptabilité. Il existe aussi des questionnaires dédiés à l'Expérience Utilisateur, comme le AttrakDiff développé par Hassenzahl (2003), ou le UES : *User Experience Questionnaire* (Laugwitz et al., 2008). On trouve des mesures métriques des émotions, tels que le SAM : *Self-Assessment Manikin* (Lang, 1980) ou le EmoCard (Desmet, 2002), ou des échelles dédiées à certains types de technologies en particulier, tels que le WAMMI : *Website Analysis and Measurement Inventory*.

Cette large gamme de questionnaires et d'échelles comporte une grande variabilité. Ainsi, on trouve des questionnaires très courts, dit *quick and dirty*, comme le SUS par exemple (défini ainsi par son créateur, John Brooke, 1986) qui vise à évaluer rapidement l'utilisabilité sur la base de 10 questions et échelles de Likert en 5 points. La dernière version du TAM (Venkatesh et Bala, 2008) comporte en revanche plus de 50 items questionnés. On trouve des questionnaires et échelles sous forme papier ou en ligne. On trouve des questionnaires post-tâche, réalisés directement après le moment qu'ils cherchent à questionner, comme l'ASQ : *After Scenario Questionnaire* et des questionnaires plus globaux, réalisés en général à la fin de l'expérimentation comme le USE : *Usefulness, Satisfaction, and Ease of Use Questionnaire*. Toutes ces différences, si elles permettent de couvrir une bonne partie des besoins des chercheurs et des praticiens intéressés par l'évaluation de l'expérience utilisateur, font qu'il est parfois difficile de trouver le questionnaire le plus adéquat pour le cadre expérimental considéré.

L'usage de ces échelles et questionnaires est répandu, standardisé et validé, ce qui permet aisément de comparer les résultats qui en sont issus, et de les promouvoir auprès de la communauté scientifique. Cependant l'usage de questionnaires et d'échelles comporte un certain nombre de limites liées notamment au caractère auto-évaluatif de ces outils (Février et al., 2011). D'une part, une grande majorité de ces questionnaires s'appuie sur des échelles de Likert, qui peuvent être mal interprétées, ou interprétées très variablement d'une personne à une autre (Jamieson, 2004). D'autre part, on observe des risques de biais de désirabilité sociale ou encore

de tendance à l'acquiescement (Février et al., 2011) dans l'usage de questionnaires, en particulier lorsque l'expérimentateur se trouve à proximité directe de la personne interrogée – ce qui est moins vrai pour les questionnaires en ligne (Nancarrow et Brace, 2000) - ou lorsque la personne interrogée est âgée (Dijkstra et al., 2001). Par ailleurs, en tant qu'outils normalisés, les questionnaires s'adressent le plus souvent à des personnes jeunes, sans interroger les spécificités liées à l'âge présentées plus haut.

3.2- Mesures physiologiques et d'observation

Afin de limiter les biais liés à l'usage d'échelle d'auto-évaluation, il est possible de coupler les questionnaires avec des mesures physiologiques. Ces mesures peuvent concerner les réactions électrodermales (Février et al., 2011), le rythme cardiaque, la réponse pupillaire (Tullis et Albert, 2008) et sont principalement orientées vers le recueil de données objectives quant aux réactions émotionnelles liées à l'expérience utilisateur : leur portée est donc limitée, et leur analyse doit se faire conjointement à d'autres sources d'évaluation pour être interprétables. Si ces méthodes permettent d'objectiver l'UX, elles demeurent difficiles à mettre en place (car nécessitent que le participant porte sur lui des capteurs), et peuvent être sources de stress, en particulier chez des participants âgés.

Des méthodes d'observation directe peuvent aussi être mobilisées (Tullis et Albert, 2008), telles que l'observation des expressions faciales. Toutefois, afin de systématiser une telle mesure, un dispositif d'enregistrement et de traitement de l'image conséquent doit être mis en place.

3.3 – Méthodes par verbalisation

Les méthodes par verbalisation sont très diverses, depuis le codage des réactions verbales lors de l'expérimentation (commentaires spontanés ou verbalisations simultanées) jusqu'aux entretiens compréhensifs, en passant par les journaux de bord. Toutes ces techniques ont un point commun : elles permettent de questionner une évolution de l'expérience utilisateur subjectivement vécue au cours de l'utilisation d'un produit ou d'un service. Elles permettent d'envisager différentes séquences d'interaction au cours de l'activité, et non seulement une évaluation statique et finale comme le font traditionnellement les questionnaires. Les méthodes par verbalisation s'ancrent également plus facilement dans des situations naturelles ou proches du naturel (Février et al., 2011), là où les mesures physiologiques demandent un cadre expérimental très contrôlé pour être mises en œuvre.

La méthode du journal de bord consiste à demander aux utilisateurs de noter ou enregistrer régulièrement (à l'écrit ou à l'oral) des moments ou éléments de leur expérience. Il peut s'agir d'informations sur leur impression globale, la fréquence d'usage de certaines fonctionnalités, les émotions associées à la réalisation d'une tâche, ou encore la facilité d'apprentissage (Lallemand et Gronier, 2015). Cette méthode longitudinale permet d'envisager l'évaluation de l'UX dans un contexte d'usage réel, ancré dans le temps (Février et al., 2011). Il est cependant assez lourd à mettre en œuvre pour les participants, et demande d'être en mesure de leur fournir pour un temps long le service ou le prototype à tester (Lallemand et Gronier, 2015).

Les méthodes d'entretiens permettent de verbaliser l'expérience vécue soit pendant l'utilisation d'un produit (on parlera alors de verbalisations concomitantes), soit immédiatement après, soit dans un délai de quelques jours à quelques semaines suivant l'expérimentation ou la situation d'usage. Il existe principalement deux méthodes d'entretiens post-activité : l'entretien d'auto-confrontation et l'entretien d'explicitation. Ces deux méthodes sont dites « re-situantes » en ce qu'elles visent à remettre le sujet dans la situation vécue telle qu'il s'en souvient, en limitant les rationalisations et reconstructions à posteriori. Elles visent au questionnement global de l'expérience : les émotions, les pensées, les perceptions sensorielles, les actions (Cahour et al., 2016). L'entretien d'auto-confrontation s'appuie sur un enregistrement audio et vidéo d'une

activité, enregistrement réalisé par l'expérimentateur ou par le participant lui-même (voir Isomursu et al., 2007). Cette méthode vise ainsi à rendre l'expérience racontable et commentable (Theureau, 2010) pour la rendre plus aisément accessible au travail de recherche. L'entretien d'explicitation, pour sa part, a été proposé par Vermersch (1994). N'utilisant pas de support vidéo, ce type d'entretien s'appuie sur la mise en évocation. Il s'agit d'amener le participant à retrouver un souvenir vivace de la situation étudiée, par des relances sur le contexte (Cahour et al., 2016). Ces deux méthodes, si elles sont difficiles à mettre en œuvre, permettent d'accéder à une compréhension fine de l'expérience utilisateur telle que réellement vécue par les participants.

Nous avons présenté dans cette partie une large palette de méthodes et d'outils susceptibles d'éclairer la compréhension de l'expérience utilisateur, et notamment ses aspects non-pragmatiques. Ces méthodes ont chacune à apporter, et peuvent s'avérer complémentaires (comme l'illustre la triangulation des méthodes proposée par Creno et Cahour, 2015, qui associent observations, questionnaires et entretiens). Dans le cadre de cette thèse, et au cours de nos quatre études, nous associerons principalement des mesures de performance de navigation (temps de parcours, pourcentage de réussite) à des entretiens d'explicitation et des questionnaires, afin de couvrir les multiples dimensions de l'expérience de navigation piétonne des personnes âgées aidées d'un guidage technologique innovant.

Synthèse

- Il existe plusieurs modèles qui visent à comprendre les jugements et intentions d'usage a priori ainsi que l'expérience utilisateur réelle d'une personne vis-à-vis d'un produit technologique dans un contexte particulier.
- L'ensemble de ces modèles prennent en compte, dans des proportions variables, des caractéristiques techniques et pragmatiques (utilisabilité, utilité) et des caractéristiques affectives et hédoniques (émotions, satisfaction, agréabilité) liées à l'utilisation du produit. On parlera d'expérience utilisateur.
- Certaines caractéristiques pragmatiques (précision du GPS, lisibilité et compréhensibilité des informations, facilité d'apprentissage du système) et caractéristiques hédoniques ou émotionnelles (discrétion, sentiment de confiance, de sécurité, de désorientation) doivent être prises en compte dans la conception et l'évaluation de l'expérience utilisateur d'aides à la navigation auprès de personnes âgées.
- Cette prise en compte des spécificités des personnes âgées peut être aidée par le recours à des recommandations de conception.
- L'évaluation de l'expérience utilisateur peut se faire par questionnaires, mesures physiologiques ou méthodes de verbalisation telles que les entretiens d'explicitation.
- Ces méthodes peuvent être combinées pour couvrir un large spectre de l'expérience vécue par les utilisateurs.

PROBLEMATIQUE ET
ARTICULATION METHODOLOGIQUE

CHAPITRE 5 - Problématique

Ce travail vise à la production de connaissances à propos des possibilités d'utilisation d'aides technologiques à la navigation par les personnes âgées pour leurs déplacements urbains à pied. Il vise en particulier à éclairer ce qui est susceptible de soutenir l'usage de telles aides dans l'activité quotidienne de déplacement piéton, en prenant en compte à la fois les attentes et besoins des personnes âgées, hommes et femmes, l'utilisation d'informations de guidage pas-à-pas adaptées à ces personnes d'un point de vue perceptivo-cognitif, l'expérience utilisateur sur la base de prototypes d'aides à la navigation, et la capacité de telles aides à apparaître comme utiles, utilisables et satisfaisantes pour un usage futur.

Jusqu'à présent, les travaux dédiés aux aides technologiques à la navigation ne s'intéressent que peu aux piétons en général et aux personnes âgées en particulier (voir chapitre 3), leur préférant la plupart du temps des participants jeunes et/ou automobilistes. Ils n'intègrent que peu, également, les éventuelles différences liées au genre dans les pratiques et les attentes des piétons. Malgré l'existence notable d'une littérature sur les difficultés quotidiennes des piétons âgés (voir chapitre 1), les déclins de la cognition spatiale et de la perception avec l'âge (voir chapitre 2), et la compréhension de l'expérience utilisateur des personnes âgées avec les technologies mobiles (voir chapitre 4) ne soit pas négligeable, il n'existe pas, à notre connaissance, pas de travaux cherchant à intégrer ces multiples dimensions pour éclairer les possibilités d'utilisation d'aides à la navigation technologiques par les piétons âgés en contexte urbain. Il existe quelques études exploratoires relatives à l'usage d'aides à la navigation piétonne auprès de personnes âgées (par exemple Goodman et al., 2005), mais qui ne questionnent pas toutes ces dimensions de l'activité de navigation piétonne (l'étude de Goodman questionne la lisibilité des informations uniquement a posteriori, elle ne questionne pas les besoins et les attentes des participants, etc.).

Il existe également une littérature dédiée aux aides à la navigation pour des personnes souffrant de vieillissement pathologique (voir par exemple Rasmus-Gröhn et Magnusson, 2014 sur les troubles de la mémoire) ou souffrant de déficiences sensorielles (voir par exemple Heuten et al., 2006 ; Wilson et al., 2007 ; Zhao et al., 2017 pour des aides dédiées aux personnes déficientes visuelles) qui est assez exploratoire et parcellaire. Si ces études ne peuvent être appliquées en tous points aux personnes âgées car elles vont au-delà du cadre de l'activité que nous étudions, elles offrent néanmoins des pistes de réflexions intéressantes quant à la nécessaire lisibilité et compréhensibilité des informations de guidage et des interfaces utilisées.

Aussi, ce travail prend sa source dans cette connaissance pluridisciplinaire (essentiellement psychologie cognitive, ergonomie, informatique) du vieillissement, des déplacements piétons et des aides à la navigation, pour questionner les possibilités d'utilisation d'aides technologiques au cours de l'activité de navigation piétonne par des personnes âgées. Tout en prenant en compte les besoins et les attentes sociales des personnes âgées quant à l'utilisation de telles aides (études 1 et 4), le cœur de ce travail repose principalement sur la compréhension psycho-ergonomique des interactions survenant entre des personnes âgées et des dispositifs technologiques de guidage, s'appuyant sur une ou plusieurs modalités sensorielles (parmi la vue, l'ouïe et le toucher), dans un contexte de navigation piétonne urbaine virtuelle (étude 2) ou réelle (étude 3). Plus spécifiquement, ce travail cherche à adresser, au moyen de différents outils méthodologiques, les 4 questions de recherche présentées ci-après, afin de proposer au terme de cette thèse, des recommandations quant à la conception d'aides à la navigation technologiques multi-sensorielles pour les piétons âgés.

Question n°1 : quels sont les usages, motifs et limites à la mobilité piétonne et à l'usage d'aides à la navigation par les personnes âgées aujourd'hui ?

Cette question nous semble être le prérequis nécessaire au développement d'aides à la navigation qui puissent avoir une utilité et un bénéfice effectif pour les personnes âgées afin de les aider dans leur activité de mobilité piétonne quotidienne. Nous nous intéresserons principalement à **mettre en valeur les éventuelles différences qui peuvent exister entre les personnes jeunes et les personnes âgées, et entre les hommes et les femmes, dans la pratique quotidienne de la marche, dans les motifs, motivations et limites aux déplacements piétons et dans les usages d'aides à la navigation pour ces déplacements.**

Si nous disposons de chiffres sur le nombre de déplacements quotidiens et les modes de déplacements préférentiels de chaque groupe d'âge et de chaque genre (voir chapitre 1), ces données sont relativement anciennes (puisque collectées en 2008) et n'intègrent pas les motifs et motivations de déplacement à pied. Or, ces éléments sont essentiels afin de comprendre les besoins des personnes à propos des aides à la navigation. Par exemple, une personne qui sort peu de son quartier, qui limite ses activités piétonnes à des environnements connus, est plus susceptible de tirer bénéfice d'une aide à la navigation pour développer son autonomie par rapport à une personne qui est d'ores et déjà autonome dans ses déplacements, qui se déplace aisément dans des environnements inconnus. De même, une personne qui est régulièrement amenée à porter des courses, des sacs, est susceptible de tirer un bénéfice plus grand d'aides dites « main libre » ... Cette première question de recherche sera adressée à travers l'étude 1 de cette thèse.

Question n°2 : par quelle(s) modalité(s) sensorielle(s) présenter des instructions de guidage pas-à-pas pour orienter des piétons en environnement urbain inconnu ?

Cette deuxième question vise à savoir **sous quelle forme présenter des instructions de guidage pas-à-pas pour orienter des piétons dans des environnements inconnus, avec l'objectif particulier qu'elles soient adaptées aux plus âgés pouvant souffrir de déclin perceptifs et cognitifs.** Pour cela, nous réaliserons une étude sur simulateur et établirons des comparaisons entre différents groupes d'âge et différentes modalités sensorielles, avec des instructions de guidage visuelles, auditives et haptiques (relatives au sens du toucher) délivrées par différents médiums (casque, bracelet etc.) auprès de participants hommes et femmes plus ou moins âgés naviguant dans un environnement urbain inconnu. Nous nous intéresserons en particulier à la perception et l'efficacité des messages pour guider les piétons dans un environnement virtuel sécurisé, sur simulateur de navigation piétonne, en dehors de toute autre contrainte liée à l'activité de navigation (pas de risque de chute notamment). Nous prendrons en compte l'apprenabilité, la lisibilité et la compréhensibilité de ces messages et questionnerons également leur acceptabilité. Toutes ces dimensions sont, en effet, essentielles pour l'expérience utilisateur, et donc pour l'intention future d'usage d'aides à la navigation.

Si la littérature offre des pistes de réflexion autour de l'usage d'informations pas-à-pas égocentriques visuelles (réalité augmentée), auditives (son spatialisé) et haptiques (messages vibratoires), qui sont supposément plus adaptées aux capacités cognitives et attentionnelles des piétons âgés que les cartes papier allocentriques, aucune comparaison de ces trois modalités sensorielles de guidage, ni de leurs combinaisons, n'a pour l'heure été faite, ni auprès de piétons jeunes, ni auprès de piétons âgés. Ceci sera l'un des objectifs principaux de l'étude 2 de cette thèse.

Question n°3 : par quel(s) dispositif(s) technologique(s) sensoriel(s) guider les personnes âgées en contexte urbain avec la meilleure efficacité et expérience utilisateur ?

Cette troisième question vise à **comparer différents dispositifs technologiques de guidage mobilisant une ou plusieurs modalités sensorielles, afin d'identifier les plus adaptés pour la navigation effective de piétons âgés dans un environnement urbain réel**. Pour cela, nous mobiliserons les types d'information sensorielles de guidage identifiés comme les plus adaptés aux personnes âgées (voir question n°2) à travers des prototypes d'aides à la navigation leur fournissant ces informations dans une perspective égocentrée, informations potentiellement plus adaptées aux personnes âgées par rapport à l'usage d'une carte papier.

L'étude de la littérature relative à l'expérience utilisateur des personnes âgées (voir chapitre 4) nous fournit un cadre réflexif reposant d'une part sur les qualités pragmatiques de l'aide à la navigation (e.g. perceptibilité, compréhensibilité), orientées vers la performance, et d'autre part sur les qualités hédoniques de l'aide à la navigation, orientées vers les affects. Nous investiguerons ici dans le détail, en plus de la performance de navigation avec les prototypes d'aides, le rôle que peuvent jouer l'esthétique, le confort, les émotions ou encore l'utilisabilité et la performance perçues dans le rapport qu'entretiennent les utilisateurs âgés aux aides à la navigation piétonne, afin d'identifier les éléments clés susceptibles de soutenir l'adoption de tels dispositifs. Cette question sera adressée au travers de l'étude 3 de cette thèse.

Question n°4 : quelle est l'acceptabilité a priori de guidages technologiques futuristes pour des personnes plus ou moins âgées ?

Cette thèse s'appuie principalement sur des modes de guidage et des dispositifs prototypiques qui ne sont pas disponibles pour l'heure sur le marché. Toutefois, de telles aides pourraient voir le jour rapidement, soutenues par le développement croissant des technologies mobiles et les recherches sur l'usage de modalités sensorielles « atypiques » (sens du toucher, de l'odorat, etc.) dans le champ des interactions homme-machine. Aussi, cette dernière question de recherche vise à **investiguer l'acceptabilité à priori des aides à la navigation en général, et de dispositifs innovants et futuristes de guidage piéton sollicitant une ou plusieurs modalités sensorielles**. Nous questionnerons en particulier les éventuelles différences qui peuvent exister entre des personnes jeunes et plus âgées, ces dernières étant d'une part celles qui sont le plus susceptibles de bénéficier de telles aides pour compenser les déclinés de navigation spatiale liées à l'âge, mais d'autre part celles qui sont réputées être les plus réticentes aux nouvelles technologies (Caradec, 2001). Nous nous attarderons aussi sur les éléments qui semblent les plus prégnants pour expliquer l'acceptabilité a priori de ces aides à la navigation. Les différences liées au genre seront également abordées. Ces éléments seront questionnés au cours de l'étude 4 de cette thèse.

Nous aborderons, dans le chapitre suivant, les cadres théoriques et les méthodologies mobilisés dans cette thèse afin de répondre à ces différentes questions.

CHAPITRE 6 – Articulation méthodologique

Au cours du chapitre précédent, nous avons vu que cette thèse s'intéresse aux conditions soutenant l'utilisation des aides technologiques pour l'activité de navigation piétonne par les personnes âgées en général, et à l'étude psycho-ergonomique des interactions entre piétons âgés et aides à la navigation technologiques en contexte urbain en particulier.

Nous présenterons ici les différentes approches et méthodes utilisées conjointement afin d'éclairer les dimensions ergonomiques et cognitives de l'activité située de navigation urbaine avec une aide technologique, ainsi que la complémentarité de ces méthodes.

1- Ancrage disciplinaire et théorique

1.1- Psychologie ergonomique et psychologie cognitive

Cette thèse, qui fait appel à la psychologie cognitive, s'inscrit plus largement dans le cadre disciplinaire de la psychologie ergonomique. Ce double ancrage est complémentaire car, comme l'indiquent Tricot, Détienne et Bastien (2003, p.1), la psychologie ergonomique désigne « *les travaux en ergonomie, fortement ancrés dans la psychologie cognitive mais non limités à celle-ci, qui ont pour objet d'étude la conception et l'évaluation des outils ou des situations de travail* ».

La recherche en psychologie ergonomique et les praticiens de ce champ s'intéressent à concevoir, évaluer et améliorer des outils ou des situations de travail, notamment en lien avec les technologies (Tricot, Détienne et Bastien, 2003). La psychologie ergonomique se rapproche donc de la psychologie cognitive en ce qu'elle questionne la façon dont les humains perçoivent, pensent, apprennent et ressentent des émotions au cours d'une activité ; elle s'en distingue cependant en ce qu'elle cherche à agir sur les outils utilisés ou les situations vécues (Tricot, Détienne et Bastien, 2003).

La psychologie cognitive est parfois critiquée par les psycho-ergonomes, notamment à cause de modèles théoriques jugés trop « cognitivistes » et décontextualisés, ou à cause de la faible prise en compte des singularités personnelles (Tricot, Détienne et Bastien, 2003). Nous pensons pourtant que psychologies cognitive et ergonomique peuvent se compléter, en termes de compréhension de l'activité comme en termes méthodologiques. Selon Morineau et Parenthoën, (2003), concevoir une interface dite « écologique » consiste en deux temps. D'une part, il s'agit de faire émerger des affordances, qui sont des invariants, des éléments qui vont suggérer une action aux individus (dans cette thèse, on peut rapprocher cela de l'étude 2 des messages de guidage, dont on cherche à ce qu'ils soient facilement perceptibles et interprétables par tous, sans prise en compte des différences ou préférences interindividuelles). D'autre part, cela consiste à questionner l'adaptation de l'affordance, pour qu'elle devienne une information directement signifiante pour les individus en contexte réel d'usage (dans cette thèse, on peut rapprocher cela de l'étude 3 de l'expérience utilisateur, quand les messages de guidage deviennent effectivement porteurs de sens pour des individus qui cherchent leur chemin dans la ville). On le voit, ces deux temps sont complémentaires, et servent tous deux à l'amélioration d'une activité située dans un contexte urbain, demandeuse sur le plan cognitif et riche sur le plan expérientiel.

1.2- Analyse de l'activité située

La navigation piétonne avec une aide technologique ou une carte papier est, comme nous l'avons vu dans les chapitres 2 et 3, un processus dynamique au cours duquel le sujet doit réaliser différentes activités cognitives, perceptives, motrices: faire attention à l'environnement et à sa sécurité, analyser sa position et son orientation courante, lire, comprendre et prendre en compte les informations de guidage fournies par son aide ou sa carte, mettre à jour ses connaissances spatiales, ne pas trébucher, etc. L'analyse de l'activité de navigation piétonne

avec une aide technologique va chercher à prendre en compte l'ensemble de ces composantes de l'activité en contexte (Verillon et Rabardel, 1995).

Il est de longue tradition, en ergonomie française, de faire appel à l'analyse de l'activité prise dans son contexte technique et organisationnel (Leplat, 2000). Initialement, ce cadre d'analyse intéressait surtout l'ergonomie du travail (Darses, 2016), en investiguant le couplage existant entre une tâche affichée ou attendue (Chabaud, 1990) et un individu. Une tâche peut être définie comme ce qui est à faire, ce qui est prescrit implicitement ou explicitement par l'organisation, l'employeur, ou encore l'expérimentateur dans le cas présent. Elle se définit par un but, qui est l'état final souhaité, et par des conditions de réalisation qui concernent les procédures, les contraintes de réalisation, les moyens mis à disposition de l'individu, et les caractéristiques de l'environnement physique, cognitif et social. L'activité, pour sa part, est ce qui est fait, ce qui est mis en jeu par un individu avec ses propres déterminants et dans un contexte donné pour effectuer la tâche. L'activité est finalisée par le but que se fixe lui-même l'individu à partir du but de la tâche, prescrit extérieurement. Cette activité de l'individu ne se réduit pas au comportement observable, mais inclut aussi l'activité intellectuelle ou mentale (Falzon, 2004), le vécu émotionnel et subjectif (Darses et De Montmollin, 2012, p. 51).

Aujourd'hui, l'analyse de l'activité dépasse largement le cadre de la seule ergonomie du travail (Darses, 2016). Les nouvelles technologies, notamment, sont de plus en plus étudiées par le prisme de l'analyse de l'activité (voir par exemple Brunet, 2014) et d'autres contextes que ceux du travail sont également investigués, avec des perspectives plus centrées sur l'individu et moins tournées vers l'organisation. Selon Darses (2016) ces changements impactent la conception première de l'analyse de l'activité, basée sur un couplage tâche/individu : l'individu, dans son usage quotidien des technologies est aussi le prescripteur de sa propre tâche, et le dispositif utilisé pour la mener à bien prend une place centrale dans l'analyse, en tant que composante du système humain-machine. Ceci implique d'ouvrir l'analyse de l'activité à d'autres méthodes telles que la mesure de l'utilisabilité (Brangier et Bastien, 2010) ou encore la prise en compte de l'expérience vécue de l'utilisateur (Cahour, Salembier, Zouinar, 2016).

Dans le cadre de cette thèse, nous nous intéressons plus spécifiquement à des activités situées, en ce qu'elles sont prises dans des environnements et situations précises qui orientent l'activité des individus. Ainsi, même si les trajets en environnements virtuel et naturel sont imposés aux participants dans le cadre de nos études, les situations vécues par chacun d'eux, les événements survenant dans l'environnement sont uniques et impactent leur activité et leur façon de penser la situation. En ce sens, l'activité ne peut jamais être totalement planifiée par les individus et revêt souvent un caractère opportuniste (Suchman, 1987). Les détails, qui constituent la matière même de l'activité, réclament de fait d'être pris en compte (Falzon, 2004). L'activité des individus au cours de la navigation piétonne est également située dans cet environnement et dépend d'une multitude d'informations extérieures fournies par l'aide à la navigation, mais aussi par le contexte (les panneaux, les configurations, le trafic, les autres piétons etc.). Le cadre théorique de la cognition située (Clancey, 1997), reconnaît ainsi que toutes les pensées et actions humaines sont adaptées à l'environnement et dépendent de la situation, en ce que les personnes le perçoivent, se le représentent et y agissent physiquement.

Nous allons maintenant aborder les méthodes utilisées dans cette thèse pour investiguer l'activité de navigation piétonne en contexte avec une aide technologique. Nous nous appuyerons à la fois sur des méthodes quantitatives et qualitatives pour analyser l'activité piétonne assistée (études 2 et 3). Nous présenterons également rapidement les méthodes par questionnaire utilisées dans la première et la quatrième étude de cette thèse.

2- Articulation des méthodes

Le tableau 3 présente les différentes méthodes mises en œuvre dans cette thèse afin de répondre aux 4 questions de recherche établies dans le chapitre précédent, et ce au travers des 4 études détaillées dans la suite de cette thèse. Nous allons ici introduire ces différentes méthodes et leur complémentarité.

Objectif de l'étude	Méthode
Etude 1 : questionner les usages de la mobilité piétonne et des aides à la navigation	Questionnaire
Etude 2 : comparer des instructions de guidage pas-à-pas pour orienter des piétons en environnement urbain virtuel selon leur âge, leur genre et la modalité sensorielle utilisée	Tâches de navigation en environnement virtuel Mesures de performance Tests cognitifs et questionnaire d'autoévaluation Tâche de rappel du trajet Entretiens
Etude 3 : investiguer plusieurs dispositifs technologiques innovants basés sur des différentes modalités sensorielles pour guider des piétons âgés en contexte urbain naturel	Tâches de navigation en environnement naturel Mesures de performance Enregistrement de données d'utilisation Enregistrement vidéo Tâche de rappel du trajet Entretiens d'explicitation
Etude 4 : questionner l'acceptabilité à priori d'aides à la navigation futuristes	Questionnaire

Tableau 3 : méthodes utilisées dans chaque étude de cette thèse.

Dans le cadre de cette thèse, nous cherchons à prendre en compte l'efficacité et l'expérience utilisateur pour évaluer finement le recours à certains types d'informations de guidage et l'utilisation d'aides technologiques à la navigation piétonne auprès de personnes âgées. Nous mobiliserons pour cela des tâches de navigation au cours desquelles les participants seront guidés par des informations de navigation et des prototypes d'aides technologiques. Afin d'assurer leur sécurité, ces tâches auront lieu dans des environnements virtuels ou dans des environnements urbains relativement calmes en présence de l'expérimentateur qui pourra prévenir toute prise de risque. Les données quantitatives liées à la performance de navigation au cours de l'expérimentation (telles que le temps de parcours, le nombre d'erreur, etc.) seront enregistrées directement par le simulateur de navigation, ou par les prototypes applicatifs afin de dégager l'expérimentateur de ces questions. Ces tâches de navigation seront complétées par des tâches de rappel afin d'évaluer les connaissances spatiales acquises au cours du trajet, et par des entretiens se basant sur les techniques de l'explicitation, afin d'accéder à l'expérience vécue, au-delà de l'observable.

2.1- Tâches de navigation

Afin d'évaluer les performances et expériences utilisateurs associées à l'usage de différentes instructions de guidage ou d'aides à la navigation, deux choix peuvent être fait : d'une part, utiliser un environnement virtuel, sur simulateur (voir Anastassova et al., 2015 ; Giannopoulos et al., 2015 ; Kim et Dey, 2009 ; Smets et al., 2008 ; Walker et Lindsay, 2006), et d'autre part, proposer des tâches de navigation en environnement naturel (voir Chitarro et Burigat, 2005 ; Goodman et al., 2005 ; Rehrl et al. 2014 entres autres). Ces deux méthodes affichent des avantages et inconvénients relativement complémentaires.

2.1.1 – Tâches de navigation en environnement virtuel

Les récents développements de la réalité virtuelle permettent aujourd’hui une approche plus réaliste et globale de la cognition spatiale chez l’humain que les tests papier-crayon utilisés habituellement. Bien que la réalité virtuelle limite l’apport des sens kinesthésiques et vestibulaires à la navigation (Montello et Sas, 2006), les représentations spatiales construites dans un environnement virtuel semblent comparables à celles construites en environnement réel en termes d’estimation des distances et des directions (voir Ruddle et al., 1997). De plus, les performances de navigation et le sentiment de présence dans la tâche de navigation sont assez similaires aux performances et sentiments de présence en environnement naturel (Milleville-Pennel et Charron, 2015; Cushman, Stein, et Duffy, 2008), faisant de la réalité virtuelle une option intéressante pour l’étude de la navigation spatiale.

La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne de mener une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde artificiel, créé numériquement, qui peut être imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du monde réel (Fuchs, 2006). Les environnements virtuels permettent notamment de contrôler de nombreux paramètres de la situation, tout en assurant la sécurité des individus qui les utilisent (Smets et al., 2008). Ils permettent aussi la mesure fine de nombreux paramètres d’interaction (Smets et al., 2008), ce qui est difficile à mettre en œuvre dans un environnement réel. L’usage de tels dispositifs s’avère donc particulièrement intéressant pour la recherche en cognition spatiale, et notamment en navigation spatiale, tant dans des environnements virtuels peu réalistes de types labyrinthes (voir Moffat et Resnick, 2002) que dans des villes virtuelles réalistes (voir Dejos, 2013).

Cependant, la mise en œuvre d’études en environnement virtuel demande de s’intéresser à la validité écologique des environnements utilisés, à savoir le degré de similitude des comportements obtenus en condition expérimentale contrôlée et de ceux obtenus en environnement naturel (Tupper et Cicerone, 1990). Cette validité écologique dépend de la vérisimilitude, c’est-à-dire le degré avec lequel les demandes cognitives de la tâche ressemblent formellement à celles en environnement ordinaire (Franzen et Wilhelm, 1996) et la véridicalité, c’est-à-dire le degré avec lequel la tâche demandée correspond empiriquement à ce qui est mesuré lors du fonctionnement quotidien (Franzen et Wilhelm, 1996). Cette validité écologique peut être limitée dans le cas des tâches de navigation piétonne, compte tenu de la faible variabilité de la météo, de la complexité du monde naturel que les expériences sur simulateur réduisent, du rapport différent que les personnes peuvent avoir à la sécurité routière en simulateur, ou encore des difficultés de déplacement via joystick (Giannopoulos et al., 2015). Qui plus est, les individus auraient plus de difficultés à connaître leur position et leur orientation dans les environnements virtuels (Chen et Stanney, 1999) ceci étant potentiellement dû au fait que les environnements virtuels limitent les stimulations des sens kinesthésiques et vestibulaires (Montello et Sas, 2006).

Aussi, dans cette thèse, nous tirerons parti des possibilités offertes par les environnements virtuels pour étudier l’apprenabilité, la lisibilité, la compréhensibilité et l’acceptabilité d’instructions de guidage sollicitant diverses modalités sensorielles dans un contexte de navigation piétonne sécurisé. Nous mobiliserons également, et dans un second temps, des tâches de navigation en environnement naturel pour questionner l’utilisation de ces messages de guidage dans un cadre plus complexe et plus écologique, à travers le développement de prototypes d’aides à la navigation.

2.1.2 - Tâche de navigation en environnement naturel

Au contraire des études menées en environnement virtuel, les études de navigation en environnement naturel permettent d’observer les activités dans leur globalité (on prendra non seulement en compte la dimension cognitive de l’interaction avec l’aide à la navigation, mais aussi le sentiment de sécurité, la part physique de l’activité, etc.), et de manière peut-être plus réaliste (Pielot et Henze, 2009). La mise en place de telles études demande néanmoins de

travailler à la sécurisation et au confort physique des participants, afin de limiter les prises de risque vis-à-vis du trafic, mais aussi les risques de chute, de fatigue. Selon Walther-Franks et Malaka (2008), il convient de prêter une attention toute particulière à la conception des itinéraires de test en environnement naturel afin de ne pas contraindre les individus à une marche trop longue, de leur présenter des environnements de navigation variés mais néanmoins comparables et sécurisés, et de donner un sens réaliste à leur navigation. On s'attachera ainsi à proposer des itinéraires composés d'un nombre similaire de changements de direction et de traversées de rue, et dans des environnements relativement sécurisés, tels qu'un parc (Aslan et al., 2006), un centre-ville historique (Walther-Franks et Malaka, 2008) ou encore un campus universitaire (Goodman et al., 2005). Dans le cadre de cette thèse, nous proposerons aux participants des itinéraires en environnement naturel similaires sur le plan du nombre de changements de direction, car c'est là l'objet principal des aides à la navigation. Ces itinéraires auront lieu dans le quartier du 13^e arrondissement de Paris, dans des zones semi-piétonne (Butte aux Cailles, cité florale) ou présentant assez peu de trafic routier en journée (zones résidentielles).

Dans la plupart des études dédiées aux aides à la navigation piétonne présentées dans le chapitre 3 de cette thèse, et mettant en œuvre des tâches de navigation en environnement naturel, les participants sont accompagnés d'un ou plusieurs expérimentateurs. Les buts de la présence de l'expérimentateur sont multiples : prendre des notes (Walther-Franks et Malaka, 2008), récolter des verbalisations ou interroger le participant en cours d'activité (Wenig et al., 2017), filmer l'activité du participant (Mulloni et al., 2011), lui envoyer des données de navigation à distance (Aslan et al., 2006 ; Wenig et al., 2017) ou encore prendre garde à sa sécurité vis-à-vis du trafic (Bertel et al., 2017). Dans cette thèse, l'expérimentateur aura pour rôle principal d'assurer la sécurité du participant en environnement naturel, en le suivant à faible distance, afin de prévenir toute traversée de rue dangereuse. Il aura également pour mission de mémoriser les verbalisations en cours d'activité, de monitorer que les indications de guidage sont bien fournies au participant par le prototype d'aide à la navigation, et de capter par vidéo l'activité de navigation dans son contexte, grâce à un dispositif main libre de type Go Pro, afin d'étudier a posteriori les situations dangereuses et situations de partage d'attention.

2.2- Mesures de performance

Afin de comparer l'efficacité de différentes aides à la navigation, et notamment l'efficacité de différentes instructions de guidage pas-à-pas sollicitant différentes modalités sensorielles, nous allons chercher à mesurer la performance des individus équipés de ces aides à travers des indicateurs quantitatifs. La prise en compte des performances de navigation relève, selon les auteurs, de diverses mesures plus ou moins clairement établies. Ainsi, sont généralement pris en compte le temps de parcours et la distance parcourue, à travers le temps de trajet total nécessaire pour aller d'un point A à un point B (comme le font par exemple Goodman et al., 2005; Jacob et al., 2012; Pielot et Henze, 2009; Rehrl et al., 2014; Rukzio et al., 2009), le temps de trajet entre deux intersections ou points caractéristiques de l'environnement (Giannopoulos et al., 2015; Rehrl et al., 2014), la distance totale parcourue pour atteindre la destination (Jacob et al., 2012; Pielot et Henze, 2009). Le nombre d'erreurs de navigation est également pris en ligne de compte dans une large part de la littérature, qu'il s'agisse de mauvaises directions empruntées (Rehrl et al., 2014; Rukzio et al., 2009) ou d'une déviation par rapport à l'itinéraire prévu (Chittaro et Burigat, 2005).

D'autres éléments sont aussi communément mesurés, mais avec des critères variables selon les auteurs. Il s'agit par exemple de la prise en compte des hésitations et désorientations. Ainsi, certains prennent en compte le nombre d'arrêts (Giannopoulos et al., 2015; Rehrl et al., 2014), sans indication de la durée de ceux-ci. D'autres caractérisent les hésitations et désorientations par un arrêt de deux secondes (Rümelin et al., 2011), de cinq secondes (Rukzio et al., 2009), voire encore de dix secondes (Pielot et Boll, 2010). Pour d'autres encore, un événement de

désorientation intervient lorsque la personne signifie qu'elle se sent perdue, ou lorsque l'expérimentateur ressent le besoin d'intervenir (Goodman et al., 2005). Chittaro et Burigat (2005) mesurent, quant à eux, le temps nécessaire au participant pour s'orienter correctement au départ ou suite à un arrêt.

Enfin, d'autres mesures sont plus rarement prises en considération. Il s'agit par exemple de la vitesse de marche absolue (Pielot et Henze, 2009) ou encore de la vitesse de marche relative, par rapport à la vitesse de croisière sans aide à la navigation (Li et al., 2014). Le partage de l'attention entre la route et le dispositif testé est également parfois mesuré à travers le nombre d'interactions ou le temps d'interaction total avec l'aide au cours du trajet (Giannopoulos et al., 2015; Pielot et Henze, 2009; Rukzio et al., 2009) ou encore le nombre de « presque-accident », c'est-à-dire que une personne naviguant avec l'aide manque de peu de percuter une autre personne ou un élément de l'environnement (Pielot et Boll, 2010).

Pour effectuer ces mesures de performance, il existe plusieurs possibilités : prendre des notes, chronométrer les temps de parcours ou les hésitations sur le vif, au moment même de l'activité, ou bien s'appuyer sur des données enregistrées et traitées à posteriori. L'utilisation des environnements virtuels offre la possibilité de recueillir aisément des types de données qui pourront être utilisées à la mesure de performance à posteriori. Ainsi, on s'appuiera par exemple sur les mouvements du joystick pour déterminer le moment de début et de fin de parcours, on prendra en compte le nombre d'indication de demi-tours envoyés par la simulation au participant pour connaître le nombre d'erreurs de navigation.

De la même manière, si les études menées en environnement naturel relatives à l'usage d'aides à la navigation piétonne impliquent parfois des dispositifs commerciaux (voir par exemple Pielot et Boll, 2010), la plupart font appel à des applications pour PDA (jusque dans les années 2010) ou smartphone développées par les chercheurs eux-mêmes. Ce développement, dans le cas des études qui nous intéressent, est un moyen de proposer des fonctionnalités innovantes aux participants tout en recueillant certaines données d'utilisation. Ces données d'utilisation sont variées et seront utiles à la mesure des performances : position GPS (Strachan et al., 2005 ; Rehl et al., 2014), nombre et qualité des interactions avec l'interface du téléphone (Chittaro et Burigat, 2005 ; Stark et al., 2007), temps d'usage de l'application (Mulloni et al., 2011), orientation du téléphone (Jain et al., 2015), voire l'ensemble des log d'usage (Pielot et al., 2012). Cette collecte de données par l'aide à la navigation en situation d'usage permet d'accéder à des éléments de l'activité qui ne peuvent pas toujours être observés finement et pris en note par l'expérimentateur (interaction avec l'aide, adéquation du message de guidage avec l'environnement au moment où il est fourni au participant etc.). De la même manière que pour les tâches de navigation en environnement virtuel, ces données enregistrées, de même que les données vidéos, constituent un bon moyen de quantifier la performance de navigation, le partage d'attention, etc. Elles doivent néanmoins être complétées par des observations ou des entretiens post-activités pour comprendre l'activité dans son ensemble. Elles peuvent aussi être parfois un support à des entretiens (Bhavnani et al., 2017, Cahour et al., 2016) afin de mieux cerner les usages des technologies.

Dans cette thèse, nous utiliserons les deux indicateurs les plus communément admis pour la mesure de la performance de navigation en environnement virtuel comme en environnement naturel: le temps de parcours et le nombre d'erreurs (c'est-à-dire quand la personne n'emprunte pas la direction indiquée par l'aide à la navigation). Nous utiliserons aussi les données enregistrées en environnement naturel et l'enregistrement vidéo pour mesurer les moments où l'attention n'est pas portée à l'indication de guidage (nombre de fois où l'indication est rejouée pour être convenablement perçue, arrêt du piéton dans une zone inadéquate ou prise de risque). Nous ne prenons pas en compte la vitesse de marche car celle-ci est contrainte en environnement virtuel, et très variable en environnement naturel. D'autres mesures, par questionnaires ou par tests seront également réalisées, afin d'éclairer ces performances de

navigation.

2.3- Tests cognitifs et questionnaires d'autoévaluation

Le recours aux tests dits « papier-crayon » permet de mesurer finement certains processus cognitifs et, bien que cette thèse ne cherche pas à évaluer finement les différents processus cognitifs impliqués dans la navigation spatiale, certaines mesures nous semblent néanmoins pertinentes au vu des tâches de navigation dans lesquelles les individus sont impliqués. On mesurera ainsi les capacités de rotation mentale des participants (Vandenberg et Kuse, 1978), afin d'identifier un éventuel lien entre ces habiletés visuo-spatiales et les performances de navigation avec aides technologiques ou carte papier.

On utilisera également plusieurs questionnaires d'auto-évaluation des capacités d'orientation. On mobilisera en particulier certains items du *Santa Barbara Sense of Direction Scale* (SBSoD) (Hegarty et al., 2002) et le *Questionnaire on Spatial Representations* (QSR) (Pazzaglia et De Beni, 2001). Ces deux questionnaires, s'ils sont basés sur les déclarations des individus, diffèrent toutefois des questionnaires présentés plus loin dans ce chapitre en ce qu'ils sont validés par la communauté scientifique et largement utilisés dans la littérature. Ils reposent tout deux sur l'auto-évaluation du sens de l'orientation en général, le SBSoD s'intéressant davantage aux aspects émotionnels liés à la navigation (confort, stress etc.) et le QSR aux types de représentations spatiales qui sont mobilisées (repères, itinéraires ou configurations). Ces questionnaires nous permettront notamment de questionner le lien entre les performances de navigation mesurées objectivement par des indices classiques de type temps et erreurs, et les capacités d'orientation perçues par les individus eux-mêmes directement.

2.4- Tâches de rappel et de reconnaissance

Compte tenu des limites supposées des aides à la navigation pour la construction de représentations spatiales de l'environnement (Pielot et Henze, 2009), nous chercherons également à quantifier l'acquisition de ces connaissances spatiales. Pour cela, il existe différentes tâches de rappel et de reconnaissance, différant selon le type de connaissances spatiales considéré (repères, itinéraires ou configurations). Les tâches reconnaissances s'intéressant aux repères consistent le plus souvent en des tests de rétention visuelle, par la sélection d'images issues de l'environnement. Il est demandé aux participants de sélectionner, dans un temps limité ou non, les images qu'ils pensent avoir rencontrées parmi un ensemble d'images (Xu et al., 2014 ; Giannopoulos et al., 2015).

Les tests de reconnaissance relatifs aux connaissances de type itinéraire consistent, pour leur part, à remettre un ensemble d'images dans leur ordre temporel d'apparition au cours du trajet (Giannopoulos et al., 2015), ou à associer à des images en perspective égocentrée avec les directions empruntées (Aslan et al., 2006; Pielot et Boll, 2010).

Enfin, les tests relatifs aux connaissances de type configurationnel proposent aux participants de retracer la route empruntée sur une carte ou sur feuille libre (Pielot et Boll, 2010), ou encore de replacer les points de repères dans une perspective allocentrée. Aslan et al. (2006).

Dans le cadre de cette thèse, et compte tenu de l'importance des repères et stratégies égocentrées pour la navigation piétonne des personnes âgées et des difficultés rencontrées traditionnellement avec les stratégies allocentrées, nous ne nous intéresserons pas aux connaissances configurationnelles, mais plutôt aux repères et aux itinéraires. Nous mobiliserons des tests de reconnaissance et d'ordonnement de repères de l'environnement virtuel, à travers des photos (étude 2). Nous mobiliserons également une tâche de rappel libre de l'environnement naturel, plutôt que des photos de celui-ci (étude 3). En effet, il nous semble plus riche et évolutif que l'environnement virtuel (zones de travaux, changements en fonction des moments de la journée) et donc difficile de contraindre le rappel à la reconnaissance d'un nombre limité de photos.

2.5- Entretiens d'explicitation

Comme nous l'avons vu dans le chapitre 4, il existe plusieurs techniques d'entretien visant une compréhension globale de l'expérience utilisateur et de l'activité dans son ensemble, parmi lesquelles figure l'entretien d'explicitation (Cahour, Salembier, Zouinar, 2016). La technique de l'entretien d'explicitation a été développée par Vermersch (1994). Elle s'intéresse à la verbalisation du flux de ce qui a été perçu, pensé, ressenti ou encore fait par les individus à des moments précis de l'activité (en l'occurrence, des moments du trajet piéton équipé d'une aide à la navigation). Le participant est invité à donner un maximum de détails sur le « comment » de son expérience, en évitant d'analyser le « pourquoi » : on cherche par-là à être au plus près de son vécu réel (Obrist et al., 2014).

Pour cela, il est nécessaire que le participant soit en état d'évocation (Vermersch, 1994), c'est-à-dire que le souvenir de la situation questionnée lui revienne et soit vivace pour lui. L'entretien d'explicitation s'appuie pour cela sur un mode de questionnement particulier et notamment sur des relances non-inductives (Cahour, Salembier, Zouinar, 2016), soit de type synchrone, qui visent à approfondir un moment vécu (par exemple « - j'ai regardé à droite - quand vous avez regardé à droite, qu'avez-vous vu ? ») ou étendre à d'autres dimensions du vécu (par exemple « Et quand vous avez fait ça, est-ce qu'il y a des pensées qui vous traversaient l'esprit ? »), et des relances de type diachroniques, afin d'approfondir l'enchaînement des actions, l'évolution des pensées, sentiments etc. (par exemple « et juste après, qu'est-ce qui s'est passé pour vous ? »).

En questionnant l'activité telle que vécue, en évitant d'induire les réponses des participants à travers des questions fermées, on peut accéder à la richesse de l'expérience. On se prémunit également d'un certain nombre de biais d'acquiescement (Février et al., 2011) qui sont parfois à l'œuvre, notamment chez les participants âgés. Aussi, l'entretien d'explicitation est une technique qui permet de recueillir des données riches sur l'expérience utilisateur, et qui, bien que difficile à maîtriser (Cahour Salembier, Zouinar, 2016), a été utilisée dans de nombreuses études relatives aux technologies innovantes par le passé avec succès (voir par exemple Obrist et al., 2014 ; Light, 2006 ; Cahour et Salembier, 2012).

Dans cette thèse, nous questionnerons l'acceptabilité des messages de guidage (étude 2) à travers de courts entretiens basés sur les principes de l'explicitation (choix de moments significatifs de l'activité de navigation en environnement virtuel, questionnement des pensées, actions, émotions). Pour l'étude 3, nous questionnerons également, à travers des entretiens d'explicitation, la richesse de l'expérience utilisateur au cours de l'activité de navigation en environnement naturel aidée de prototypes de guidage développés pour l'occasion.

2.6- Questionnaires

L'objectif de cette thèse est, comme nous l'avons écrit dans le chapitre 5, d'accéder à des connaissances relatives aux conditions d'utilisation des aides à la navigation pour les piétons âgés. Nous nous intéressons pour cela à l'activité située de navigation, et mobilisons plusieurs méthodes qualitatives et quantitatives afin d'étudier les interactions humain/machine sous leurs différents aspects (perceptif, cognitif, émotionnel, etc.). Nos travaux demandent toutefois de prendre en considération les usages actuels des personnes âgées quant à leur mobilité piétonne (voir étude 1) afin de proposer des dispositifs qui puissent répondre à ces logiques d'usage. Ils demandent également de questionner l'acceptabilité de tels dispositifs, au-delà de l'aspect des aides proposées au travers de nos expérimentations (voir étude 4). Ces questions, pour être adressées, demandent un large nombre de réponses, c'est pourquoi nous ferons également appel à des méthodes par questionnaire.

L'usage de questionnaires dans cette thèse a donc une double visée : d'une part, une visée d'acquisition de connaissances sur une large population et ses habitudes pour l'étude 1 (Juan, 1986 ; Schweyer, 2000). D'autre part, une visée plus prospective, traditionnellement utilisée dans les champs de la conception ou du marketing pour l'étude 4 (Nelson, 2011 ; Hanington,

2003). Conscients des limites de cette méthode, telles que l'usage de questions fermées (Juan, 1986), la faible propension des répondants à se projeter effectivement dans un scénario d'usage innovant (Nelson, 2011), elle nous semble néanmoins complémentaire et intéressante pour accéder à ce qui va au-delà des interactions homme/machine telles que considérées dans cette thèse (notamment des systèmes futuristes), et pour mettre en lumière les différences qui peuvent exister entre notre population cible (les personnes âgées) et les autres répondants.

Nous avons abordé, dans ce chapitre, les méthodes mobilisées dans cette thèse. Nous développerons plus précisément chacune d'elle, telle que mise effectivement en œuvre dans chacune des études, au cours des chapitres suivants.

Synthèse

- Cette thèse s'intéresse aux éléments susceptibles de soutenir l'utilisation d'aides technologiques à la navigation piétonne auprès de personnes âgées et d'analyser celles qui sont les plus appropriées. Les instructions de guidage pas-à-pas sont particulièrement étudiées, auprès de piétons plus ou moins âgés, et avec comparaisons de plusieurs modalités sensorielles de délivrance des messages de guidage et de plusieurs médiums technologiques.
- Cette thèse s'inscrit dans les cadres théoriques de la psychologie ergonomique centrée sur l'analyse de l'activité, et de la cognition située. Elle s'inspire aussi de la psychologie cognitive.
- Son objectif principal est de caractériser sur les plans perceptifs, cognitifs et émotionnels les interactions entre des personnes âgées et différentes aides technologiques innovantes à la navigation piétonne.
- Nous mobilisons pour cela des méthodes quantitatives et qualitatives complémentaires issues des champs disciplinaires de la psychologie cognitive et de la psychologie ergonomique.

PARTIE EMPIRIQUE

CHAPITRE 7 – Etude 1 : En savoir plus sur la mobilité quotidienne des personnes âgées

Ce chapitre vise à mieux comprendre la mobilité piétonne et les usages des aides à la navigation aujourd’hui par les personnes âgées, et notamment leurs spécificités par rapport aux personnes plus jeunes, afin de tenir compte des usages actuels de la marche et des aides à la navigation pour la mise en œuvre de dispositifs de guidage répondants aux besoins des personnes les plus âgées. Nous aborderons également les différences potentielles entre hommes et femmes dans les pratiques quotidiennes de mobilité piétonne.

1- Objectifs de l’étude

Cette étude par questionnaire vise à répondre à la première question de recherche de cette thèse (voir chapitre 5), à savoir « quels sont les usages, motifs et limites à la mobilité piétonne et à l’usage d’aides à la navigation par les personnes âgées aujourd’hui ? ». Cette question nous semble en effet être capitale pour comprendre l’utilité que peuvent avoir les aides technologiques à la navigation piétonne pour les personnes âgées. Les différences entre hommes et femmes seront également abordées. Nous chercherons plus spécifiquement à questionner, dans une perspective de comparaison entre les répondants âgés et les répondants plus jeunes et entre les hommes et les femmes :

- la place de la marche dans la mobilité des personnes en général,
- les motifs, les objectifs de la marche quotidienne,
- les motivations ou contraintes qui font que la marche est utilisée plutôt qu’un autre mode de déplacement,
- les zones dans lesquelles se pratique cette activité,
- et les éventuels recours à des aides à la navigation pour se rendre dans des lieux inconnus.

Notre objectif, à travers cette étude, est pluriel. Nous cherchons à mettre en valeur les utilités et besoins potentiels d’aides à la navigation technologiques pour les personnes âgées, en lien avec leurs pratiques réelles. Nous cherchons également à mettre en valeur les spécificités du comportement des personnes âgées, afin d’en tenir compte dans les recommandations pour la conception d’aides à la navigation piétonne pour ce public. Enfin, nous cherchons dans ce travail à acquérir des données et des motifs de réflexion pour une ouverture de nos travaux vers d’autres publics, notamment plus jeunes, motifs qui seront discutés dans la dernière section de cette thèse.

2- Méthodologie

2.1- Population

691 personnes ont pris part à cette étude par questionnaire⁴, parmi lesquelles 281 hommes (40,1%) et 410 femmes (59,9%). L'âge moyen des répondants est de 38,5 ans (SD = 16,9). Les répondants sont majoritairement cadres (30%) ou étudiants (27,4%). On comptabilise également 93 répondants retraités (13,5%), âgés de 60 à 79 ans (M = 68,7 ans ; SD = 4,4) qui sont au cœur de nos analyses. Parmi ces 93 répondants retraités, on trouve 49 hommes (52,7%) et 44 femmes (47,3%).

2.2- Questions posées

Ce premier questionnaire se composait de 12 questions relatives aux habitudes de mobilité et d'utilisation des aides à la navigation et de 4 questions d'information générale (genre, CSP, année de naissance et code postal). Ce questionnaire est présenté en annexe 1 de cette thèse. Plus précisément, il se composait de questions relatives à :

- La fréquence de déplacements, tous modes de transport confondus (2 questions)
- La fréquence de déplacements à pied (2 questions)
- Les motifs et buts des déplacements à pied (2 questions)
- Les motivations à la pratique de la marche à pied (1 question)
- Les types d'espaces fréquentés à pied (1 question)
- Les déplacements à pied dans des lieux inconnus (3 questions)
- L'utilisation d'aides à la navigation piétonne dans les lieux inconnus (1 question)

La plupart des questions proposait aux participants de cocher une ou plusieurs réponses parmi une liste de propositions. Deux questions numériques consistaient à évaluer le temps de déplacement moyen par jour tous mode de déplacement confondus, ou à pied.

2.3- Procédure

Cette étude s'est déroulée sous la forme d'un questionnaire disponible en ligne (plateforme typeform.com) et distribué également en version papier, afin de toucher plus facilement des répondants âgés. Le questionnaire était accessible pendant 2 mois. Il a été diffusé sur les réseaux sociaux, sur des listes de diffusion, et dans l'entourage personnel des chercheurs.

Avant le début du questionnaire, un texte présentait les objectifs de l'étude et le temps approximatif nécessaire pour répondre. Deux cartes cadeau d'une valeur de 30€ étaient proposées au tirage au sort afin de favoriser l'engagement des répondants.

2.4- Analyse des données

Pour chaque question basée sur une liste de choix, des pourcentages de réponses ont été calculés, et des analyses Chi² de Pearson ont été menées afin de comparer les réponses des personnes retraitées aux réponses des autres participants. Les questions reposant sur des réponses numériques (temps de déplacement) ont été analysées par ANOVA.

⁴ Les questionnaires des études 1 et 4 de cette thèse ont été diffusés auprès des mêmes participants. Aussi, on retrouve parmi la population des répondants de ces deux études un grand nombre de personnes identiques.

3- Résultats

L'ensemble des tableaux de répartition de données, sur lesquels reposent les analyses par χ^2 , est disponible en annexe 2.

3.1- Fréquence de déplacements tous modes confondus

Parmi l'ensemble des répondants, 71,3% (soit 493 sur 691) se déplacent tous les jours voire plusieurs fois par jour. Parmi les retraités, cette proportion tombe à 57%. Au contraire, 5,8% de l'ensemble des répondants se déplacent entre 0 et 4 jours par semaine (40 sur 691), et cette proportion monte à 22,6% chez les retraités (21 sur 93). Une analyse χ^2 de Pearson montre que, tous modes de transport confondus, les retraités se déplacent en moyenne moins souvent que les autres répondants $\chi^2(1,691)=55,6$ $p<.001$.

Des comparaisons relatives au genre ont été réalisées au sein de la population globale des répondants et au sein du groupe des retraités. Une analyse χ^2 de Pearson n'a pas permis de mettre en valeur de différence homme/femme au sein de ces deux groupes concernant la fréquence de déplacement.

Par ailleurs, une ANOVA Genre (2) x Groupe (2) montre un effet principal du groupe. Le temps de déplacement des retraités est inférieur à celui des répondants non-retraités $F(1,687)=3,89$, $p<.05$, $\eta^2 = .006$. Les personnes retraitées déclarent se déplacer plus de 87 minutes par jour (SD = 51,4), contre 74 minutes pour les retraités (SD = 49,2) (voir figure 20).

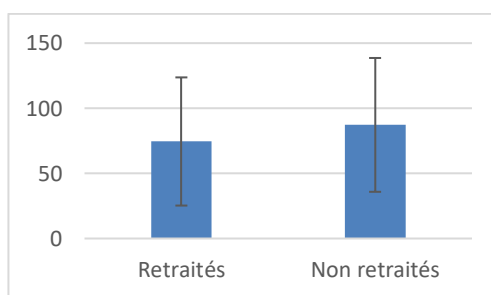


Figure 20 : temps moyen de déplacement en minutes, tous modes de transport confondus (les barres verticales représentent l'écart type).

On observe également un effet principal du genre. Les femmes se déplacent plus que les hommes au quotidien $F(1,687)=4,57$, $p<.05$, $\eta^2 = .006$. Les femmes déclarent se déplacer en moyenne 86,6 minutes par jour (SD = 54,7) contre 74,4 minutes chez les hommes (SD = 54,7). On n'observe pas d'interaction entre genre et groupe de participant.

3.2 – Fréquence de déplacement à pied

On observe que 51,7% des participants se déplacent à pied tous les jours, voire plusieurs fois par jour. Parmi les retraités, cette proportion tombe à 39%. Au contraire, 23% de l'ensemble des répondants se déplacent à pied entre 0 et 4 jours par semaine, et cette proportion monte à 39% chez les retraités. Une analyse χ^2 de Pearson montre que les retraités se déplacent en moyenne moins souvent à pied que les autres répondants $\chi^2(1,691)=15$ $p<.001$.

Des comparaisons relatives au genre ont été réalisées au sein de la population globale des répondants. Une analyse χ^2 de Pearson montre que les femmes se déplacent plus souvent à pied que les hommes tous groupes confondus $\chi^2(1,691)=4,2$ $p<.05$. Au sein du seul groupe des retraités, on ne peut mettre en valeur une telle différence liée au genre.

Considérant le pourcentage de temps consacré aux déplacements à pied parmi le temps total

de déplacement, une ANOVA Genre (2) x Groupe (2) montre un effet principal du groupe. La part de la marche dans le temps de déplacement total est plus importante chez les retraités que chez les autres participants $F(1,687)=13,4$, $p<.0005$, $\eta^2 = .02$. La marche représente en moyenne 56% du temps total de déplacement, avec une très grande variabilité inter-individuelle ($SD = 32,5$), contre 45% chez les non-retraités ($SD = 25,7$) (voir figure 21).

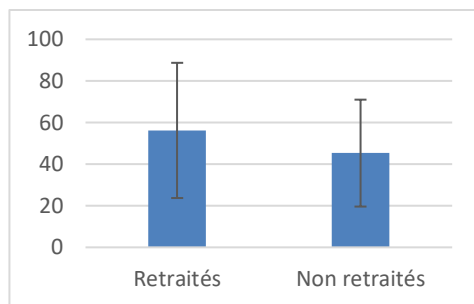


Figure 21 : Part de déplacement à pied dans le temps total de déplacement des répondants (les barres verticales représentent l'écart type).

L'analyse par ANOVA ne permet pas de mettre en valeur d'effet du genre, ni en principal ($p=0.9$), ni en interaction ($p=0.8$).

3.3- Motifs et objectifs des déplacements à pied

La figure 22 présente les différents motifs de déplacement à pied des répondants en fonction du groupe. Aller faire les courses quotidiennes est le motif de déplacement à pied le plus souvent sélectionné (par 74,2% des retraités et 71,9% des non retraités), devant le fait de faire la correspondance avec un autre moyen de transport (51,6% des retraités et 70,2% des non retraités), le fait d'aller à un RDV (49,5% des retraités et 47,3% des non retraités), et le fait de faire de la marche loisir (46,2% des retraités et 42,6% des non retraités). Viennent ensuite, chez les retraités, le fait de faire de la marche santé et aller à une activité de loisirs. Chez les non-retraités, viennent ensuite le fait d'aller à une activité de loisir ou au travail.

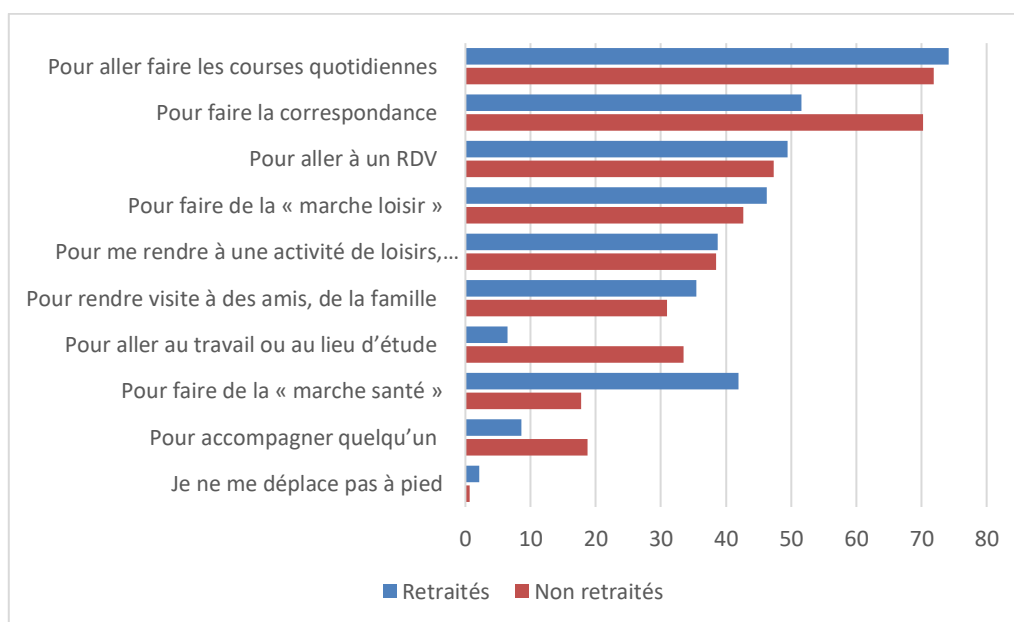


Figure 22 : pourcentage de réponses pour chaque motif de déplacement et pour chaque groupe (NB : les participants pouvaient sélectionner plusieurs motifs de déplacement).

Le motif de déplacement à pied le plus fréquent parmi tous les répondants est la correspondance avec un autre moyen de transport (pour 34,9% des répondants). Cependant, parmi le seul groupe des retraités, la marche santé et les courses quotidiennes sont les motifs les plus fréquents, à égalité (23,7% des répondants retraités) (voir figure 23), alors qu'il s'agit de faire la correspondance et d'aller au travail pour les non retraités.

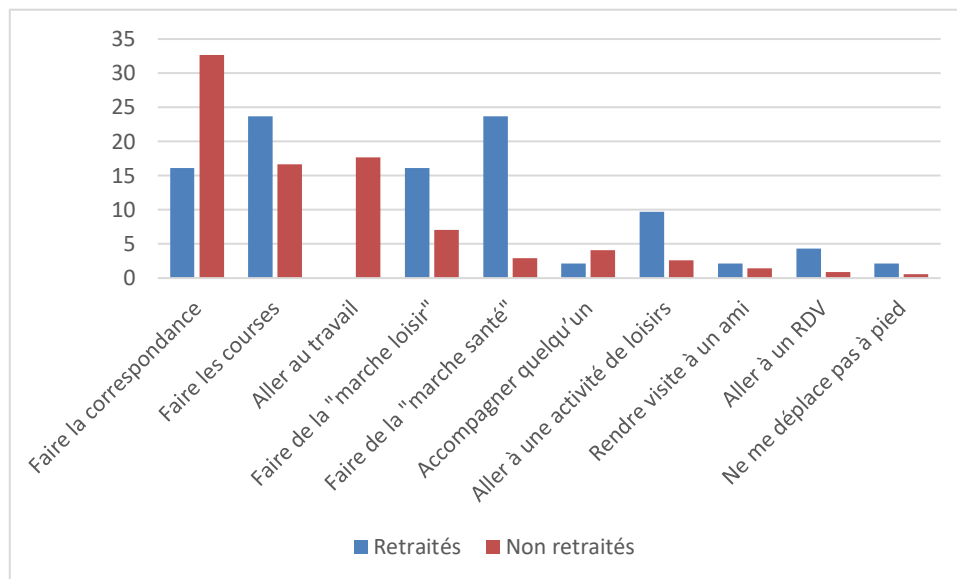


Figure 23 : pourcentages de répondants estimant chaque motif de déplacement comme étant le plus fréquent, en fonction du groupe (NB : un seul motif pouvait être choisi).

Les analyses Chi² menées sur ces données montrent que certains motifs de déplacement diffèrent entre les retraités et non-retraités. Ainsi, les retraités se déplacent moins à pied pour accompagner une personne $\chi^2(1,691)=5,75$ $p<.002$, pour aller sur leur lieu de travail ou le lieu d'étude (en toute logique) $\chi^2(1,691)=28$ $p<.001$, ou pour faire la correspondance avec un autre moyen de transport $\chi^2(1,691)=12,8$ $p<.001$. En revanche, les retraités marchent plus pour préserver leur santé que les autres groupes $\chi^2(1,691)=28,4$ $p<.001$.

Les analyses Chi² montrent aussi que les motifs principaux de déplacement diffèrent entre les retraités et non retraités, compte tenu de leur statut différent. Ainsi, les motifs orientés vers une marche avec une certaine pression temporelle sont moins fréquents chez les retraités. La correspondance avec un autre moyen de transport est moins souvent citée comme motif principal pour les retraités que pour les autres répondants $\chi^2(1,691)=16,6$ $p<.001$. De même, en toute logique, aller sur le lieu de travail ou le lieu d'étude n'est pas un motif de déplacement à pied fréquent pour les retraités alors qu'il l'est pour les non retraités $\chi^2(1,691)=23,04$ $p<.001$. En revanche, les motifs orientés vers une marche à moindre pression temporelle sont plus fréquents pour les retraités. Ainsi, la marche santé est plus importante pour les retraités que pour les autres répondants $\chi^2(1,691)=58,2$ $p<.001$, tout comme la marche loisir pour le plaisir de la promenade $\chi^2(1,691)=6,03$ $p<.02$, ou le fait de marcher pour se rendre à une activité de loisir $\chi^2(1,691)=9,53$ $p<.01$.

Des analyses ont également été menées quant au genre des participants. La figure 24 présente les différents motifs de déplacement à pied des répondants en fonction du groupe. Chez les femmes, faire la correspondance avec d'autres moyens de transport est le motif le plus cité (73,9%) devant aller faire les courses (71,7%), aller à un RDV (52,7%), faire de la « marche loisir » (46,3%), et se rendre à une activité de loisirs (41,9%). Chez les hommes, le motif le plus souvent cité est faire les courses quotidiennes (73%), devant faire la correspondance avec un autre moyen de transport (58,7%).

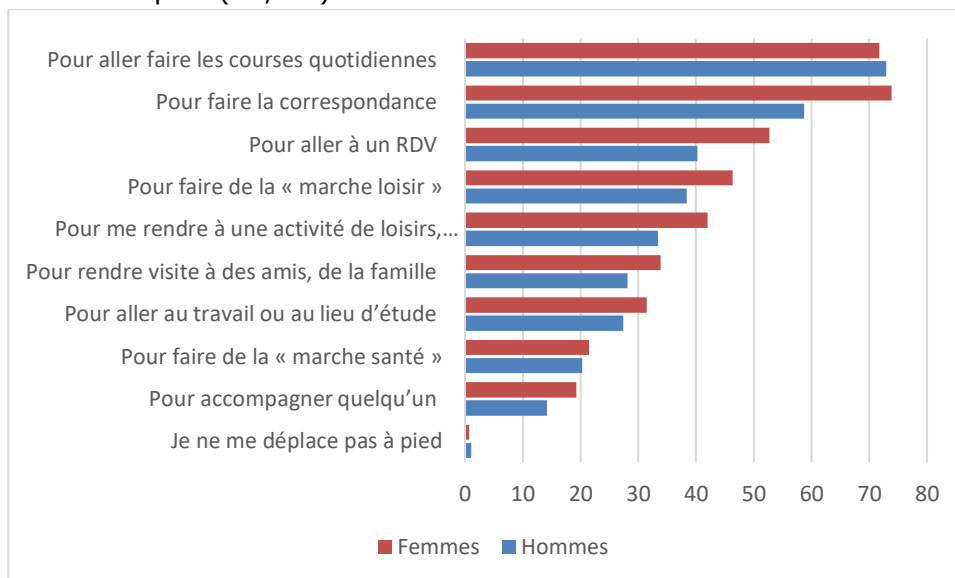


Figure 24 : pourcentage de réponses pour chaque motif de déplacement et pour chaque genre (NB : les participants pouvaient sélectionner plusieurs motifs de déplacement).

Le motif de déplacement à pied le plus fréquent parmi les hommes et les femmes est faire la correspondance avec un autre moyen de transports (respectivement 29,5% et 38,5%) (voir figure 25).

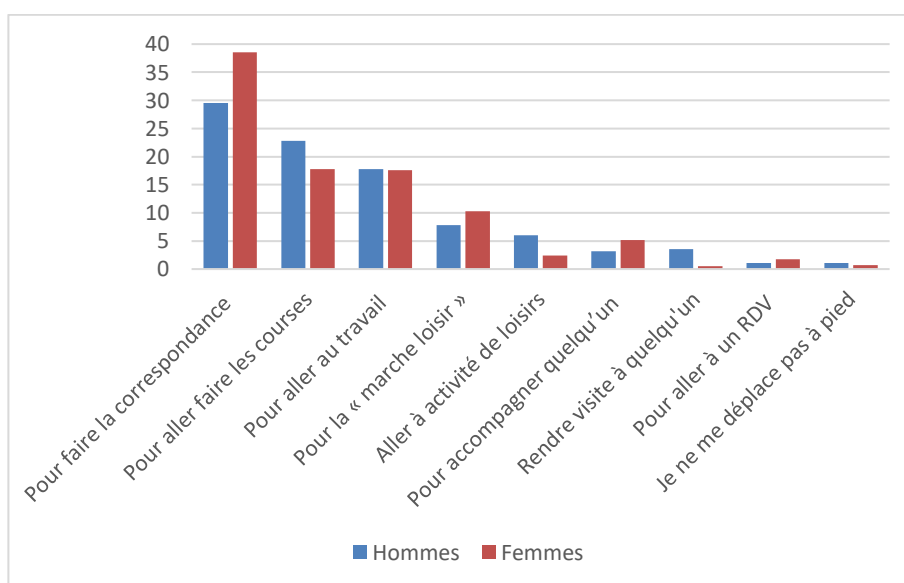


Figure 25 : pourcentages de répondants estimant chaque motif de déplacement comme étant le plus fréquent, en fonction du genre (NB : un seul motif pouvait être choisi).

Les analyses Chi² menées sur ces données montrent que certains motifs de déplacement diffèrent entre les hommes et les femmes. Ainsi, les femmes se déplacent plus souvent à pied

que les hommes pour se rendre à une activité de loisirs $\chi^2(1,691)=5,09$ $p<.002$, pour faire de la marche « loisir » $\chi^2(1,691)=4,25$ $p<.02$, pour aller à un RDV $\chi^2(1,691)=10,3$, $p<.01$ ou pour faire la correspondance avec un autre moyen de transport $\chi^2(1,691)=17,6$, $p<.001$. Concernant le fait de marcher en correspondance entre 2 moyens de transport, il s'agit d'un motif principal de déplacement à pied pour davantage de femmes que d'hommes $\chi^2(1,691)=5,9$, $p<.02$.

Concernant le genre parmi le seul groupe des retraités, les motifs principaux de déplacement à pied les plus répandus auprès des femmes sont : faire de la marche « loisir » (22,7%), faire de la marche « santé » (22,7%) et faire les courses (18,2%) (voir figure 26). Chez les hommes il s'agit de faire les courses (28,6%), faire de la marche « santé » (24,5%) et faire la correspondance avec un autre moyen de transport (20,4%). On n'observe pas de différence significative entre les hommes et les femmes.

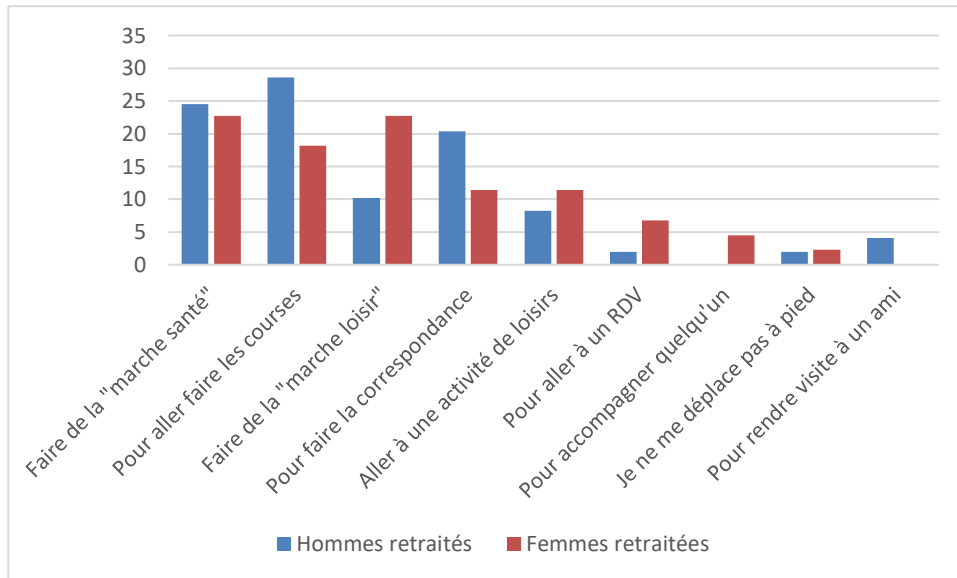


Figure 26 : pourcentages de répondants retraités estimant chaque motif de déplacement comme étant le plus fréquent, en fonction du genre (NB : un seul motif pouvait être choisi).

3.3- Motivations aux déplacements piétons

L'envie de marcher et la dimension pratique de la marche semblent les motivations les plus communément partagées par l'ensemble des participants (puisque citées respectivement par 51,7% et 51,5% d'entre eux). Les analyses Chi² sur les fréquences de chaque motivation montrent ainsi que les motivations à la marche diffèrent entre les retraités et non retraités (voir figure 27). Ainsi, la praticité et la rapidité de la marche sont moins souvent mises en avant par les retraités que par les groupes non-retraités $\chi^2(1,691)=5,93$, $p<.02$. De même, le bénéfice économique de la marche est moins souvent cité par les retraités $\chi^2(1,691)=7,95$, $p<.01$, tout comme le fait de ne pas avoir d'alternative $\chi^2(1,691)=7,35$, $p<.01$. La différence entre retraités et non-retraités concernant la dimension santé de la marche n'est pas significative.

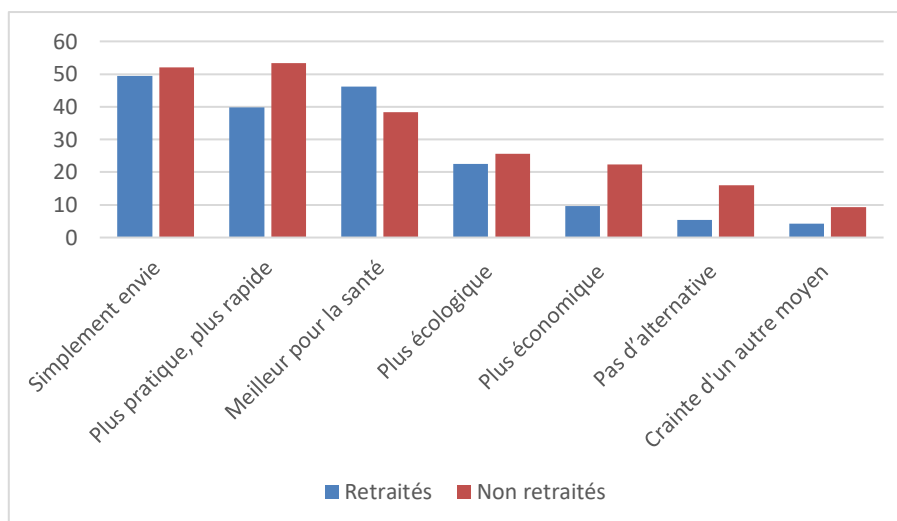


Figure 27 : pourcentages de sélection pour chaque motivation aux déplacements piétons en fonction du groupe (NB : les participants pouvaient sélectionner plusieurs items).

Des analyses relatives au genre des participants ont également été réalisées et ne permettent de mettre en valeur de différence significative ni parmi l'ensemble des répondants, ni parmi le seul groupe des retraités.

3.4- Environnements fréquentés à pied

Les zones urbaines denses sont les zones les plus souvent citées pour la pratique de la marche parmi tous les participants (puisque citées par 79,2% d'entre eux). Les zones péri-urbaines sont les plus fréquemment citées par les retraités (52,7%), juste devant les zones urbaines denses (50,5%) (voir figure 28). Les zones urbaines denses sont les plus fréquentées par non-retraités (83,6% d'entre eux). Ceci peut en partie s'expliquer par un recrutement à parité entre région parisienne et province pour le groupe des retraités, et davantage en région parisienne pour les non-retraités.

Les analyses Chi² montrent que les zones de pratique de la marche diffèrent entre les retraités et non retraités. Ainsi, les zones urbaines denses sont moins souvent citées par les retraités $\chi^2(1,691)=53.4$, $p<.001$. En revanche, les zones non urbaines non aménagées pour la marche (telles que les chemins de campagne) sont plus souvent citées par les retraités $\chi^2(1,691)=8,76$, $p<.01$, tout comme les zones urbaines peu denses ou péri-urbaines $\chi^2(1,691)=8.00$, $p<.01$.

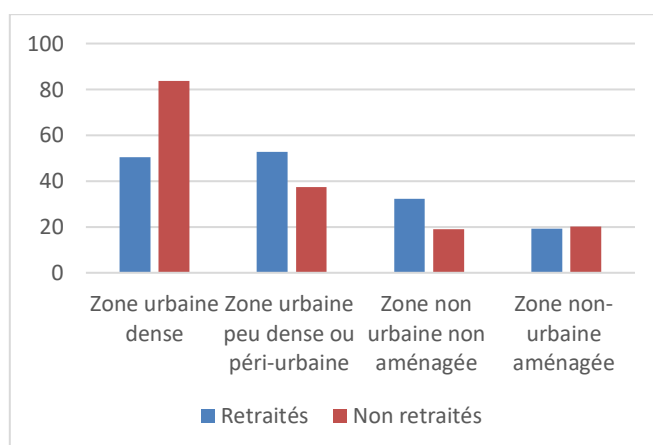


Figure 28 : Pourcentage de fréquentation de chaque type de zone lors de l'activité de marche en fonction du groupe (NB : les participants pouvaient sélectionner plusieurs zones).

Des analyses Chi² quant au genre des participants ont été également réalisées et permettent de mettre en valeur que les femmes déclarent fréquenter davantage les zones urbaines denses (76,6%) que les hommes (66,2%) $\chi^2(1,691)=9$, $p<.01$ (voir figure 29).

On retrouve également cette distinction au sein du groupe des retraités, avec les femmes retraitées qui déclarent fréquenter les zones urbaines denses à 65,9% contre 36,7% pour les hommes $\chi^2(1,691)=9$, $p<.01$.

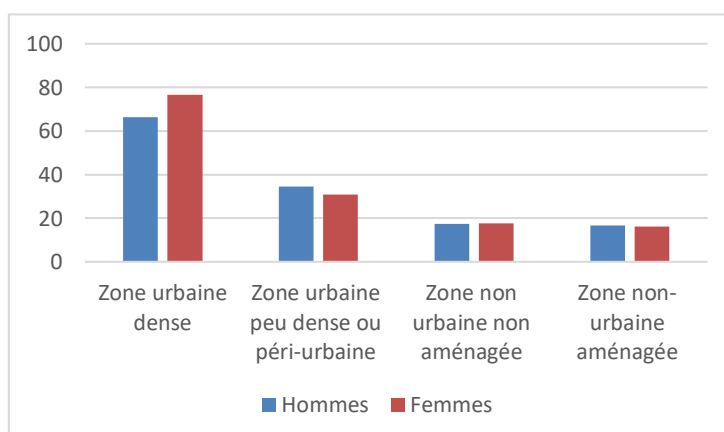


Figure 29 : Pourcentage de fréquentation de chaque type de zone lors de l'activité de marche en fonction du genre (NB : les participants pouvaient sélectionner plusieurs zones).

3.5- Déplacements à pied en environnement inconnu

En distinguant les personnes qui déclarent se déplacer parfois ou souvent dans des lieux inconnus à pied des personnes qui déclarent ne jamais avoir cette pratique, une analyse Chi² montre que les retraités sont plus nombreux à ne jamais se déplacer dans des lieux inconnus $\chi^2(1,691)=44,9, p<.001$. En effet, 13% des retraités disent ne jamais aller dans des lieux inconnus à pied, alors qu'ils ne sont que 1% parmi les autres répondants.

En considérant uniquement les 673 répondants qui se déplacent dans des lieux inconnus à pied, une analyse Chi² montre que les retraités se déplacent davantage dans des lieux inconnus pour des motifs de loisirs (tourisme ou randonnée) et moins pour des rendez-vous que les autres répondants $\chi^2(1,673)=12,6, p<.001$ (voir figure 30).

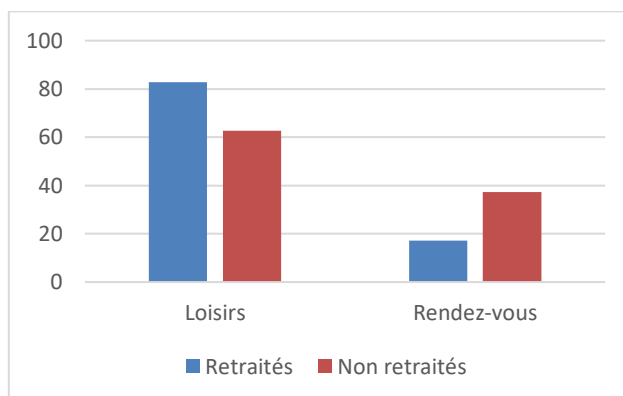


Figure 30 : Pourcentages des raisons principales à des déplacements en environnements inconnus à pied en fonction du groupe (NB : les participants ne pouvaient sélectionner qu'une raison principale).

On observe un effet du genre également, au sein du groupe des retraités, les hommes retraités se déplaçant davantage dans des lieux inconnus pour des motifs de loisirs (90,7%) que les femmes (73,7%) $\chi^2(1,81)=4.1, p<.05$.

Ces déplacements en environnement inconnu sont accompagnés d'au moins une personne pour 66,7% des retraités, contre 48,1% chez les autres répondants (voir figure 31). Une analyse Chi² montre que les retraités sont plus souvent accompagnés que les autres répondants quand ils se déplacent dans des lieux inconnus $\chi^2(1,673)=9,8, p<.01$.

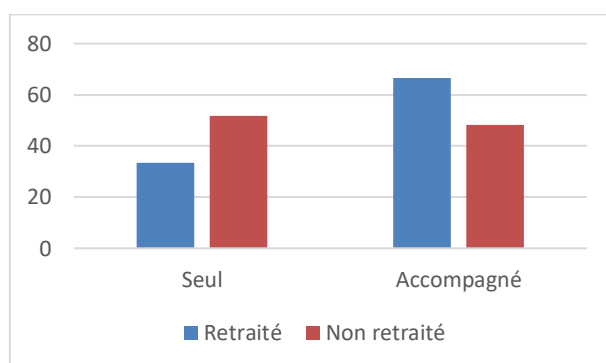


Figure 31 : Pourcentage de personnes accompagnées ou seules dans les lieux inconnus (NB : les participants ne pouvaient choisir qu'une réponse).

On observe un effet du genre également, au sein du groupe des retraités, les femmes retraitées se déplaçant davantage seules dans des lieux inconnus (47,4%) que les hommes (20,3%) $\chi^2(1,81)=6,3, p<.02$.

3.6- Utilisation d'aides dans les environnements inconnus

Parmi l'ensemble des répondants qui déclarent se déplacer à pied dans des environnements inconnus, ils sont 4% (soit 28 sur 673) à n'utiliser aucune forme d'aide pour trouver leur chemin. Cette part monte à près de 10% chez les retraités (8 sur 81). Une analyse Chi² montre que cette différence est significative $\chi^2(1,673)=7,5, p<.01$.

En considérant uniquement les répondants qui utilisent au moins une forme d'aide pour trouver leur chemin dans les environnements inconnus à pied (soit 645 sur 673), les solutions technologiques type GPS ou applications smartphone sont les aides qui sont le plus souvent citées (73,3%), devant le fait de préparer son trajet à l'avance (45,3%) ou d'utiliser une carte papier (22,8%).

Les analyses Chi² montrent que les moyens utilisés pour trouver son chemin dans les lieux inconnus diffèrent entre retraités et non retraités. L'usage d'une carte papier est plus répandu parmi les personnes retraités $\chi^2(1,645)=32,9, p<.001$, et l'usage d'une solution technologique est plus répandu chez les non-retraités $\chi^2(1,645)=16,7, p<.001$ (voir figure 32).

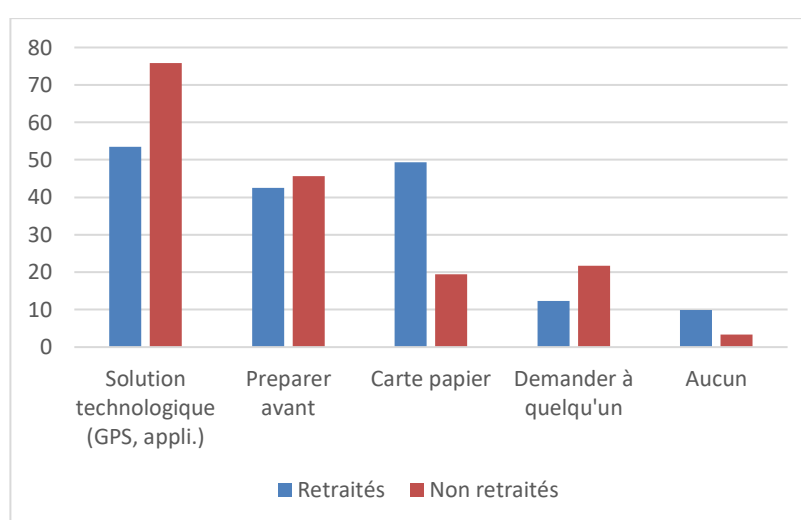


Figure 32 : pourcentage d'utilisation de chaque moyen pour trouver son chemin dans les lieux inconnus en fonction du groupe (NB : les participants pouvaient sélectionner plusieurs moyens).

Concernant les différences liées au genre, les femmes déclarent davantage préparer leur trajet à l'avance (43,6% d'entre elles) que les hommes (35,8%) (voir figure 33), $\chi^2(1,645)=4$, $p<.05$. Elles sont également plus nombreuses à demander leur chemin (22,6%) que les hommes (14,2%) $\chi^2(1,645)=7$, $p<.01$. On ne trouve pas de telles différences liées au genre au sein du seul groupe des retraités.

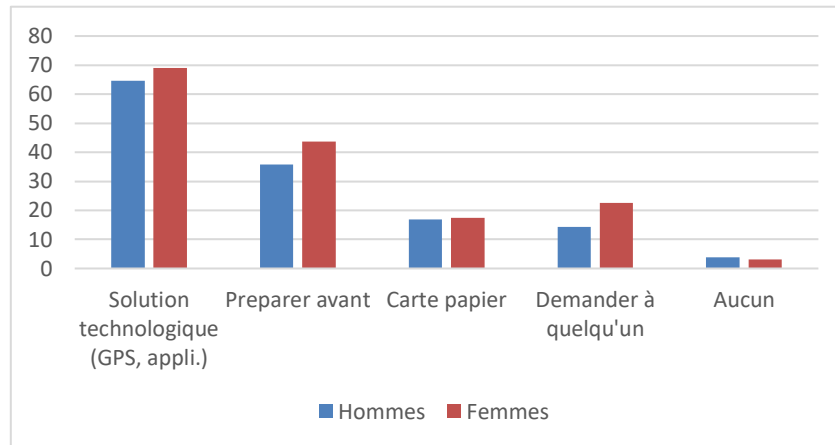


Figure 33 : pourcentage d'utilisation de chaque moyen pour trouver son chemin dans les lieux inconnus en fonction du genre (NB : les participants pouvaient sélectionner plusieurs moyens).

4- Discussion

Les résultats de cette première étude confirment et complètent ceux fournis par l'Enquête Nationale Transport et Déplacement de 2008 (CGDD, 2010). Ils permettent en effet de mettre en valeur les différences existantes entre les personnes âgées retraitées et le reste de la population en termes de mobilité piétonne. Nous observons ainsi que d'une part, les retraités se déplacent moins que le reste de la population, et d'autre part, que la mobilité piétonne occupe une plus grande part dans leurs déplacements quotidiens, ce qui souligne l'importance capitale de maintenir les capacités de mobilité piétonne chez les personnes âgées. On observe une grande variabilité dans les fréquences de déplacement parmi le groupe des retraités, qui se manifeste par des écarts-types importants. Cette variabilité est récurrente dans les études relatives aux personnes âgées. De surcroît, le groupe des retraités dans cette étude est hétérogène en âge, avec des participants âgés de 60 à 79 ans, ce qui peut accentuer les différences de pratique et la variabilité à l'intérieur de ce groupe. Ce questionnaire met aussi en valeur le fait que les femmes se déplacent davantage que les hommes, et plus fréquemment à pied.

Les motifs et motivations de déplacement à pied ne sont pas traités dans les études classiques du type Enquête Nationale Transport et Déplacement. Nos résultats montrent que les motifs de déplacement à pied diffèrent entre personnes retraitées/âgées et le reste de la population. Ils sont principalement tournés vers les loisirs, la préservation de la santé et les courses quotidiennes pour les retraités, alors qu'ils sont davantage sous pression temporelle pour les personnes non retraitées qui utilisent principalement la marche à pied pour se rendre sur leur lieu de travail ou d'études (correspondance avec d'autres moyens de transport, aller au travail, etc.). On retrouve cette distinction « personnes retraitées *versus* actives » dans les motivations à la pratique de la marche, la praticité et l'économie de coût de cette dernière étant mise en avant par les non retraités, tandis que l'aspect santé est le plus souvent cité par les retraités. Cette distinction « marche plaisir *versus* marche pour le travail » s'exprime également à travers des différences dans les zones géographiques fréquentées à pied : zones urbaines denses type centre-ville pour les non retraités *versus* zones urbaines, périurbaines ou zones non aménagées pour une pratique de marche de loisir pour les retraités.

Ces données sur les motifs et motivations à la pratique de la marche quotidienne doivent permettre de réfléchir aux informations à présenter au piéton dans son usage des aides à la navigation. Ainsi, des informations relatives aux points d'intérêts (noms de boutiques, informations historiques sur les bâtiments, biographie des personnes ayant donné leur nom à une rue, à un parc, etc.) sont plus susceptibles de susciter l'intérêt de personnes retraitées qui utilisent la marche à pied très souvent pour faire leurs courses ou se promener. De même, le nombre de pas effectués, le nombre de calories dépensées peuvent être des données susceptibles de stimuler l'activité piétonne des personnes retraitées. A contrario, fournir aux utilisateurs des informations sur le temps de parcours, les incidents ou obstacles en temps réel sur le trajet, ou l'interconnexion avec d'autres moyens de transports est susceptible d'être d'un plus grand recours pour les personnes actives non-retraitées.

Concernant la mobilité piétonne dans les lieux inconnus, on observe que les personnes retraitées s'aventurent moins dans des lieux qu'elles ne connaissent pas, par rapport aux autres répondants. Cette observation pourrait justifier l'utilisation d'aides à la navigation auprès de ce public afin de favoriser leurs déplacements et leur autonomie en contribuant à lever les barrières qui limitent l'usage de la marche à pied (au-delà des contraintes physiques liées à la marche). Si ce questionnaire ne permet pas d'identifier les causes qui limitent la mobilité des personnes retraitées dans les lieux inconnus, il nous éclaire toutefois sur le fait que les retraités vont dans des zones inconnues le plus souvent pour des motifs liés aux loisirs (tourisme ou promenade), et sont accompagnés d'une ou plusieurs personnes, au contraire des autres répondants. On observe également des différences liées au genre, la mobilité piétonne des hommes retraités en

environnement inconnu étant d'autant plus orientée vers les loisirs et pratiquée en groupe que celle des femmes retraitées. Ceci doit, encore une fois, nous permettre de réfléchir aux contenus fournis par les aides à la navigation (points d'intérêt, information temps réel sur la situation, etc.), et au mode de communication de ces informations en fonction du public cible. Ainsi, on cherchera davantage à privilégier des modes d'information qui laissent aux personnes la latitude de discuter avec les personnes qui les accompagnent dans le cas d'utilisateurs retraités/âgés (et masculins). On veillera également à limiter le partage attentionnel requis par les aides à la navigation afin de laisser l'opportunité aux utilisateurs âgés d'observer leur environnement librement. On mobilisera plus des mécanismes d'alerte ou d'interruption pour des personnes plus jeunes, dont la finalité est d'arriver rapidement à leur lieu de rendez-vous notamment ...

Aujourd'hui, pour trouver leur chemin à pied dans des lieux inconnus, les répondants retraités ont aussi tendance à utiliser légèrement moins d'aides (technologiques ou non) que les autres (10% des retraités n'utilisent pas d'aide, contre 4% chez les non-retraités). Ceci peut s'interpréter comme un manque d'aides adaptées aux besoins des personnes (Caradec, 2001) ou comme une plus grande confiance des répondants retraités dans leurs capacités d'orientation pour naviguer à pied en environnement inconnu.

Enfin, si, tous répondants confondus, les aides technologiques (GPS et applications smartphone) sont les solutions les plus utilisées aujourd'hui, on observe cependant que les non-retraités utilisent davantage les solutions technologiques que leurs aînés, qui utilisent pour leur part encore beaucoup les cartes papier, et ont tendance à demander leur chemin ou préparer leur itinéraire, en particulier chez les femmes retraitées. Ceci doit nous questionner sur la place et la familiarité des cartes dans la navigation piétonne des personnes âgées, qui constituent un point de comparaison intéressant pour évaluer l'intérêt des aides technologiques à la navigation.

Synthèse

- Les personnes retraitées se déplacent moins que le reste de la population, et dépendent davantage de la mobilité piétonne pour leurs déplacements quotidiens.
- Les femmes se déplacent également davantage à pied que les hommes, à la fois pour des motifs liés aux loisirs ou aux activités quotidiennes (rendez-vous, correspondance de transports).
- La mobilité piétonne des personnes retraitées est orientée vers les courses quotidiennes, les loisirs et la préservation de la santé, alors qu'elle est orientée vers des activités sous pression temporelle pour les autres répondants comme aller au travail à pied et faire des correspondances entre divers moyens de transport.
- Les personnes retraitées vont moins à pied dans des environnements inconnus que les autres répondants
- Quand les personnes retraitées vont dans des zones inconnues, il s'agit souvent d'activités de loisir (tourisme ou randonnée), accompagnées d'au moins une personne, d'autant plus quand il s'agit d'un homme.
- Les personnes retraitées utilisent moins d'aides à la navigation (qu'il s'agisse de cartes papier ou d'aides technologiques) que le reste de la population.
- Si les aides technologiques (GPS et applications sur téléphones intelligents) sont les aides les plus courantes, elles sont utilisées davantage par les personnes non retraitées. Au contraire, les personnes retraitées utilisent beaucoup les cartes papier.

CHAPITRE 8 – Etude 2 : Perception et compréhension d'instructions de guidage pas-à-pas en environnement virtuel : comparaisons inter-âges et multi-sensorielles

Ce chapitre vise à comparer différents messages de guidage pas-à-pas égocentrés auprès de piétons jeunes et plus âgés et délivrés sous différentes modalités sensorielles (vue, audition, toucher), afin d'identifier les messages les plus efficaces et les mieux acceptés pour la navigation, en dehors de toute autre contrainte liée à l'activité de marche. Fournir aux personnes âgées des informations de navigation faciles à apprendre, à percevoir, à comprendre dans un contexte urbain, et qui soient acceptables sur le plan personnel, nous semble en effet être un prérequis nécessaire à l'utilisation d'aides à la navigation technologiques en environnement naturel. Pour cette raison, cette étude s'est déroulée en environnement virtuel, afin de prévenir tout risque (chute, collision) qui pouvait intervenir du fait du recours à des instructions de guidage qui pouvaient éventuellement être sources de partage attentionnel ou de difficultés à être perçues et/ou interprétées par les personnes âgées.

1- Objectifs de l'étude

Cette étude⁵ vise à répondre à la deuxième question de recherche de cette thèse (voir chapitre 5), à savoir « par quelle(s) modalité(s) sensorielle(s) présenter des instructions de guidage pas-à-pas pour orienter des piétons en environnement urbain inconnu ? ». Pour répondre à cette question, nous réaliserons une étude sur simulateur avec comparaisons inter-âges et multi-sensorielles. Des comparaisons entre participants hommes et femmes seront également effectuées. Nous nous intéresserons notamment aux performances de navigation et à l'expérience utilisateur de trois types d'instructions de guidage pas-à-pas égocentrés auprès de piétons hommes et femmes plus ou moins âgés : un guidage visuel par flèches incrustées dans le champ de vision direct, un guidage auditif par sons pseudo-spatialisés, et un guidage haptique par bracelet vibrant, et cela en comparaison avec l'usage plus classique d'une carte papier.

Plus précisément, nous aborderons les sous-questions détaillées ci-après, qui envisagent respectivement les effets de l'âge et du genre, puis du mode de guidage proposé en tant que facteur principal puis en interaction.

⁵ Cette étude a fait l'objet de 3 publications :

- Montuwy, A., Dommes, A., Cahour, B. (En révision) Helping Older Pedestrians Navigate in the City: Comparisons of Visual, Auditory and Haptic Guidance Instructions in a Virtual Environment. *Behaviour and Information Technology*
- Montuwy, A., Cahour, B., Dommes, A. 2017. Visual, Auditory and Haptic Navigation Feedbacks Among Older Pedestrians. In *Proceedings of the 2017 Mobile HCI Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services. MobileHCI'17*, 04-07 September 2018, Vienna, Austria. <https://doi.org/10.1145/3098279.3122126>
- Montuwy, A., Cahour, B., Dommes, A. 2017. Questioning User Experience: A Comparison Between Visual, Auditory and Haptic Guidance Messages Among Older Pedestrians. In *Proceeding of the 2017 CHIItaly Conference on Computer-Human Interaction. CHIItaly'17*, 18-20 September 2017, Cagliari, Italy. <https://doi.org/10.1145/3125571.3125572>

Sous question n°1 : les performances de navigation et l'expérience utilisateur des guidages proposés varient-elles en fonction de l'âge et/ou du genre des participants ?

Nous avons vu, au cours des chapitres 1 et 2, que les difficultés rencontrées lors de l'activité de mobilité piétonne et les difficultés liées à la cognition spatiale sont fonction de l'âge des personnes (Lithfous et al., 2013). C'est en effet autour de l'âge de 70 ans que semble exister une rupture dans les pratiques piétonnes et dans les capacités cognitives de navigation spatiale. Par ailleurs, nous avons vu dans le chapitre 4 que les facteurs impactant l'expérience utilisateur peuvent également varier en fonction de l'âge (Lee et Coughlin, 2015 ; Holzinger et al., 2008). Aussi, nous comparerons différents groupes d'âge en termes de performances de navigation et d'expérience utilisateur avec différents modes de guidage proposés aux participants.

Nous chercherons également à mettre en valeur les potentiels effets liés au départ à la retraite sur les performances de navigation et sur l'expérience utilisateur avec différents modes de guidage proposés. En effet, les mobilités quotidiennes tendent à changer avec le départ en retraite, et nous souhaitons ici aussi comparer le statut de jeune retraité avec celui de personnes plus âgées et plus longuement retraitées en termes de performances de navigation et d'expérience utilisateur avec les guidages.

Nous prendrons enfin en compte le genre des participants. Nous avons vu dans le chapitre 2 que les femmes ont des capacités de rotation mentale en général plus faibles que celles des hommes, avec un effet potentiel sur la navigation (Lawton, 1994). Nous avons vu également qu'il existait certaines différences entre hommes et femmes dans la pratique de la marche et dans le recours aux aides à la navigation au cours de l'étude 1 (voir chapitre 7). Nous chercherons ici à investiguer ces possibles différences.

Sous question n°2 : Par rapport à l'usage d'une carte papier, les guidages sensoriels proposés peuvent-ils présenter une plus-value pour les personnes âgées en termes de performance de navigation et/ou d'expérience utilisateur ? Lesquels en particulier ?

Nous avons vu dans les chapitres 2 et 3 que les personnes âgées ont des difficultés à mobiliser des stratégies de navigation et informations spatiales allocentrées pour la recherche d'itinéraire (Taillade et al., 2014), impactant de fait leurs performances de navigation avec une carte papier (Aubrey et al., 1994). Aussi, nous questionnons la possibilité offerte par les guidages sensoriels égocentrés choisis dans cette étude de compenser les effets délétères de l'âge observés habituellement avec une carte papier pour s'orienter dans un environnement urbain inconnu.

Par ailleurs, nous savons que les personnes âgées ont souvent recours aux cartes papier pour trouver leur chemin (voir chapitre précédent), bien que les âgés aient des difficultés certaines à les utiliser (Aubrey et al., 1994). Les cartes papier sont des aides très familières pour les personnes âgées, et nous chercherons à savoir si cet effet de familiarité peut avoir des conséquences sur l'expérience utilisateur de nouveaux modes de guidage plus innovants.

Enfin, nous nous intéresserons à la relation existant entre performance de navigation et expérience utilisateur avec les modes de guidage. Nous prendrons en compte les éléments orientant la performance (facilité d'apprentissage, lisibilité, compréhension des instructions de guidage), et la place occupée par les affects dans l'acceptabilité des différents modes de guidage proposés afin d'identifier les éléments les plus susceptibles de soutenir une expérience utilisateur positive.

Sous question n°3 : le recours à des instructions de guidage multi-sensorielles peut-il améliorer les performances de navigation et l'expérience utilisateur avec les messages ?

Nous avons vu, dans les chapitres 2 et 3, que les processus cognitifs de navigation spatiale s'appuient sur l'intégration d'informations multi-sensorielles (Berthoz et Viaud-Delmon, 1999), et qu'un certain nombre d'auteurs soulignent les bénéfices potentiels d'informations de guidage multi-sensorielles dans le cadre de la conception d'aides à la navigation (Chittaro et Burigat, 2005 ; Rehrl et al., 2014). Dans la présente étude, nous nous intéressons au fait de fournir simultanément deux informations de guidage sensorielles concordantes à travers deux modalités sensorielles distinctes (vue + ouïe, vue + haptique et ouïe + haptique). Nous questionnons l'intérêt potentiel de la redondance de l'information de guidage pour la performance de navigation et l'expérience utilisateur avec les informations.

Sous question n°4 : les performances de navigation et l'expérience utilisateur avec les différents modes de guidage sont-elles dépendantes de la configuration de l'environnement ?

Certaines configurations urbaines dites complexes (ronds-points, carrefours à plus de 4 directions etc.) peuvent être sources de difficultés de navigation accrues pour les personnes âgées (Davidse, 2007) qui ont du mal à s'y orienter. De plus, nous avons vu au cours du chapitre 3 que ce genre de configurations urbaines pouvait être source de difficultés de compréhension avec certains messages de guidage pas-à-pas, tels que les messages vibrotactiles ou les messages auditifs vocaux notamment (Chittaro et Burigat, 2005). Aussi, nous cherchons à savoir, à travers cette étude, quels types de guidage ou combinaisons de messages sensoriels sont les plus susceptibles d'aider la navigation des piétons, et plus particulièrement des plus âgés, dans ces zones complexes, avec une bonne expérience utilisateur. Nous cherchons en particulier à identifier les différences de performance et d'expérience utilisateur qui peuvent exister entre configuration dites simples (carrefours en T ou en X) et configurations dites complexes (ronds-points) pour un même mode de guidage.

Sous question n°5 : quel type de guidage est le plus susceptible de soutenir l'acquisition de connaissances spatiales à propos de l'environnement ?

Le recours à des aides à la navigation pas-à-pas égocentrées est, comme nous l'avons vu dans la chapitre 3, parfois source de critiques quant à l'acquisition de connaissances spatiales à propos de l'environnement (Pielot et Henze, 2009). Ces aides limiteraient en effet les connaissances acquises par les utilisateurs par rapport à l'utilisation d'une carte papier. A travers cette étude, nous cherchons à identifier, parmi les modes de guidage proposés aux participants, celui ou ceux qui permet(tent) l'acquisition de connaissances spatiales de l'environnement virtuel parcouru.

2- Méthodologie

2.1- Population

58 participants ont pris part à cette étude, répartis en 3 groupes (voir tableau 4).

	Adultes actifs	Jeunes retraités	Retraités plus âgés
Effectif	16	21	21
Âge min - max	53-65	58-70	71-88
Moyenne d'âge	58,3	66,7	75,9
Ecart type	8,7	7,6	7,5
Nombre de femmes	9	8	10
Nombre d'homme	7	13	11

Tableau 4 : constitution des groupes de participants de l'étude 2.

Comme expliqué plus haut, le critère de l'âge a été le principal facteur dans la constitution des groupes, dans la mesure où les déclin cognitifs sont plus marqués à partir de 70-75 ans (Kaufman and Horn, 1996). Le fait d'être en retraite a également été pris en compte pour constituer les groupes. Ce critère nous semblait intéressant dans la mesure où les habitudes de mobilité changent avec la retraite (pas de déplacements quotidiens vers le lieu de travail). Ainsi, le nombre de trajets quotidiens décroît dès après le départ en retraite, ce qui peut éventuellement conduire à plus d'appréhension dans le fait de se déplacer régulièrement. Par exemple en 2008, le nombre de trajets quotidien des personnes de plus de 50 ans en activité professionnelle était de 3,22, contre 2,7 chez les jeunes retraités (CGDD, 2010).

Ces deux critères (âge et retraite) sont rarement pris en compte conjointement, mais sont toutefois importants pour caractériser le potentiel public de futures aides à la navigation technologiques. Cette approche constitue donc aussi, au-delà des innovations technologiques qu'elles considèrent, une des originalités de cette thèse.

Le groupe de participants était constitué de volontaires recrutés par le biais d'associations locales ou par le bouche à oreille. Les critères d'inclusions étaient (i) être âgé de plus de 50 ans, (ii) vivre à domicile, et (iii) être en mesure de marcher sans aide pendant 30 minutes. La vue des participants a été contrôlée pour s'assurer qu'elle était normale ou corrigée à la normale⁶, et tous ont déclaré avoir une audition normale ou corrigée à la normale. Les participants ont été informés de leurs droits et ont signé un formulaire de consentement. Leur participation a été dédommée par une gratification de 50€.

2.2 – Conditions expérimentales et instructions de guidage

L'étude s'est déroulée sur deux sessions au cours desquelles les participants ont réalisé des tâches de navigation en environnement virtuel et ont évalué l'expérience utilisateur avec des instructions de guidage pas-à-pas selon 7 conditions expérimentales distinctes :

Session 1 :

- (1) carte papier
- (2) guidage visuel
- (3) guidage auditif
- (4) guidage haptique

Session 2 :

- (5) guidage visuel + auditif
- (6) guidage visuel + haptique
- (7) guidage auditif + haptique.

⁶ Un test des anneaux de Landolt leur était proposé sur logiciel : des anneaux de tailles variables comportant une ouverture (selon 8 positions possibles : haut, bas, gauche, droite, haut/gauche etc.) étaient présentés. Les participants étaient invités à localiser l'ouverture de l'anneau. L'acuité visuelle était calculée par le logiciel.

Pour chaque condition expérimentale (excepté la condition carte papier), 6 types de messages étaient fournis aux participants pour trouver leur chemin entre un point A et un point B dans l'environnement virtuel :

- Tourner à gauche dans une intersection simple,
- Tourner à droite dans une intersection simple,
- Entrer dans l'intersection complexe (rond-point) par la gauche,
- Entrer dans l'intersection complexe (rond-point) par la droite,
- Faire demi-tour,
- S'arrêter car arrivé à destination.

Nous avons choisi d'utiliser différents types de messages de guidage selon la configuration de l'environnement afin de décomposer plus aisément les instructions fournies dans les carrefours complexes. Ainsi, dans un carrefour complexe du type rond-point, le participant reçoit une première instruction lui précisant de quel côté tourner pour emprunter le chemin le plus court, puis, une deuxième instruction lui précise la sortie à emprunter une fois arrivée à sa hauteur.

La durée de chacune des instructions de guidage a été fixée à 2 secondes afin qu'elles soient perceptibles facilement (Ng and Chan, 2012) sans pour autant perturber l'attention des participants vis-à-vis de l'environnement (Oulasvirta et al., 2005). Chaque message de guidage était fourni environ 10 mètres avant le carrefour où il fallait tourner, afin de permettre aux participants d'anticiper l'action à mener, de regarder à gauche et à droite avant de traverser etc.

2.2.1- Carte papier

Une des conditions expérimentales proposée aux participants consistait en l'utilisation d'une carte papier pour trouver son chemin dans l'environnement virtuel (voir figure 34). Cette carte papier, imprimée au format A3, présentait les noms de toutes les rues de la ville virtuelle et les points d'intérêt (statues, gares, bibliothèque, préfecture etc.). Un agrandissement du centre-ville et une légende étaient également fournis, et l'aspect graphique de la carte s'inspirait des cartes proposées dans les guides touristiques (type le routard).

Le chemin à suivre était matérialisé sur la carte par une ligne bleue semi transparente de sorte que les noms des rues soient facilement lisibles. Les participants étaient autorisés à plier ou retourner la carte, à la garder en main ou à la déposer sur une tablette placée devant eux.

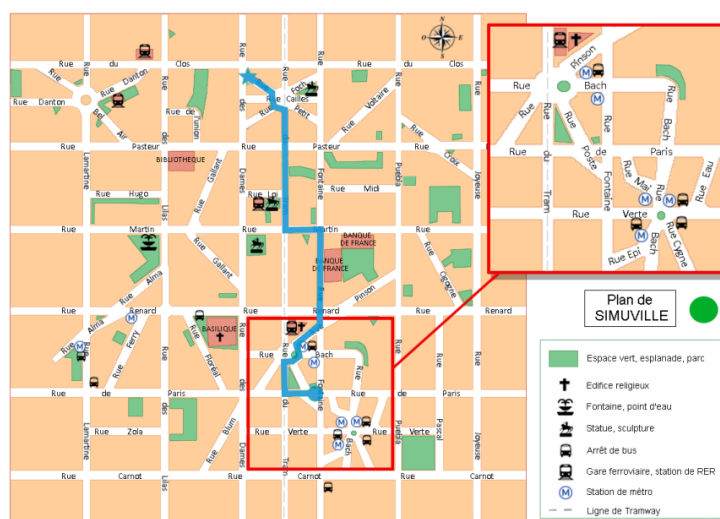


Figure 34 : carte papier de la ville virtuelle avec le trajet à suivre (en bleu).

2.2.2- Instructions visuelles de guidage

La littérature consacrée aux aides égocentrées à la navigation faisant appel à la modalité sensorielle visuelle (voir chapitre 3) met en valeur les bénéfices de la réalité augmentée pour les conducteurs âgés (Kim and Dey, 2009) et pour les performances de navigation de piétons jeunes (Walther-Franks and Malaka, 2008). Aussi, nous avons choisi d'investiguer dans cette étude le potentiel de l'incrustation de flèches dans le champ de vision pour guider des piétons plus ou moins âgés.

Des flèches jaunes en 3D ont été placées au centre de l'écran de simulation, au milieu du champ de vision des participants, comme s'ils portaient des lunettes de réalité augmentée (voir figure 35). La couleur jaune a été choisie afin d'être facile à distinguer par rapport aux autres couleurs présentes dans l'environnement virtuel (le bleu du ciel, le vert et le gris des sols). La couleur, la taille et le contraste des flèches ont été déterminés sur la base de la littérature, afin de faciliter leur perceptibilité pour les personnes âgées (Farage et al., 2012; Fisk et al., 2009). Par ailleurs, la couleur jaune fait souvent référence à l'idée de *faire attention*, au contraire des couleurs rouge ou verte qui connotent un signal très négatif ou très positif, ce qui correspondait assez bien aux attentes liées à la tâche.

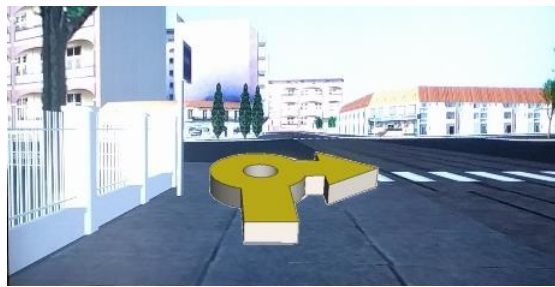


Figure 35 : vue d'une flèche incrustée dans l'environnement virtuel.

Une flèche pointant à gauche indiquait de tourner à gauche, et réciproquement pour une flèche pointant à droite (voir figure 36). Un cercle avec une flèche pointant à gauche indiquait d'entrer dans le rond-point par la gauche, et réciproquement par la droite. Une flèche pointant vers le haut puis vers le bas indiquait de faire demi-tour. Une flèche arrondie pointant vers le bas indiquait l'arrivée à destination. Pour rendre ces flèches aussi simples à comprendre que possible, leur forme a été inspirée des systèmes GPS pour voiture.

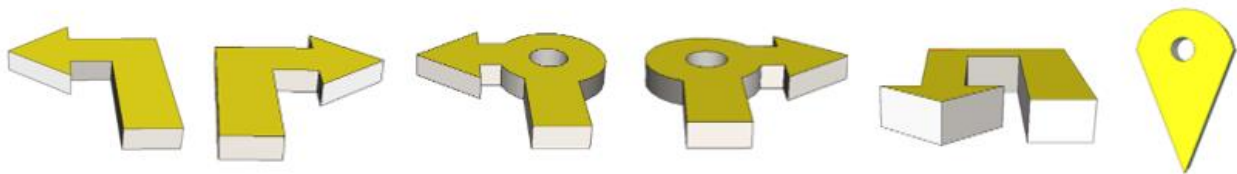


Figure 36 : flèches utilisées dans l'environnement virtuel. De gauche à droite : tourner à gauche, tourner à droite, entrer dans le rond-point par la gauche, entrer dans le rond-point par la droite, faire demi-tour, s'arrêter à destination.

2.2.3- Instructions auditives de guidage

Comme indiqué dans les chapitres 2 et 3 de cette thèse, les personnes âgées peuvent avoir des difficultés à percevoir et à comprendre les instructions verbales (Lister and Traver, 2004) dans des environnements bruyants tels que les villes. Par ailleurs, les résultats liés à l'utilisation de sons non-verbaux spatialisés pour la navigation de piétons semblent prometteurs (voir par exemple Liljedahl et al., 2012). C'est pourquoi nous avons décidé d'investiguer dans cette thèse l'usage de sons non-verbaux pseudo-spatialisés pour le guidage piéton de piétons plus ou moins âgés. Nous parlons de sons pseudo-spatialisés car nous nous appuyons principalement sur des

sons stéréo dans l'oreille gauche et/ou dans l'oreille droite, transmis à travers un casque à conduction osseuse (voir figure 37). Un tel casque a été choisi car, dans la perspective d'une utilisation des messages de guidage en environnement naturel, il permet aux personnes de faire attention aux bruits alentour ou d'avoir une conversation en parallèle. Par ailleurs, le recours à la conduction osseuse permet de faciliter la perception des sons par les personnes souffrant de surdité de conduction (c'est-à-dire liée au déplacement de ondes vibratoires de l'air jusqu'au tympan).



Figure 37 : participant équipé du casque à conduction osseuse.

Un son de fréquence 1 kHz dans l'oreille gauche (ressemblant à une pulsion longue de sonar) signifiait aux participants de tourner à gauche, et réciproquement à droite pour l'oreille droite (voir figure 38) Un son composé d'une première pulsion de 0.7 seconde à 500 Hz puis d'une seconde pulsion de 1,3 secondes à 1 kHz dans l'oreille gauche signifiait d'entrer dans le rond-point par la gauche, et réciproquement par la droite dans l'oreille droite. Un son composé de 4 pulsions de 0.5 seconde à 500Hz jouées alternativement dans l'oreille gauche et dans l'oreille droite pour donner l'impression de venir de l'arrière de la tête (voir Holland et al., 2002) indiquait de faire demi-tour. Enfin, un son allant crescendo de 500Hz à 1 kHz dans les deux oreilles indiquait le fait d'être arrivé à destination. Ces fréquences ont été choisies pour être aisément perceptibles par des personnes âgées avec une faible acuité auditive (Bouccara et al., 2005). La signification des messages s'appuie quant à elle sur la capacité naturelle de l'être humain à localiser les sources sonores dans l'espace (Tran, Letowski, and Abouchacra, 2000) et à distinguer les fréquences (Holland et al., 2002).

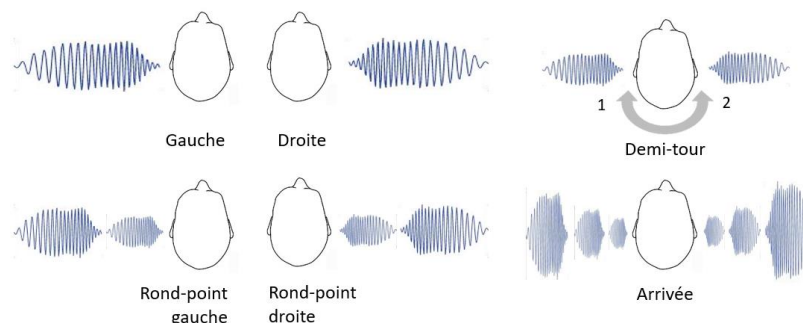


Figure 38 : illustrations des sons utilisés.

2.2.4- Instructions haptiques de guidage

Les études relatives à l'utilisation d'informations vibrotactiles pour le guidage de piétons ont montré les bénéfices de cette modalité sensorielle pour l'activité de navigation piétonne, et notamment pour limiter le partage attentionnel entre l'aide à la navigation et l'environnement (voir chapitre 3). Dans le cadre de cette thèse, nous avons eu recours à un bracelet vibrotactile semblable à une montre (voir figure 39) développée par le CEA LIST (Arab et al., 2015). La face interne de ce bracelet se compose de 3 vibreurs placés autour du poignet (sur la gauche, la droite et le dessus du poignet). Ce type de bracelet vibrant (à 3 vibreurs) a été identifié comme le plus efficace pour la navigation car il permet de faciliter la perception et l'interprétation des messages (Cammann, Stolz et Wölfel, 2017). Ce dispositif a également été choisi pour sa faible taille et pour sa facilité de mise en œuvre en contexte expérimental, en comparaison aux autres dispositifs vibrotactiles existants dans le monde de la recherche ou sur le marché (ceinture, dispositif pour le torse, chaussures vibrantes), qui sont plus contraignants pour les participants.



Figure 39 : bracelet vibrotactile porté par un participant.

Il était demandé aux participants de porter le bracelet au poignet droit. Une vibration de 2 secondes sur le côté gauche du poignet lui indiquait de tourner à gauche à l'intersection, et réciproquement à droite (voir figure 40). Un message vibratoire composé d'une première vibration de 0,5 seconde sur le dessus du poignet puis d'une vibration de 1,5 secondes sur la gauche du poignet indiquait d'entrer dans le rond-point par la gauche, et réciproquement à droite. Une série de vibrations gauche/dessus/droite répétée deux fois pour donner l'impression de tourner autour du poignet signifiait aux participants de faire demi-tour. Une vibration intense sur le dessus du poignet, suivie de deux vibrations donnant l'impression de s'écouler sur les côtés du poignet (comme une goutte d'eau), signifiait aux participants qu'ils étaient arrivés à destination. Ces métaphores vibratoires s'appuient sur des travaux de recherche dédiés à la conception de *tactons* (voir chapitre 3) pour la navigation (Brunet, 2014).

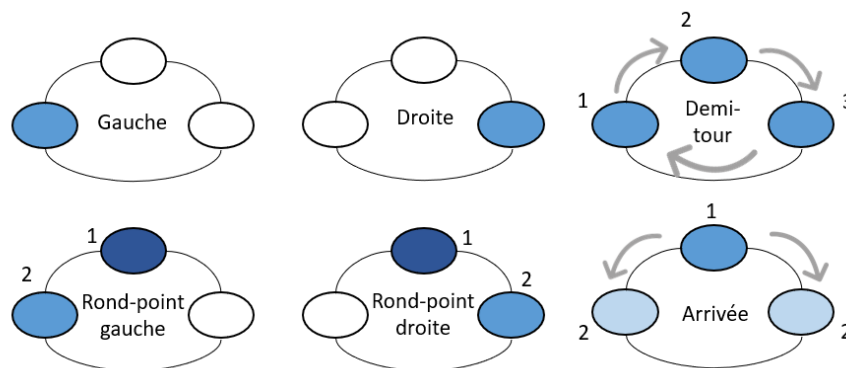


Figure 40 : tactons vibrotactiles utilisés dans cette étude.

2.2.5 - Combinaisons multi-sensorielles

Trois des sept conditions expérimentales proposées aux participants consistent en l'utilisation simultanée de deux types d'informations sensorielles concordantes. Une instruction de guidage visuelle par flèche et une instruction de guidage auditive par son pseudo-spatialisé sont fournies en même temps aux participants (voir figure 41). De même, une instruction de guidage visuelle et une instruction de guidage haptique par tactons vibrotactiles sont fournies en même temps aux participants (voir figure 42), et similairement pour une instruction auditive et une instruction haptique (voir figure 43).



Figure 41 : messages visuel et auditif simultanés.



Figure 42 : messages visuel et haptique simultanés.



Figure 43 : messages auditif et haptique simultanés.

2.3 – Environnement virtuel de simulation

Le simulateur⁷ pour la navigation piétonne développé à l'IFSTTAR (site de Versailles) permet aux participants de se déplacer dans une ville virtuelle à l'aide d'un joystick (posé sur une tablette en face du participant assis sur une chaise). En poussant le joystick vers l'avant, les participants avancent, en le poussant vers la gauche ou la droite, ils tournent dans le sens correspondant. Aucun appui sur les boutons du joystick n'est requis. Le système se compose de 3 écrans LCD 47", permettant de se déplacer dans l'environnement virtuel avec un angle de vue de 130° (voir figure 44). A chaque carrefour dans la ville virtuelle, des passages piétons et les noms de rues sont présents. Une trentaine de voitures circulent dans le quartier fréquenté par les participants au cours de leurs trajets. Bien que ces véhicules virtuels soient capables de s'arrêter quand le piéton entreprend une traversée de rue, il était demandé aux participants de prêter attention au trafic en traversant la rue. L'environnement sonore de simulation se compose de bruits de véhicules lorsqu'une voiture virtuelle est à proximité, et des bruits d'oiseaux dans les zones calmes.

La vitesse de marche virtuelle était fixée à 3m/s (ce qui est environ le double de la vitesse de marche réelle des participants). Ce choix s'appuie sur des études qui montrent que la vitesse perçue est plus faible en environnement virtuel que réel (Banton et al., 2005; Van Veen et al., 1998).



Figure 44 : Participant navigant dans l'environnement virtuel à l'aide du joystick.

2.4 – Phase d'apprentissage des instructions de guidage

Au début de chaque condition expérimentale, il était proposé aux participants un temps d'apprentissage des instructions de guidage selon la modalité sensorielle utilisée. Pour chacune des six instructions, l'expérimentateur expliquait la signification du message et le jouait 3 fois, en s'assurant que l'information était bien perçue. A la suite de cette présentation des messages, il était demandé aux participants de reconnaître les messages d'instructions, présentés dans le désordre. En cas d'erreur, tous les messages étaient de nouveau présentés, et il était demandé une nouvelle fois aux participants de les reconnaître dans un ordre aléatoire. Après au plus 3 cycles de répétition, tous les messages étaient mémorisés et parfaitement reconnus. Pour renforcer l'apprentissage, les messages étaient rejoués une dernière fois avant le début de la tâche de navigation.

⁷ L'adaptation de ce simulateur aux personnes âgées a fait l'objet d'une publication :
Montuwy, A., Coeugnet, S., Dommès, A. 2016. Adapting a Pedestrian Navigation Simulator to the Elderly. In *Proceedings of the 2016 European Conference on Cognitive Ergonomics. ECCE'16*, 05-08 September 2016, Nottingham, United Kingdom. DOI: 10.1145/2970930.2970959

2.5 – Tâches de navigation en environnement virtuel

Au cours de chaque condition expérimentale, les participants réalisaient une tâche de navigation sur simulateur avec un type de guidage (session 1) ou une combinaison de guidage (session 2). Pour chacune des tâches de navigation, un itinéraire différent était demandé aux participants (voir figure 45). Les itinéraires étaient toujours parcourus dans le même ordre, mais les modalités de guidage étaient contrebalancées.

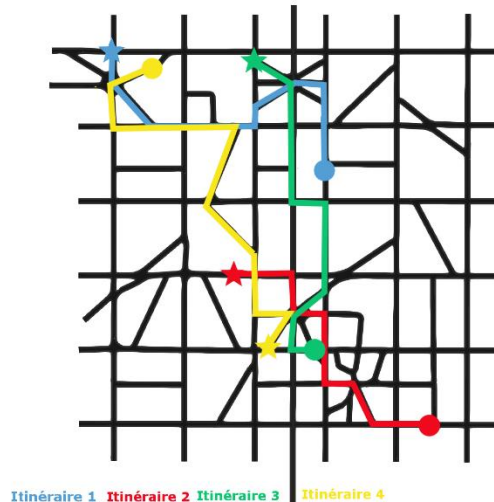


Figure 45 : tracé des 4 itinéraires utilisés lors de la première session de l'étude 2 sur simulateur (les ronds correspondent aux départs, les étoiles aux arrivées).

Chacun des sept itinéraires était équivalent aux autres en termes de distance, de temps de parcours optimal (c'est-à-dire sans erreur de navigation / à vitesse constante) et de directions à emprunter. Ainsi, chacun d'eux durait 6 à 7 minutes, et était composé 9 messages :

- 2 changements de direction vers la droite en intersection simple,
- 2 changements de direction vers la gauche en intersection simple,
- 2 changements de direction vers la droite dans un rond-point (entrée + sortie),
- 2 changements de direction vers la gauche dans un rond-point (entrée + sortie)
- 1 message d'arrivée à destination.

Avant chaque tâche de navigation, les participants étaient informés de leur localisation dans la ville virtuelle (par exemple : « vous êtes devant une boutique de fleurs ») et de l'endroit auquel ils devaient se rendre (par exemple « vous vous rendez à la gare »). Dans les conditions de guidage sensoriel, il leur était indiqué de suivre les instructions fournies une dizaine de mètres avant l'intersection, ou de continuer toujours tout droit à défaut d'instruction. Il leur était demandé avec la carte papier de suivre le tracé sans chercher à emprunter de raccourcis.

Avant chacune de sept tâches de navigation, une courte tâche de familiarisation permettait aux participants d'appréhender les messages de guidage ou la carte en contexte virtuel.

2.6 – Entretien post-activité relatifs à l'expérience utilisateur

Pour chaque condition expérimentale, un entretien post-activité était mené directement après la tâche de navigation en environnement virtuel. Durant cet entretien, les participants étaient interrogés à propos de leur expérience sur simulateur, guidés par les informations sensorielles ou la carte papier.

Tout d'abord, les participants étaient invités à partager les commentaires ou remarques spontanés qu'ils pouvaient avoir à propos de ce qui venait de se passer dans l'environnement virtuel. Puis, l'expérimentateur posait un certain nombre de questions relatives à l'agrément du type de guidage, la perception des instructions, leur compréhension et interprétation en contexte

de navigation, les éventuelles hésitations ou le sentiment de désorientation, le fait de se sentir en sécurité, d'être autonome dans l'activité de navigation, et l'attention portée à l'environnement alentour. Pour répondre à ces questions, les participants étaient invités à prendre leur temps afin de se rappeler de ce qui s'était passé pour eux au cours du trajet virtuel (les doutes, les erreurs, les surprises, les moments plaisants etc.). Il leur était demandé de donner autant de détails que possible à propos de ces dimensions expérientielles. Cet entretien post-activité s'inspirait en cela des méthodes mises en œuvre dans l'entretien d'explicitation (Vermersch, 1994 ; voir chapitre 6).

Après ce moment dédié aux expériences subjectives en contexte, un certain nombre de questions était posé à propos des expériences précédentes des participants avec un tel type de guidage, son utilité perçue, son caractère innovant, et leurs éventuelles recommandations de conception. Chacun des entretiens a duré entre 4 et 15 minutes, en fonction du participant et du type de guidage testé. Après le dernier entretien de chaque session, les participants étaient également invités à classer, dans leur ordre de préférence, les types de guidage testés (4 pour la 1ere session, et 3 pour la 2eme session).

2.7 – Tâche de reconnaissance de repères spatiaux

Enfin, au cours de chaque condition expérimentale et après l'entretien dédié à leur expérience de navigation, les participants étaient invités à répondre à une tâche de reconnaissance de repères spatiaux. Cette tâche visait à mesurer d'éventuelles différences dans l'acquisition de connaissances spatiales entre la condition carte papier et les autres conditions expérimentales, basées sur un guidage sensoriel égo-centré.

Il était demandé aux participants de sélectionner, parmi 8 photos représentant des repères de l'environnement virtuel (des magasins, des statues, des bâtiments), les 4 photos de repères qui provenaient du trajet qu'ils venaient de parcourir, les 4 autres photos ayant été prises dans des zones de l'environnement virtuel non parcourues par les participants. Une fois les 4 photos sélectionnées, il leur était demandé de remettre ces repères dans l'ordre temporel dans lequel ils les avaient croisés (le premier à gauche, le dernier à droite) (voir par exemple Giannopoulos, Kiefer, and Raubal, 2015). A la fin de cette tâche, les participants étaient informés du nombre de repères correctement sélectionnés et du nombre de repères correctement mis en ordre.

2.8 - Questionnaires et tests

Durant les deux sessions de l'étude, plusieurs questionnaires et tests cognitifs ont également été réalisés, afin d'acquérir des données sur les caractéristiques des participants, sur leurs habitudes avec les aides à la navigation, et sur leurs capacités d'orientation spatiale.

Caractéristiques des participants : Ce questionnaire visait à récolter des données sur le profil des participants telles que l'âge, le genre, le niveau d'éducation, l'activité professionnelle, les habitudes de mobilité à pied et en voiture, ou encore l'historique des éventuelles chutes (qui peuvent être un frein à la pratique de la marche avec l'âge). Il incluait également 10 questions issues du Santa Barbara Sense of Direction Scale (Hegarty et al., 2002) relatives aux difficultés d'orientation en environnement urbain (voir Annexe 3).

Usages des aides à la navigation : Ce questionnaire visait à récolter des données quant à l'usage qu'avaient les participants des GPS voiture et des smartphones. Il s'intéressait aussi à leurs stratégies préférentielles pour trouver leur chemin à pied et en voiture dans des endroits inconnus (voir Annexe 4)

Questionnaire sur les représentations spatiales (QSR) : Ce questionnaire, conçu par Pazzaglia, Cornoldi et De Beni (2000) consiste en une auto-évaluation du sens de l'orientation des participants et des niveaux de représentation spatiale (configuration, itinéraires ou repères ; voir chapitre 3) mobilisés pour naviguer en intérieur et en extérieur. Sur cette base, un score global d'orientation peut être calculé (voir Annexe 5)

Rotation mentale : Ce test psychométrique développé par (Vandenberg et Kuse, 1978) vise à évaluer les capacités de rotation mentale des participants. Ces capacités sont en effet importantes dans les tâches de recherche d'itinéraire et d'orientation spatiale (voir chapitre 2) et en particulier pour la lecture de carte (Malinosky, 2001). Or, ces capacités ont tendance à décliner avec l'âge (Herman et Bruce, 1983).

Ce test consiste en une série de 20 items composés d'une figure de référence et de 4 figures test dont deux sont des rotations dans l'espace de la figure de référence (voir Figure 46). Il s'agit pour la personne d'identifier correctement les deux figures qui sont des rotations. Sur cette base, un score sur 40 points est calculé.

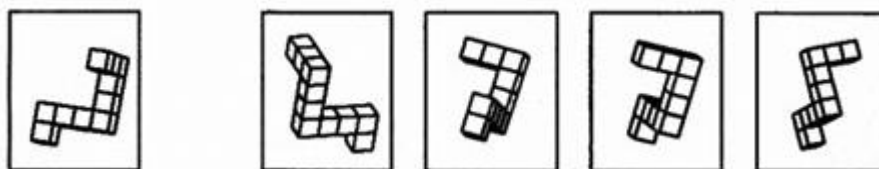


Figure 46 : Exemple issu du test de rotation mentale. À gauche, la figure de référence ; à droite, les quatre propositions.

2.9 – Procédure

L'étude s'est déroulée d'avril à aout 2016, dans les locaux de l'IFSTTAR à Versailles. Elle se composait de deux sessions d'environ 2 heures, afin de limiter les risques de fatigue pour les participants. Les deux sessions étaient séparées dans le temps de 8 jours en moyenne.

Durant la première session, les participants utilisaient une carte papier, des flèches incrustées dans le champ de vision, des sons pseudos-spatialisés et des messages vibrotactiles transmis au niveau du poignet droit pour s'orienter dans l'environnement virtuel. Durant la seconde session, ils utilisaient les 3 combinaisons multi-sensorielles possibles de guidage (visuel + auditif, visuel + haptique, auditif + haptique). Durant chaque session, les conditions expérimentales étaient contrebalancées afin d'éviter les effets d'apprentissage. Le tableau 5 présente le déroulement de chacune des deux sessions.

Session 1	Session 2
Accueil du participant Présentation des objectifs de l'étude Signature du formulaire de consentement	Accueil du participant Rappel des objectifs de l'étude
Test d'acuité visuelle	
Temps de familiarisation libre avec l'environnement virtuel et le joystick	
Condition 1 <i>Apprentissage des messages de guidage</i> <i>Familiarisation en contexte</i> <i>Tâche de navigation</i> <i>Entretien post-activité</i> <i>Tâche de reconnaissance de repères</i>	Condition 1 <i>Apprentissage des messages de guidage</i> <i>Familiarisation en contexte</i> <i>Tâche de navigation</i> <i>Entretien post-activité</i> <i>Tâche de reconnaissance de repères</i>
Questionnaire caractéristiques participant	Questionnaire représentations spatiales
Pause	Pause
Condition 2 (et ses sous-tâches)	Condition 2 (et ses sous-tâches)
Pause	Pause
Condition 3 (et ses sous-tâches)	Condition 3 (et ses sous-tâches)
Questionnaire usage aides à la navigation	Test de rotation mentale
Pause	
Condition 4 (et ses sous-tâches)	

Tableau 5 : déroulement des deux sessions de l'étude 2.

Pour la première session, l'expérimentateur accueillait les participants, leur présentait les objectifs de l'étude et les conditions de participation. Les participants signaient le formulaire de consentement, réalisaient un test d'acuité visuelle, et pouvaient ensuite prendre tout le temps nécessaire pour se familiariser avec l'usage du joystick et de l'environnement virtuel (en dehors de toute condition expérimentale). Ensuite, les participants réalisaient 4 conditions expérimentales, comprenant l'apprentissage des messages de navigation (excepté pour la carte papier), la tâche de navigation, l'entretien post-activité et la tâche de reconnaissance de repères décrites plus haut. Une pause était proposée aux participants entre chacune des conditions expérimentales. Les questionnaires relatifs aux caractéristiques des participants et aux usages des aides à la navigation étaient également remplis au cours de cette session.

Pour la deuxième session, l'expérimentateur accueillait les participants et leur rappelait les objectifs de l'étude. Trois conditions expérimentales avec combinaisons multi-sensorielles de guidage étaient ensuite réalisées. Chacune commençait par un réapprentissage des messages de guidage, puis une tâche de navigation, un entretien post-activité et une tâche de reconnaissance de repères étaient réalisés. Une pause était proposée aux participants entre chacune des conditions expérimentales. Le questionnaire relatif aux représentations spatiales

(QSR) et le test de rotation mentale étaient également réalisés au cours de cette seconde session.

2.10 – Analyse des données

2.10.1 – Données des questionnaires

Les questions relatives aux caractéristiques des participants, à leurs usages des aides à la navigation, et à leur orientation spatiale basées sur des échelles de Likert ont été codées numériquement et traitées comme des valeurs ordinales avec des statistiques non paramétriques. Pour ces questions, des comparaisons entre les groupes de participants ont été réalisées par des analyses de Kruskal-Wallis et des Chi².

Les questions basées sur des pourcentages déclaratifs (tels que le temps passé à marcher) ont été traitées par des analyses de la variance (ANOVA) avec comparaisons des groupes de participants et du genre. L'homoscédasticité et l'homogénéité ont été testées pour s'assurer de la validité des analyses. Le niveau de significativité a été fixé à .05.

2.10.2 – Données relatives aux tâches en environnement virtuel

Concernant l'apprentissage des messages de guidage, nous prenons en compte le nombre de répétitions nécessaires pour que l'ensemble des six instructions de chaque modalité sensorielle soient apprises correctement avant le début de la tâche de navigation. Ce nombre de répétitions a été traité par des analyses de la variance (ANOVA), avec comparaisons entre groupes de participants, types de messages sensoriels (visuel, auditif ou haptique), genre des participants, et session de l'étude concernée (première ou seconde session).

Afin d'évaluer les performances de navigation pour chaque type de guidage proposé, le pourcentage de réponses correctes a d'abord été calculé : si un changement de direction ou un arrêt à destination était attendu et que le participant effectuait bien ce changement de direction ou cet arrêt, alors la réponse était codée comme correcte. Sur cette base, nous avons obtenu deux mesures : le pourcentage de réponses correctes en intersections simples (incluant l'arrêt à destination) basé sur un score maximal de 5 réponses correctes, et le pourcentage de réponses correctes en carrefours complexes (rond-point), basé sur un score maximal de 4 réponses correctes.

Le temps de parcours du participant a également été mesuré, entre le premier mouvement du joystick et l'arrivée à destination. Bien que les 7 itinéraires parcourus soient semblables, le temps optimal pour les parcourir diffère légèrement (entre 308,8 secondes pour l'itinéraire le plus court et 414,8 secondes pour le plus long, pour rappel la vitesse de déplacement dans l'environnement virtuel est fixé à 3 m/s, sans accélération possible). Aussi, nous prenons en compte le pourcentage de temps supplémentaire nécessaire pour parcourir l'itinéraire avec le mode de guidage par rapport au temps de parcours optimal.

Pour chacune de ces 3 mesures de performance, des analyses de la variance (ANOVA) ont été réalisées, avec comparaisons entre groupes de participants, genre, et conditions de guidage. Des comparaisons post-hoc ont été également réalisées avec des tests HSD de Tukey. L'homoscédasticité et l'homogénéité ont été testées pour s'assurer de la validité des analyses. Le niveau de significativité a été fixé à .05.

2.10.3 – Données relatives aux entretiens post-activité

Les entretiens post-activité ont été entièrement enregistrés sur dictaphone et retranscrits. Une méthode d'analyse thématique hybride (Fereday and Muir-Cochrane, 2006) a ensuite été réalisée. Dans la première phase de l'analyse, chaque verbatim a été associé à l'une des 12 dimensions prédéfinies pour l'étude par deux codeurs, ces dimensions étant celles sur lesquelles les questions posées en entretien s'appuyaient. Il en a résulté un accord inter-juge assez élevé

(Byrt, 1996) (Kappa de Cohen $k > 0.75$). Les dimensions d'analyse étaient issues de la littérature dédiée à l'expérience utilisateur, à l'acceptabilité et aux caractéristiques des aides à la navigation présentées dans le chapitre 4 de cette thèse (Arning et al., 2012 ; Holzinger et al., 2008 ; Kim et al., 2016 ; Lee et Coughlin, 2014) :

- Agréabilité du mode de guidage
- Perceptibilité des instructions de guidage
- Compréhension des instructions de guidage
- Hésitations au cours du trajet
- Sentiment d'être bien guidé / désorienté
- Sentiment de sécurité
- Attention portée à l'environnement
- Sentiment d'autonomie / de contrainte
- Habitude d'un tel guidage
- Utilité a priori du guidage
- Aspect innovant du guidage
- Recommandations de conception.

Sans être directement liées à l'expérience utilisateur en environnement virtuel, ces dimensions ont été questionnées dans la perspective de l'usage en environnement réel des instructions proposées (voir étude 3).

Sur la base de cette première grille d'analyse, chaque dimension a été considérée comme une variable, et chaque verbatim a été recodé comme une modalité de cette variable. Le nombre et le contenu des modalités dépendaient uniquement du contenu des verbatims, et n'avaient pas été prédéfinis. Ainsi, chaque variable thématique pouvait compter entre 3 et 6 modalités. Par exemple, pour la variable *perceptibilité*, les modalités finales étaient : *bonne perceptibilité*, *trop intense*, *trop faible*, *confus*, *pas perceptible*, *NA*. L'annexe 6 reprend la liste des modalités associées à chaque variable à ce stade de l'analyse.

Dans une troisième étape, des pourcentages de réponses ont été calculés, sur la base des modalités de chaque dimension. Les modalités identifiées à l'étape précédente ont été catégorisées en positives ou négatives. Par exemple, pour la variable *perceptibilité*, nous avons considéré que les modalités *bonne perceptibilité* et *trop intense* relevaient d'une perceptibilité positive (c'est-à-dire que la personne parvient à voir/entendre/ressentir l'instruction), tandis que les modalités *trop faible*, *confus* et *pas perceptible* relevaient d'une perceptibilité négative. Seules les recommandations de conception n'ont pas été transformées en pourcentage, car elles variaient beaucoup en nombre et en qualité d'un participant à l'autre. L'annexe 6 décrit également quelles modalités de chaque variable sont considérées comme positive ou négative.

Enfin, dans une quatrième étape, les fréquences de réponses positives et négatives ont fait l'objet d'analyses non paramétriques par χ^2 , analyses visant à comparer les réponses en fonction des groupes de participants, de leur genre, et des modalités de guidage.

Le classement final de chacun des guidages testés au cours de la session a lui été analysé sous forme de vote de Borda.

2.10.4- Données relatives à la tâche de reconnaissance

Sur la base du nombre de repères correctement reconnus (compris entre 0 et 4) et du nombre de repères correctement remis dans l'ordre (compris entre 0 et 4), un score total de reconnaissance de repère a été calculé, comme la somme de ces deux nombres (donc entre 0 et 8). Ces scores ont été analysés par ANOVA.

En résumé, le tableau 6 reprend l'ensemble des variables mesurées dans cette étude

Méthode / tâche utilisée	Variables mesurées
Questionnaires généraux (caractéristiques du participant + usages des aides à la navigation)	Habitudes de marche, usages du GPS et du smartphone
Questions issues du SBSOD	Difficultés perçues d'orientation
Questionnaire sur les représentations spatiales (QSR)	Score d'orientation total + scores relatifs à l'usage de représentations de type repère, itinéraire et configuration
Test de rotation mental	Score de rotation mentale
Apprentissage des messages	Nombre de répétitions nécessaires
Tâche de navigation en environnement virtuel	Pourcentage de temps supplémentaire par rapport au temps optimal, pourcentage de réponses correctes en intersections simples et en carrefours complexes
Entretiens post-activité	Agréabilité du mode de guidage Perception des instructions de guidage Compréhension des instructions de guidage Hésitations au cours du trajet Sentiment d'être bien guidé / désorienté Sentiment de sécurité Attention portée à l'environnement Sentiment d'autonomie / de contrainte Habitue d'un tel guidage Utilité du guidage Aspect innovant Recommandations de conception.
Tâche de reconnaissance de repères	Score de reconnaissance de repères

Tableau 6 : variables mesurées dans l'étude 2.

3- Résultats

Cette partie présente les principaux résultats issus de l'analyse des données recueillies au cours de l'étude grâce aux questionnaires, tâches de navigation sur simulateur, entretiens post-activité et tâches de reconnaissance de repères. Nous développerons (1) les données descriptives de la population (santé, habitudes, usage d'aides, évaluation des capacités d'orientation), (2) les performances de navigation, (3) les données relatives à la reconnaissance de repères et (4) les données relatives à l'expérience utilisateur.

3.1- Données descriptives de la population

3.1.1- Données relatives à la santé des participants

Problèmes de vue : 76% des participants (44 sur 58) déclarent devoir porter des lunettes pour la vision de près et/ou de loin. L'acuité visuelle des participants en vision intermédiaire (à une distance de 1,5 m correspondant approximativement à la distance entre le participant et l'écran central du simulateur) a été mesurée par le test des anneaux de Landolt⁸. Les participants étaient invités à garder leurs lunettes si leur vue est corrigée. L'acuité moyenne en décimal des participants est de 9/10^e (SD=2,8), sans différence significative entre les trois groupes sur l'acuité visuelle corrigée ($p=.21$).

Problèmes d'audition : 19 % des participants (11 sur 58) déclarent avoir des problèmes d'audition sur une ou les deux oreilles, relevant le plus souvent d'acouphènes. Parmi eux, 2 étaient des actifs de plus de 50 ans, 3 des jeunes retraités, et 6 des retraités plus âgés. Seuls 3 participants déclaraient porter un appareil auditif.

Marche autonome : 100% des participants de l'étude déclarent pouvoir marcher sans aide humaine ou matérielle pendant au moins 30 minutes.

3.1.2- Données relatives aux habitudes de mobilité

Les participants déclarent faire majoritairement appel à trois moyens de transport lors de leurs déplacements à l'extérieur de chez eux. Ainsi, la marche à pied représente 31,9% des déplacements (SD= 20,8) contre la 35,5% pour la voiture (en tant que conducteur) (SD=30,4) et 22,4% en transports en commun (SD=24,5).

Concernant les déplacements à pied, une ANOVA Groupe (3) x Genre (2) montre des différences significatives entre les trois groupes de participants, $F(2,52)=3,72$, $p<.05$, $\eta^2=.13$ (voir figure 47).

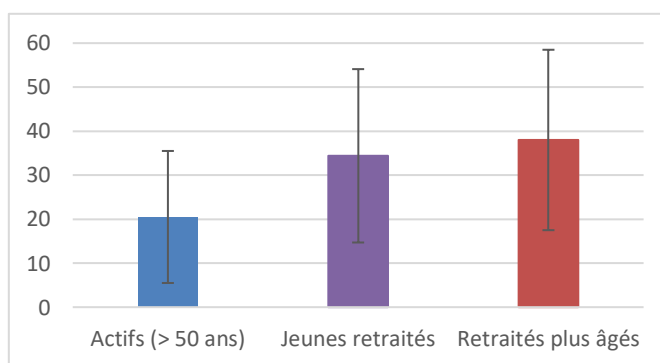


Figure 47 : pourcentage déclaré de déplacements à pied en fonction de l'âge. Les barres verticales représentent les écart-types.

⁸ Logiciel téléchargé en ligne : <http://www.michaelbach.de/fract/index.html>

Les analyses post-hoc montrent que les retraités âgés déclarent marcher significativement plus que les actifs de plus de 50 ans ($p < .05$). La différence est tendancielle entre les actifs de plus de 50 ans et les jeunes retraités ($p = .059$), mais non significative entre les jeunes retraités et les retraités plus âgés ($p = .89$). On n'observe pas de différence significative liée au genre ($p = .34$).

Concernant les déplacements en voiture en tant que conducteur, il n'existe pas de différence significative entre les trois groupes de participants ($p = .26$), ni liée au genre des participants ($p = .34$). De même, concernant l'usage des transports en commun, on n'observe pas de différence significative liée au groupe de participants ($p = .73$) ou au genre ($p = .76$).

3.1.3- Usages des technologies de navigation

Usage du GPS en voiture : 72% (42 sur 58) des participants de l'étude déclarent avoir déjà utilisé un GPS en voiture, sans différences significatives entre les groupes de participants ($p = .39$). Parmi les personnes ayant déjà utilisé un GPS pour voiture, 79% (33 sur 42) déclarent n'avoir pas ou peu de difficultés à le programmer ($p = .41$ pour l'effet du groupe), 88% (37 sur 42) pas ou peu de difficultés à comprendre les instructions orales du GPS ($p = .70$ pour l'effet du groupe) et 81% (34 sur 42) pas ou peu de difficultés à comprendre les instructions visuelles du GPS ($p = .53$ pour l'effet du groupe).

Les participants déclarent utiliser leur GPS pour aller à des endroits pas ou peu connus dans 60% des cas (25 sur 42), ou sur la quasi-totalité de leurs trajets dans 24% des cas (10 sur 42), sans différence significative entre les groupes de participants sur la fréquence d'usage du GPS ($p = .48$). De fait, l'utilisation de GPS en voiture ne semble pas présenter de difficulté pour les participants, et constitue une pratique courante.

Usage du smartphone pour la navigation piétonne : 78% (45 sur 58) des participants déclarent posséder un smartphone. Un test de Kruskal-Wallis montre des différences significatives selon le groupe de participants, $H(2, N=58) = 7,82, p < .05$. Ainsi les retraités plus âgés possèdent significativement moins de smartphones que les actifs de plus de 50 ans $\chi^2(1,37) = 4,01, p < .05$, et que les jeunes retraités $\chi^2(1,37) = 6,03, p < .05$. Parmi les possesseurs de smartphone, 98% (44 sur 45) estiment n'avoir pas ou peu de difficultés à interagir avec leur smartphone, 82% (37 sur 45) pas ou peu de difficultés à naviguer dans le menu de leur smartphone et 51% (23 sur 45) pas ou peu de difficultés à installer de nouvelles applications, contre 27% (12 sur 45) qui estiment avoir des difficultés. Un test de Kruskal-Wallis montre un effet significatif du groupe de participants $H(2, N=45) = 9,99, p < .01$, les retraités plus âgés éprouvant significativement plus de difficultés à installer de nouvelles applications que les actifs de plus de 50 ans $\chi^2(2,26) = 7,12, p < .05$. L'utilisation de smartphones semble donc plus difficile au groupe des retraités âgés.

Parmi les possesseurs de smartphones, 51% (23 sur 45) déclarent ne jamais utiliser leur smartphone en guise de GPS lorsqu'ils sont à pied, tandis qu'ils sont 27% (12 sur 45) à déclarer l'utiliser comme GPS lorsqu'ils sont perdus, et 22% (10 sur 45) à déclarer l'utiliser pour aller dans des endroits inconnus ou sur la quasi-totalité des trajets piétons. Un test de Kruskal-Wallis montre des différences significatives entre les groupes de participants $H(2, N=45) = 8,54, p < .05$, les retraités plus âgés utilisant significativement moins les applications de navigation piétonne que les actifs $\chi^2(2,26) = 11,18, p < .01$ et que les jeunes retraités $\chi^2(2,31) = 7,87, p < .05$.

Usage des aides à la navigation en général : Six propositions étaient faites aux participants pour trouver leur chemin dans un environnement inconnu / peu connu :

- Demander le chemin aux passants,
- Faire appel à sa mémoire des environs,
- Utiliser une carte papier,
- Utiliser un GPS ou un smartphone,
- Préparer l'itinéraire à l'avance,
- Éviter d'y aller.

Il était demandé aux participants de choisir par ordre de préférence 3 moyens de s'orienter, qu'ils soient en voiture ou à pied.

En voiture : les 4 réponses les plus souvent citées par les participants sont : préparer l'itinéraire à l'avance (citée 48 fois), faire appel à un GPS (citée 39 fois), faire appel à une carte papier (citée 39 fois), demander le chemin aux passants (citée 37 fois) (figure 48)

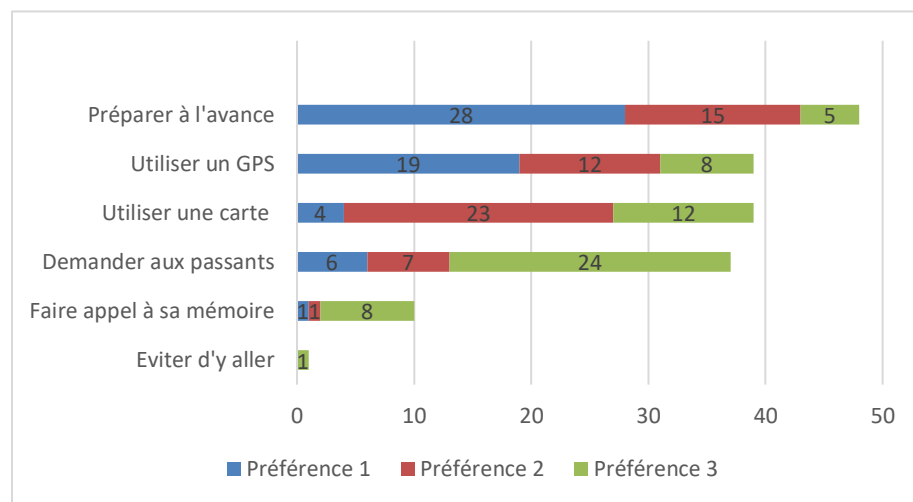


Figure 48 : Préférences des participants pour s'orienter en voiture.

Préparer l'itinéraire à l'avance semble être l'option préférée des participants, citée à 48% comme 1^{er} choix (28 sur 58), devant le fait d'utiliser un GPS, à 33% (19 sur 58). L'utilisation d'une carte papier est le second choix majoritaire, à 40% (23 sur 58), devant la préparation à l'avance, à 26% (15 sur 58). Enfin, demander aux passants est l'option préférée en 3^e recours, à 41% (24 sur 58). Des analyses de type Chi² de Pearson ont été menées sur les items principaux, et celles-ci ne révèlent pas de différence entre les groupes de participants sur les préférences d'orientation en voiture dans un environnement inconnu.

A pied : les 3 réponses les plus souvent citées sont : préparer l'itinéraire à l'avance (citée 49 fois), demander aux passants (citée 46 fois), faire appel à une carte papier (citée 38 fois) (voir figure 49).

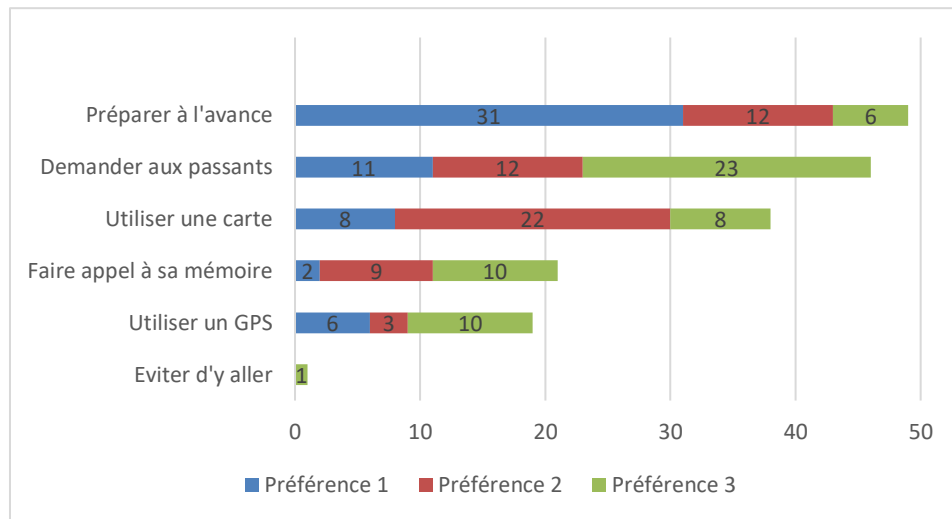


Figure 49 : Préférences des participants pour s'orienter à pied.

Préparer l'itinéraire à l'avance semble être l'option préférée des participants à pied, citée à 53% comme 1^{er} choix (31 sur 58). L'utilisation d'une carte papier est le second choix majoritaire, à 38% (22 sur 58). Enfin, demander aux passants est l'option préférée en 3^e recours, à 40% (23 sur 58). Des analyses de type Chi² de Pearson ont été menées et ne révèlent pas d'effet du groupe sur les préférences d'orientation à pied dans un environnement inconnu sur cet échantillon de 58 participants.

Une comparaison des réponses selon le mode de transport utilisé (en voiture ou à pied) ne montre pas de différence significative sur les préférences d'orientation, à l'exception de l'usage du GPS. Sur cet item, une analyse de type Chi² de Pearson montre des différences significatives selon le mode de transport sur l'usage du GPS $\chi^2(2,58)=6,23, p<.05$, les participants déclarant faire significativement moins appel au GPS lorsqu'ils sont à pied qu'en voiture. Le GPS piéton ne semble donc pas être entré encore aujourd'hui dans les mœurs.

Appréciation des aides à la navigation en général : 83% des participants (48 sur 58) déclarent se sentir en sécurité avec les aides à la navigation, sans effet significatif du groupe ($p=.90$), 64 % (37 sur 58) faire autant attention à la route avec les aides à la navigation que sans elles, 81% (47 sur 58) déclarent faire confiance aux aides à la navigation pour arriver à destination ($p=.67$), et 69% des participants (40 sur 58) déclarent avoir le contrôle sur les événements lorsqu'ils utilisent les aides à la navigation ($p=.39$). Aussi, les aides à la navigation sont appréciées de manière plutôt positive par l'ensemble des participants (sentiment de sécurité, attention portée à la route, confiance, sentiment de contrôle).

3.1.4 – Autoévaluation des capacités d'orientation spatiale

Les capacités d'orientation spatiale des participants ont été évaluées sur la base de leurs déclarations grâce à 10 items issus du Santa Barbara Sense of Direction Scale (SBSoD) ainsi qu'à travers le Questionnaire sur les Représentations Spatiales (QSR).

Questions issues du SBSoD : Des analyses Kruskal-Wallis ont été menées sur les réponses aux questions issues du SBSoD, afin d'étudier des potentielles différences liées au groupe de participants et au genre. Le tableau 7 détaille les différences significatives observées.

Item du questionnaire	Facteur de différenciation	Kruskal-Wallis
« Je comprends bien les directions »	Groupe	H (2,N=58)=8,73, p<.05
Interprétation Chi ² : Les retraités plus âgés déclarent comprendre significativement mieux les directions que les actifs de plus de 50 ans $\chi^2(1,37)=7.54$, p<.01. De même, les jeunes retraités déclarent comprendre significativement mieux les directions que les actifs des plus de 50 ans $\chi^2(1,37)=3.97$, p<.05. On n'observe pas de différence significative entre jeunes retraités et plus âgés.		
« J'aime lire des cartes »	Groupe	H (2,N=58)=7,02 p<.05
Chi ² : les retraités plus âgés déclarent aimer significativement plus lire des cartes que les actifs de plus de 50 ans $\chi^2(1,37)=9,26$, p<.01. On n'observe pas de différence significative entre actifs de plus de 50 ans et jeunes retraités ni entre jeunes retraités et retraités plus âgés.		
« J'aime indiquer leur chemin aux personnes »	Groupe	H (2,N=58)=23,09, p<.0005
Chi ² : les jeunes retraités déclarent aimer significativement plus indiquer leur chemin aux personnes que les actifs de plus de 50 ans $\chi^2(1,37)=10,86$, p<.001. De même les retraités plus âgés déclarent aimer significativement plus indiquer le chemin que les actifs de plus de 50 ans $\chi^2(1,37)=14.75$, p<.001. On n'observe pas de différence significative entre jeunes retraités et retraités plus âgés.		
« Je peux poursuivre mon chemin si je suis interrompu »	Groupe	H (2,N=58)=15,95, p<.0005
Chi ² : les jeunes retraités déclarent avoir significativement moins de difficultés à poursuivre leur chemin s'ils sont interrompus que les actifs, $\chi^2(1,37)=11.58$, p<.001. De même les retraités plus âgés déclarent avoir moins de difficultés à poursuivre leur chemin que les actifs $\chi^2(1,37)=11.58$, p<.001. On n'observe pas de différence significative entre jeunes retraités et âgés.		
« Je m'oriente facilement dans une nouvelle ville »	Genre	H (1,N=58)=11,80, p<.001
Chi ² : les femmes déclarent s'orienter significativement moins bien dans une nouvelle ville que les hommes $\chi^2(2,58)=11.82$, p<.05.		
« Je me rappelle bien d'un trajet après l'avoir effectué une seule fois »	Genre	H (1,N=58)=9,97, p<.005
Chi ² : les femmes déclarent se rappeler significativement moins bien des trajets après les avoir effectués une seule fois que les hommes $\chi^2(2,58)=11,70$, p<.005.		
« Je me rappelle bien d'un trajet quand je suis passager »	Genre	H (1,N=58)=9,60, p<.005
Chi ² : que les femmes estiment significativement moins bien se rappeler des trajets lorsqu'elles voyagent en tant que passagères d'une voiture $\chi^2(1,58)=9,17$, p<.005.		
« Je m'oriente facilement dans une ville connue »	Genre	H (1,N=58)=6,04, p<.05
Chi ² : les femmes déclarent s'orienter significativement moins bien dans une ville connue que les hommes $\chi^2(2,58)=6,86$, p<.05.		
« Je comprends bien les directions »	Genre	H (1,N=58)=4,37, p<.05
Chi ² : les femmes estiment significativement moins bien comprendre les directions que les hommes $\chi^2(1,58)=4.59$, p<.05.		
« Je ne m'inquiète pas quand je ne sais pas où je suis »	Genre	H (1,N= 58)=9,60, p <.005
Chi ² : femmes déclarent être plus anxieuses que les hommes lorsqu'elles ne savent pas où elles sont $\chi^2(2,58)=12,41$, p<.05.		

Tableau 7 : différences significatives observées en fonction du groupe et du genre et interprétation des différences dans le questionnaire Sante Barbara Sence of Direction Scale.

En résumé, les retraités de plus de 70 ans estiment leurs capacités d'orientation et de navigation significativement meilleures que les actifs de plus de 50 ans (compréhension des directions, goût pour la lecture de carte, goût pour indiquer leur chemin aux autres, reprise du chemin après une interruption). Ce résultat, a priori contre-intuitif, peut laisser entendre une plus grande difficulté des plus âgés à accepter leurs difficultés d'orientation (attestées dans la littérature riche à ce sujet, et par leurs performances à la tâche sur simulateur, voir section suivante). Les femmes déclarent également avoir significativement plus de difficultés d'orientation que les hommes (orientation en environnement connu et inconnu, compréhension des directions, anxiété, rappel du trajet) au SBSoD.

Données issues du QSR : Les résultats du QSR permettent de constituer plusieurs scores d'orientation (orientation générale, basée sur les points cardinaux, basée sur les repères, sur les itinéraires, ou encore sur les configurations). Concernant le Score d'orientation générale, une ANOVA Groupe (3) x Genre (2) montre un effet principal du genre $F(1,52)=9,79$, $p<.005$, $\eta^2=.16$ (voir figure 50), les femmes évaluant généralement leur orientation plus négativement que les hommes.

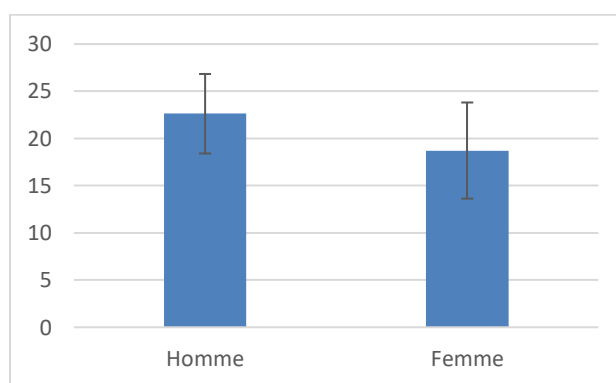


Figure 50 : score d'orientation générale en fonction du genre au questionnaire QSR. Les barres verticales représentent les écart-types.

On n'observe pas d'effet significatif du groupe ($p=.34$) ni d'interaction Groupe x Genre ($p=.87$).

Concernant les autres scores d'orientation spatiale, on n'observe ni d'effet du genre, ni d'effet du groupe, ni d'interaction Groupe x Genre, quel que soit le score considéré (point cardinaux, repères, itinéraires, configurations). Il ne semble pas y avoir de stratégies d'orientation différenciées entre hommes et femmes. Par ailleurs, il ne semble pas y avoir de stratégies d'orientation différenciées entre les groupes de participants plus ou moins âgés, tout du moins en termes de déclarations.

3.1.5 - Score de rotation mentale

Le test de rotation mentale de Vandenberg et Kuse (1978) évalue sur 40 points les capacités de rotation mentale des participants, afin d'identifier un éventuel lien entre ces habiletés visuo-spatiales à petite échelle et les performances de navigation. Une ANOVA Groupe (3) x Genre (2) montre un effet principal du groupe $F(2,52)=5,60$, $p<.01$, $\eta^2=.18$. Les analyses post-hoc montrent que les retraités plus âgés obtiennent un score de rotation mentale significativement plus faible que les actifs de plus de 50 ans ($p<.05$). La différence n'est pas significative entre les actifs et les jeunes retraités ($p=.37$), ni entre les jeunes retraités et les retraités plus âgés ($p=.18$).

L'ANOVA met également en valeur un effet principal du genre $F(1,52)=14,72$, $p<.0005$, $\eta^2=.22$. Les femmes obtiennent un score significativement moins élevé que celui des hommes.

Enfin, l'ANOVA montre une interaction significative entre le groupe et le genre $F(2,52)=3.38$, $p<.05$, $\eta^2=.12$ (voir figure 51).

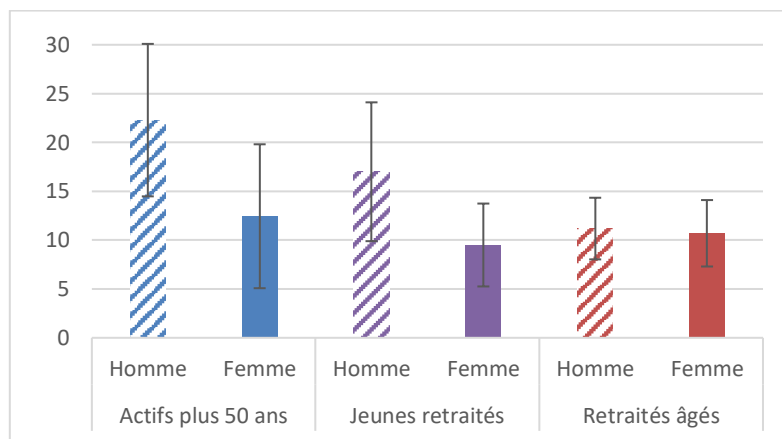


Figure 51 : Score de rotation mentale en fonction du genre et du groupe. Les barres verticales représentent les écart-types.

Les analyses post-hoc montrent que les hommes actifs de plus de 50 ans obtiennent un score de rotation mentale significativement plus élevé que les femmes actives ($p<.05$). Cette différence n'est que tendancielle chez les jeunes retraités ($p=.06$) et non significative chez les retraités plus âgés ($p=.99$). On observe également que les hommes actifs de plus de 50 ans réussissent significativement mieux le test que les hommes retraités âgés ($p<.005$). La différence n'est pas significative entre les hommes actifs de plus de 50 ans et les hommes jeunes retraités ($p=.38$), ni entre les femmes actives de plus de 50 ans et les femmes jeunes retraitées ($p=.90$), les femmes actives de plus de 50 ans et les femmes retraitées âgées ($p=.99$), et enfin entre les femmes jeunes retraitées et les retraitées âgées ($p=.99$).

Le score de rotation mentale est donc significativement plus faible chez les retraités de plus de 70 ans que chez les actifs de plus de 50 ans. Ce score décline chez les hommes à mesure de l'avancée en âge, tandis qu'il se maintient chez les femmes, mais reste plutôt bas et en dessous des hommes quels que soient leurs âges.

En résumé : on observe que les participants les plus âgés sont également ceux qui marchent le plus, comme on pouvait l'attendre. Si les aides à la navigation en général sont plutôt appréciées, leur usage se cantonne souvent à la voiture, et peu de participants font appel à leur smartphone pour trouver leur chemin à pied, d'autant moins chez les plus âgés. Les plus âgés sont également ceux qui auto-évaluent le plus positivement leurs capacités d'orientation spatiale, mais aussi ceux dont les capacités de rotation mentale sont les plus faibles. Les femmes, ont tendance à s'auto-évaluer plus négativement que les hommes, et présentent des capacités de rotation mentale moins élevées.

3.2 - Analyses relatives aux performances lors de la tâche de navigation piétonne sur simulateur

Cette partie repose sur des ANOVA avec comparaison entre groupes de participants, genre et conditions expérimentales. Les analyses menées quant au genre ne sont pas présentées ici dans le document car non significatives en effet principal et en interaction. Les tableaux présentant les moyennes et écart-types par modalité et par groupe pour chaque mesure sont en annexe 7.

3.2.1- Nombre de répétitions nécessaires à la familiarisation

Pour chacune des sessions de l'étude, le nombre de répétitions nécessaires pour l'apprentissage et la reconnaissance des différents messages visuels, auditifs et haptiques a été pris en compte. Ce nombre de répétitions peut être considéré comme un indice des difficultés de compréhension et de mémorisation des messages a priori.

Une ANOVA Groupe (3) x Genre (2) x Modalité (3) x Séance (2) montre un effet principal du groupe de participant $F(2,52)=8,99$, $p<.0005$, $\eta^2=.26$. Les retraités plus âgés ($M=1,52$, $SD = 0,52$) ont besoin de plus de répétitions des messages que les jeunes retraités ($M=1,29$, $SD= 0,41$) et que les actifs de plus de 50 ans ($M=1,14$, $SD=0,26$) pour les apprendre ($p<.05$).

L'analyse révèle également un effet principal du type de messages sensoriels ($F(2,104) = 43,62$, $p<.00001$, $\eta^2=.46$). Les messages vibrotactiles par bracelet ($M=1,66$, $SD=0,66$) demandent plus de répétitions que les messages de guidage visuels par flèche ($M=1,05$, $SD=0,14$) et que les messages auditifs par sons pseudo-spatialisés ($M=1,24$, $SD=0,39$) ($p<.0005$). Les messages auditifs demandent également plus de répétitions que les messages visuels ($p<.01$).

Enfin, l'analyse de la variance met en lumière une interaction entre le groupe de participants et le type de messages sensoriels ($F(4,104)=6.99$, $p<.0001$, $\eta^2=.21$). Les jeunes retraités ($p<.05$) et les retraités plus âgés ($p<.00001$) ont besoin de plus de répétitions pour apprendre les messages haptiques que les actifs de plus de 50 ans, alors qu'il n'existe pas de différence significative entre les groupes pour les messages visuels et auditifs (voir Figure 52).

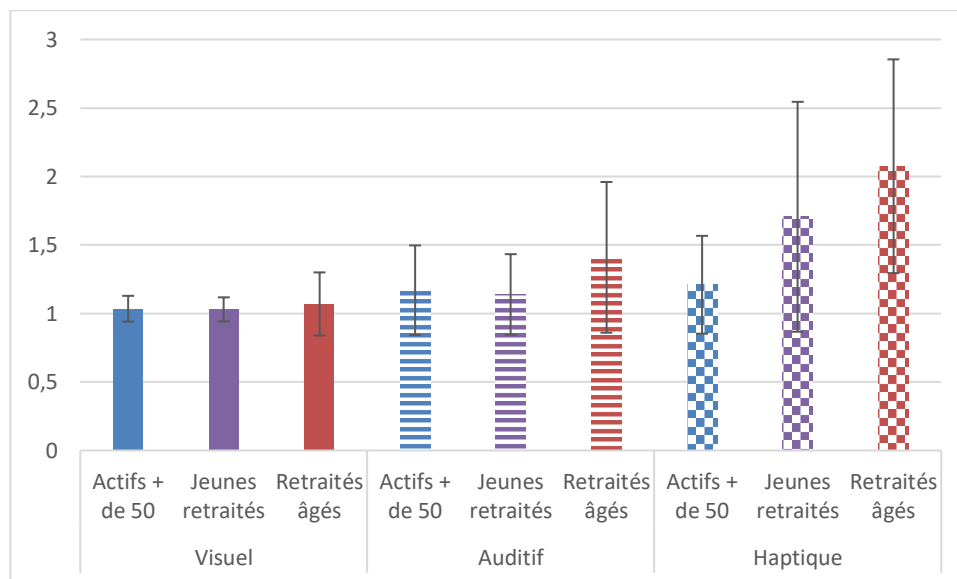


Figure 52 : nombre de répétitions nécessaires pour apprendre et mémoriser les différents types de messages sensoriels de guidage par groupe de participants, toutes sessions confondues. Les barres verticales représentent les écart-types.

Les analyses post-hoc montrent également que, chez les retraités plus âgés, le nombre de répétitions nécessaires à l'apprentissage des messages haptiques est significativement plus élevé que pour les messages visuels ($p < .0005$) et que pour les messages auditifs ($p < .0005$). On n'observe pas de différence entre messages visuels et auditifs ($p = .07$). Chez les jeunes retraités, le nombre de répétitions nécessaires pour les messages haptiques est significativement plus élevé que pour les messages visuels ($p < .0005$) et auditifs ($p < .0005$). Il n'y a pas de différence entre visuel et auditif ($p = .97$). On n'observe pas de différence significative entre les différents types de messages sensoriels chez les actifs de plus de 50 ans.

On ne relève pas d'effet lié à la session de l'étude ni au genre, que ce soit en facteur principal ou en interaction.

3.2.2 – Temps de parcours supplémentaire par rapport au temps optimal

Une ANOVA Groupe (3) x Genre (2) x Condition (7) montre un effet principal du groupe de participants $F(2,52) = 6,4$, $p < .005$, $\eta^2 = .20$. Les retraités plus âgés mettent significativement plus de temps à parcourir l'itinéraire ($M = 31,8$, $SD = 20,8$) que les jeunes retraités ($M = 19,4$, $SD = 16,7$) ($p < .01$) et que les actifs de plus de 50 ans ($M = 18,5$, $SD = 16$) ($p < .01$). La différence n'est pas significative entre les actifs et les jeunes retraités ($p = .99$).

L'analyse met aussi en valeur un effet principal de la condition expérimentale $F(6,312) = 57,72$, $p < 0,0001$, $\eta^2 = .53$. Les analyses post-hoc indiquent que les participants mettent significativement plus de temps à parcourir l'itinéraire dans la condition carte ($M = 71,6$, $SD = 53,3$) que dans les 6 autres conditions ($p < .0001$). Le temps de parcours de l'itinéraire augmente également significativement avec le guidage haptique ($M = 26,4$, $SD = 16,3$) par rapport au guidage visuel seul ($M = 12,9$, $SD = 10$) ($p < .05$), au guidage visuel combiné à l'auditif ($M = 7,7$, $SD = 6,8$) ($p < .0001$) et au guidage visuel combiné à l'haptique ($M = 8,1$, $SD = 7,1$) ($p < .0005$). Avec la combinaison des messages auditifs et haptiques ($M = 20,2$, $SD = 16,9$) les participants mettent également plus de temps qu'avec la combinaison visuel et auditif ($p < .05$). Il n'y a pas de différence significative entre les messages auditifs et les messages haptiques ($p = .15$).

Enfin, les résultats montrent une interaction significative entre le groupe et la condition expérimentale $F(12,312)=1,95, p<.05, \eta^2=.07$ (voir figure 53).

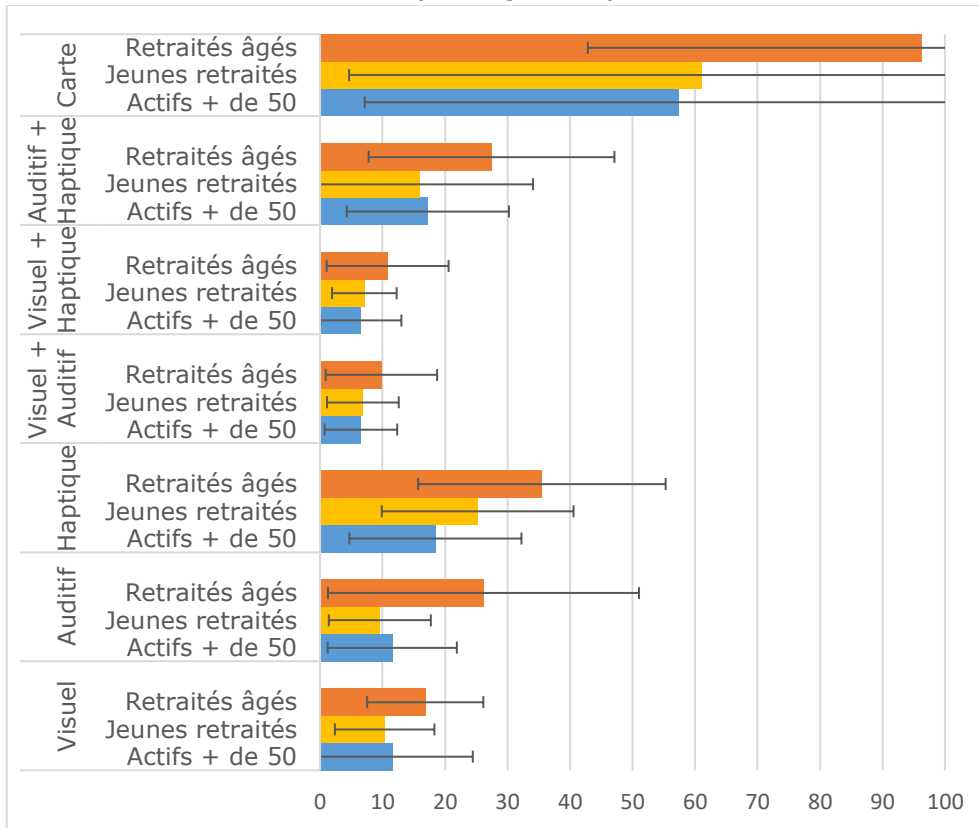


Figure 53 : pourcentage d'augmentation du temps de parcours par rapport au temps optimal en fonction de la condition expérimentale de guidage et du groupe de participants. Les barres horizontales représentent les écart-types.

Avec la carte, les retraités plus âgés mettent plus temps à parcourir l'itinéraire ($M=96,3, SD=53,4$) que les actifs de plus de 50 ans ($M=57,3, SD=50,2$) ($p<.0005$) et que les jeunes retraités ($M=61,1, SD=56,4$) ($p<.0001$). Il n'existe pas de différence significative entre actifs et jeunes retraités avec la carte ($p=.99$). Par ailleurs, on n'observe pas de telles différences intergroupes pour les autres modalités : le guidage visuel ne fait pas apparaître de différences inter-groupes, tout comme le guidage auditif, le guidage haptique et leurs combinaisons.

Les analyses post-hoc montrent également que le temps de parcours est significativement plus élevé avec la carte qu'avec les 6 autres modalités testées chez les actifs de plus de 50 ans ($p<.0001$), chez les jeunes retraités ($p<.0005$), et chez les retraités plus âgés ($p<.00005$). Les retraités plus âgés mettent significativement plus de temps avec la modalité haptique seule ($M=35,5, SD=19,8$) qu'avec les combinaisons des guidages visuel et auditif ($M=9,8, SD=8,9$) et visuel et haptique ($M=10,8, SD=9,8$) ($p<.05$).

Le genre n'est pas significatif, ni en facteur principal, ni en interaction.

3.2.3 – Taux d’orientations correctes aux intersections simples

Une ANOVA Groupe (3) x Genre (2) x Condition (7) montre un effet principal du groupe de participants sur le taux d’orientations correctes aux intersections simples $F(2,52)=7,55$, $p<.005$, $\eta^2=.23$. Les retraités plus âgés ont un taux de réponses correctes plus faible ($M=89,6$, $SD=10,9$) que les jeunes retraités ($M=95,7$, $SD=7,3$) et que les actifs de plus de 50 ans ($M=95,9$, $SD=6,8$) ($p<.005$).

L’analyse met aussi en valeur un effet principal de la condition expérimentale ($F(6,312)=18,92$, $p<.0001$, $\eta^2=.27$). Le taux d’orientations correctes aux intersections simples est significativement plus faible avec la carte papier ($M=84,1$, $SD=16,5$) qu’avec toutes les autres modalités de guidage testées excepté la modalité haptique ($M=88$, $SD=12,9$, $p=.22$). Ainsi, les instructions visuelles seules ($M=98,9$, $SD=3,3$), les combinaisons de guidage mobilisant la modalité visuelle ($M=100$, $SD=0$), et les instructions auditives seules ($M=95,2$, $SD=9,2$) conduisent à un taux d’orientations correctes en intersections simples plus élevé qu’avec la carte ($M=84,1$, $SD=16,5$, $p<.00005$) et qu’avec le guidage haptique ($M=88$, $SD=12,9$, $p<.05$). Le guidage visuel et les deux combinaisons de messages mobilisant la modalité visuelle donnent également des taux d’orientations correctes plus élevés en intersections simples que la combinaison sensorielle mobilisant les informations auditives et haptiques ($M=89,8$, $SD=16,2$, $p<.0005$).

Enfin, l’ANOVA montre une interaction significative entre le groupe de participants et la condition expérimentale ($F(12,312)=3,48$, $p<.0001$, $\eta^2=.12$) (voir figure 54). Avec la carte, le taux d’orientations correctes en intersection simple est plus faible chez les retraités âgés que chez les deux autres groupes de participants ($p<.005$). On n’observe pas de telles différences intergroupes dans les autres conditions expérimentales. Ceci suggère que les instructions sensorielles de guidage testées dans la présente étude pourraient aider à compenser les effets délétères de l’âge qui sont observés avec la carte.

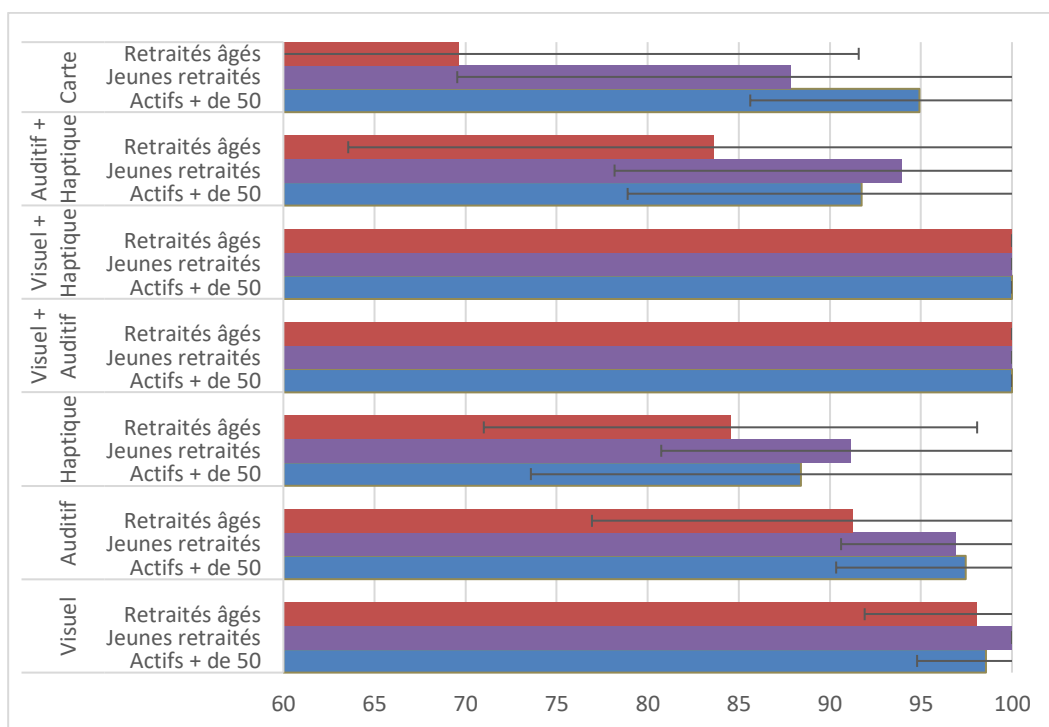


Figure 54 : taux d’orientations correctes en intersection simple en fonction de la condition expérimentale de guidage et du groupe de participants. Les barres horizontales représentent les écart-types.

Le taux d’orientations correctes aux intersections simples est plus élevé avec les messages visuels et les combinaisons sensorielles mobilisant les messages visuels qu’avec les autres types de guidage, et ce dans tous les groupes de participants. Les retraités âgés, en particulier, tirent

bénéfice des aides sensorielles de guidage, dans la mesure où leur taux d'orientation correctes est plus élevé pour chaque guidage sensoriel par rapport à la carte ($p < .005$). Avec le guidage visuel en particulier, leur taux d'orientations correctes est plus élevé qu'avec la carte ($p < .00005$), qu'avec le guidage haptique ($p < .05$) et qu'avec la combinaison des messages auditifs et haptiques ($p < .005$).

Le genre n'est pas significatif, ni en facteur principal, ni en interaction.

3.2.4- Taux d'orientations correctes aux intersections complexes

Une ANOVA Groupe (3) x Genre (2) x Condition (7) montre un effet principal du groupe de participants sur le taux d'orientations correctes aux intersections complexes du type rond-point ($F(2,52)=7,02$, $p < .005$, $\eta^2=.21$). Les retraités âgés ont un taux d'orientations correctes aux intersections complexes plus faible ($M=81,9$, $SD=20.3$) que les jeunes retraités ($M=90,2$, $SD=14.2$) et que les actifs de plus de 50 ans ($M=92,7$, $SD=13.3$) ($p < .05$).

L'analyse permet aussi de mettre en valeur un effet principal de la condition expérimentale ($F(6,312)=13,19$, $p < .00001$, $\eta^2=.20$). Le taux d'orientations correctes en intersection complexe est significativement plus faible avec la carte ($M=84,4$, $SD=22.3$, $p < .05$), avec l'haptique ($M=74,6$, $SD=21.2$, $p < .00005$) et la combinaison des informations auditive et haptique ($M=82,5$, $SD=21.5$, $p < .01$) qu'avec la modalité auditive seule ($M=93,4$, $SD=11.3$, $p < .05$) et les combinaisons sensorielles mobilisant les messages visuels ($M=95.5$, $SD=10$). De plus, le guidage visuel seul conduit à des taux d'orientations correctes en intersection complexe significativement plus élevé que le guidage haptique ($p < .00005$) ou que la combinaison auditif et haptique ($p < .05$).

Enfin, l'analyse montre une interaction significative entre le groupe de participants et la condition expérimentale ($F(12,312)=1.79$, $p < .04$, $\eta^2=.06$) (voir figure 55).

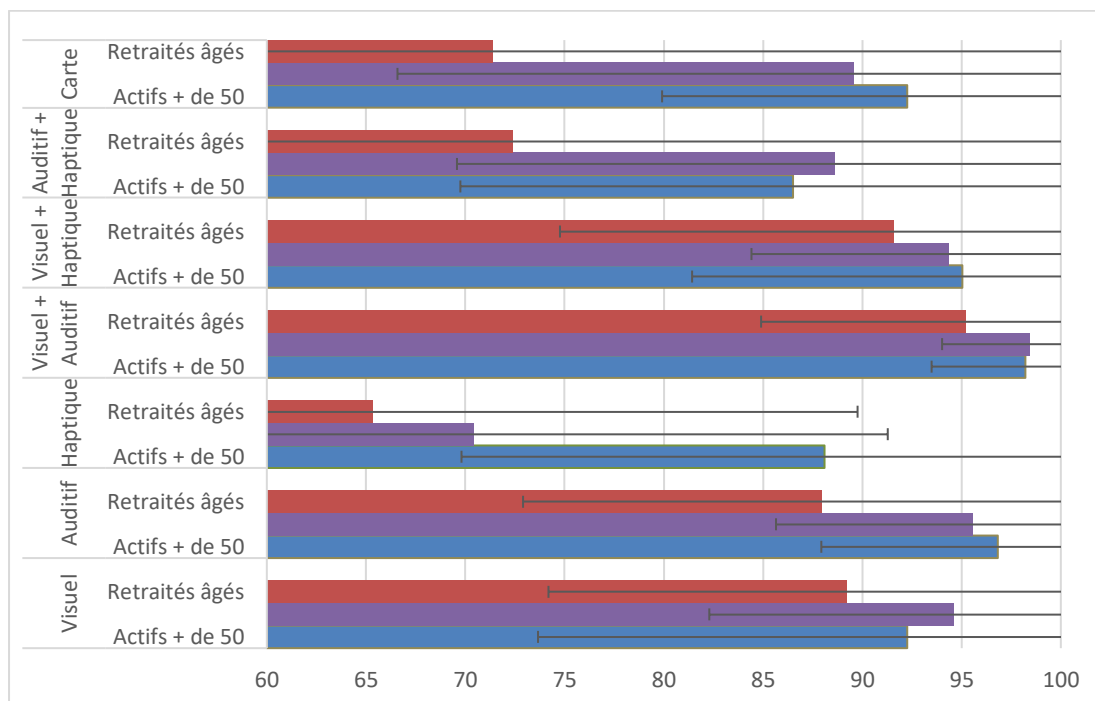


Figure 55 : taux d'orientations correctes en intersections complexes en fonction de la condition expérimentale de guidage et du groupe de participants. Les barres horizontales représentent les écarts-types.

Les retraités plus âgés ont plus de difficultés dans les intersections complexes que les actifs de plus de 50 ans avec le guidage haptique ($p < .05$). Une tendance similaire est observée avec la carte ($p=.06$). De telles différences intergroupes ne sont pas observées pour les 5 autres

conditions expérimentales, ce qui sous-entendrait que les guidages visuel, auditif et les combinaisons sensorielles peuvent aider à compenser les effets délétères de l'âge sur les performances de navigation en intersection complexe de type rond-point.

Les retraités les plus âgés tirent avantage du guidage visuel et des combinaisons sensorielles mobilisant les informations visuelles, dans la mesure où leurs taux d'orientations correctes sont plus élevés dans ces conditions qu'avec la carte ($p < .05$), le guidage haptique ($p < .001$), et la combinaison auditif et haptique ($p < .05$). Parmi le groupe des jeunes retraités, le guidage visuel, les combinaisons mobilisant les informations visuelles et le guidage auditif conduisent à des taux d'orientations correctes significativement plus élevés qu'avec le guidage haptique ($p < .05$). On n'observe pas de telles différences au sein du groupe des actifs de plus de 50 ans.

Le genre n'est pas significatif, ni en facteur principal, ni en interaction.

3.2.5- Analyse des résultats par rapport au profil des participants

Des analyses de corrélation ont été réalisées afin de faire émerger un potentiel lien entre les performances de rotation mentale et les performances de navigation sur simulateur, dans la mesure où les performances de navigation seraient dépendantes des capacités de rotation mentale (Malinowski, 2001). On observe une corrélation positive entre le score de rotation mentale et le taux d'orientations correctes total (intersections simples + complexes) avec la carte $r(58) = .33, p < .05$, ainsi qu'une corrélation négative entre le score de rotation mentale et le temps de parcours avec la carte $r(58) = -.43, p < .05$. Ceci sous-entendrait que plus le score de rotation mentale des participants est élevé, meilleurs ils sont en lecture de carte.

Pareillement, on observe une corrélation positive entre le score de rotation mentale et le taux d'orientations correctes total avec le guidage haptique $r(58) = .43, p < .05$, ainsi qu'une corrélation négative entre le score de rotation mentale et le temps de parcours avec le guidage haptique $r(58) = -.37, p < .05$. Compte tenu des difficultés manifestes à naviguer avec le guidage haptique mises en valeur dans les sections précédentes, ceci sous-entendrait que plus le score de rotation mentale est élevé, moins les difficultés de navigation avec ce guidage sont prégnantes. On ne trouve pas de corrélations significatives entre rotation mentale et performance de navigation pour les autres modes de guidage.

En résumé : si les participants les plus âgés éprouvent plus de difficultés de navigation (temps de parcours et taux d'orientations correctes) que les participants plus jeunes, on observe que ces difficultés sont accrues avec la carte et le guidage haptique, et compensées avec les modalités recourant au sens visuel. On n'observe pas de différence liée au genre.

3.3 - Analyses relatives à la reconnaissance de repères

En prenant en compte le score moyen de chaque participant pour chacune des sessions de l'étude, une ANOVA Groupe (3) x Session (2) permet de mettre en valeur un effet principal de la session de l'étude sur la reconnaissance de repères ($F(1,55)=12.84$, $p<.001$, $\eta^2=.19$). Les participants reconnaissent mieux les repères lors de la première session de l'étude ($M=4.7$, $SD=0.8$) que lors de la seconde ($M=4.2$, $SD=0.9$) ($p<.001$) (voir figure 56).

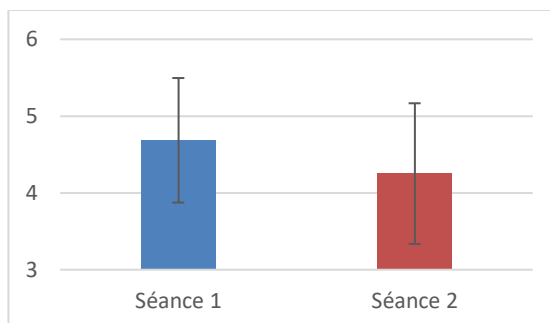


Figure 56 : score de reconnaissance moyen pour chaque session (/8). Les barres verticales représentent les écart-types.

De ce fait, nous avons analysé séparément les scores de reconnaissance au cours des deux sessions. Les analyses ne permettent pas de mettre en valeur d'effet de la condition expérimentale sur le score total de reconnaissance. Les informations de guidage sensorielles ne semblent pas conduire à une moins bonne reconnaissance de l'environnement qu'avec la carte. Lors de la première session, cependant, l'ANOVA indique un effet principal du genre ($F(1,52)=5.08$, $p<.05$, $\eta^2=.09$), les femmes ($M=4.95$, $SD=1.42$) ayant obtenu un score de reconnaissance plus élevé que les hommes ($M=4.48$, $SD=1.51$).

L'analyse met aussi en valeur un effet principal du groupe ($F(2,52)=6.30$, $p<.005$, $\eta^2=.20$). Les jeunes retraités présentent ainsi un score de reconnaissance ($M=5.11$, $SD=1.46$) supérieur aux retraités plus âgés ($M=4.36$, $SD=1.41$, $p<.01$). On n'observe pas de différence significative entre le groupe des actifs de plus de 50 ans et les jeunes retraités ($p=.10$), ni entre les actifs de plus de 50 ans et les retraités âgés ($p=.67$).

On n'observe pas de différence significative liée au groupe, au genre ou à la condition expérimentale au cours de la seconde session de l'étude.

3.4- Analyse de l'expérience utilisateur à partir des entretiens

Après avoir investigué les performances de navigation et la reconnaissance de repères, on cherche ici à savoir quelle est l'expérience utilisateur des participants, qu'on a caractérisée à partir de 12 dimensions, pendant la navigation virtuelle avec les différentes instructions proposées et selon le groupe de participants. Des analyses χ^2 de Pearson ont été réalisées pour chaque dimension de l'expérience utilisateur et pour chaque condition expérimentale, en prenant en compte le groupe de participants et le genre. Ces analyses sont illustrées, dans cette partie, de verbatims issus des entretiens.

Des analyses χ^2 de Pearson ont également été réalisées afin de comparer l'évaluation de chaque variable thématique pour chaque mode de guidage à la moyenne des autres modes de guidage testés. Le tableau 8 résume les pourcentages d'évaluation positive pour chaque mode de guidage. Entre parenthèses est précisé le nombre de participants « répondants » (sur 58) ayant mentionné explicitement un avis sur la variable thématique et la modalité considérée, et sur lequel se fonde donc le pourcentage.

Le guidage est-il ?	Visuel	Auditif	Haptique	V+A	V+H	A+H	Carte
Agréable	93% (55)	79% (56)	50% (56)	72% (54)	74% (50)	17% (57)	62% (52)
Perceptible	94% (48)	84% (56)	22% (58)	80% (44)	56% (48)	20% (41)	64% (58)
Compréhensible	95% (56)	86% (57)	41% (58)	95% (44)	88% (33)	8% (53)	39% (36)
Source d'hésitations	47% (58)	45% (58)	76% (58)	17% (58)	38% (58)	79% (58)	62% (58)
Désorientant	2% (58)	7% (58)	12% (58)	0% (58)	0% (58)	30% (58)	30% (58)
Compatible avec l'attention autour	79% (48)	65% (49)	69% (49)	94% (52)	77% (44)	65% (48)	45% (51)
Sécurisant	81% (42)	91% (43)	73% (37)	86% (50)	74% (43)	47% (38)	68% (41)
Un support à l'autonomie	84% (51)	74% (46)	59% (46)	80% (25)	58% (26)	23% (26)	66% (44)
Quelque chose d'habituel	96% (45)	28% (46)	78% (32)	NS (3)	NS (0)	NS (3)	70% (56)
Utile	80% (56)	83% (57)	73% (58)	22% (58)	29% (58)	7% (57)	93% (43)
Innovant	77% (53)	86% (51)	83% (52)	40% (48)	31% (51)	13% (53)	6% (48)

Tableau 8 : pourcentage d'évaluation positive pour chaque dimension et pour chaque condition expérimentale. Entre parenthèse, le nombre de participants ayant abordé la dimension en question⁹. NS signifie que le nombre de répondants est trop faible pour pouvoir calculer un pourcentage.

Par ailleurs, à la fin de chaque session, les participants ont été invités à classer par ordre de préférence les aides testées. Pour la première session, les participants ont ainsi classé les modalités visuelle, auditive, haptique, et la carte. Pour la seconde session, les participants ont classé les combinaisons des modalités visuelle et auditive, visuelle et haptique, et auditive et haptique.

3.4.1- Expérience utilisateur avec le guidage visuel

L'analyse des verbatims met en valeur que le mode de guidage visuel proposé aux participants est perçu comme plus agréable (évalué positivement à 93%, $\chi^2(1,380)=23.83$, $p<.001$), plus perceptible (94%, $\chi^2(1,353)=35.66$, $p<.001$), et plus compréhensible (95%, $\chi^2(1,337)=27.67$, $p<.001$) que la moyenne des autres guidages. Concernant la compréhensibilité, toutefois, près de 30% des participants estiment que les messages visuels en intersection complexe sont difficiles à interpréter. Il s'agit principalement de difficultés liées à la forme du symbole choisi pour l'entrée dans les ronds-points. En effet, celui-ci induit certaines personnes en erreur dans la mesure où tout le tour du rond-point est coloré en jaune, et non-seulement le tracé à suivre. Aussi, il peut laisser entendre de tourner à gauche pour sortir à droite et réciproquement.

⁹ La dimension relative aux recommandations est exclue du tableau car elle ne peut pas faire l'objet d'une étude en termes de valence positive ou négative.

*« Dans les ronds-points j'ai du mal, la flèche n'est pas dans le bon sens pour moi. Le symbole il n'est pas clair, je suis le dessin, mais c'est trompeur. Pour les autres, il n'y a pas de soucis. Mais pour le rond-point, même si tu me dis que ce n'est pas bon, à chaque fois je recommence. »
(Femme, active de plus de 50 ans)*

Le guidage visuel est également un de ceux avec lesquels le nombre de désorientation est le plus faible, en comparaison à la moyenne des autres guidages (2%, $\chi^2(1,406)=6.22$, $p<.05$). Certes, le nombre d'hésitations est assez élevé (puisque 47% des participants font état d'au moins une hésitation), mais ces hésitations ne semblent pas entamer le sentiment de sécurité des participants dans le mode de guidage. Ils sont ainsi 41% (24/58) à faire spontanément mention de leur confiance dans le guidage, et aucun participant déclare ne pas être en sécurité. Les ronds-points constituent 48% (13/27) des zones d'hésitation, contre 33% (9/27) de zones mal-définies, 11% de demi-tour (3/27) et 7% de « tout-droit » (2/27). Ceci est en particulier lié à la mauvaise compréhension du symbole d'entrée dans les ronds-points, ainsi que de doutes concernant la sortie à prendre. Il semblerait également que, pour ceux qui sont automobilistes, le guidage soit source de confusion, leur habitude d'automobiliste prenant le dessus. Les hésitations en ligne droites sont liées à des questions sur le fonctionnement du dispositif alors qu'il n'a pas envoyé de message depuis un long moment.

*« Dans un rond-point, j'ai fait une erreur, je suis allé à droite au lieu d'aller à gauche. Je voulais faire le tour du rond-point, parce que je pensais qu'il fallait à droite. Je me pensais en voiture. »
(Homme, retraité âgé)*

Le guidage visuel est aussi perçu comme plus utile que la moyenne (80%, $\chi^2(1,387)=18.65$, $p<.001$) et comme un meilleur support à l'autonomie en comparaison des autres guidages non-combiné¹⁰ (84%, $\chi^2(1,187)=5.94$, $p<.05$). Une analyse Chi² de Pearson montre que les jeunes retraités déclarent le guidage visuel significativement plus utile pour eux $\chi^2(1,26)=7.72$, $p<.01$ que les actifs de plus de 50 ans. De même, les retraités plus âgés déclarent le guidage visuel plus utile pour eux que les actifs $\chi^2(1,24)=5.92$, $p<.05$. Il est aussi perçu comme plus innovant que la moyenne (77%, $\chi^2(1,356)=20.62$, $p<.001$).

Un certain nombre de participants (28/58) a émis des recommandations et préconisations de conception à propos du guidage visuel. 34 recommandations ont ainsi été listées. Parmi elles, près d'un tiers (11/34, soit 32%) sont liées à la conception des flèches dans les ronds-points. 18% (6/34) insistent sur la brièveté nécessaire de l'affichage des flèches, si celles-ci apparaissent dans le champ de vision. 18% des recommandations concernent également les lunettes utilisées, en insistant sur leur discrétion et sur la possibilité d'utiliser la propre paire de lunettes de vue des personnes. Enfin, si le système de guidage fléché semble utile, 21% des recommandations faites lors des entretiens (7/34) envisagent la possibilité d'afficher celles-ci sur un écran de smartphone plutôt que dans le champ de vision.

La modalité visuelle est celle qui est préférée lors de la première session de l'étude, avec plus de votes élevés que la moyenne des 3 autres guidages ($\chi^2(1,232)=16,21$, $p<.001$).

¹⁰ Compte tenu du faible nombre de participants répondants à propos de la variable thématique de l'autonomie lors de la deuxième session, seules les réponses lors de la première session sont prises en compte dans l'analyse Chi² pour cette variable.

3.4.2- Expérience utilisateur avec le guidage auditif

Les résultats relatifs à l'appréciation du guidage auditif sont assez similaires à ceux du guidage visuel. Ce guidage est ainsi considéré comme plus agréable que la moyenne (79%, $\chi^2(2,380)=6.54$, $p<.05$), plus perceptible (84%, $\chi^2(1,353)=14.82$, $p<.001$) et plus compréhensible (86%, $\chi^2(1,337)=14.6$, $p<.001$). Certains messages sonores semblent cependant présenter certaines difficultés. Ainsi, sur les 58 participants, 11 personnes (19%) estiment avoir eu des difficultés à comprendre le message d'entrée dans le rond-point, et 10 personnes (17%) celui de demi-tour. Ces difficultés sont liées soit à un problème d'identification du message, les messages du rond-point ou de demi-tour pouvant être confondus entre eux ou avec le message d'arrivée ; soit à un problème de compréhension de la logique du message (signification du son grave dans le rond-point, métaphore en forme de sirène de police pour le demi-tour ...).

« Dans les ronds-points, je faisais un peu plus attention, je me disais : il y a deux sons, le premier est grave. Bon, alors, c'est un rond-point. Pareil, pour le demi-tour, ça fait sirène américaine. » (Homme, jeune retraité)

Parmi les 58 participants de l'étude, 26 font état d'au moins un moment d'hésitation ou d'une erreur au cours du trajet, soit 45%. Parmi ces moments de doute, les ronds-points constituent 31% (8/26) des zones d'hésitation, contre 54% (14/26) de zones mal-définies, 4% de demi-tour (1/26) et 11% de carrefours (3/26). Ceci semble en particulier lié à une mauvaise perception des signaux sonores, et à un effet d'attente, en particulier au niveau des ronds-points, concernant la sortie à emprunter.

« A un moment, dans un rond-point, j'ai dû faire demi-tour. Je n'ai pas compris, j'ai mal lu l'information, j'ai cru que j'étais arrivée. J'étais moins sereine qu'avec le bracelet. J'étais peut-être plus en attente. » (Femme, active de plus de 50 ans)

Le guidage auditif est celui avec lequel les participants se sentent le plus en sécurité et davantage qu'avec la moyenne des autres modes de guidage (91%, $\chi^2(2,294)=6.75$, $p<.05$), alors même qu'ils portent un casque audio pour se guider. Le port du casque à conduction osseuse apparaît à beaucoup de participants (92%) être une bonne solution pour ne pas être coupés de l'environnement. Il faut toutefois noter que les retraités plus âgés sont significativement moins habitués au port du casque que les retraités plus jeunes $\chi^2(1,31)=4.28$, $p<.05$ et que les actifs $\chi^2(1,30)=4.85$, $p<.05$. Ils sont plusieurs à déclarer ne pas aimer porter de choses sur la tête, où à considérer que le port du casque dans la rue est une pratique de « jeunes ».

« L'avantage de la conduction osseuse c'est d'avoir la liberté d'entendre les autres sons. J'ai l'impression que ça tient mieux qu'un casque qui se met dans les oreilles. Ça serait peut-être plus évident avec une parole. Là il faut interpréter le son, alors qu'une parole, il n'y a pas à l'interpréter. » (Homme, jeune retraité)

« Je ne vois pas une mamie porter un casque sur la tête. Les jeunes ont tous un casque sur la tête, j'aurais peur qu'ils se moquent de nous, qu'ils se mettent à nous tirer sur le casque. Il y a toute sorte de gens maintenant. Quand on porte un casque, on est coupé du monde, on ne peut pas avoir de conversation » (Femme, retraitée plus âgée)

Parmi les avis exprimés (57 sur 58 participants), 83% jugent l'usage de la modalité auditive utile, et plus innovante que la moyenne (86%, $\chi^2(1,356)=33.83$, $p<.001$) Ces données quant à l'utilité et à l'aspect innovant d'un guidage sonore sont toutefois à mettre en regard de la possible gêne que le guidage pourrait occasionner dans la rue. En effet, parmi les 58 participants, 28%

(16/58) abordent l'usage de sons comme probablement gênant. Parmi les sources de gêne, le port d'un casque qui isole ou tient mal sur la tête est mentionné.

Un certain nombre de participants (13/58) a émis des recommandations et préconisations de conception. 15 recommandations ont ainsi été listées. Parmi elles, près de la moitié (7/15, soit 47%) sont liées à la conception des sons, en particulier concernant une meilleure distinction des messages de rond-point et d'arrivée. 33% (5/15) insistent sur l'importance de ne pas avoir des sons en permanence au cours de leur trajet.

« J'étais un peu ennuyée par les messages de rond-point parce que je ne les aurais pas faits comme ça moi. Le message de stop, il était clair, plus clair que la vibration de stop. Il était facilement reconnaissable. Mais je devais quand même me concentrer pour interpréter le son dans les ronds-points, c'était moins automatique que de suivre la flèche. » (Femme, active de plus de 50 ans)

3.4.3- Expérience utilisateur avec guidage haptique

Les analyses montrent que le guidage haptique est jugé moins agréable (50%, $\chi^2(2,219)=21.27$, $p<.001$), moins perceptible (22%, $\chi^2(1,353)=43.19$, $p<.001$), et moins compréhensible (41%, $\chi^2(1,337)=15.25$, $p<.001$) que la moyenne des autres guidages. Les difficultés de compréhension semblent liées à une mauvaise perception des messages et à une mauvaise distinction des messages dès lors qu'ils sont composés de plus d'une vibration, induisant une possible confusion entre rond-point et/ou demi-tour et/ou arrivée.

« Quand il y a plusieurs informations, plusieurs bips, on ne sait plus si c'est à gauche ou si c'est à droite. Les deux bips sont trop rapprochés dans l'espace et dans le temps. Je pense qu'une petite impulsion comme ça, si on est distrait, si on discute, on peut la louper. Ce n'est pas assez intense pour moi » (Femme, active de plus de 50 ans)

Les messages haptiques semblent en effet présenter des difficultés. Ainsi, sur les 58 participants, 26 personnes (45%) déclarent avoir eu des difficultés à comprendre le message d'arrivée, 23 personnes (40 %) estiment avoir eu des difficultés à comprendre le message d'entrée dans le rond-point et 10 personnes (17 %) celui de demi-tour. Les retraités plus âgés déclarent avoir significativement plus de difficultés à comprendre les messages haptiques que les retraités plus jeunes $\chi^2(1,42)=4.2$, $p<.05$ et que les actifs $\chi^2(1,37)=13.89$, $p<.001$.

« Il y avait confusion sur les ronds-points, le demi-tour et l'arrivée. A chaque fois qu'il y a plus qu'une vibration. Quand c'est juste sur les côtés, ça va à peu près. Mais dès qu'il y en a deux ensemble, ça demande un effort d'interprétation. » (Homme, retraité âgé)

76% des participants font par ailleurs état d'au moins une hésitation au cours du trajet, ce qui est davantage qu'avec la moyenne des autres guidages ($\chi^2(1,406)=15.47$, $p<.001$). Ces moments d'hésitation, interviennent dans les ronds-points dans 39% des cas (17/44), contre 43% (19/44) dans des zones mal-définies, 9% tout droit (4/44), 4.5% demi-tour (2/44) et 4.5% en intersections simples (2/44). Ceci semble en particulier lié à une mauvaise perception des signaux vibratoires dès lors qu'ils émanent de deux vibreurs, de la logique de navigation propre aux ronds-points et d'un effet d'attente accru à l'abord de certaines intersections.

« J'attendais, je me disais : ça va picoter, ça va pas picoter ?. Sur les ronds-points, parfois, je prenais à gauche, mais je n'étais pas sûr à 100%. » (Homme, actif de plus de 50 ans)

Devant les difficultés à percevoir et à comprendre les instructions, le guidage haptique est jugé comme plus contraignant que la moyenne des autres guidages (dans la mesure où seuls 41% des participants l'envisagent comme un soutien à l'autonomie) ($\chi^2(1,187)=4.59, p<.05$). Deux éléments semblent appuyer ce sentiment de contrainte : le manque d'efficacité perçue du bracelet, et un sentiment d'obligation fort.

« Je me sentais un peu prisonnière d'avoir ces vibrations au poignet. Je me sentais prisonnière de l'objet. Ça m'entrave dans mes mouvements de devoir faire attention à ce que je ressens. » (Femme, jeune retraitée)

Le guidage haptique, bien que plus innovant que la moyenne des guidages (83%, $\chi^2(1,356)=28.34, p<.001$) est perçu comme le moins utile lors de la première session (73%, $\chi^2(1,214)=4.14, p<.05$), et est le moins apprécié parmi les 4 guidages testés lors de cette première séance $\chi^2(1,232)=11.07, p<.001$. Toutefois, la discrétion du dispositif est appréciée par les participants. Ainsi, seulement 7% des participants (4/58) abordent l'usage d'un bracelet de guidage comme potentiellement gênant, et 40% estiment que le bracelet est la meilleure alternative comparativement à un autre dispositif vibrant de type ceinture ou à des semelles vibrantes (32%) ou l'ajout d'une 2^e bracelet (28%), en raison de la praticité et de la discrétion du dispositif.

« Au niveau des chaussures, non, non. Je trouve que le poignet c'est bien. Il ne faut pas non plus que ça parte avec des fils, des machins, des connexions » (Homme, jeune retraité)

Un certain nombre de participants (20/58) a émis des recommandations et préconisations de conception. 20 recommandations ont ainsi été listées. Parmi elles, plus de deux tiers (14/20, soit 70%) sont liées à la conception des messages vibrotactiles, demandant de retravailler la durée, l'intensité et le nombre de vibrations de chaque message afin de mieux les distinguer. 20% (4/20) concernent l'ajout d'une information (confirmation du chemin, couplage à la parole etc.)

3.4.4- Expérience utilisateur avec la combinaison des guidages visuel et auditif

L'utilisation simultanée des messages visuels et auditifs est jugée comme plus perceptible (80%, $\chi^2(1,353)=7.33, p<.05$) et compréhensible (95%, $\chi^2(1,337)=21.96, p<.001$) que la moyenne des autres guidages.

La flèche semble s'imposer comme l'élément dominant dans cette combinaison, puisque 11 participants sur 58 évoquent spontanément la prévalence de la flèche dans leur perception, tandis qu'aucun n'évoque le son. Cette dominance du visuel ne semble pas être due à un décalage temporel dans la mesure où, parmi les 27 participants ayant fait référence à la notion de simultanéité, 13 (soit 48%) estiment les deux messages simultanés, 7 ont l'impression de percevoir la flèche avant (26%), et 7 ont l'impression de percevoir le son avant (26%).

« Le son, c'est une chose, mais le signal visuel c'est plus flagrant. Inconsciemment, je voyais plus les flèches. » (Homme, retraité âgé)

En ce qui concerne la compréhension des messages, là encore, la flèche semble être dominante, puisque 82% des participants (48/58) déclarent appuyer leur décision essentiellement sur la flèche, tandis que 9% font appel principalement au son (5/58) et 9% déclarent s'appuyer véritablement sur la combinaison des deux informations. Parmi les participants privilégiant la flèche, le son est utilisé comme un complément d'information par 38% d'entre eux (18/48), comme une alerte par 21% (10/48), et est inutile

pour 41% (20/48).

« Je me suis plus aidé des flèches que du son, j'avais déjà traité les flèches le temps que le son monte au cerveau. Les sons ne m'ont servi à rien, je vérifiais juste qu'il me disait la même chose que la flèche. » (Femme, jeune retraitée)

Cette combinaison est le mode avec lequel les participants ont le moins d'hésitations. En effet, parmi les 58 participants de l'étude, seuls 10 font état d'au moins un moment d'hésitation ou d'une erreur au cours du trajet, soit 17% $\chi^2(1,406)=32.7$, $p<.001$. Ces hésitations ont lieu dans les ronds-points à 60% (6/10), et semblent liées à une mauvaise interprétation des signaux d'entrée dans les ronds-points, ou au fait d'avoir emprunté la première sortie. Aucun participant ne fait mention explicite de s'être senti désorienté, ce qui est significativement moindre que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,406)=8.65$, $p<.01$.

« Je n'ai pas hésité cette fois-ci. J'étais guidé et bien guidé, j'étais confiant. » (Homme, jeune retraité)

Cette combinaison sensorielle permet de regarder autour de soi pour 94% des participants, ce qui est significativement supérieur à la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,341)=16.43$, $p<.001$. Elle est également plus sécurisante que la moyenne selon les participants (86%, $\chi^2(2,294)=12.62$, $p<.01$). Cependant, la question de la pertinence de la combinaison est soulevée, car seuls 22% des participants la trouvent utile. On observe ici une différence liée au genre : les femmes déclarent trouver significativement plus utile la combinaison des informations visuelles et auditives que les hommes $\chi^2(1,58)=6.21$, $p<.05$.

Un certain nombre de participants (36/58) a émis des recommandations et préconisations de conception. 36 recommandations ont ainsi été listées. Parmi elles, 86% (31/36) concernent justement le fait d'utiliser une seule des deux modalités testées, qu'il s'agisse du son ou des flèches.

Enfin, en ce qui concerne la préférence finale des participants à l'issue de la 2^e session, la combinaison des messages visuel et auditif est celle qui apparaît comme la préférée parmi l'ensemble des participants $\chi^2(1,174)=15.84$, $p<.001$.

3.4.5- Expérience utilisateur avec la combinaison des guidages visuel et haptique

L'utilisation simultanée des messages visuels et haptiques est jugée plutôt agréable (74%) et perceptible (56%) par les participants. La flèche semble également s'imposer comme l'élément dominant dans cette combinaison, puisque 8 participants sur 58 évoquent spontanément la prévalence de la flèche dans leur perception, tandis qu'aucun n'a évoqué le retour vibratoire. Cette dominance du visuel peut être mise en lien avec un décalage temporel perçu, alors même que les messages étaient envoyés en même temps : parmi les 28 participants ayant fait référence à la notion de simultanéité, seulement 5 (soit 18%) estiment les deux messages simultanés, tandis que 14 ont l'impression de percevoir la flèche avant (50%), et 9 ont l'impression de percevoir la vibration avant (32%).

« La flèche est toujours avant les vibrations. J'avais toujours l'impression que c'était l'un puis l'autre. » (Homme, jeune retraité)

Cette combinaison est perçue comme plus compréhensible (88%, $\chi^2(1,337)=21.96$, $p<.01$) que la moyenne des autres guidages et, là encore, la flèche semble être dominante, puisque 84% des participants (48/57) déclarent appuyer leur décision essentiellement sur la flèche, tandis que 9% font appel principalement au bracelet (5/57) et 7% déclarent s'appuyer véritablement

sur la combinaison des deux informations. Parmi les participants privilégiant la flèche, la vibration est utilisée comme un complément d'information par 35% d'entre eux (17/48), comme une alerte par 19% (9/48), et est inutile pour 40% (19/48).

« J'ai plus été encline à suivre les flèches que le bracelet, parce que c'était plus facile. Le bracelet je l'ai zappé. » (Femme, jeune retraitée)

Parmi les 58 participants de l'étude, 22 font état d'au moins un moment d'hésitation ou d'une erreur au cours du trajet avec cette combinaison, soit 38%. Les ronds-points constituent 55% (12/22) des zones d'hésitation. Aucun participant ne fait pourtant mention explicite de s'être senti désorienté.

Comme pour les autres combinaisons de messages, la question de l'utilité de fournir deux informations simultanées est soulevée : seuls 29% des participants trouvent ce mode de guidage utile, et 31% innovant, ce qui est inférieur à la moyenne des autres guidages (respectivement $\chi^2(1,387)=16.39, p<.001$ et $\chi^2(1,356)=7.07, p<.01$). 43 recommandations ont été listées. Parmi elles, 79% (34/43) concernent le fait d'utiliser une seule des deux modalités testées. Ainsi 28% des recommandations visent à utiliser un seul dispositif, peu importe qu'il s'agisse du bracelet ou des flèches (12/43), 40% préconisent de n'utiliser que les flèches (17/43), et 11% que le bracelet (5/43). 9% des recommandations, enfin, visent à utiliser le bracelet vibrant comme d'avertisseur, en complément des flèches (4/43).

« Potentiellement, les deux en même temps, ça serait bien, parce qu'il y a un avertisseur et un directionnel. » (Homme, retraité âgé)

3.4.6- Expérience utilisateur avec la combinaison des guidages auditif et haptique

Tout comme le guidage haptique, la combinaison des informations auditives et haptiques est perçue moins agréable (17%, $\chi^2(2,380)=64,37, p<.001$), moins perceptible (20%, $\chi^2(1,353)=33,38, p<.001$), moins compréhensible (8%, $\chi^2(1,337)=86,16, p<.001$) et comme une source d'hésitation (79%, $\chi^2(1,406)=20,26, p<.001$) et de désorientation (30% $\chi^2(1,174)=37,68, p<.001$) plus importante que la moyenne des autres modes de guidage.

Les difficultés de lisibilité avec cette combinaison sont de plusieurs types : une mauvaise perception du casque ou du bracelet seul, une perception confuse ne permettant pas de distinguer ce qui provient du casque et ce qui provient du bracelet, ou encore une impression de source d'information unique et mal latéralisée. Ainsi, 19 participants ont explicité leur sentiment quant à la source de confusion : pour 5 d'entre eux (26%), il s'agit de comprendre deux sons, et non un son et une vibration, pour 4 d'entre eux (21%), il s'agit de comprendre deux vibrations, et non un son et une vibration, pour 4 autres (21%), le problème de perception est lié au masquage du son par le bracelet vibrant, et enfin, pour 6 participants (32 %), le problème viendrait du fait que le bracelet est situé sur la droite du corps, et qu'il interfère donc dans la latéralisation des messages.

« J'entendais plus le vibreur et une tonalité, mais je ne savais pas si ça venait du casque ou du vibreur, ni d'où ça venait, à gauche, à droite. J'entendais moins le casque, le bracelet le couvrait. » (Femme, active de plus de 50 ans)

Le bracelet semble s'imposer comme l'élément dominant dans cette combinaison, pour la perception comme pour la compréhension des messages. 20 participants sur 58 évoquent spontanément la prévalence du bracelet dans leur perception, tandis que seulement 6 évoquent

une prévalence du son. Cette dominance du bracelet n'a a priori pas de lien avec un décalage temporel perçu. Cependant, il semblerait que le bracelet soit perçu comme plus intense que les sons, ce qui pourrait expliquer qu'il soit mieux perçu. Percevoir et comprendre les instructions apparaît comme demandeur sur le plan attentionnel, et la lisibilité des messages de cette combinaison semble poser plus de difficultés aux retraités âgés qu'aux autres participants ($\chi^2(1,41)=4.11, p<.05$).

« C'est très perturbant [..]. J'ai eu du mal à trouver le coté (où il fallait tourner), parce que c'est trop d'informations similaires à la fois. Ça demande plus de concentration je trouve. Il y a toujours un petit temps d'arrêt en se disant : tiens, c'est droite ou gauche ? J'entendais un truc, au début j'ai cherché à les séparer, mais je me suis dit que ce n'était pas la bonne solution. Alors j'essayais juste d'interpréter le truc. » (Femme, jeune retraitée)

Parmi les 58 participants de l'étude, 46 font état d'au moins un moment d'hésitation ou d'une erreur au cours du trajet, et 17 s'estiment désorientés. Les ronds-points constituent 37 (17/46) des zones d'hésitation, contre 50% de zones mal-définies (23/46) et 13% d'intersections simples (6/46). Ces hésitations semblent être dues à la multiplication des informations dans les carrefours complexes, puisque chaque message est composé de plusieurs sons ou plusieurs vibrations similaires en nombre, ceci entraînant un coût attentionnel accru.

« Dans les ronds-points, il y a 2 sons et 2 vibrations tactiles, ça fait 4 informations, ce n'était pas évident. C'est chaud. » (Homme, actif de plus de 50 ans)

Ce mode de guidage apparaît comme le moins sécurisant de tous ceux testés, car seuls 47% des participants s'estiment en sécurité, ce qui est significativement moins que la moyenne des autres guidages ($\chi^2(1,294)=24.92, p<.001$). Devant les difficultés à percevoir et comprendre les instructions, et compte tenu du coût attentionnel que semble engendrer cette combinaison, 93% des participants la juge inutile voire perturbante ($\chi^2(1,387)=58.72, p<.001$), entraînant parfois des réactions de rejet très fortes lors des entretiens.

« C'est quelque chose que je n'utiliserais jamais, que je jetterais par la fenêtre tout de suite. » (Homme, actif de plus de 50 ans)

Sur les 31 recommandations listées à l'issue des entretiens, 84% (26/31) concernent le fait d'utiliser une seule des deux modalités testées, qu'il s'agisse du bracelet ou du casque.

Cette combinaison est, par ailleurs, celle qui est la moins appréciée par les participants à l'issue de la deuxième session de l'étude ($\chi^2(1,174)=131.91, p<.001$).

3.4.7- Expérience utilisateur avec la carte papier

La carte est agréable à utiliser pour 62% des participants, et 64% la trouvent également lisible, bien que certains aient des difficultés de lecture du fait de lunettes inadaptées à la vision de près. Les retraités plus âgés ont ainsi plus de difficultés déclarées à lire les informations sur la carte que les jeunes retraités et que les actifs de plus de 50 ans ($\chi^2(1,58)=6.25, p<.05$).

« On voit mal sur la carte. De près, je suis myope, alors il faut que j'enlève mes lunettes, que je les remette etc. » (F, retraitée âgée)

La carte conduit à significativement plus de difficultés de compréhension que la moyenne des autres guidages testés (39%, $\chi^2(1,337)=10.83, p<.001$). Les participants ont en particulier été interrogés sur leur façon de procéder lors de la lecture de la carte, avec des stratégies variables.

Parmi les 54 réponses relevées (sur 58 participants), le mode de repérage le plus souvent cité consiste à s'appuyer sur le nom des rues, à 81 % (44/54). Celui-ci peut être complété par le comptage des intersections, qui est mobilisé dans 70% des cas (38/54), et sur la forme du tracé de l'itinéraire, dans 30% des cas (17/54). Les repères mentionnés sur la carte n'ont été utilisés que 7 fois, soit 13% du temps.

« Je compte le nombre d'intersections, je sais qu'il y a une rue en biais etc. Quand j'ai un petit doute, je vérifie le nom de la rue. » (H, actif de plus de 50 ans)

Parmi les 58 participants de l'étude, 36 font état d'au moins un moment d'hésitation ou d'une erreur au cours du trajet, soit 62%, et 30% se disent désorientés, ce qui est supérieur à la moyenne des autres guidages de la première session de l'étude $\chi^2(1,232)=19.98$, $p<.001$. Les ronds-points constituent 31% (11/36) des zones d'hésitation. Dans les ronds-points, les difficultés d'orientation (prendre la rue dans le bon sens) semblent s'ajouter aux difficultés liées à l'identification de la sortie à emprunter.

« Je me suis trompée, comme je n'avais pas la carte dans le bon sens. J'ai pris la bonne rue mais dans le sens inverse. J'étais étonnée de m'être trompée d'abord, je me suis retrouvée carrément à l'opposée, j'étais repartie à zéro, à l'opposé du rond-point. » (Femme, retraitée âgée)

La carte est le guidage avec lequel les participants déclarent faire le moins attention à leur environnement direct (45%), et significativement moins qu'avec la moyenne des autres guidages ($\chi^2(1,341)=18.93$, $p<.001$). Le partage de l'attention nécessaire au déplacement avec la carte semble la première raison de cette difficulté et peut entraîner certains risques pour la sécurité.

« Il faut faire le trajet, la carte, la carte, le trajet. Il faut faire beaucoup d'aller-retours. Ça permet moins de regarder autour. » (Homme, retraité âgé)

« J'étais un peu moins en sécurité, parce que quand on se concentre sur la carte, on se concentre moins sur la route. » (Homme, actif de plus de 50 ans)

Jugée moins innovante que la moyenne des autres aides (94%, $\chi^2(1,204)=91.78$, $p<.001$), la carte est familière aux participants à 70%. Les actifs de plus de 50 ans déclarent avoir moins l'habitude des cartes que les jeunes retraités $\chi^2(1,36)=4.82$, $p<.05$ et que les retraités plus âgés $\chi^2(1,35)=7.70$, $p<.01$, leur habitude allant plutôt vers le GPS aujourd'hui. Les femmes, également, déclarent avoir significativement moins l'habitude des cartes que les hommes $\chi^2(1,56)=4.89$, $p<.05$.

« Je lisais des cartes à une certaine époque, quand on n'avait pas de GPS. C'est en perdition maintenant, je le fais de moins en moins. » (Homme, actif de plus de 50 ans)

La carte est également perçue comme un bon support à l'autonomie, par 66% des participants. C'est surtout la possibilité d'anticiper le trajet qui est mise en avant par rapport aux autres modes de guidage. La familiarité et l'autonomie offerte par la carte font d'elle l'aide jugée la plus utile, et significativement plus utile que la moyenne des autres guidages (93%, $\chi^2(1,387)=30.02$, $p<.001$) quand bien même elle conduit à des difficultés de compréhension et d'attention.

« On peut anticiper par rapport aux autres choses. C'est le gros avantage de la carte. C'est une liberté de penser par soi-même, de calculer, de chercher. » (Homme, actif de plus de 50 ans)

En résumé : Les expériences des participants sont plutôt positives avec les guidages visuels et auditifs quelle que soit la dimension de l'expérience considérée (perception, compréhension, agréabilité, sécurité, etc.). Les expériences vécues sont plus mitigées avec le guidage haptique et avec la carte. Avec l'haptique, des problèmes de perceptibilité et de compréhensibilité des messages existent, et un sentiment de contrainte est prégnant. Avec la carte, la demande attentionnelle semble élevée, mais elle apparaît comme une aide habituelle et un support à l'autonomie.

Les combinaisons sensorielles présentent, pour leur part, peu d'intérêt, du fait de la dominance d'une modalité sensorielle sur l'autre (visuel sur l'auditif et l'haptique, haptique sur l'auditif), si ce n'est pour mettre en place un mécanisme d'alerte. On n'observe très peu de différences liées à l'âge ou au genre dans l'expérience utilisateur avec les différents guidages.

4- Discussion

L'objectif de cette seconde étude était d'évaluer l'efficacité et l'expérience utilisateur d'instructions de guidage présentées selon différentes modalités sensorielles, et en comparaison avec une carte papier, auprès de personnes plus ou moins âgées sur simulateur de navigation piétonne : des flèches incrustées dans le champ de vision, des sons pseudo-spatialisés, des messages vibrotactiles au poignet, les combinaisons de ces informations, et une carte papier ont été testées auprès de 3 groupes de participants. Il n'existe pas, à notre connaissance, d'études qui mobilisent une telle palette de guidages possibles pour la navigation piétonne, auprès de piétons plus ou moins âgés de surcroît, constituant dès lors des points d'originalité importants de ce travail.

Nous articulons cette discussion autour des sous-questions de recherche présentées plus haut, afin de mettre en valeur les apports de cette étude en lien avec notre problématique.

Sous question n°1 : les performances de navigation et l'expérience utilisateur des guidages proposés varient-elles en fonction de l'âge et/ou du genre des participants ?

Alors que les retraités les plus âgés ont tendance à évaluer plus positivement leurs capacités d'orientation spatiales que les participants plus jeunes (actifs de plus de 50 ans et jeunes retraités), on observe que leurs performances de navigation sont plus faibles que celles des autres groupes, qu'il s'agisse du temps de parcours, du taux d'orientations correctes en intersections simples, ou du taux d'orientations correctes en intersections complexes. Nos résultats mettent en valeur des difficultés manifestes des personnes âgées de plus de 70 ans à naviguer dans un environnement inconnu, alors qu'on observe peu de différences entre le groupe des actifs de plus de 50 ans et le groupe des jeunes retraités, excepté lorsqu'il s'agit des habitudes de mobilité. L'âge semble donc être un facteur plus influant que celui de la retraite, dans la mesure où il affecte les compétences de navigation, là où le fait d'être retraité touche plutôt aux habitudes de vie. Ces résultats quant aux difficultés de navigation des retraités âgés sont cohérents avec la littérature : que ce soit en environnements virtuels (voir par exemple Sjölander et al., 2005) ou en environnements naturels inconnus (voir par exemple Aubrey, Li, and Dobbs, 1994), bon nombre d'études rapportent des performances de navigation spatiale réduites avec l'avancée en âge.

A noter également que les plus faibles performances de navigation des personnes âgées peuvent aussi s'expliquer par des difficultés à apprendre et retenir les messages sensoriels de guidage proposés dans cette étude, ce qui peut être dû à des déclin perceptifs (Nusbaum, 1999) et à une plus faible capacité de mémoire à court terme (Park, 2000), au-delà de leurs compétences à naviguer dans un environnement inconnu.

Ces performances de navigation plus faibles parmi les retraités âgés ne correspondent pas vraiment à la manière dont ce groupe auto-évalue ses capacités d'orientation. La surestimation de leurs propres capacités par les personnes âgées est un phénomène connu et parfois aussi observé dans la littérature (Noel, Bernard and Luyat, 2011). Il peut être dû au fait que les personnes âgées ne sont pas conscientes du déclin de leurs capacités (Sakurai et al., 2013), ou au fait qu'elles surestiment parfois volontairement leurs capacités pour correspondre aux attentes de l'expérimentateur. Pendant les entretiens post-activité, cependant, le groupe des retraités âgés n'a pas surestimé ses capacités et est revenu en détail sur les difficultés rencontrées au cours de la tâche de navigation. Leur position de parole était incarnée et non pas généralisante, liée à une expérience récente et réelle, au contraire des questionnaires utilisés (SBSoD et QSR) qui font appel à des situations parfois abstraites, sans lien direct avec l'expérience réelle.

Dans cette étude, le genre n'a pas d'effet significatif qu'il s'agisse de l'apprentissage des messages, des performances de navigation ou de l'expérience utilisateur. Pourtant, les femmes évaluent leurs capacités d'orientation plus négativement que les hommes dans le SBSoD et le

QSR, ce qui est assez classique dans la littérature (voir par exemple Ventura et al., 2013). Les différences de genre dans l'auto-évaluation des capacités d'orientation peuvent être dues à une assimilation des stéréotypes de genre parmi les femmes, qui considèrent les tâches de navigation comme étant des tâches masculines (Beyer, 1990).

Le score de rotation mentale, également, est plus faible chez les participantes que chez les participants de cette étude, bien que cette différence de genre diminue à mesure de l'avancée en âge. Là encore, ces résultats sont cohérents avec la littérature consacrée aux tâches de rotation mentale dans lesquelles les hommes obtiennent en général de meilleurs scores que les femmes, et les personnes jeunes de meilleurs scores que les personnes âgées (Herman et Bruce, 1983). Le fait que les scores de rotation mentale des femmes et des hommes tendent à être équivalents dans le groupe des retraités âgés pourrait être dû à un effet plancher (Jansen et Heil, 2010).

Les différences liées au genre observées par le score de rotation mentale ne semblent toutefois pas impacter les performances de navigation, puisqu'on n'observe pas de différence entre hommes et femmes sur le temps de parcours et le taux d'orientations correctes. Quelques études ont, par le passé, mis en lumière une forte corrélation entre capacité de navigation et capacité de rotation mentale (voir par exemple Montello et al., 1999; Malinoski, 2001), alors que d'autres n'ont pu mettre en valeur de lien entre ces deux dimensions (Malinowski, 2001). La rotation mentale est une habileté visuo-spatiale à petite échelle, alors que la recherche d'itinéraire s'appuie sur une grande variété d'habiletés visuo-spatiales à petite et à grande échelle (voir chapitre 2) (Moffat, 2009). Une autre explication à ces résultats pourrait être que les capacités de rotation mentale ne sont pas aussi utiles aux hommes qu'aux femmes dans les tâches de navigation (Malinowski, 2001).

Sous question n°2 : Par rapport à l'usage d'une carte papier, les guidages sensoriels proposés peuvent-ils présenter une plus-value pour les personnes âgées en termes de performance de navigation et/ou d'expérience utilisateur ? Lesquels en particulier ?

Les résultats de cette étude montrent qu'utiliser une carte papier pour naviguer dans un environnement virtuel inconnu est quelque chose de complexe pour tous les participants, dans la mesure où le temps de parcours et le nombre d'erreurs aux intersections simples comme aux intersections complexes est plus élevé avec la carte qu'avec les guidages visuels par flèches incrustées dans le champ de vision, et auditifs par sons pseudo-spatialisés. Les difficultés de navigation avec la carte sont particulièrement importantes parmi les retraités âgés, ce qui est un résultat connu et documenté dans la littérature (Lipman and Caplan, 1992; Meneghetti et al., 2012).

Si l'usage du joystick pour se déplacer dans l'environnement virtuel en combinaison avec la carte peut éventuellement expliquer un temps de parcours plus long qu'avec les autres modalités (à cause de la nécessité de lâcher le joystick, de retourner la carte, etc.), nous avons néanmoins constaté que la plupart des participants ont gardé la carte près du joystick tout au long du trajet, sans chercher à la manipuler ou à le retourner, ce qui ne peut donc pas expliquer l'augmentation du temps de parcours. Par ailleurs, ceci ne peut pas expliquer les différences mesurées quant au taux d'orientations correctes. Les plus faibles performances de navigation avec la carte papier peuvent, en revanche, s'expliquer par des capacités visuo-spatiales plus faibles chez les personnes âgées. On observe ainsi que les performances de navigation sont corrélées au score de rotation mentale dans le cas de la carte, mais pas pour d'autres types de guidage tels que les instructions visuelles ou auditives. Lors des entretiens post-activité, par ailleurs, les retraités âgés ont fait état de difficultés à lire la carte du fait du port de lunettes inadaptées.

Beaucoup de participants ont déclaré se sentir désorientés dans l'environnement virtuel avec la carte papier en comparaison des autres modes de guidage proposés (excepté la combinaison auditif et haptique qui s'avère être la plus désorientante). Cela souligne l'intérêt des modes de guidage sensoriels, à la fois pour aider à compenser les effets délétères de l'âge, mais aussi

comme soutien pour la confiance en soi des personnes âgées.

Les performances de navigation sont très positives pour tous les groupes de participants avec le guidage visuel (flèches incrustées), le guidage sonore (sons pseudo-spatialisés) et les combinaisons sensorielles qui mobilisent la modalité visuelle. Alors que les performances diffèrent significativement entre les groupes de participants avec la carte papier (en termes de temps de parcours et de taux d'orientations correctes en intersection simple) et le guidage haptique (en termes de taux d'orientations correctes aux intersections complexes), on n'observe pas de telles différences inter-groupes lorsque des flèches sont incrustées dans le champ de vision des participants ou que des sons pseudo-spatialisés leurs sont joués. Ainsi, les performances de navigation sont aussi élevées chez les retraités âgés que chez les actifs de plus de 50 ans avec le guidage visuel et le guidage auditif, ceci suggérant que les informations de guidage visuelles et auditives utilisées dans le cadre de cette étude pourraient aider à compenser les effets délétères de l'âge sur les performances de navigation observées avec d'autres modalités de guidage telles une carte papier. Il s'agit d'un résultat très positif et encourageant, dans la mesure où la perte d'autonomie liée à l'âge dans le cadre de la navigation en environnement inconnu pourrait être compensée par des aides technologiques à la navigation fournissant ces types d'instructions visuelles et/ou auditives de guidage.

Les instructions haptiques de guidage ont donné lieu à des performances de navigation plus faibles qu'avec les guidages visuels et auditifs. Les performances de navigation avec le guidage haptique restent néanmoins meilleures qu'avec la carte papier en général. La mesure du nombre de répétitions nécessaires à l'apprentissage des messages permet de mettre en valeur que les participants retraités âgés, en particulier, ont eu plus de difficultés à apprendre et retenir les informations vibrotactiles, et à les utiliser pour naviguer dans les intersections simples et complexes. Les entretiens post-activité mettent en valeur, quant à eux, que les participants âgés ont eu des difficultés à interpréter les messages haptiques, ayant du mal à les percevoir et à les comprendre en situation de navigation, ces derniers semblant relativement identiques et de faible intensité pour un grand nombre de participants.

De précédentes études ont montré les bénéfices des messages vibrotactiles pour la navigation par rapport à l'utilisation de cartes (Pielot and Boll, 2010; Pielot and Henze, 2009; Smets et al., 2008), ce qui est congruent avec nos résultats. Cependant, ces études ne comparaient pas d'autres modalités sensorielles, combinant instructions visuelles, auditives et haptiques comme nous l'avons fait.

Les difficultés rencontrées par les participants âgés avec le guidage vibrotactile, par rapport aux guidages visuels et auditifs, peuvent s'expliquer par la perte de sensibilité de la peau qui intervient avec l'âge (Kalish et al., 2012). Cela peut aussi être dû à la difficulté de communiquer des messages complexes par voie haptique (Brunet, 2014; Brewster and Brown, 2004), à une mauvaise conception des messages utilisés dans cette étude (rond-point, demi-tour, stop à destination), ou encore à une inadaptation d'un dispositif de type bracelet aux personnes âgées, avec des vibreurs trop proches les uns des autres pour être facilement distingués. La plus faible congruence spatiale avec le guidage haptique a aussi pu impacter les performances de navigation. En effet, les messages pour tourner à gauche ou tourner à droite dans l'environnement virtuel viennent toujours du poignet droit des participants, à la différence des guidages visuels et auditifs qui sont mieux latéralisés dans l'espace. Ceci a pu conduire à des difficultés dans l'association message/action (Rantala et al., 2017). Cependant, de récentes études ont comparé une large variété de dispositifs haptiques vibrotactiles pour la navigation piétonne, et montrent que les informations visuelles conduisent toujours à de meilleures performances que les dispositifs haptiques, même dans le cas de dispositifs fortement latéralisés, tels que des chaussures vibrantes par exemple (Meier et al., 2015).

Le guidage par montre vibrotactile présente néanmoins des avantages d'après de nombreux

participants. Sa discrétion, en particulier, est soulignée en comparaison avec les autres modes de guidage et en comparaison avec les alternatives envisagées en termes de dispositifs vibratoires. Cette discrétion du dispositif semble importante pour les personnes âgées (voir chapitre 4), raison pour laquelle les guidages haptiques peuvent être intéressants, si seulement ils permettent de fournir des informations complexes facilement perceptibles et compréhensibles. Nous manquons encore pour l'heure de connaissances et de littérature dédiées aux aides haptiques à la navigation pour les personnes âgées.

On observe une forte congruence entre l'apprentissage des messages, les performances de navigation, et l'expérience utilisateur avec les modes de guidage. Les types de messages les plus simples à apprendre et avec lesquels il est plus facile de naviguer dans l'environnement virtuel sont aussi ceux qui sont évalués le plus positivement en termes d'expérience utilisateur et réciproquement. Les analyses des entretiens nous permettent de mieux comprendre ce qui se passe dans la tête des participants au cours de la tâche de navigation en nous donnant des informations sur ce qu'ils perçoivent, sur leurs hésitations, et sur leurs pensées, dimensions qui ne sont pas directement observables par l'expérimentateur. L'analyse des données quantitatives permet quant à elle de mettre en valeur des différences liées au groupe de participants qui ne se retrouvent pas dans les entretiens, l'expérience utilisateur de tel ou tel mode de guidage ne dépendant apparemment pas de l'âge des participants. Concernant la carte papier en particulier, les analyses montrent des performances de navigation assez faibles, explicables par des difficultés verbalisées à propos de la lisibilité, de la compréhension des messages et de l'orientation dans l'environnement. Pourtant, la carte papier est très familière et est la plus utile d'après les participants. Elle est, dans la littérature, l'aide la plus facilement mobilisée par les personnes âgées pour s'orienter (Wither et al., 2013). Ceci doit être pris en compte pour la suite de nos études : les aides les plus efficaces ne sont pas nécessairement celles qui sont préférées du public (Czaja et al., 2006), le facteur habitude pouvant jouer également.

Sous question n°3 : le recours à des instructions de guidage multi-sensorielles peut-il améliorer les performances de navigation et l'expérience utilisateur avec les messages ?

Plusieurs études ont souligné le possible bénéfice de l'utilisation d'informations multi-sensorielles pour la navigation (Chittaro and Burigat, 2005; Rehrl et al., 2014; Lokki and Gröhn, 2005). Dans cette étude, les performances de navigation et l'expérience utilisateur avec les combinaisons d'informations sensorielles simultanées mobilisant la modalité visuelle sont très similaires aux performances et à l'expérience utilisateur avec le seul guidage visuel. Similairement, la combinaison auditif et haptique conduit à des performances et à une expérience utilisateur approchant celle du guidage haptique seul. Il semblerait que, quand deux messages simultanés sont proposés, l'un d'eux prenne le dessus sur l'autre : le visuel est dominant pour les combinaisons mobilisant le visuel, et l'haptique pour la combinaison des messages auditif et haptique. D'après les entretiens post-activité, cette dominance peut s'expliquer par un moindre effort nécessaire pour interpréter les messages visuels dans le premier cas, et par une intensité plus forte des messages haptiques (par rapport aux sons) dans le second cas. Concernant la combinaison des messages auditifs et haptiques, les participants indiquent également que les deux sources d'informations étaient confuses parce que confondues, étant donnée la nature même des stimuli : un son au niveau de l'oreille peut être ressenti comme une vibration, et une vibration au poignet s'avère souvent générer un son.

Fournir deux informations de guidage en même temps n'apparaît par ailleurs pas utile à une grande partie des participants. Néanmoins, les entretiens post-activité permettent de mettre en valeur l'utilité de deux instructions quand l'une sert d'alerte et/ou de confirmation à l'autre. Par exemple, une vibration peut prévenir les participants de l'imminence d'une instruction de guidage afin d'aider à se concentrer dans les zones nécessitant un changement de direction.

Sous question n°4 : les performances de navigation et l'expérience utilisateur des différents modes de guidage sont-elles dépendantes de la configuration de l'environnement ?

L'analyse des performances de navigation permet de mettre en valeur une plus grande difficulté des participants à mobiliser les informations vibratoires dans les intersections complexes par rapport aux autres guidages testés, faisant du mode de guidage haptique le guidage le moins adapté en intersection complexe. On relève toutefois que le taux d'orientations correctes en intersections complexes est plus faible en général que le taux d'orientations correctes en intersections simples, quel que soit le guidage.

Dans les entretiens post-activité, si les participants décrivent avoir perçu et compris facilement les messages visuels et auditifs, les résultats de la présente étude montrent toutefois que la conception des messages complexes pourrait être améliorée. En effet, la forme du message visuel d'entrée dans une intersection complexe, et le nombre de sons utilisés dans les messages auditifs de demi-tour, de carrefour complexe et d'arrivée ont souvent été jugés comme confus et difficiles à comprendre. De même, les messages haptiques complexes ont posé des difficultés aux participants, car jugés trop similaires et peu distincts. On relève aussi, dans les entretiens post-activité, que les zones de rond-point sont souvent associées à des zones d'hésitation, quel que soit le type de guidage utilisé.

Si les messages utilisés dans cette étude étaient l'émanation directe de travaux validés dans la littérature, des études plus poussées relatives à la conception des messages pour les personnes âgées pourraient être menés, notamment pour les instructions complexes. Des études consacrées aux messages haptiques, en particulier, ont déjà été menées par le passé (Brunet, 2014 ; Kobayashi et Nakano, 2015) et ce travail gagnerait d'après nous à être poursuivi.

Par ailleurs, il pourrait être pertinent de travailler à la personnalisation des messages de guidage, car des messages prédéfinis visant à signifier des informations complexes ne sont pas nécessairement universels. Plusieurs études ont mis en valeur le besoin de personnalisation des instructions pour faciliter l'acceptabilité des aides à la navigation (Goodman, Brewster, and Gray, 2005; Nivala, Sarjakoski, and Sarjakoski, 2007; Erp et al., 2005), toutefois, peu d'études s'y attèlent (excepté par exemple Kobayashi et Nakano, 2015).

Sous question n°5 : quel type de guidage est le plus susceptible de soutenir l'acquisition de connaissances spatiales à propos de l'environnement ?

La tâche de reconnaissance de repères proposée dans cette étude ne permet pas de mettre en valeur d'effet de la condition expérimentale sur l'acquisition de connaissances spatiales, ce qui pourrait laisser entendre que les participants acquièrent au moins autant d'informations sur leur environnement avec les guidages sensoriels qu'avec la carte. Le seul effet significatif est lié à la session expérimentale, la reconnaissance étant meilleure lors de la première session que lors de la seconde, ce qui peut laisser entendre une confusion plus grande dans la reconnaissance à mesure de l'avancée dans le temps.

Bien que la tâche proposée aux participants soit relativement commune dans la littérature dédiée aux aides à la navigation (voir par exemple Giannopoulos, Kiefer et Raubal, 2015; Pielot et Boll, 2010), le choix des repères à identifier sur les photos et le nombre d'images proposées aux participants ont pu considérablement influencer les résultats de la tâche. Nous aurions pu opter pour d'autres tâches relatives à l'acquisition de connaissances spatiales, telles qu'un rappel libre de repères, ou le traçage de l'itinéraire suivi sur papier en vue du dessus. Toutefois, ces tâches nous semblaient difficiles à mettre en œuvre dans un environnement virtuel présentant relativement peu de variabilité, et dans lequel les participants n'ont pas pu se déplacer physiquement pour acquérir des informations vestibulaires (d'orientation, de distance etc.).

Il nous semble important de prendre en compte cette dimension dans nos futures études, sous une forme peut être plus adaptée, car les aides à la navigation technologiques doivent être

à terme des supports à l'autonomie et non des objets de dépendance. D'ailleurs, la crainte de perdre leur autonomie avec des guidages sensoriels était un argument récurrent des participants déclarant préférer la carte papier pour se guider.

Pour compléter cette discussion, nous proposons de revenir sur les limites de cette étude. En effet, alors que nos résultats permettent de souligner des éléments intéressants pour la conception d'aides à la navigation technologiques, notamment quant aux types d'informations sensorielles les plus adaptées, plusieurs limites à notre travail doivent être posées.

Bien que l'utilisation d'un environnement virtuel et d'un joystick nous a permis d'assurer la sécurité des participants aux travers de différents scénarios, ce contexte expérimental a pu conduire à des difficultés de navigation, en particulier chez les participants les moins habitués à interagir avec des dispositifs technologiques. Bien qu'une large majorité de participants était pleinement impliquée dans l'activité de navigation, faisant attention aux informations de guidage et au trafic routier, l'utilisation d'un simulateur a pu réduire les sensations liées aux prises de risque et le stress inhérent à une tâche de navigation en environnement inconnu (comme par exemple le risque de chutes ou de collision avec un véhicule), ce qui a pu avoir un impact sur l'expérience utilisateur et donc l'appréciation des différents types de guidage.

L'utilisation d'un environnement virtuel tend également à contraindre le regard des participants dans une certaine direction, et à adopter une certaine posture physique. Ceci peut nous questionner sur ce qui se passerait en environnement naturel, si les participants étaient plus libres de leurs gestes, ou pourraient regarder derrière eux. Nous pouvons imaginer que cela impacterait négativement la perception des messages de guidage, toutes modalités sensorielles confondues.

De plus, nous simulons dans l'environnement virtuel un système de positionnement temps réel qui est plus précis que le GPS en environnement naturel, et nous contraignons la vitesse de marche virtuelle. Ces deux éléments peuvent conduire à beaucoup plus de variabilité quant à la précision de l'instruction en environnement réel. Pour toutes ces raisons, les résultats mis en valeur dans cette étude devront être confirmés en environnement naturel.

Dans une perspective d'étude en environnement naturel, la conception des dispositifs devra aussi être réfléchiée avec précautions, afin de limiter les désagréments que les dispositifs peuvent engendrer dans un environnement de navigation plus complexe que l'environnement virtuel. Les entretiens post-activité mettent en effet en valeur le fait que le port de lunettes de réalité augmentée ou d'un casque auditif puisse être sources de gêne en environnement réel.

D'autres éléments, tels que la durée de la batterie, la compatibilité des dispositifs avec une autre activité (comme discuter avec une personne accompagnante par exemple), ou encore la compatibilité des dispositifs avec d'autres éléments (les lunettes ou les bracelets portés par les personnes, le soin qu'elles apportent à leur coiffure) sont à prendre en compte dans la perspective d'un usage réel d'aides à la navigation (par exemple, le fait de porter un casque peut décoiffer, ce qui peut être un frein à l'acceptabilité en environnement naturel), ce qui n'a pas été le cas dans cette étude.

Les entretiens post-activité permettent toutefois d'établir un certain nombre de recommandations, quel que soit le dispositif choisi. Il est ainsi demandé par les participants d'offrir la possibilité de rejouer facilement l'indication de guidage, et d'ajuster l'intensité de l'indication (le volume, la luminosité etc.).

Compte tenu de la familiarité des cartes, et du fait qu'elles soient rassurantes pour les personnes les plus âgées (Sjölander et al., 2005), il pourrait être pertinent de fournir en environnement naturel un support cartographique en plus des indications égocentrées, dont nous avons montré l'efficacité et l'expérience utilisateur positive en environnement virtuel. Cela pourrait également être un support à la construction de cartes cognitives mêlant repères égocentrés et représentations allocentrées de l'environnement de navigation.

Synthèse

- La mobilité piétonne constitue un des modes de déplacement les plus utilisés par les participants de cette étude. Toutefois, l'usage d'aides technologiques pour la navigation piétonne demeure limité, en particulier chez les retraités les plus âgés.
- Les participants retraités âgés ont, par rapport aux plus jeunes retraités et aux actifs de plus de 50 ans, plus de difficultés à naviguer dans un environnement virtuel inconnu. On observe en particulier qu'ils ont davantage de difficultés avec la carte papier qu'avec les instructions visuelles et auditives de guidage. Ces dernières semblent donc pouvoir aider à compenser les effets délétères de l'âge sur les performances de navigation.
- Les informations haptiques, en revanche, conduisent à des difficultés quant à leur apprentissage, leur lisibilité et leur compréhension en environnement virtuel. Les performances avec le guidage haptique demeurent toutefois en général meilleures chez les retraités âgés qu'avec la carte papier.
- Les combinaisons multi-sensorielles d'instructions de guidage présentent peu de plus-value en termes de performance, un des modes étant généralement dominant, et sont jugées inutiles par les participants. Elles pourraient toutefois s'avérer pertinentes pour alerter de l'imminence d'un changement de direction ou pour confirmer une indication.
- On observe une forte congruence entre les recueils de données qualitatifs et quantitatifs, quelle que soit la modalité de guidage considérée : l'expérience utilisateur des guidages visuels et auditifs est plus positive que celle des guidages haptique et par carte, tout comme le sont les performances de navigation.
- Concernant la carte, bien que peu efficace en termes de performances et décrite comme demandeuse sur le plan cognitif par les participants, n'en reste toutefois pas moins jugée comme une valeur sûre, utile et familière, d'autant plus quand les personnes avancent en âge.
- Les résultats quantitatifs et qualitatifs mettent en lumière les difficultés à concevoir des messages, en particulier dans les ronds-points, quelle que soit la modalité de guidage.
- La tâche de reconnaissance de repères ne permet pas de mettre en valeur de différence significative entre les modes de guidage quant à l'acquisition de connaissances spatiales.

CHAPITRE 9 – Etude 3 : Expérience utilisateur et efficacité de guidages pas-à-pas auprès de piétons âgés en environnement naturel

Ce chapitre vise à comparer différents dispositifs technologiques de guidage pas-à-pas proposant des informations égocentrées pour les piétons âgés selon différentes modalités sensorielles, afin d'identifier les aides les plus efficaces et présentant la meilleure expérience utilisateur en environnement naturel. Si nous avons plutôt abordé, lors du précédent chapitre, la question du canal sensoriel à privilégier pour communiquer des instructions de guidage, questionner l'intrication conjointe du message et du dispositif technologique utilisé pour fournir l'information en contexte naturel nous semble être en effet essentiel afin de proposer des aides à la navigation qui soient susceptibles d'être utilisées à terme par les personnes âgées. Afin d'approcher des conditions réelles d'usage et de questionner l'expérience utilisateur dans son ensemble (l'acceptabilité, mais aussi les émotions suscitées par l'utilisation du dispositif), cette étude s'est déroulée en environnement naturel.

1- Objectifs de l'étude

Cette étude¹¹ en environnement naturel vise à répondre à la troisième question de recherche de cette thèse (voir chapitre 5), à savoir « par quel(s) dispositif(s) technologique(s) sensoriel(s) guider les personnes âgées en contexte urbain avec la meilleure efficacité et expérience utilisateur ? ». A la lumière des résultats de l'étude précédente, nous nous intéresserons notamment aux performances de navigation et à l'expérience utilisateur des personnes âgées avec trois dispositifs technologiques de guidage pas-à-pas égocentrés : un guidage visuel reposant sur l'utilisation de lunettes de réalité augmentée, un guidage auditif par sons pseudo-spatialisés reposant sur un casque à conduction osseuse, et un guidage visuel et haptique reposant sur l'utilisation d'une montre connectée affichant des flèches de guidage. Plus précisément, nous aborderons les sous-questions détaillées ci-après.

¹¹ Cette étude a fait l'objet d'une publication pour l'heure :

Montuwy, A., Cahour, B., Dommès, A. 2018. Older Pedestrians Navigating with AR Glasses and Bone Conduction Headset. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI'18*, 21-26 April 2018, Montreal, Canada. <https://doi.org/10.1145/3170427.3188503>

Sous question n°1 : par rapport aux dispositifs de guidage utilisés habituellement par les personnes âgées, carte papier ou GPS sur smartphone, les dispositifs proposés présentent-ils une plus-value en termes de performance de navigation et/ou d'expérience utilisateur ? Lesquels en particulier ?

Nous avons vu dans les chapitres 2 et 3 et au cours de l'étude précédente que les personnes âgées avaient des difficultés à mobiliser des stratégies de navigation allocentrées pour la recherche d'itinéraire, impactant de fait leurs performances de navigation avec une carte. L'utilisation d'informations de guidage égocentrées présentées visuellement et auditivement, comme proposé dans l'étude précédente, semble en revanche permettre de compenser ces effets délétères de l'âge sur l'usage d'une carte. Nous chercherons ici à vérifier cette hypothèse par l'implémentation de plusieurs dispositifs d'aide basés sur les résultats de l'étude précédente en comparaison avec l'usage d'une carte (papier ou GPS smartphone).

Nous nous intéresserons également à la relation existant entre performance de navigation et expérience utilisateur avec les dispositifs de guidage. En effet, comme nous l'avons vu précédemment, il semble exister une certaine congruence entre performance et appréciation des guidages. Nous chercherons donc à poursuivre d'investiguer ce lien mais en environnement naturel cette fois-ci.

Sous question n°2 : les performances de navigation et l'expérience utilisateur avec les différents dispositifs de guidage testés sont-elles dépendantes de la configuration de l'environnement ?

Certaines configurations urbaines dites complexes (ronds-points, carrefours à plus de 4 directions etc.) peuvent être sources de difficultés de navigation accrues pour les personnes âgées (Davidse, 2007) qui ont du mal à s'y orienter. De plus, nous avons vu au cours de l'étude précédente que ce type de configurations urbaines peut être source de difficultés de compréhension avec les messages de guidage pas-à-pas, qu'ils soient visuels, auditifs ou vibrotactiles. Aussi, nous cherchons à savoir, à travers cette étude, quels dispositifs sont les plus susceptibles d'aider la navigation des personnes âgées dans ces zones complexes. Nous cherchons en particulier à identifier les différences de performance et d'expérience utilisateur qui peuvent exister entre configuration dites simples (carrefours en T ou en X) et configurations dites complexes (ronds-points) en fonction du guidage utilisé.

Sous question n°3 : quel(s) dispositif(s) de guidage est(sont) susceptible(s) de soutenir l'acquisition de connaissances spatiales à propos de l'environnement ?

Le recours à des aides technologiques innovantes à la navigation pas-à-pas égocentrée est, comme nous l'avons vu dans la chapitre 3, parfois source de critiques quant à l'acquisition de connaissances spatiales à propos de l'environnement, en ce qu'elles limitent le besoin de recherche active d'informations spatiales au profit d'instructions prédéterminées par le système. Ces aides limiteraient donc les connaissances acquises par les utilisateurs par rapport à l'utilisation d'une carte papier. Nous n'avons pas réussi, au cours de l'étude 2 en environnement virtuel, à mettre en valeur de différences entre les instructions de guidage testées. A travers cette nouvelle étude, nous cherchons à identifier, parmi les aides à la navigation proposées aux participants, celle(s) qui permet(tent) l'acquisition de connaissances spatiales dans l'environnement naturel.

Sous question n°4 : quels sont les éléments susceptibles d'impacter l'expérience utilisateur des dispositifs technologiques proposés ?

Au cours du chapitre 4, nous avons abordé les différents éléments constitutifs de l'expérience utilisateur et de l'acceptabilité en général, et cherché à les préciser au regard du public cible de ce travail, à savoir les personnes âgées, et au regard des technologies testées, à savoir des aides à la navigation.

En proposant une expérience de navigation en environnement naturel, nous chercherons à aborder l'expérience utilisateur des participants dans son ensemble et à questionner les éléments qui, dans notre cas d'étude, semblent avoir le plus d'impact sur l'expérience utilisateur des personnes âgées avec des aides à la navigation technologiques, qu'il s'agisse de la perception des instructions, de la compréhension en contexte urbain du fonctionnement du système, du sentiment d'être en sécurité, du regard des autres, de l'esthétique du dispositif, etc.

2- Méthodologie

2.1 – Population

18 participants (10 Hommes / 8 Femmes) âgés de 60 à 77 ans ($M=68,7$ ans, $SD=5,1$) ont pris part à l'étude. 16 de ces participants (10 Hommes / 6 Femmes) avaient préalablement participé à l'étude sur simulateur de navigation piétonne. Tous étaient capables de marcher sans assistance et possédaient un téléphone intelligent.

Parmi la population de cette étude, 16 participants (89%) ont déclaré porter des lunettes régulièrement, alors que seul un participant déclarait utiliser régulièrement un casque audio (6%). Tous les participants étaient habitués au port d'un bracelet ou d'une montre.

2.2 - Conditions et dispositifs testés

Les participants ont été invités à utiliser 4 aides à la navigation différentes au cours de l'étude : leur aide à la navigation personnelle et habituelle (carte papier ou application du type Google Maps sur téléphone) et 3 dispositifs technologiques innovants que nous avons implémentés pour l'occasion, à savoir (1) un guidage visuel reposant sur l'utilisation de lunettes de réalité augmentée, (2) un guidage auditif par sons pseudo-spatialisés reposant sur un casque à conduction osseuse, et (3) un guidage visuel et haptique reposant sur l'utilisation d'une montre connectée affichant des flèches de guidage après message d'alerte vibrotactile. Pour chacune de ces aides technologiques innovantes, une application pour téléphone intelligent a été développée afin d'accéder à la position en temps réel du participant dans l'environnement et de lui fournir les indications de guidage adéquates par Bluetooth.

Pour chaque aide (exceptée l'aide de type carte utilisée habituellement par les participants), un ensemble de 6 messages était fourni, comme pour l'étude sur simulateur : tourner à gauche en intersection simple, tourner à droite en intersection simple, entrer dans un carrefour complexe du type rond-point par la gauche ou par la droite, faire demi-tour, et s'arrêter à destination. Chaque message durait 3 secondes de sorte qu'il soit perceptible par les participants (Ng and Chan, 2012) sans attirer trop leur attention au détriment de l'environnement (Oulasvirta et al., 2005).

De la même manière qu'en environnement virtuel, le choix a été fait de scinder les indications de guidage en 2 messages dans les intersections complexes : un premier message indiquant par quel côté tourner pour prendre le chemin le plus court dans le rond-point, puis un second message indiquant quelle sortie prendre à pied. Par défaut, sans indication de message, il était demandé aux participants de continuer tout droit.

2.2.1- Aide à la navigation habituelle

Les participants étaient invités à amener avec eux, lors de l'étude, l'aide à la navigation qu'ils utilisaient le plus régulièrement pour se déplacer à pied dans un endroit inconnu. Cette demande visait à comparer les aides technologiques innovantes que nous avons implémentées aux pratiques réelles des participants, afin d'étudier l'intérêt potentiel de tels dispositifs. Cette condition devait permettre également d'acquérir des connaissances plus précises sur les difficultés de navigation vécues concrètement par les personnes (comme la condition carte papier de l'étude précédente menée sur simulateur, mais cette fois-ci, en contexte réel). A défaut d'aide à la navigation personnelle, une carte dépliée de Paris était fournie, comportant l'ensemble des noms de rues et un index de ceux-ci.

Parmi les 18 participants, 14 (78%) ont fait usage d'une carte papier (10 ont utilisé une carte personnelle et 4 ont utilisé la carte fournie). Quatre participants (22%) ont fait

usage d'une application pour téléphone intelligent (Google Maps) afin de trouver leur chemin.

2.2.2- Lunettes de réalité augmentée : flèches de guidage

Compte tenu des performances de navigation et de l'expérience utilisateur positives des participants confrontés à des instructions visuelles de guidage lors de l'étude en environnement virtuel, le choix a été fait de mobiliser le même type d'information de guidage en environnement naturel. Des modifications ont toutefois été apportées afin de tenir compte des recommandations des participants et des contraintes inhérentes à l'utilisation d'un dispositif en environnement naturel (pour rappel, les flèches étaient incrustées directement sur l'écran central du simulateur dans l'étude précédente, alors qu'ici, un dispositif de lunettes de réalité augmentée a été choisi pour diffuser les flèches de guidage au niveau de l'œil droit).

Ainsi, les indications relatives à l'entrée dans les carrefours complexes ont été modifiées de sorte que seul le trajet à suivre soit coloré (et non pas tout le rond-point, voir figure 57). La couleur des flèches a également été changée, passant du jaune au vert pomme, de sorte à les rendre plus visibles sur des lunettes de réalité augmentée, en particulier auprès de personnes vieillissantes (Zhao et al., 2017). Enfin, les flèches sont passées d'une forme 3D à une forme 2D afin de les rendre plus directement compréhensibles en environnement naturel.

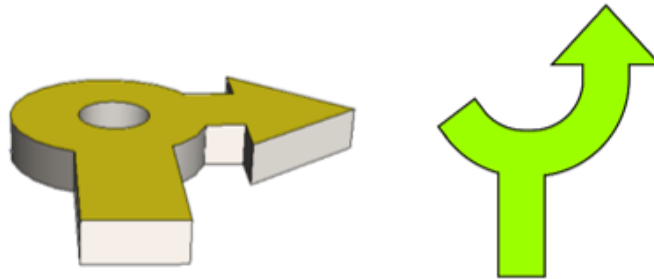


Figure 57 : à gauche, flèche d'entrée dans un carrefour complexe utilisée en environnement virtuel. A droite, flèche de carrefour complexe utilisée en environnement naturel.

Pour pouvoir incruster les informations de guidage dans le champ de vision des participants, des lunettes de marque Optinvent ORA 2 ont été utilisées. Elles permettaient de projeter les instructions visuelles de guidage au niveau de l'œil droit avec un champ de vision diagonal de 24", correspondant environ à la taille d'un écran de 61" positionné à 4 mètres devant le participant. Des verres de soleil polarisés ont été ajoutés à ces lunettes, et la luminosité de l'écran a été réglée au maximum afin d'augmenter le contraste des flèches, de sorte à les rendre plus visibles en environnement extérieur (voir figure 58 et figure 59).



Figure 58 : participant portant les lunettes de réalité augmentée avec verres de soleil.



Figure 59 : flèche projetée dans le champ de vision au niveau de l'œil droit.

2.2.3- Casque à conduction osseuse : sons pseudo-spatialisés

Compte tenu des performances de navigation et de l'expérience utilisateur positives des participants confrontés à des instructions auditives de guidage lors de l'étude en environnement virtuel, le choix a été fait de mobiliser le même type d'informations de guidage en environnement naturel. Des modifications ont toutefois été apportées afin de tenir compte des recommandations des participants et des contraintes inhérentes à l'utilisation d'un tel dispositif en environnement naturel (pour rappel, l'étude précédente sur simulateur utilisait déjà un casque à conduction osseuse, mais filaire).

Ainsi, le message d'arrivée à destination et le message de demi-tour ont été modifiés, afin de les rendre plus distincts des messages d'entrée dans un carrefour complexe. La suite de 3 sons allant crescendo d'une fréquence de 500Hz à une fréquence de 1kHz signifiant l'arrivée a été remplacée par une musique joyeuse issue du jeu vidéo Kirby¹² jouée simultanément dans les deux oreilles. La vitesse d'alternance des sons de fréquence 500kHz dans l'oreille gauche puis dans l'oreille droite a été augmentée dans le cas du message de demi-tour. Pour les messages de changement de direction vers la droite ou vers la gauche, un son de fréquence 1kHz était joué respectivement dans l'oreille droite ou dans l'oreille gauche. Pour les messages d'entrée dans les carrefours complexes types rond-point par la droite ou par la gauche, un son de fréquence 500Hz puis un son plus aigu de fréquence 1kHz était joué respectivement dans l'oreille droite ou dans l'oreille gauche, sans changement par rapport à l'étude en environnement virtuel.

¹² <https://www.youtube.com/watch?v=SnzOmZwfk2c&t=3s>

Afin de permettre aux participants d'entendre les bruits extérieurs, et pour aider la perception des indications auditives par les personnes souffrant de surdité de conduction, un casque à conduction osseuse a été utilisé, comme en environnement virtuel. Toutefois, un modèle sans fil a été choisi pour cette étude afin de limiter les contraintes dues à la présence d'un fil (voir figure 60).



Figure 60 : participant portant le casque à conduction osseuse sans fil.

2.2.4- Montre connectée : vibration d'alerte et flèches

Les difficultés de perception et de compréhension pointées par les participants au cours de l'étude en environnement virtuel avec les indications vibrotactiles nous ont conduit à écarter ce guidage de l'étude en environnement naturel. En effet, alors que les conditions expérimentales étaient très contrôlées, les participants âgés avaient des difficultés à percevoir et comprendre les messages, rendant l'utilisation de ces derniers encore plus difficiles en environnement naturel, dans des conditions expérimentales par définition plus complexes et potentiellement dégradées (mouvements, frottements, bruits, etc.)

Toutefois, les participants de l'étude en environnement virtuel avaient porté un certain intérêt à l'utilisation d'une montre intelligente pour se guider, du fait de leur habitude et de la discrétion du dispositif. De plus, l'idée d'utiliser une alerte préalable à un changement de direction avait été soulevée à plusieurs reprises, afin de tirer parti de la multi-modalité sensorielle. Aussi, nous avons choisi d'associer, dans cette condition expérimentale, une vibration unique d'alerte et l'affichage de flèches de guidage sur une montre connectée.

Les flèches utilisées étaient les mêmes que celles projetées dans le champ de vision à travers les lunettes de réalité augmentée (voir figure 61). La vibration était celle définie par défaut sur la montre connectée utilisée (Huawei Honor S1), avec l'intensité réglée au maximum. Elle durait 3 secondes, tout comme l'affichage de la flèche.



Figure 61 : montre connectée affichant des flèches de guidage annoncées par une forte vibration.

2.2.5- Application pour téléphone intelligent

Afin de localiser en temps réel les participants par GPS et de leur communiquer les indications de guidage appropriées, les dispositifs innovants d'aides à la navigation que nous avons implémentés ont été connectés en Bluetooth à un téléphone intelligent disposant d'une application dédiée. Baptisée NaWiGo (*Now We Go*), cette application Android que nous avons développée pour l'occasion avait 3 objectifs :

- Traiter la position GPS des participants afin de les informer des changements de direction.
- Assurer la communication avec les différents dispositifs portatifs de guidage à travers Android Wear (montre), les fonctionnalités Bluetooth natives (casque), ou une application serveur dédiée développée pour l'occasion (lunettes).
- Enregistrer les positions, erreurs et temps de parcours des participants au cours du trajet.

Cette application se composait de 4 écrans. Sur le premier écran, les participants étaient invités à entrer leur destination (voir figure 62) Les itinéraires prévus pour l'étude étaient préenregistrés (sans nécessité de connexion internet) dans l'application et accessibles à travers un menu déroulant. Toutefois, n'importe quelle adresse pouvait être entrée : l'application récupérait alors les données JSON depuis l'API de Google Maps et générait un nouvel itinéraire.

Sur le second écran, les participants choisissaient le mode de guidage : visuel, auditif ou par montre (voir figure 63). Il leur était fourni des indications sur comment connecter le dispositif au téléphone.

Le troisième écran se composait de 2 parties (voir figure 64) : en haut, une carte indiquait le trajet à suivre par un trait bleu. Les participants pouvaient zoomer sur la carte pour en consulter les détails. L'ajout de cette carte visait à rassurer les participants âgés, habitués et attachés aux vues cartographiques, comme nous l'avons abordé au cours de l'étude précédente. Il devait leur permettre également de recourir à des informations spatiales allocentrées s'ils le souhaitaient. En bas, les participants disposaient d'un bouton pour rejouer la dernière instruction de guidage. L'ajout de ce bouton correspondait à une

demande des participants au cours de l'étude précédente. Un bouton caché dans cette vue permettait à l'expérimentateur d'envoyer un message de demi-tour aux participants au cas où ils empruntaient le mauvais trajet.

Enfin, une quatrième vue indiquait le fait d'être arrivé à destination et affichait un bouton pour quitter l'application.

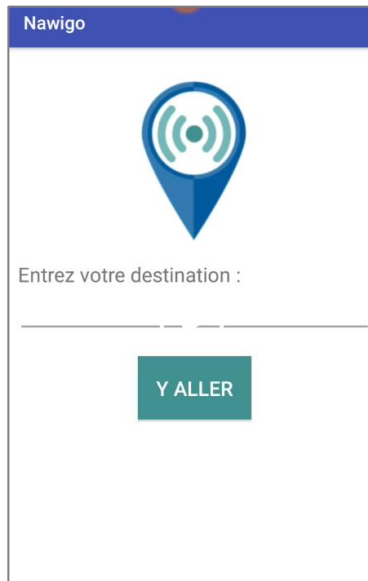


Figure 62 : sélection du trajet.

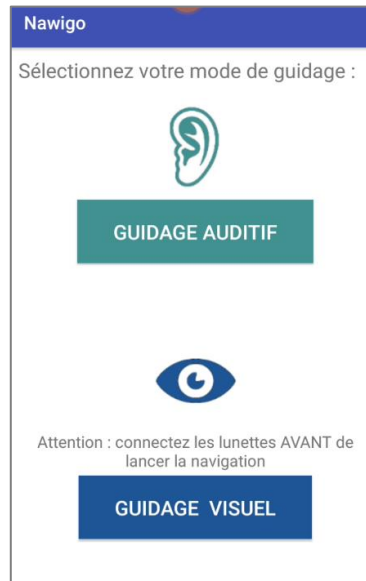


Figure 63 : sélection du mode de guidage (session 1 de l'étude).



Figure 64 : carte du trajet et bouton pour rejouer le message.

L'application a été conçue en suivant les recommandations dédiées aux interfaces pour les personnes âgées (voir chapitre 4). Une police taille 12 sans serif et des icônes de grande taille et avec un fort contraste ont été utilisées (Fisk et al., 2009). Toutes les informations utiles étaient présentées directement sur l'écran, sans besoin d'utiliser des menus ou d'effectuer des mouvements de glissement entre les différentes vues. Une légère vibration confirmait la prise en compte de l'appui sur un bouton. L'application était paramétrée de telle sorte que l'écran ne passe pas en veille rapidement, dans la mesure où les personnes âgées ont des temps de réponse plus longs en général (Faisal et al., 2014)

2.3 - Environnement de navigation

Les 4 aides à la navigation, constituant 4 conditions expérimentales, ont été utilisées au cours de tâches de navigation en environnement naturel. Ces trajets ont été réalisés dans le 13^e arrondissement de Paris entre les mois de février et octobre 2017, entre 9h et 16h, dans un secteur s'étendant de la Place d'Italie au Parc Montsouris, et incluant notamment le quartier semi-piétonnisé de la Butte aux Cailles. Il s'agit d'un environnement plutôt calme en journée, avec relativement peu de trafic routier, excepté aux abords de la place d'Italie et de la Rue de Tolbiac. A titre d'exemple, la carte¹³ ci-après (figure 65) présente les zones où le bruit ambiant moyen en journée dû au trafic routier est supérieur au seuil réglementaire de 68dB. La zone concernée par notre étude est encadrée en bleu, et permet de mettre en valeur le trafic relativement faible dans cette zone.

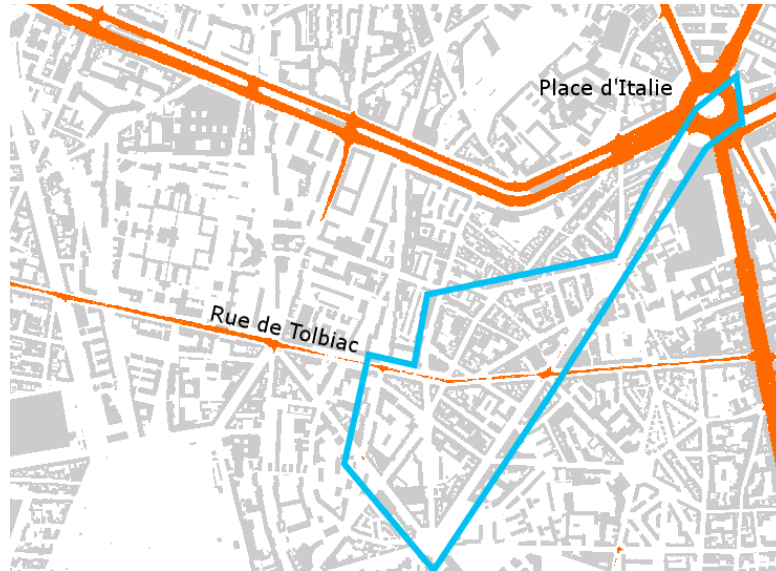


Figure 65 : zone à forte densité de trafic (en orange) et zone de l'expérimentation (en bleu).

Sur une échelle de 0 à 10, 11 participants (61%) estimaient avoir une connaissance faible de cette zone (entre 0 et 3), 5 (28%) une connaissance modérée de cette zone (entre 4 et 6) et 2 (11%) une connaissance forte (entre 7 et 10).

2.4 - Phase d'apprentissage

Au début de chaque condition (exceptée celle avec l'aide habituelle), il était proposé aux participants un temps d'apprentissage des messages de guidage. Pour chacun des six messages, l'expérimentateur expliquait la signification du message et le jouait 3 fois, en s'assurant que l'information était bien perçue. A la suite de cette présentation des messages, il était demandé aux participants de reconnaître les messages présentés dans le désordre. En cas d'erreur, tous les messages étaient de nouveau présentés, et il était demandé une nouvelle fois aux participants de les reconnaître dans un ordre aléatoire. Après au plus 3 cycles de répétition, tous les messages étaient connus. Pour renforcer l'apprentissage, les messages étaient rejoués une dernière fois avant le début de la tâche de navigation.

¹³ Carte extraite du site <https://carto.bruitparif.fr/> coréalisé par la mairie de Paris, le Cerema et Bruitparif.

2.5 - Tâches de navigation en environnement naturel

Pour chaque condition, il était demandé au participant de réaliser un parcours en environnement naturel avec l'aide à la navigation. Chaque parcours mesurait environ 1 km. Le premier parcours de l'étude était réalisé avec l'aide habituellement utilisée par le participant lorsqu'il s'oriente dans une zone inconnue (carte ou application dédiée sur téléphone du type Google Maps). Les trois autres parcours étaient réalisés avec l'aide innovante visuelle (lunettes de réalité augmentée), auditive (casque à conduction osseuse), ou vibro-visuelle (montre connectée) toutes couplées à l'application smartphone. Les conditions expérimentales visuelles et auditives étaient contrebalancées au cours de la session 1 de l'étude, tandis que la condition montre connectée a été effectuée à part dans un second temps, au cours d'une deuxième session¹⁴.

Pour chaque parcours, le participant était accompagné de l'expérimentateur, avec qui il pouvait interagir librement. L'expérimentateur posait régulièrement des questions au participant pour évaluer son état d'esprit et en savoir plus sur son activité (après deux changements de direction environ). L'expérimentateur enregistrait en continu (chaque seconde) la position GPS et les erreurs commises par le participant grâce à l'application sur le téléphone. L'expérimentateur et le participant portaient une caméra Go Pro grand angle accrochée sur le torse (expérimentateur) ou la tête (participant) afin de conserver une trace vidéo de l'activité du participant (voir figure 66). Il était proposé au participant une variété de couvre-chefs adaptés à tous (casquette, bonnet, bob).

L'expérimentateur suivait le participant à une distance de 1 à 2 m pour pouvoir filmer son activité dans le contexte (afin d'enregistrer les éventuelles collisions, presque-accidents, etc.) et prévenir toute prise de risque lors des traversées de rue.



Figure 66 : participant équipé de la Go Pro lors de l'étude 3.

2.5.1- Parcours avec l'aide à la navigation habituelle

Au début de la première session de l'étude, un rendez-vous était donné au participant dans un café près de la place d'Italie. Il lui était alors demandé de se rendre depuis la place d'Italie à Telecom Paris Tech, 46 rue Barrault, 75013 Paris, en empruntant le chemin le plus direct par la rue Bobillot, la rue de la butte aux cailles et la rue Michal. Une carte postale avec l'image de la destination était fournie (entrée du bâtiment Telecom ParisTech).

Le trajet comportait 2 changements de directions en rond-point (place d'Italie), 2

¹⁴ Cette condition a été ajoutée après avoir constaté que la condition utilisant les lunettes de RA ne donnait pas lieu à des performances et expériences utilisateurs satisfaisantes (alors que tel était le cas dans l'étude en environnement virtuel). Nous souhaitions alors tester un autre dispositif visuel, afin de questionner la place occupée par le dispositif dans la perception, la compréhension et plus généralement l'expérience de navigation.

changements de direction à droite en intersection simple, 2 changements de direction à gauche en intersection simple, et une détection de l'arrivée, soit 7 informations en tout (voir figure 67). Ce trajet comportait moins de changements de direction que les trois suivants, et visait principalement à obtenir des données sur les habitudes de navigation des participants afin de pouvoir évaluer les trois autres aides à l'aune de leurs habitudes.

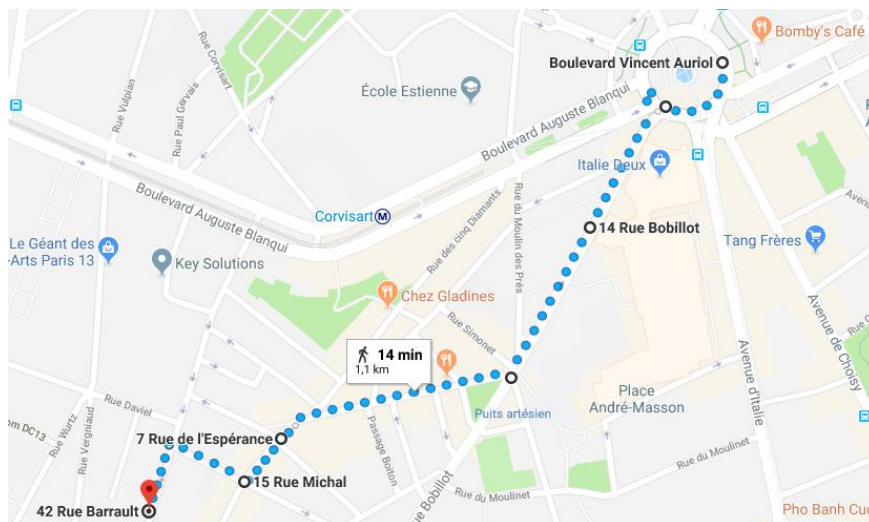


Figure 67 : itinéraire à réaliser avec l'aide à la navigation habituelle lors de l'étude 3.

2.5.2- Parcours avec les aides visuelle, auditive et vibro-visuelle

Les trois trajets réalisés avec les aides technologiques visuelle, auditive et vibro-visuelle étaient équivalents en termes de longueur (environ 1km) et de nombre de changements de direction (9 informations au total, voir tableau 9). Pour chaque itinéraire, la finalité et l'adresse exacte de la destination étaient expliquées (aller à l'association « La passerelle », pour la promotion des cultures d'Outre-mer, dans la rue de la Colonie ; aller au restaurant « Le Barrault-Vins » très populaire dans le quartier, dans la rue Barrault ; aller au restaurant japonais « le Suave » pour déjeuner sur le pouce, dans la rue de la Providence) et une carte postale représentant l'entrée du bâtiment d'arrivée était fournie.

Il était demandé aux participants de suivre les indications de guidage ou le tracé de la carte, quand bien même celui-ci n'était pas le plus court, ceci leur permettant de découvrir le quartier.


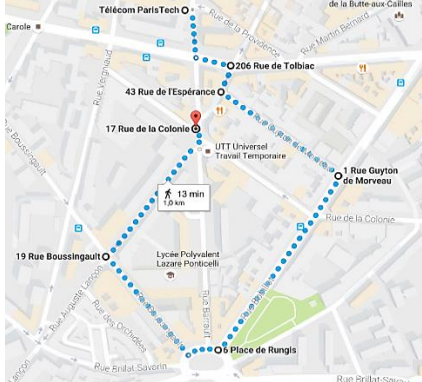
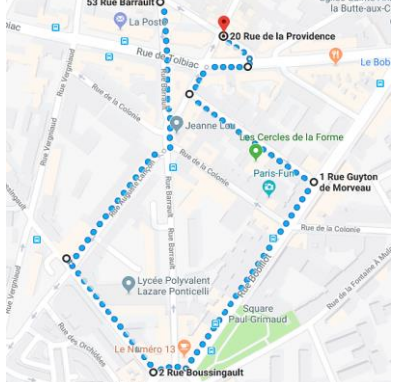
Itinéraire Association Passerelle (lunettes ou casque)	Itinéraire Barrault-Vins (lunettes ou casque)	Itinéraire Le Suave (montre connectée)
2 changements de direction en rond-point (gauche) 3 changements de direction à gauche en intersection simple 3 changements de direction à droite en intersection simple 1 arrivée	2 changements de direction en rond-point (droite) 3 changements de direction à gauche en intersection simple 3 changements de direction à droite en intersection simple 1 arrivée	2 changements de direction en rond-point (gauche) 3 changements de direction à gauche en intersection simple 3 changements de direction à droite en intersection simple 1 arrivée
		

Tableau 9 : Description des trois itinéraires parcourus par les participants avec les aides technologiques innovantes développées pour l'étude 3 en environnement réel.

2.6 - Entretiens post-activité

À la suite de chaque tâche de navigation avec l'aide habituelle ou avec chacune des 3 aides innovantes conçues pour l'occasion, un entretien (d'une durée de 11 à 56 minutes (M=31 minutes)) était mené avec le participant afin de recueillir son expérience de navigation dans chacune des quatre conditions de trajet. Cet entretien se déroulait à chaque fois dans les locaux de Telecom ParisTech, et se composait de deux parties :

(a) une première partie constituée d'un *entretien d'explicitation*, au cours duquel le participant était invité à se remémorer son trajet dans le détail ; comme nous l'avons vu dans le chapitre 6, la technique de l'entretien d'explicitation s'intéresse à ce qui a été perçu, pensé, ressenti et fait à des moments précis du trajet (Vermersch, 1994 ; Cahour et al. 2016). Le participant est invité à donner un maximum de détails sur le « comment » de son expérience, en évitant d'analyser le « pourquoi ». Cette technique d'entretien repose sur des relances de type synchrone, afin d'approfondir ou d'étendre à d'autres dimensions un moment vécu, et des relances de type asynchrone, afin d'approfondir l'enchaînement des actions, l'évolution des pensées, sentiments, etc. Il s'agit d'une technique d'entretien non-inductive qui vise à obtenir une description précise du vécu du sujet en situation.

(b) Dans une seconde partie, des *questions relatives à différentes dimensions* de l'expérience utilisateur étaient posées si elles n'avaient pas déjà été évoquées en phase a. Une liste de 10 questions servait de guide. Ces questions étaient relatives (1) à la lisibilité, (2) à la compréhension des informations de guidage (ex : *Est-ce qu'il y a eu un message, une information qui vous a semblé difficile à comprendre, où vous avez dû bien réfléchir pour interpréter le son/la flèche ?*), (3) au regard des autres au cours du trajet, (4) au sentiment d'implication dans l'activité, (5) à la sécurité (ex : *Par rapport aux voitures, aux autres usagers, est-ce qu'il y a des moments où vous vous sentiez en insécurité, par rapport au fait de rentrer en collision avec une personne, ou d'avoir un accident, ou pas spécialement ?*), (6) à la confiance dans le dispositif, (7) à l'agrément du guidage, (8) à

son l'utilité perçue (ex : *Ce dispositif vous semble-t-il utile pour vous? Seriez-vous prêt à l'utiliser si on vous le donnait ou pas spécialement ? Ou utile pour d'autres personnes ?*), (9) aux éventuelles modifications à apporter et (10) aux imaginaires sollicités par l'utilisation de l'aide.

2.7 - Tâche de rappel de repères et du trajet

La prise en compte de la qualité du rappel du trajet et des repères vise à évaluer l'éventuel impact des aides à la navigation utilisées sur les connaissances spatiales acquises, étant entendu qu'une aide à la navigation favorisant l'apprentissage de connaissances spatiales est une aide dont les usagers seront moins dépendants à mesure de son utilisation.

Pour évaluer le rappel du trajet et des repères, deux sources d'informations ont été prises en compte dans cette étude. Tout d'abord, durant chaque entretien post-activité, alors que les participants ont été invités à raconter leur trajet à travers les entretiens d'explicitation, ils ont mobilisé des informations spontanées sur les repères, noms de rues, personnes vues, etc., afin de contextualiser leur narration. Ces éléments ont été dénombrés au cours de l'analyse des verbatim.

Puis, à la suite de chaque entretien, les participants ont été plus directement invités à évaluer leur capacité à rappeler tout ou partie du trajet. La consigne était :

« Si je vous demandais de refaire le trajet sans aide, ou de le tracer sur une carte, est-ce que vous sentiriez en mesure de le faire, sur tout ou sur des parties du trajet ? Prenez le temps d'y réfléchir... Vous vous baseriez plutôt sur des choses que vous avez vues (magasins, bâtiments...), ou sur des noms de rues, ou sur une idée du plan suivi, ou sur des mouvements de votre corps ... ? »

Pour les personnes qui indiquaient se rappeler d'au moins une partie du trajet, il leur était demandé ensuite de décrire cette partie, en donnant le maximum de détails possible sur les changements de direction, les choses ou personnes vues, les odeurs, les mouvements de leur corps, etc.

2.8 - Procédure

L'étude s'est déroulée en deux sessions. La première session durait environ 3 heures et comportait 3 conditions (aide habituelle, visuelle et auditive). La seconde session durait environ une heure et portait sur l'aide vibro-visuelle.

Durant la première session, l'expérimentateur accueillait les participants, leur présentait les objectifs de l'étude et les conditions de participation. Le rendez-vous était donné dans un café situé place d'Italie. Les participants signaient le formulaire de consentement, répondaient à quelques questions sur leurs connaissances du 13^e arrondissement et sur leurs habitudes à propos du port de lunettes ou de casques audio.

Il leur était ensuite fourni une carte postale représentant Télécom ParisTech ainsi que l'adresse de ce bâtiment, et il leur était demandé de s'y rendre en empruntant le chemin le plus court et passant par les rues indiquées. Ils pouvaient prendre tout le temps nécessaire pour préparer leur trajet s'ils le souhaitaient. Avant de partir, les participants étaient équipés de la Go-Pro. Puis ils réalisaient la première tâche de navigation, accompagnés de l'expérimentateur. A l'arrivée, un entretien post-activité et une tâche de rappel du trajet et des repères étaient réalisés, comme décrits plus haut.

Les participants prenaient part ensuite à deux conditions expérimentales (visuelle et auditive), contrebalancées. Ils effectuaient d'abord le trajet vers l'association Passerelle, puis le trajet vers le Barrault-Vins. Pour chacun de ces trajets, il leur était donné une carte postale représentant le bâtiment recherché, et l'adresse de celui-ci. Avant chaque itinéraire, les participants apprenaient les messages de guidage correspondant à la condition expérimentale. Ce temps d'apprentissage permettait également de régler la position de l'écran des lunettes de réalité augmentée et l'intensité sonore du casque à conduction osseuse.

Puis, pour chaque itinéraire, le participant était invité à entrer la destination dans l'application sur téléphone intelligent dédiée et à choisir le mode de guidage correspondant. Le participant était assisté dans cette tâche par l'expérimentateur, au besoin. Le téléphone était fourni par l'expérimentateur pour éviter les problèmes de compatibilité de matériel. Le participant pouvait consulter la carte sur l'application pour préparer son itinéraire s'il le souhaitait.

Une fois prêt à partir, l'expérimentateur récupérait le smartphone, tout en indiquant au participant qu'il pouvait consulter la carte, appuyer sur le bouton pour rejouer le dernier message, ou demander à appuyer sur le bouton pour rejouer le message à n'importe quel moment du trajet. Au cours du trajet, une fonction cachée de l'application permettait à l'expérimentateur de vérifier que le participant avait bien reçu l'information de guidage aux coordonnées GPS attendues, et de lui envoyer une information de demi-tour si le participant se trompait de chemin. Après être arrivé à destination, participant et expérimentateur retournaient dans les locaux de Telecom Paristech pour y effectuer un entretien post-activité et un rappel du trajet. Une pause était proposée aux participants entre chacune des conditions expérimentales.

Durant la deuxième session, qui a eu lieu 6 mois après, un rendez-vous était donné à Telecom ParisTech. L'expérimentateur rappelait au participant les objectifs de l'étude, puis lui présentait la montre connectée. Une fois l'apprentissage des messages réalisé et la montre ajustée autour du poignet du participant de sorte à percevoir les vibrations, l'adresse et la photo de la destination étaient données. Là encore, le participant entrait la destination ou pouvait être assisté dans cette tâche. Il effectuait ensuite la tâche de navigation avec la montre, dans les mêmes conditions que lors de la première session. A l'arrivée, un entretien et un rappel du trajet étaient réalisés.

2.9 - Analyse des données

2.9.1- Analyse des données relatives aux tâches de navigation

Pour chacun des quatre itinéraires, trois variables ont été prises en compte : le pourcentage de temps supplémentaire nécessaire à la réalisation de l'itinéraire par rapport au temps annoncé par Google Maps¹⁵, le taux d'orientations correctes aux intersections simples (y compris l'identification de l'arrivée) et le taux d'orientation correctes aux carrefours complexes. Ces données ont été récoltées grâce à l'enregistrement de ces informations dans l'application NaWiGo, et par visionnage des films effectués au cours de la tâche de navigation.

Pour les itinéraires réalisés dans les conditions expérimentales visuelle, auditive et vibro-visuelle, le nombre de répétitions nécessaires à l'apprentissage des messages et le nombre d'appui sur le bouton « rejouer le message » a également été mesuré.

Compte tenu de la grande variabilité au sein du groupe de participants et de la faible taille de la population, ces données quantitatives ont été analysées par des statistiques non-paramétriques. Des tests de Kruskal-Wallis ont été réalisés afin de comparer les différentes conditions expérimentales. Ils ont été complétés, le cas échéant, par des tests de Student afin de mettre en regard les conditions expérimentales deux à deux. Le seuil de significativité a été défini à .05.

2.9.2- Analyse des données relatives aux entretiens

Les entretiens ont été intégralement retranscrits et une méthode d'analyse thématique hybride (Fereday and Muir-Cochrane, 2006) a ensuite été réalisée. Au total 72 entretiens ont été analysés.

Dans un premier temps, 14 dimensions d'analyse avaient été établies a priori, sur base de la littérature dédiée à l'expérience utilisateur (Arning et al., 2012 ; Holzinger et al., 2008 ; Kim et al., 2016 ; Lee et Coughlin, 2014) (voir chapitre 4) ainsi que des entretiens et observations menés lors de l'étude 2 en environnement virtuel (voir chapitre 8), nous permettant de raffiner la grille d'analyse utilisée lors de l'étude précédente (voir tableau 10, colonnes 1, 2 et 3).

Après une première passe d'analyse visant à associer chaque verbatim pertinent à une des 14 dimensions de cette nouvelle grille d'analyse a priori, un travail de regroupement des dimensions a été effectué afin de mieux faire correspondre les dimensions d'analyse à l'expérience réelle de navigation. Finalement, ce sont 10 catégories d'analyse qui ont été retenues et qui sont présentées dans cette thèse (voir tableau 10, colonnes 2, 4 et 5)

Une prise en compte de l'évolution temporelle de l'expérience utilisateur au cours du parcours a également été réalisée au cours de cette première passe d'analyse. Les moments-clés identifiés sont : avant le départ, lors de la première information, lors d'un message de demi-tour ou d'une erreur, lorsqu'une information est mal perçue, lorsqu'une information est bien perçue, à l'approche d'un rond-point, à l'arrivée.

Dans un second temps, chaque verbatim extrait lors de la première passe d'analyse a été associé à une des 10 nouvelles catégories et réduit à un ensemble de mots-clés par deux codeurs, avec un accord inter-juge pour la classification en catégories assez élevé

¹⁵ Le temps annoncé par Google Maps prend en compte une vitesse de marche de 4.9 km/h (1.4 m/s) modulée en fonction du dénivelé et du nombre d'intersections.

(Byrt, 1996) (Kappa de Cohen $k > 0.65$). Un outil de « *mind-mapping* » a été utilisé afin de garder trace de la cohérence du discours. Les mots clés décrivant le contenu de chaque catégorie ainsi que le processus de codage utilisés sont présentés en annexe 8. La prise en compte de la temporalité au sein des catégories d'analyse s'est également faite par réduction à des mots-clés, présentés en Annexe 9.

Ce travail nous a permis de faire émerger 3 phénomènes majeurs qui influencent la qualité de l'expérience utilisateur avec les différentes aides testées (voir tableau 10, colonne 6) :

- La transformation de l'attention au cours du temps révèle les difficultés de perception et les compensations éventuellement mises en œuvre par les participants au cours de leur trajet pour leur permettre de percevoir à la fois l'environnement et les instructions de guidage, tout en faisant attention à leur sécurité.
- La compréhension de la situation au cours du temps repose à la fois sur la compréhension des instructions de guidage, mais aussi sur l'appariement de ces instructions avec des éléments contextuels de fonctionnement technique de l'aide à la navigation, et des éléments spatiaux/environnementaux. Ces éléments sont mobilisés via diverses stratégies interprétatives pour permettre aux participants de lever les ambiguïtés et de trouver leur chemin.
- L'émergence d'états émotionnels au cours du temps révèle, pour sa part, les modalités d'établissement de la confiance dans l'aide à la navigation au cours du trajet, et les problématiques de confort physique et esthétique auxquelles sont confrontés les participants.

Enfin, dans un troisième temps, les mots clés ont été synthétisés selon une dimension binaire positif / négatif. À titre d'exemple, dans la catégorie relative au confort, les éléments tels que la simplicité de l'interface, la stabilité, la légèreté, l'esthétique, la dimension ludique ont été codés positivement, tandis que la pénibilité, la fatigue, la nausée, le côté intrusif ont été codés négativement (voir figure 68). Sur cette base, des analyses χ^2 de Pearson ont été réalisées afin de comparer les 4 aides à la navigation.

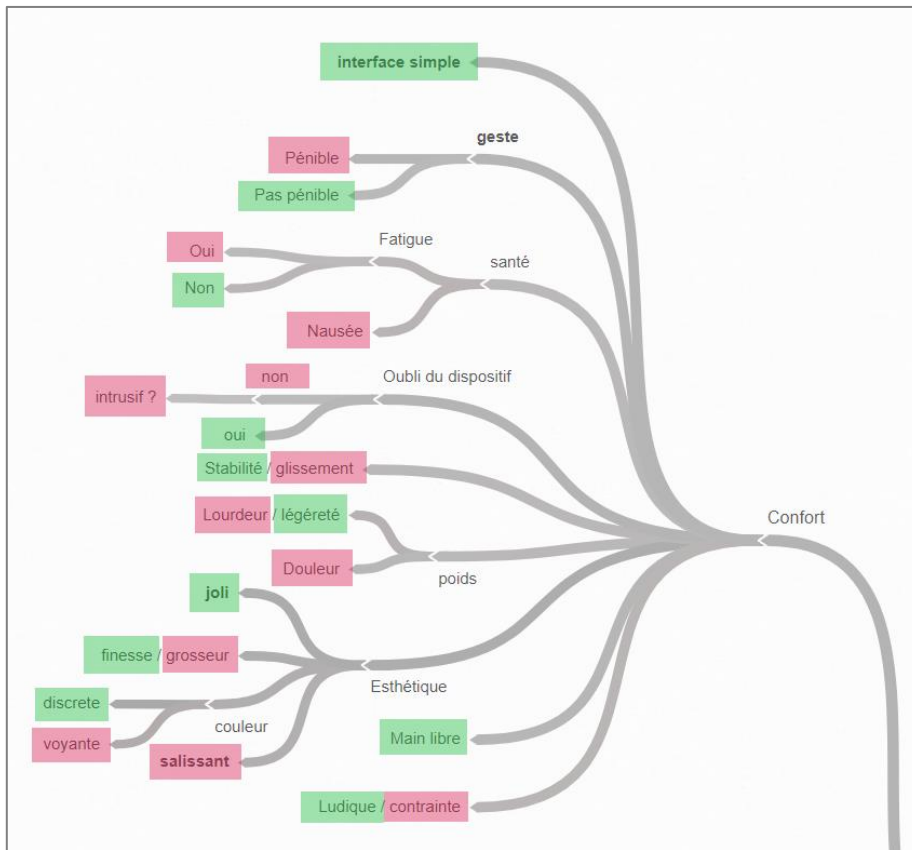


Figure 68 : mots-clés relatifs au confort des participants avec les aides à la navigation testées dans l'étude 3, selon qu'ils soient codés positivement (en vert) ou négativement (en rouge).

Grille d'analyse utilisée dans l'étude 2	Grille d'analyse a priori, préétablie pour l'étude 3	Justifications des modifications entre étude 2 et étude 3	Grille d'analyse effective, utilisée dans l'étude 3	Justifications des modifications de la grille d'analyse	Phénomènes principaux observés
Perceptibilité des instructions de guidage	Perceptibilité des instructions	<u>Maintenue</u> car pertinente lors de l'étude 2	Perceptibilité des messages	<u>Maintenue</u> , car les questions de <u>perceptibilité</u> sont <u>très présentes dans les entretiens.</u>	Transformation de l'attention au cours du temps
	Charge cognitive / attention	<u>Ajoutée</u> car nous supposons un partage attentionnel plus prégnant qu'en simulateur.	Attention portée aux messages	<u>Précisée</u> , car la charge mentale <u>semble due principalement à l'attention portée aux messages, qui est parfois très élevée.</u>	
Attention portée à l'environnement	Attention portée à l'environnement	<u>Maintenue</u> car d'autant plus pertinente en contexte naturel, plus riche graphiquement que simulateur.	Attention à l'environnement et à la sécurité	<u>Fusionnées</u> , car il <u>apparaît dans les entretiens que le sentiment de sécurité n'est pas dissocié de l'attention que les participants sont en mesure de porter à ce qui se passe autour d'eux.</u>	
Sentiment de sécurité	Sentiment de sécurité	<u>Maintenue</u> car d'autant plus pertinente en contexte naturel, avec présence de trafic routier.			
	Préparation / apprentissage des messages	<u>Ajoutée</u> car nous avons vu dans l'étude 2 que la familiarisation occupait une place importante.	Compréhension des messages a priori, hors contexte urbain	<u>Précisée</u> , car <u>l'apprentissage et l'habitué aux messages se fait hors contexte avant le trajet, mais aussi pendant.</u>	

Grille d'analyse utilisée dans l'étude 2	Grille d'analyse a priori, préétablie pour l'étude 3	Justifications des modifications entre étude 2 et étude 3	Grille d'analyse effective, utilisée dans l'étude 3	Justifications des modifications de la grille d'analyse	Phénomènes principaux observés
Compréhensibilité des instructions de guidage	Compréhensibilité des instructions en contexte	<u>Maintenue</u> car pertinente lors de l'étude 2	Compréhension des messages en contexte urbain	<u>Fusionnées</u> , car les difficultés de compréhension des messages créent des <u>hésitations</u> , qui <u>peuvent être levées par d'autres éléments du contexte.</u>	Compréhension de la situation au cours du temps
Hésitations	Hésitations/Désorientation	<u>Fusionnées</u> car hésitation et désorientation sont deux gradients d'une difficulté d'orientation.			
Sentiment d'être désorienté					
Sentiment d'autonomie	Confiance dans le dispositif	<u>Divisée</u> car volonté de questionner davantage le positionnement des participants par rapport au dispositif proposé.	Sentiment de confiance en soi et dans le dispositif	<u>Fusionnées</u> , car les participants les <u>défaillances du système semblent impacter à la fois la confiance en soi et dans le dispositif</u>	Emergence d'états émotionnels au cours du temps
	Sentiment de compétence				
Agréabilité	Discrétion	<u>Divisée</u> car volonté de questionner en détail la question hédonique, et le regard des autres, absent en simulateur.	Confort physique et esthétique	<u>Fusionnées et précisées</u> , car les <u>dimensions abordées dans les entretiens ont d'abord trait au confort de port du dispositif et à l'image renvoyée avec ce dernier.</u>	
	Satisfaction psychologique				
	Emotions				

Grille d'analyse utilisée dans l'étude 2	Grille d'analyse a priori, préétablie pour l'étude 3	Justifications des modifications entre étude 2 et étude 3	Grille d'analyse effective, utilisée dans l'étude 3	Justifications des modifications de la grille d'analyse	
Utilité a priori	Utilité perçue	<u>Maintenue</u> car pertinente pour acceptabilité à terme des aides proposées.	Utilité perçue	<u>Maintenue car présente dans tous les entretiens.</u>	
Recommandations de conception	Recommandations	<u>Maintenue</u> car pertinente pour conception à terme des aides proposées.	Attentes des participants	<u>Précisée, le terme « recommandations » renvoie au point de vue du concepteur ; on parle ici des attentes/souhaits verbalisés par les participants</u>	
Habitude d'un tel guidage		<u>Supprimées</u> car pas très développées dans étude 2 et recours à des aides prototypiques en étude 3.			
Aspect innovant					

Tableau 10 : évolution des dimensions d'analyse de l'expérience utilisateur entre les études 2 et 3 (colonnes 1, 2 et 3) et durant l'analyse thématique hybride mise en œuvre dans l'étude 3 (colonnes 2, 4 et 5). La colonne 6 présente les phénomènes principaux qui dessinent l'expérience utilisateur au cours du temps

2.9.3- Analyse des données relatives au rappel du trajet

Pour chaque trajet, les informations rappelées spontanément au cours des entretiens et les informations rappelées par la consigne de rappel libre à l'issue de chaque condition expérimentale ont été confrontées afin de dénombrer le nombre d'éléments différents rappelés et d'écartier les doublons (éléments rappelés dans l'entretien et dans la consigne). Plusieurs catégories d'éléments rappelés ont ainsi pu être établies. Ces catégories ont ensuite été réduites, afin de pouvoir procéder à des analyses statistiques par Kruskal-Wallis et tests de Student.

On retiendra ainsi 3 catégories d'éléments rappelés :

- Les éléments de l'espace cartographique (les noms de rues, les relations géométriques, les directions, les distances, la topographie etc.)
- Les éléments de l'environnement (les objets sur le trottoir, les façades, les personnes rencontrées etc.)
- Les éléments de l'expérience subjective (les erreurs commises, l'atmosphère, les odeurs etc.)

2.9.4- Analyse des données relatives aux enregistrements vidéo

Si les entretiens permettent d'évaluer un risque perçu par le participant, l'analyse des vidéos des itinéraires parcourus permet d'objectiver un risque réel. Cette question du risque est en effet très importante car les dispositifs d'aides à la navigation sont susceptibles de détourner plus ou moins l'attention des utilisateurs à ce qui se passe autour d'eux, ceci pouvant entraîner un risque pour la sécurité des piétons. Nous avons donc également investigué cette question du risque avec une approche extrinsèque. Les vidéos enregistrées au cours de tâches de navigation ont été visionnées afin d'identifier les moments d'inattention manifeste des participants. L'annexe 10 présente l'ensemble de ces moments. Sur cette base, nous avons distingué

- les moments d'inattention strictement liés au dispositif utilisé pour se guider (par exemple : collision avec un passant car le participant lit sa carte en marchant)
- les autres moments d'inattention (par exemple : le participant regarde une façade d'immeuble au moment de traverser et manque de se faire surprendre par une voiture). Ces données ont ensuite été analysées par Chi² pour savoir si un effet du type de dispositif est observable.

3- Résultats

Cette partie présente les principaux résultats issus de l'analyse des données recueillies au cours de l'étude grâce aux vidéos, tâches de navigation, entretiens post-activité et tâche de rappel de repères. Nous développerons (1) les performances de navigation (temps de trajet, taux d'orientations correctes, nombre de messages rejoués), (2) les données détaillées relatives à l'expérience utilisateur issues des entretiens, (3) les données relatives au rappel de repères et (4) les données issues des vidéos, relatives aux inattentions manifestes des participants.

3.1 – Résultats liés à la performance de navigation

Cette partie présente les résultats relatifs à l'apprentissage des messages, au temps de parcours, aux taux d'orientations correctes en intersection simple et complexe, et au nombre de messages rejoués au cours du trajet.

3.1.1 – Apprentissage des messages

Un test de Kruskal-Wallis a été effectué et ne permet pas de mettre en valeur un effet du dispositif dans l'apprentissage des messages de guidage ($H(2, N=54) = 1,92, p = .38$). Le nombre de répétitions moyen pour apprendre les messages de guidage avec les lunettes est de 1.05, contre 1.28 avec le casque audio et 1.07 avec la montre.

Ceci peut s'expliquer par la forte proximité des indications entre les aides visuelles et le vibro-visuelle d'une part, et par la familiarité des participants avec beaucoup de ces messages déjà présentés dans l'étude précédente.

3.1.2 - Temps de trajet par rapport au temps annoncé

En considérant à la fois le temps de préparation du trajet avant le départ et le temps de déplacement pour atteindre la destination (y compris les arrêts), un test de Kruskal-Wallis permet de mettre en valeur un effet du dispositif utilisé ($H(3, N=72) = 20,5, p < .0001$).

Des tests T de Student ont été réalisés afin de comparer les modalités deux à deux. Ils révèlent que le temps de trajet est significativement plus élevé avec l'aide habituelle (augmenté de 47,6 % en moyenne par rapport à Google Maps, $SD = 27,2$) qu'avec l'aide visuelle ($M=27,1\%$, $SD=16,8$) $t(18)=2,72, p < .05$, l'aide auditive ($M=19,9\%$, $SD=15,4$) $t(18)=3,76, p < .001$, et l'aide vibro-visuelle ($M=18,1\%$, $SD=11,4$) $t(18)=4,25, p < .0005$. Il n'y a pas de différence significative entre les trois dispositifs innovants développés pour l'étude.

Il nous semble important de prendre en compte à la fois le temps de préparation du trajet en amont et le temps de déplacement, car les stratégies diffèrent grandement entre les participants et les conditions expérimentales. Ainsi, avec l'aide habituelle par exemple, certains participants commencent le trajet sans aucune préparation et consultent leur aide au cours du déplacement, tandis que d'autres préparent le trajet plus de 10 minutes pour apprendre le parcours. De même, avec les aides technologiques sensorielles innovantes développées pour cette étude, les participants ont tendance à moins préparer le trajet en amont, mais certains vont beaucoup s'arrêter en cours du trajet pour rejouer un message, lire la carte sur le téléphone, etc. La figure 69 illustre ces résultats en prenant en compte le temps de préparation et le temps de déplacement.

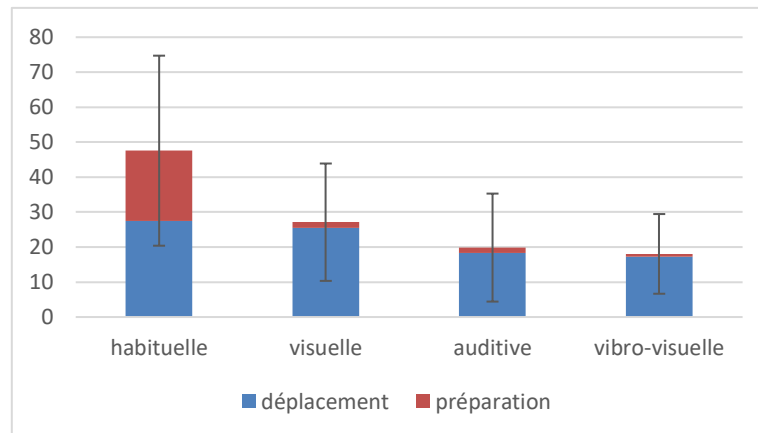


Figure 69 : augmentation du temps de trajet par rapport au temps annoncé, en prenant en compte la part due à la préparation en amont et la part due au déplacement dans l'étude 3 en contexte naturel. Les barres verticales représentent les écarts-types.

3.1.3 - Taux d'orientations correctes en intersection simple

Un test de Kruskal-Wallis permet de mettre en valeur un effet du dispositif ($H(3, N=72)=12,4$, $p < .01$). Des tests T de Student ont été réalisés afin de comparer les modalités deux à deux. Ils révèlent que le taux d'orientations correctes en intersection simple est significativement plus faible avec l'aide visuelle ($M=82,5$, $SD=18,4$) qu'avec l'aide auditive ($M=96$, $SD=6,6$) $t(18)=-3$, $p < .01$, l'aide vibro-visuelle ($M=96,8$, $SD=6,1$) $t(18)=-3,2$, $p < .005$ et l'aide habituelle ($M=94,4$, $SD=11,5$) $t(18)=-2,36$, $p < .05$ (voir figure 70). Les différences entre les aides habituelle, auditive et vibro-visuelle ne sont pas significatives.

Il est intéressant de noter que, avec l'aide habituelle de type carte (papier ou numérique) comme avec les aides auditive et vibro-visuelle, si les pourcentages de réussite approchent 100%, aucune n'atteint le niveau de performance maximal.

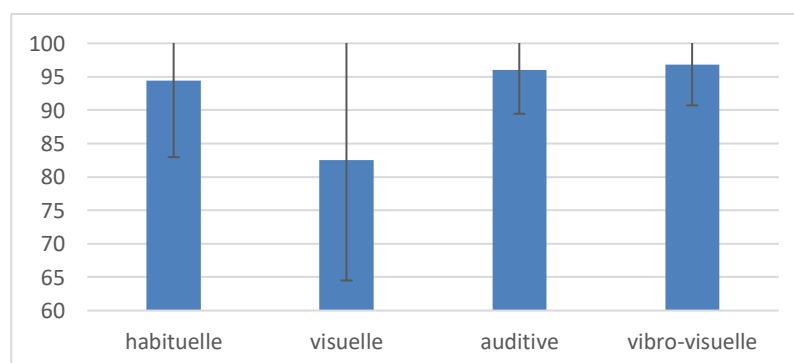


Figure 70 : taux d'orientations correctes en intersection simple en fonction de l'aide utilisée. Les barres verticales représentent les écarts-types.

3.1.4 - Taux d'orientations correctes en intersections complexes

Un test de Kruskal-Wallis a été effectué et ne permet pas de mettre en valeur un effet du dispositif $H(3, N=72) = 6,57, p=.09$. Le taux d'orientations correctes en intersection complexe avec l'aide habituelle est de 97,2% (SD=11,8) contre 86,1% avec l'aide visuelle (SD=28,7), 97,2% avec l'aide auditive (SD=11,8) et 100% avec l'aide vibro-visuelle (SD=0). Les différences entre les aides habituelle, auditive et vibro-visuelles ne sont pas significatives.

Il est intéressant de noter que, avec l'aide habituelle de type carte (papier ou numérique) comme avec l'aide auditive, si les pourcentages de réussite approchent 100%, seule l'aide vibro-visuelle atteint ce niveau de performance maximal.

3.1.5 - Nombre de messages rejoués au cours du trajet

Un test de Kruskal-Wallis permet de mettre en valeur un effet du dispositif ($H(2, N=54)=14,3, p < .01$). Des tests T de Student ont été réalisés afin de comparer les modalités deux à deux. Ils révèlent que le nombre de fois où un message est rejoué est significativement plus élevé avec l'aide visuelle (M=7,7, SD=8,2) qu'avec l'aide auditive (M=0,8, SD=1,1) $t(18)=3,48, p < .005$ et l'aide vibro-visuelle (M=2,9, SD=3,8) $t(18)=2,2, p < .05$. Les messages sont également plus souvent rejoués avec l'aide vibro-visuelle qu'avec l'aide auditive $t(18)=2,2, p < .005$ (voir figure 71).

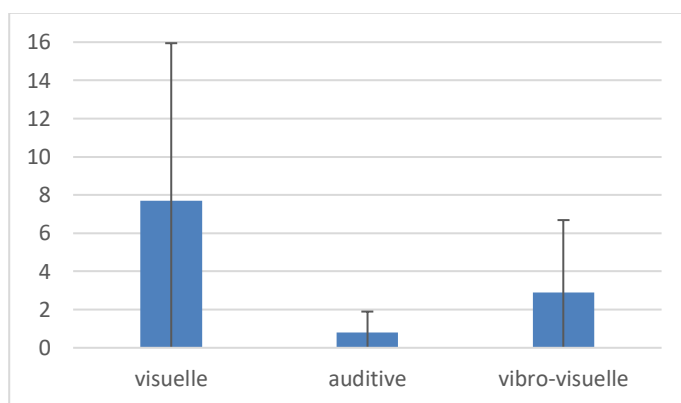


Figure 71 : nombre de messages rejoués au cours du trajet. Les barres verticales représentent les écarts-types.

En résumé : il apparaît que les performances de navigation (temps de trajet, orientations correctes, messages rejoués) sont plus faibles avec le guidage visuel par lunettes de réalité augmentée qu'avec les trois autres modes de guidage (habituel, auditif et vibro-visuel) avec lesquels les performances de navigation approchent les 100% de réussite. Si le temps de trajet avec l'aide habituelle (carte papier ou numérique) est plus élevé, cela semble reposer principalement sur des logiques d'usage différentes entre aides allocentrées de types cartes et aides technologiques égocentrées.

Le nombre de messages rejoués est élevé et très variable avec le guidage visuel, ce qui laisse entendre des difficultés de perception et/ou compréhensions contrastées entre les participants, il est moins élevé dans le cas des deux autres dispositifs technologiques développés pour cette étude, auditif et visuel-haptique.

3.2 - Résultats relatifs à l'expérience utilisateur

Cette partie vise à identifier les récurrences présentes dans le discours des participants quant à chacune des 10 dimensions d'analyse de l'expérience utilisateur. Elle se découpe selon 3 grands phénomènes mentionnés plus haut : la transformation de l'attention au cours du temps, la conscience de la situation au cours du temps, et l'émergence de sentiments au cours du temps. Il convient de noter que les entretiens menés pour l'aide habituelle étaient plus courts que les entretiens suivants (pour les aides visuelle, auditive et vibro-visuelle). Nous manquons donc parfois de précisions pour certaines catégories d'analyse avec l'aide habituelle.

L'âge et le genre de chaque participant (S01 à S18) est présenté en annexe 11.

3.2.1 – Transformation de l'attention au cours du temps

Dans cette partie, nous abordons la question du partage attentionnel nécessaire à la fois à la perception des messages de guidage et des éléments de l'environnement (bâtiments, voitures, etc.) afin d'assurer au participant de trouver son chemin de manière efficace, plaisante et dans de bonnes conditions de sécurité.

3.2.1.1- Perceptibilité des messages

Avec l'aide habituelle des participants : informations trop petites

La principale caractéristique gênant la perception des informations de navigation avec l'aide habituelle est leur petite taille, que cela soit sur carte papier ou une application GPS, ce qui rend la lecture difficile pour 8 participants (44%)

Avec l'aide visuelle : difficulté de perception des flèches

La perception des messages visuels semble difficile. En effet, 12 participants (66%) estiment que l'affichage des flèches ne dure pas assez longtemps pour qu'elles soient vues correctement.

S14 « *C'est comme un éclair, c'est comme une mouche qui te passe devant.* »

Cette difficulté à voir l'indication semble due à la pâleur des flèches en environnement naturel. Ainsi, alors que la flèche apparaît de manière lumineuse lors des essais en intérieur, elle est décrite comme pâle à l'extérieur par sept participants (39%). Cinq (28%) estiment toutefois que la flèche se détache plutôt bien de l'environnement, malgré sa pâleur, mais ils sont quatre (22%) à trouver que les couleurs de l'environnement se mélangent avec celle de la flèche.

S07 « *L'environnement est venu en toile de fond, ça vient s'intégrer la flèche dans ce décor, alors ... Pour moi, à ce moment-là, elle est déjà dans mon esprit moins lumineuse, parce qu'il y a les couleurs alentours qui sont là.* »

Une autre difficulté de perception est due au fait que les participants ne voient pas les flèches dans leur entièreté. Ils sont ainsi cinq (28%) à voir seulement le bas des indications, à cause d'un écran placé trop haut dans le champ de vision. La perception des flèches se trouve de plus perturbée par des interférences liées à la présence de l'écran des lunettes de réalité augmentée dans le champ de vision. Ils sont cinq (28%) à faire mention de points blancs dans le champ de vision, et huit (44%) à faire mention de reflets dans le verre de la lunette. Par ailleurs, ils sont six (33%) à faire état de la présence constante du cadre de l'écran dans leur champ visuel.

S04 « *Il y avait un reflet violine, avec comme un mur de granit en haut à un moment [...] Il y avait plusieurs couleurs, c'était très perturbant* ».

Pour mieux percevoir les flèches, les participants développent un ensemble de techniques comme lever les lunettes à chaque intersection, adapter la hauteur de leur regard, ou encore concentrer leurs deux yeux sur l'écran des lunettes.

S09 « *J'ai marché avec la tête plus relevée de façon à bien voir la partie supérieure des flèches, et ça n'a pas changé grand-chose.* »

Avec l'aide auditive : bonne perception des sons

Le son est bien perçu en termes de durée, de sonorité et d'intensité. Ils sont huit (44%) à juger que l'intensité du son est bonne, et ce même chez les participants atteints de surdité. La sonorité (hauteur du son) est également décrite comme adaptée à la surdité.

S02 « *[Le son est un peu strident] mais ça m'arrangeait, parce que je suis un peu sourde, surtout de l'oreille gauche, tout ce qui est un petit aigu et tout ça, je les entends bien. Les sons auraient été sourds, je les aurais moins bien entendus.* ».

Les messages auditifs sont bien perçus dans l'environnement, du fait du contraste avec les sons venus de l'extérieur. Douze participants (67%) estiment ainsi que l'on ne peut pas confondre les sons extérieurs, les conversations et les sons du casque, tandis que les autres participants ne s'expriment pas sur ce point.

S07 « *ça peut être au-dessus d'un klaxon ou de motos, ou je ne sais pas, un vrombissement de voiture. C'est quand même ce qu'on entend en premier.* ».

Avec l'aide vibro-visuelle : l'alerte vibratoire pas toujours bien perçue

Les messages fournis par la montre étant de nature vibratoire (alerte) et visuelle (information), il convient de distinguer la perception de ces deux signaux et leur interaction. Ainsi, si les messages fournis par la montre sont globalement bien perçus par 14 participants (78%), c'est principalement la perception de l'alerte vibratoire qui est en jeu. Huit participants (44%) estiment que l'information dure trop peu de temps, soit parce qu'ils ne sentent pas du tout la vibration d'alerte, soit parce que le délai entre la perception de la vibration et la disparition de la flèche est trop court. Cinq participants (28%) estiment toutefois que la durée du message est suffisante.

S02 « *ça ne reste pas affiché très longtemps. Le temps de réaction entre je sens que ça vibre, hop, il faut que je regarde* ».

Les difficultés à percevoir l'information visuelle dépendent beaucoup de l'intensité de la vibration et/ou du geste nécessaire pour regarder la montre. Ainsi, la flèche ne présente pas de difficulté particulière : 12 participants (66%) font état d'une luminosité correcte et 11 participants (61%) d'une taille correcte d'affichage.

S13 « *Elle est assez grosse, on ne peut pas le manquer, même si on n'a pas les lunettes, je crois qu'on le voit très bien.* ».

En revanche, l'intensité de la vibration fait moins consensus : seuls 3 participants (17%) n'ont eu aucune difficulté liée à la vibration, contre 4 (22%) à ne pas l'avoir ressentie du tout. Pour les autres participants (61%), on observe que la vibration est de mieux en mieux perçue au cours de la navigation

Dans la mesure où ils ont des difficultés à percevoir les vibrations d'alerte, plusieurs participants (50%) plient le bras au début ou tout au long du trajet pour faciliter la perception de la flèche ou pour être alertés par le bruit que fait la montre lorsqu'elle vibre.

S07 « *Il faut avoir surtout un œil sur sa montre, mais les flèches sont lumineuses donc si on l'a, sans l'avoir sous les yeux, comme moi ma façon de tenir, je la verrais automatiquement.* »

Devant la nécessité de regarder son poignet pour obtenir l'information de guidage, le risque de cacher la montre sous la manche du manteau est régulièrement abordé (50%).

De manière très intéressante, et contrairement aux autres guidages, la nature même de l'alerte vibratoire pose question. Ainsi, sept participants (39%) ne savent dire s'ils ont été alerté par la vibration ou par le son que fait la montre en vibrant. Ce ressenti confus est renforcé par un certain nombre de doutes concernant les interférences que peut générer la rue à cause du bruit ambiant ou des vibrations liées au trafic

S13 « C'est vraiment l'ambiance qui perturbe le ressenti. Quand la rue est calme, je l'ai senti et par contre, au niveau de la rue de Tolbiac, à l'aller je ne l'ai pas senti et au retour je l'ai senti un peu en arrivant et après je ne l'ai plus senti de nouveau. »

En résumé, les difficultés de perception sont plus importantes avec les lunettes de réalité augmentée qu'avec le casque à conduction osseuse ou la montre. Ce sont principalement la durée et l'intensité des messages qui sont questionnées par les participants, ainsi que les interactions avec l'environnement. On retrouve, dans une moindre proportion, des difficultés pour percevoir la vibration d'alerte avec le guidage par montre.

3.2.1.2 – Attention portée aux messages

Avec l'aide habituelle des participants : attention variable

L'attention portée à l'aide au cours du trajet est assez variable en fonction des participants. 50% d'entre eux consultent leur carte ou leur GPS régulièrement au cours du trajet, alors que 5 (28%) s'appuient principalement sur la préparation du trajet qu'ils ont fait avant le départ, et 4 (22%) se laisse régulièrement surprendre, et ne consultent pas souvent leur aide pour trouver leur chemin.

On identifie principalement deux stratégies utilisées pour faciliter l'attention portée à l'aide habituelle : s'arrêter ou ralentir sa marche.

Avec l'aide visuelle : besoin d'une attention préparatoire élevée

Le niveau d'attention nécessaire avec l'aide visuelle est généralement décrit comme élevé. Sept participants (39%) déclarent avoir fait plus attention à l'aide visuelle après avoir raté une flèche.

S09 « ça entraine une concentration qui est beaucoup plus intense qu'avec le casque auditif, par crainte de ne pas saisir l'information au bon moment, de ne pas voir qu'il faut faire demi-tour. [...] Il y a eu une attention qui est beaucoup plus intense avec la lunette, parce que j'ai peur de rater, voilà ».

La zone de rond-point va généralement de pair avec une attention accrue au signal, puisqu'au moins 8 participants (44%) déclarent faire plus attention dans cette zone. Les participants ont toutefois tendance à faire attention à chaque intersection en approche avec les lunettes, ce qui est moins le cas avec les autres aides.

La stratégie principale pour maintenir l'attention sur la flèche consiste à conserver l'œil droit fixé sur l'écran des lunettes, ce qui est le cas pour 11 participants (61%).

S15 « J'ai un œil qui est sur l'écran et un qui regarde quand même l'extérieur, ailleurs, l'environnement, et par terre. ».

Les participants peuvent également avoir tendance à ne pas tourner la tête ou à ralentir leur vitesse de marche. Six participants (33%) estiment aussi que discuter ou penser peut perturber leur attention.

S06 « Je l'ai vue au dernier moment et j'aurais pu la rater, parce que j'étais en train de penser à autre chose, et donc je regardais sans regarder ».

Avec l'aide auditive : besoin d'attention faible

L'attention nécessaire à la perception des messages auditifs est généralement faible. Ainsi, une dizaine de participants (56%) ont une attention complètement relâchée

S18 « J'avais même pas besoin de faire attention. C'est un petit signal, comme si quelqu'un me tapait sur l'épaule. C'est exactement la même sensation. »

Si l'attention portée au message est modérée, elle augmente pour au moins 8 participants (44%) dans les ronds-points. Du fait de l'attention plutôt faible nécessaire à la perception du message, peu de stratégies sont mises en place pour faciliter la prise d'information.

Avec l'aide vibro-visuelle : besoin d'attention variable

Le niveau d'attention avec le guidage par montre dépend très fortement de la perception que les participants ont de la vibration. Ils sont ainsi 22% (4/18) à porter une attention très forte à la montre parce que la vibration leur semble incertaine ou imperceptible.

S15 « Le fait qu'on ne la sente pas, c'est ça qui prend de l'attention. »

Parmi les autres participants (78%), la vibration est généralement perçue, et les niveaux d'attention varient en fonction du contexte et du moment du trajet. Ainsi, 3 participants (17%) déclarent avoir fait plus attention à la montre après en avoir raté une indication. Comme pour les autres guidages, la zone du rond-point est génératrice d'un surcroît d'attention à l'égard des messages (33%). Ils sont aussi 7 participants (39%) à déclarer que leur niveau d'attention a décru au cours du trajet, et ce, en lien avec une vibration de mieux en mieux perçue.

S08 « Et à partir de là, j'ai pris confiance en la vibration et que j'allais la percevoir. Donc ma position du bras a changé. Je ne faisais plus attention à la montre, donc je faisais des gestes comme j'ai l'habitude de faire ».

En plus de garder le bras plié, d'autres stratégies sont mises en œuvre : ralentir pour faciliter la concentration à l'abord des intersections, se concentrer sur la sensation perçue sur le poignet ou encore regarder régulièrement la montre à l'abord des intersections. Plusieurs sources de distraction sont identifiées par les participants, telles que discuter ou penser (33%), ou regarder l'environnement (11%). Au contraire, 5 personnes (28%) soulignent avoir eu le loisir de penser ou discuter sans que cela n'entrave leur attention au message

En résumé, l'attention nécessaire à la perception des indications de guidage est plus forte avec les lunettes qu'avec le casque ou la montre. Dans le cas de la montre, la concentration sur le guidage est généralement forte au départ et décroît à mesure du trajet, alors qu'elle augmente avec les lunettes et demeure stable et faible avec l'aide auditive. L'attention est plus forte au niveau des ronds-points.

3.2.1.3 - Attention à l'environnement et à la sécurité

Avec l'aide habituelle des participants : attention à l'environnement et la circulation

Dans le même temps qu'ils prêtent attention à leur aide à la navigation, les participants essaient de regarder ce qui se passe autour d'eux. Ils sont seulement trois (17%) à déclarer faire peu attention à leur environnement. Pour les autres, l'attention se prête aux noms des rues et aux façades.

S17 « J'ai regardé les magasins que je ne connais pas, les petits restaurants. On peut voir tout ça en même temps, en passant ».

La majorité des participants (72%) fait également très attention aux voitures lorsqu'ils traversent la rue, en particulier autour de la place d'Italie, même s'ils ne traversent pas toujours au feu piéton vert. Quelques participants prennent le risque de traverser alors qu'ils n'y sont pas autorisés et qu'un véhicule est en approche. Une attention toute particulière, voire supérieure, est prêtée aux vélos par six participants (33%) du fait que ce sont des véhicules silencieux et qui s'autorisent souvent à rouler sur les trottoirs

Avec l'aide visuelle : attention modifiée et sentiment de risque

L'attention des participants se porte, là encore, autour d'eux (56%). Mais, ils ont également tendance à regarder le sol et leurs pieds (39%). Cette attention accrue au sol peut être mise en lien avec le sentiment de sécurité (voir plus bas). Une attention plus forte est également portée à ce qui se passe au loin, avec l'idée d'anticiper et de garder le regard fixe pour voir la flèche. Toutefois, six participants (33%) disent avoir le sentiment d'une promenade avec l'aide visuelle.

Le niveau d'attention à l'environnement est réduit pour au moins onze participants (61%) par rapport à leur habitude, et sept participants (39%) décrivent également leur champ de vision comme étant réduit, ne permettant pas de prêter attention à ce qui se passe autour. Le fait ne de pas pouvoir tourner la tête, de crainte de manquer la flèche est également évoqué comme une limite à l'attention portée à l'environnement.

S03 « Côté gauche, sur 90°, je vois bien 60°, tandis que là [à droite], je vois 30°, même pas. C'est à cause du bloc sur le côté, ça réduit ».

Bien que limité dans leur champ visuel, les participants déclarent majoritairement faire attention aux voitures et aux vélos (78%). Cette prudence est souvent accrue du fait de porter les lunettes de réalité augmentée.

S05 « Si j'avais pas eu les lunettes, peut-être j'aurais traversé, mais j'avais peur de ne pas être à 100% de toute ma capacité visuelle. Donc j'ai préféré être précautionneux, faire attention, bien regarder à gauche et à droite et attendre le feu pour être sûr de traverser ».

A l'inverse, ils sont 3 participants (17%) à dire avoir pris des risques lors du trajet avec les lunettes, en traversant immédiatement à la vue de la flèche.

S09 « Je pense que là je vais plus rapidement vers l'acte de la traversée, sans En vérifiant le petit bonhomme vert, bien sûr, mais sans prendre le temps de regarder autour ce qui se passe parce que je me dis que l'information ne reviendra pas. »

Sept participants (39%) évoquent, enfin, un possible risque de chute avec ces lunettes, lié au fait d'avoir dû enlever leurs propres lunettes ou d'avoir des problèmes de vue.

S16 « j'avais l'impression que le trottoir ondulait un peu. Du coup j'ai fait très attention au trottoir, j'ai fait très attention à où je mettais les pieds ».

Avec l'aide auditive : attention habituelle, sentiment de liberté

Huit participants (44%) estiment pouvoir regarder autour d'eux comme ils le font d'habitude et la majorité des participants (78%) estime avoir fait attention à l'environnement au cours du trajet. La possibilité de porter son attention à ce qui se passe autour est associée à la notion de promenade pour 44% des participants. Ce sentiment de liberté, de promenade, semble fortement lié à la moindre charge cognitive et à la moindre attention nécessaire à la perception des messages auditifs par rapport aux flèches ou à l'aide habituelle.

S13 « J'entends le son correctement donc je peux rêvasser, je peux faire tout ce que je veux, le son s'il apparaît, je l'entends ».

10 participants (56%) déclarant être en mesure de faire attention aux voitures et aux vélos avec l'aide auditive.

S02 « Je trouve que c'est moins dangereux que de regarder l'écran de son smartphone ».

Quelques participants prennent toutefois un risque en traversant à peine l'information sonore entendue, mais aucun n'évoque un sentiment d'insécurité avec cette aide.

S10 « J'ai eu un réflexe instinctif, c'était tout de suite tourner, alors que c'était un peu plus loin »

Avec l'aide vibro-visuelle : attention habituelle, sentiment de sécurité

La majorité des participants (78%) estime avoir fait attention à l'environnement avec la montre. La notion de promenade, de liberté est mentionnée par 33% des participants. Là encore, ce sentiment de liberté semble fortement lié à la moindre charge cognitive et à la moindre attention nécessaire à la perception des messages par rapport aux flèches ou à l'aide habituelle.

Tous les participants déclarent pouvoir faire attention à leur sécurité avec la montre connectée (même ceux qui ne perçoivent pas la vibration). Deux éléments semblent toutefois être sources de risque : l'attention portée à l'écran de la montre pour voir la flèche, et la temporalité de certains messages, arrivés un peu trop tardivement. Au contraire, une bonne temporalité des messages est un gage de sécurité évoqué par 5 participants (28%)

S02 « Quand c'est avant [l'intersection] c'est mieux, on est sur le trottoir, on est en toute sécurité pour regarder la montre. Je pense qu'il faut éviter de regarder quand on traverse. ».

N.B. : Les risques pris avec les différents dispositifs seront également analysés à partir des enregistrements vidéo (voir plus loin).

En résumé, concernant la transformation de l'attention au cours du temps, l'attention nécessaire à la perception du message empiète sur l'attention qu'il est possible de porter à l'environnement. Ainsi, les participants estiment devoir porter globalement moins d'attention aux messages avec l'aide habituelle, le casque et la montre qu'avec les lunettes, impliquant du même fait une attention plus forte à l'environnement avec les aides habituelle, auditive et vibro-visuelle qu'avec l'aide visuelle. La sécurité demeure au centre des préoccupations des participants, elle leur demande plus d'efforts attentionnels avec les lunettes qu'avec les autres guidages. Ce surplus d'attention va de pair avec un sentiment d'insécurité assez partagé parmi les participants. Plusieurs participants évoquent également le fait d'aller plus rapidement vers l'acte de tourner ou de traverser avec les aides que nous avons implémentées, laissant possiblement entendre un sentiment d'immédiateté plus important avec ces guidages qu'avec l'aide habituelle par carte papier ou numérique.

3.2.2 – Compréhension de la situation au cours du temps

Dans cette partie, nous abordons la question de la compréhension des instructions de guidage dans leur contexte spatial. Nous abordons d'une part la compréhension des instructions hors contexte d'usage, puis la compréhension des instructions en contexte urbain et les hésitations liées à ce processus interprétatif.

3.2.2.1 – Compréhension des messages a priori, hors contexte urbain

Avec l'aide visuelle

La majorité des participants estime que les informations visuelles sont simples d'assimilation.

S08 « *Les flèches sont très claires dans la forme, gauche, droite etc. Aucune ambiguïté.* »

Avec l'aide auditive

Les informations auditives sont simples d'assimilation pour 12 participants (66%) quel que soit le message.

S16 « *Il n'y a pas d'ambiguïté, c'est à droite, à gauche, donc on n'a pas besoin de réfléchir. Comme je confonds ma droite et ma gauche, c'est très important pour moi que ça sonne du bon côté, je n'ai pas à me poser la question* ».

Par ailleurs, quatre participants (22%) font le distinguo entre les messages de changement de direction simple (gauche/droite), qui ne présentent pas de difficulté, et les messages d'entrée dans un rond-point.

Avec l'aide vibro-visuelle

L'interprétation des flèches sur la montre se fait sans difficulté pour seize participants (89%).

S06 « *tout de suite j'ai interprété à gauche, à droite, le rond-point. Même quelqu'un qui n'a pas fait les tests précédents, normalement, peut interpréter aussi facilement.* »

En résumé : en dehors du contexte urbain, les instructions de guidage par flèches et par sons ne posent pas de difficultés de compréhension.

3.2.2.2 – Compréhension des messages en contexte urbain

Dans cette partie, nous présentons à la fois les éléments de l'expérience liés à l'interprétation des messages de guidage en contexte naturel, et les hésitations qui y sont liées.

Avec l'aide habituelle des participants : des doutes

L'interprétation des indications fournies par l'aide à la navigation habituelle peut être source de doutes chez les participants. On identifie plusieurs raisons à ces hésitations : la configuration des lieux qui apparaît différente sur la carte et dans l'environnement, l'absence de panneaux indiquant le nom des rues, le fait de lire la carte à l'envers, ou encore des informations GPS qui manquent de clarté.

S16 « Elle m'a dit d'abord prenez nord-est et tournez à gauche. Et la gauche, c'était forcément pas le nord-est parce que j'avais le soleil en face. ... C'était bizarre, c'était perturbateur, parce que je ne pouvais pas aller sur le nord-est, c'était pas possible. »

Diverses stratégies sont utilisées par les participants pour lever leurs hésitations en fonction des configurations :

- Consulter plus précisément leur carte ou leur GPS (67%)
- Se baser sur la géométrie des lieux (67%)
- Regarder les panneaux (56%)
- Se reposer sur le hasard ou sur une intuition (39%)
- Rechercher le numéro du bâtiment d'arrivée (28%)
- Regarder la photo de l'arrivée fournie au départ (28%)
- S'appuyer sur le nom d'une boutique ou d'un commerce (17%)
- Demander à des passants (11%)

Interrogés sur leur sentiment de désorientation, sept participants (39%) disent ne pas s'être inquiétés au cours du trajet avec leur aide habituelle contre cinq (28%) à parler d'un léger doute, et une seule participante à éprouver un sentiment de désorientation.

Avec l'aide visuelle : problème de temporalité des messages et d'identification de la rue à prendre

La temporalité des messages est un élément capital dans l'interprétation en situation de navigation des instructions de guidage. Seuls quatre participants (22%) estiment que les messages visuels arrivent toujours au bon moment. Les autres participants (78%) font état de messages inconstants, arrivés trop tôt et/ou trop tard. Ce manque de constance est associé à l'idée de précipitation ou de doute dans la mise en œuvre du message pour trois participants (17%).

S03 « Je l'ai eu, mais au dernier moment quoi. Je l'ai vue, mais là c'était à l'instant où j'avais bientôt déjà dépassé le truc. »

Au-delà de la temporalité des messages, certaines zones ou situations s'avèrent plus problématiques que d'autres. Seuls quatre participants (22%) déclarent avoir douté dans les ronds-points, principalement du fait d'une information mal perçue ou mal comprise. En revanche, douze participants (66%) disent avoir douté en intersection simple. Ces hésitations sont principalement de trois types : soit le participant hésite car il perçoit deux rues et ne sait pas laquelle prendre (44%), soit il voit l'indication fléchée, emprunte un passage piéton pour changer de direction, mais ne sait plus ensuite quelle rue prendre (17%), soit il interprète comme rond-point une intersection qui n'est pas codée comme complexe dans le système de navigation (17%).

S07 « Il y avait plusieurs rues, donc pour moi ça équivaut à un rond-point. Un rond-point c'est un rond avec différentes directions. Il y a eu une confusion dans mon esprit, car pour moi c'était un rond-point. »

Pour lever les ambiguïtés, les participants s'appuient sur un ensemble d'éléments et de stratégies en fonction des configurations :

- Suivre un message de demi-tour ou un message rejoué par le système (61%)

S04 « Il m'a dit que je me suis trompée, donc je suis revenue sur mes pas »

- S'appuyer sur la connaissance des règles de fonctionnement du système pour éclaircir leur choix¹⁶ (28%)

S13 « L'appareil me disait de tourner à droite et normalement c'est la première, donc j'ai pris la première, et puis c'était bon. »

- Avoir recours à une stratégie plus classique, mobilisée également avec l'aide habituelle : s'appuyer sur la photo de l'arrivée (11%), sur la géométrie du terrain (11%), se fier à l'intuition (11%) ou demander son chemin (1 participant)

Concernant le sentiment de désorientation au cours du trajet, six participants (33%) font état d'un petit doute, deux (11%) déclarent ne pas s'être inquiété, et deux participants font part d'un sentiment de désorientation intense.

S14 « Là j'étais un peu toute seule en pleine forêt là. C'est comme si j'étais dans un bois et qu'il n'y a pas d'allée. Donc tu ne sais pas comment t'orienter. Je me sentais perdue. »

Avec l'aide auditive : rares hésitations

Douze participants (67%) estiment que les messages auditifs arrivent au bon moment, contre six (33%) à faire état d'un message arrivé trop tard ou trop tôt. Cette temporalité relativement constante au cours du temps va de pair avec une mise en œuvre tranquille et réfléchie de l'information de guidage pour 8 participants (44%).

S01 « Et là, 7 ou 8 mètres avant, l'information de tourner à droite. Je me suis dit "putain c'est génial ça". Il me dit de tourner à droite, et bien je tourne à droite, gentiment, j'ai trouvé ça bien. (...) pour moi, pour une personne âgée, pour n'importe qui, on se prépare de tourner à droite. »

Seuls 3 participants (17%) disent avoir hésité dans le rond-point alors que de nombreux doutes interviennent au niveau des intersections simples. Ces hésitations sont, là encore, de 3 types : soit le participant a interprété comme rond-point un carrefour qui n'en était pas un dans la logique du système (39%), soit il ne sait pas quelle rue emprunter car il estime que deux choix s'offrent à lui (28%), soit il interprète le message de changement de rue comme un message lui indiquant de prendre un passage piéton puis ne sait plus où aller après avoir traversé (17%).

Pour lever les ambiguïtés, les participants s'appuient sur plusieurs éléments et stratégies. On retrouve le fait de suivre un message de demi-tour ou un message rejoué par le système (33%), de s'appuyer sur la connaissance des règles de fonctionnement du système (33%), d'utiliser la photo de l'arrivée (17%), de se fier à l'intuition (17%) et de regarder les panneaux (11%).

Trois participants (17%) déclarent ne pas ressentir d'inquiétude au cours du trajet contre deux participants (11%) qui déclarent avoir un petit doute.

¹⁶ Les règles de fonctionnement du système sont exposées au participant avant le trajet :

1/ continuer tout droit tant qu'il n'y a pas d'information, 2/ il y a deux messages dans les ronds-points : un pour entrer et un pour sortir, 3/ un message indique toujours un changement de direction dans la première rue, sans prendre en compte la présence ou non de passages piétons

Avec l'aide vibro-visuelle : hésitations sur le fait d'aller tout droit

Avec la montre, treize participants (72%) estiment que les messages arrivent au bon moment, conduisant à une mise en œuvre fluide des indications fléchées pour sept d'entre eux (39%). Trois participants (17%) font toutefois l'expérience de plusieurs messages trop tardifs selon eux.

Comme avec les autres aides à la navigation, il arrive régulièrement que le participant hésite car il perçoit deux rues et ne sait pas laquelle prendre (39%). On ne trouve pas, cependant, d'hésitations relatives à des intersections interprétées comme rond-point ou de confusion entre passage piéton et rue à prendre, ce qui peut s'expliquer par l'expérience acquise au cours de la première session de l'étude. En revanche, une nouvelle source de doute apparaît : le fait de continuer tout droit sans indication dans les intersections simples, ce qui fait partie des règles de fonctionnement du système proposé. Alors que nous n'avons pas relevé d'hésitations sur ce point lors de la première session, elle est mentionnée par 6 participants (33%).

S14 « C'était noir, je pars d'un point, y'a rien qui m'indique rien, donc je vais où ? A droite, à gauche, au milieu, je pars où ? Il n'y a rien. Il n'y a rien qui m'indiquait d'aller à droite ou à gauche. ».

Afin de lever les ambiguïtés et hésitations, les mêmes stratégies que précédemment sont mobilisées : s'appuyer sur la connaissance des règles de fonctionnement du système (56%), suivre un message de demi-tour ou un message rejoué par le système (39%), regarder les panneaux (33%), vérifier qu'il n'y a pas de message de demi-tour (28%), s'appuyer sur la géométrie du terrain (11%) et se fier à l'intuition (11%).

Concernant le sentiment de désorientation, on ne trouve pas dans le discours de trace d'une désorientation forte ou de stress.

En résumé, concernant la compréhension des messages en situation, les participants doutent globalement moins avec les aides technologiques innovantes que nous avons proposées qu'avec leur aide habituelle. Mais de nouvelles sources d'erreurs émergent, telles que la mauvaise temporalité des messages qui arrivent trop tôt ou trop tard, ou une mauvaise adéquation entre les attentes des participants et le fonctionnement du système, notamment concernant les « faux » ronds-points, ou dans l'interprétation de la rue à prendre.

L'information de demi-tour en cas d'erreur et la connaissance du système (prendre toujours la première rue, aller tout droit en l'absence de message) sont les deux moyens privilégiés pour lever les ambiguïtés avec les aides prototypiques proposées, alors que le plan ou le GPS sur smartphone sont activement consultés et mis en relation avec le terrain lors de l'utilisation de l'aide habituelle. Les participants n'ont aucunement consulté la carte sur le téléphone pour trouver leur chemin dans le cas des aides sensorielles développées ; ceci met en avant qu'il s'agit de deux logiques complètement différentes de navigation, entre le guidage habituel et l'usage des dispositifs technologiques pas-à-pas que nous avons proposés.

3.2.3 – Emergence d'états émotionnels au cours du temps

Dans cette partie, nous abordons la question de l'émergence d'émotions au cours du temps de navigation, et en particulier celles liées à la confiance et au confort avec les différents dispositifs proposés.

3.2.3.1 – Sentiment de confiance en soi et dans le dispositif

Cette partie s'intéresse au niveau de confiance des participants et aux éléments susceptibles d'altérer ou de renforcer la confiance dans le dispositif (liés au sentiment de fiabilité et à la facilité d'appropriation) mais aussi la confiance en soi. En effet, il semble que la confiance en soi et la confiance dans l'aide à la navigation aillent de pair dans bien des cas, c'est pourquoi ils sont décrits ici conjointement.

Avec l'aide habituelle des participants : peu d'éléments recueillis

Si peu de participants explicitent faire confiance à leur aide habituelle, on trouve toutefois dans le discours des participants deux types d'éléments qui sous-tendent la confiance : la notion de gain de temps (39%), et la notion de récupération d'erreur (22%) avec ce type de guidage.

S06 « *On a vite fait de se perdre, mais on a vite fait de se retrouver* ».

La question de la confiance en soi n'est pas abordée.

Avec l'aide visuelle : confiance mitigée

Avec l'aide visuelle, les participants ont besoin d'un temps assez long pour s'habituer au guidage (qu'ils ne connaissent pas) et lui faire confiance.

S13 « *C'était plutôt à moi de m'adapter aux lunettes [...] Il faut s'y habituer.* ».

La confiance dans l'aide visuelle est plutôt mitigée. Si tous les participants partent confiants, cette confiance décroît considérablement dans le temps pour 39% des participants.

S14 « *Je me suis dit dans ma tête "c'est pas fiable" [...] Au bout d'un moment tu te dis que c'est bidon ce truc-là.* ».

Les participants qui font confiance à cette aide l'expliquent principalement par la récupération des erreurs par le biais du message de demi-tour (28%) et par le gain de temps rendu possible par cette aide pour deux participants (11%).

S18 « *Ma confiance est totale, parce que je sais très bien que si je ne vais pas où il fallait, il allait encore me faire faire demi-tour.* »

Les pertes de confiance interviennent quant à elles principalement après des informations non perçues.

S03 « *Je me mets dans la tête que je ne vais plus voir les flèches quoi. Qu'il y a quelque chose qui ne va pas avec ces flèches.* ».

Concernant la confiance en soi des participants, elle est décrite comme diminuant à mesure du trajet pour cinq d'entre eux (28%). La perte de confiance en soi est directement liée au système : elle intervient après un message de demi-tour pour deux participants, et après une information non perçue pour trois participants.

S18 « *Je me suis sentie fautive au moment où j'ai fait l'erreur au niveau de la poubelle, je me suis dit 'mince, j'aurais pu faire plus attention'.* ».

Avec l'aide auditive : relative confiance

Avec l'aide auditive, le temps d'habitué au guidage semble relativement court, et l'adaptation se fait sans que le participant ait à s'auto-contraindre ou à transformer ses habitudes pour entrer dans la logique du système.

S13 « Là je n'ai rien à faire, j'ai pas à accommoder »

14 participants (78%) déclarent faire confiance à l'aide auditive pour les guider et la confiance dans le système est relativement stable dans le temps. On retrouve principalement trois éléments susceptibles de donner confiance ou de renforcer la confiance avec cette aide :

- la récupération des erreurs permise par le message de demi-tour (33%)

S07 « si jamais on se trompe, et bien on revient en arrière, ça c'est une garantie. ».

- l'idée selon laquelle le guidage va permettre de ne pas perdre de temps (17%)

S12 « Comparativement à une carte où quand je me trompe, je peux peut-être faire 300m ... Là, au carrefour où je me suis trompé, j'ai fait quoi ? 10m. Ce n'est rien 10 ou 20m. Ça augmente ma confiance parce que j'aime pas être en retard. ».

- La bonne perception des messages sonores (17%)

S02 « Le bruit, comme je l'entends, je me dis "bon, allez, je continue". Je suis très confiante »

Quatre participants (22%) déclarent avoir perdu un peu leur confiance en eux au cours du trajet avec le casque. Ceci intervient après un message de demi-tour pour deux participants, et après un message tardif pour deux participants.

S02 « Il y a juste le moment où la sonnerie s'est déclenchée plus tard, mais c'est un peu de ma faute. [...] C'est moi, ce n'est pas le dispositif, c'est moi. ».

Avec l'aide vibro-visuelle : relative confiance

Le temps d'adaptation à la montre est relativement court et se fait sans contrainte.

S06 « On se marie assez rapidement mais il faut quand même un certain temps - minime pour moi - on se marie très vite avec l'objet. ».

Seize participants (89%) affirment faire confiance à cette aide et cela repose là encore sur 3 éléments principaux : la récupération des erreurs permise par le message de demi-tour (39%) ; la bonne perception des informations de guidage (28%) ; et le gain de temps permis par la récupération des erreurs (22%).

Comme pour les autres guidages, l'aide impacte la confiance en eux des participants. Ils sont ainsi 17% à « s'en vouloir » à la suite d'un message de demi-tour. Deux participants (11%) indiquent également douter de leur capacité à percevoir les indications vibratoires, ce qui impacte leur confiance en eux.

S09 « Je me disais : c'est bizarre, c'est peut-être que je ne suis pas une bonne élève. Là je doute de moi, de ma capacité à percevoir. ».

En résumé, la confiance dans les aides auditive et vibro-visuelle est plus élevée qu'avec l'aide visuelle. La récupération des erreurs, la lisibilité des indications et le gain de temps sont autant d'éléments susceptibles de soutenir la confiance dans les aides à la navigation, alors qu'au contraire, une indication mal perçue ou mal comprise semble impacter davantage la confiance en eux des participants que leur confiance dans le système.

3.2.3.2 - Confort physique et esthétique

Cette partie s'intéresse à ce que les participants ressentent du dispositif technique en lui-même (les lunettes, le casque et la montre), son agréabilité, son esthétique, l'image de soi qu'il véhicule.

Avec l'aide visuelle : lourdeur, aspect et image de soi questionnables

Les lunettes de réalité augmentée semblent peu agréables à porter, et plusieurs sources d'inconfort relatives au port des lunettes sont illustrées dans les entretiens.

Leur lourdeur est l'élément le plus fréquemment évoqué (56%).

S09 « *Au niveau du port, c'est moins confortable que le système auditif. C'est plus encombrant sur le nez, je trouve que ça finit par peser, c'est plus lourd que des lunettes classiques.* ».

Ceci doit toutefois être nuancé, car sept participants (39%) estiment que les lunettes ne sont pas particulièrement lourdes. Corollaire de leur lourdeur, les lunettes blessent ou font mal à quatre participants (22%), principalement au niveau du nez. Elles sont également instables sur le nez selon quatre participants (22%).

S03 « *C'est énervant. On sent les lunettes glisser, on les sent. A chaque pas qu'on fait, on sent que ça descend.* »

La grosseur des lunettes et leur manque d'esthétisme sont également évoqués par six participants (33%). Les lunettes apparaissent comme peu discrètes voire ridicules pour neuf participants (50%), ce qui amènent certaines personnes à se cacher du regard des autres. Il reste cependant difficile pour les participants de faire la part entre le manque de discrétion dû au port d'une Go Pro sur la tête, et le manque de discrétion dû aux lunettes.

S06 « *J'ai changé de trottoirs parce que je me suis aperçu qu'il y avait des passants, et j'évitais le regard des autres [...] parce que déjà c'est moins discret* ».

Les participants estiment renvoyer l'image d'une personne aveugle ou mal voyante¹⁷ pour 39% d'entre eux. Les lunettes inspirent également des commentaires quant à leur aspect futuriste, mais aussi sur le fait d'apparaître comme une personne malintentionnée aux yeux des autres.

S01 « *Les lunettes, ça fait James Bond, le truc, ça fait technologie, wow. C'est vrai, c'est ça, ça fait les lunettes d'espions* »

Enfin, une participante s'interroge sur les potentiels problèmes de santé que pourrait causer ce dispositif.

S14 « *Tu portes un truc très près des yeux, et la rétine, le cerveau, est-ce qu'au quotidien d'avoir à porter ça longtemps, ça ne peut pas te perturber, devenir un élément perturbateur pour les neurones ?* »

Enfin, du fait des efforts nécessaires pour voir les flèches (concentration, fixation d'un œil sur l'écran), la fatigue oculaire est évoquée par cinq participants (28%) et quatre (22%) évoquent également un sentiment de nausée ou de mal de tête avec ce dispositif.

Avec l'aide auditive : confort et discrétion

Le casque apparaît comme relativement confortable, puisque onze participants (61%) déclarent l'avoir oublié pendant le trajet. Ce confort est lié à la légèreté du casque selon cinq participants (28%), et à sa stabilité sur la tête pour trois participants (18%).

S09 « *Même à l'arrière, on ne sent rien, on n'a pas l'impression qu'on va le perdre* ».

¹⁷ Cette image n'a pas nécessairement de valence négative : S12 « *Je pensais aux malvoyants parce que j'aime le jazz, et je pensais que je ressemblais aux chanteurs de jazz aveugles avec ces lunettes* »

Le casque est également discret selon neuf participants (50%), contre trois (17%) à le trouver voyant. Cinq participants (28%) disent avoir été regardés par les passants au cours du trajet sans que cela n'entraîne de sentiment négatif.

S07 « *On ne passe pas pour un extraterrestre avec ça* »

Ce guidage évoque la jeunesse à certains participants. Une participante estime que cela fait espion et une autre participante s'interroge sur les effets potentiellement néfastes d'un tel guidage sur la santé.

S01 « *Ça m'a fait penser à tous les crétins qu'on voit dans le métro et tout avec leurs casques et les gros trucs.* ».

Avec l'aide vibro-visuelle : discrétion, esthétique, image positive

La montre semble un dispositif plutôt agréable à porter. Sa légèreté est mise en avant par 8 personnes (44%) tout comme sa taille très convenable (4 participants, soit 22%). Six participants (33%) soulignent, de plus, le caractère peu contraignant et non intrusif du système.

50% des participants estiment que la montre est discrète, discrétion renforcée par le caractère habituel de l'objet.

S08 « *Ce n'était pas du tout comme quand on avait le casque ou les lunettes, non. Là tout le monde a le droit d'avoir une montre et de regarder l'heure* ».

L'aspect esthétique est également souligné par 6 personnes (33%).

S07 « *La montre c'est comme un bijou* ».

Contrairement aux autres aides, personne ne fait état d'avoir été observé avec la montre même si deux participants (11%) pensent avoir renvoyé l'image d'une personne pressée dans la rue.

S03 « *Peut-être qu'ils se disent que je suis pressé, que je n'arrête pas de regarder l'heure.* ».

La montre renvoie principalement une image positive de soi ou une image sportive (montre podomètre).

S06 « *Moi je sais que j'ai une belle montre au poignet et ça c'est important.* »

Enfin, une participante inquiète des risques pour la santé des autres aides technologiques souligne qu'il y a moins de risques, selon elle, avec cette montre.

S14 « *J'avais peur avec les neurones, les connexions et tout, les lunettes ça me semblait trop près du cerveau, tandis qu'avec la montre, les vibrations, ça passe par le sang, les veines, les artères, et ça remonte au cœur après. Ça ne me donne pas la même impression que le cerveau.* ».

En résumé, le casque et la montre sont plus confortables sur le plan physique que les lunettes. La discrétion et l'esthétisme sont également bien davantage soulignés avec ces deux dispositifs, à l'opposé des lunettes qui sont décrites comme voyantes et peu esthétiques. On notera que ces aspects physiques et esthétiques sont potentiellement modifiables dans l'avenir (utilisation de verres de corrections adaptés dans les lunettes, changement des couleurs des dispositifs)

3.2.3.3 – Etat émotionnel

Avec l'aide visuelle : amusement versus frustration

L'état d'esprit des participants est très variable avec l'aide visuelle, et évolue à mesure du trajet. Ils sont ainsi 6 participants (33%) à être plutôt décontracté tout au long du trajet ; ils utilisent les termes suivants : « *relax, décontracté, content, favorablement surpris, tranquille* ». Parmi ces participants, la dimension ludique du guidage est fortement mise en avant.

S05 « *Je trouvais ça plus original, plus drôle d'avoir des flèches. Plus ... Plus ludique, plus, vous voyez, plus marrant. J'étais plus, plus dans le jeu.* »

Ils sont sept participants (39%), en revanche, à faire part d'émotions négatives ou de leur déception, de leur frustration vis-à-vis de ce guidage : « *déçu, désappointée, pris au piège, frustrée, décevant* ». En difficulté, ils sont même quatre (22%) à être « soulagés » d'être arrivés à destination.

S16 « *Ouffff ! Soulagée. Parce que je n'aurais pas porté ça très longtemps.* »

Avec l'aide auditive : décontraction, vexation

L'état d'esprit partagé par la majorité des participants est plutôt positif puisque 13 d'entre eux (72%) se sont sentis décontractés au cours du trajet : « *serein, relax, détendu, pas stressée, content, sans aucune inquiétude, décontracté* ». Du côté des émotions négatives, on retrouve principalement un sentiment de vexation, partagé par deux participants (11%) lorsque l'aide leur donne une indication qu'ils n'avaient pas prévue (ce qu'on ne retrouve pas pour les autres aides)

S06 « *Le fait d'avoir entendu ce bip de demi-tour ça m'a un peu vexé. Parce que je me suis dit ... J'aime pas perdre, je suis un gagnant moi.* »

Avec l'aide vibro-visuelle : décontraction, perplexité

L'état d'esprit partagé par la majorité des participants semble plutôt positif avec la montre, puisque 12 participants (66%) se sont sentis décontractés/joyeux tout au long du trajet : « *sympa, très à l'aise, content, détendu, pas d'appréhension, satisfaite, très cool, serein, relax* » ; et deux (11%) soulignent le côté ludique de cette aide. Du côté des émotions négatives, on retrouve principalement un sentiment de perplexité, pour 4 participants (22%) lorsque le dispositif leur donne une indication tardive : « *perplexe, un peu surpris* ».

En résumé, concernant l'ensemble des états émotionnels qui émergent au cours du trajet, on observe que l'expérience de navigation influence considérablement la confiance, le sentiment de confort et l'état émotionnel des participants. Les guidages auditif et vibro-visuel, bien que plus ou moins appréciés selon les participants, ne semblent pas clivants : le temps d'habituation au système, la confiance dans le système, le confort et les autres émotions associées sont plutôt positifs et stables dans le temps. Les émotions et sentiments sont plus clivés avec les lunettes : inconfortables, facteur d'une plus faible confiance en soi, de déception et de frustration pour certains, alors qu'elles sont vécues très positivement par d'autres (plutôt masculins) qui leur font pleine confiance, et y trouvent un potentiel d'amusement.

3.2.4 – Utilité perçue

C'est à l'aune de toute leur expérience de navigation, des éventuelles difficultés à percevoir et comprendre les instructions en environnement réel, et dans un contexte émotionnel dessiné par le confort et la confiance portée dans le dispositif que les participants jugent de son utilité a priori. Cette dimension apparaît donc comme une conséquence de l'expérience utilisateur.

Avec l'aide visuelle : utilité marginale

L'utilité perçue de l'aide visuelle semble faible. Seuls deux participants (11%) envisagent utiliser ce type d'aide contre onze participants (61%) à ne pas l'envisager.

S04 « C'est même à proscrire [...] c'est-à-dire que même si quelqu'un veut ça, je lui dis "surtout, ne prends pas ça" ».

Trois types de population pourraient cependant bénéficier d'un tel guidage d'après les participants : les malvoyants (22%), les personnes souffrant de difficulté d'orientation (18%), et les personnes âgées (18%).

Avec l'aide auditive : utilité reconnue

Dix participants (56%) envisagent l'aide auditive comme utile pour eux-mêmes.

S16 « Ah oui, c'est très utile je trouve ! Oui, c'est tout à fait sympathique ! Pour les gens rêveurs comme moi, c'est très pratique parce que finalement, on a pas besoin de regarder le GPS ».

D'autres catégories de personnes susceptibles d'être intéressées sont également envisagées : les personnes ayant des problèmes d'orientation (22%), les personnes âgées (22%), les mal voyants (17%), et les personnes illettrées.

Avec l'aide vibro-visuelle : une aide pour tous

Onze (60%) participants envisagent d'utiliser une aide de ce type à plus ou moins long terme. Plusieurs catégories de personnes sont identifiées comme pouvant bénéficier d'une telle aide : les personnes souffrant de problème d'orientation (28%), et les personnes âgées (11%).

Pour la première fois, ce guidage est également envisagé comme pouvant convenir à tout le monde (11%).

S09 « il ne nécessite pas d'être particulièrement mal en point, malade, parce qu'au départ on se disait surtout que ça serait pour des gens qui pourraient être en difficulté d'orientation, mais ça peut aussi bien être sans difficulté particulière d'orientation, ça peut être simplement un GPS pour piéton. ».

En résumé, et en cohérence avec l'ensemble des aspects évoqués dans cette analyse des entretiens (perceptibilité, temporalité, émotions, confort, etc.), les aides auditive, basée sur un casque à conduction osseuse, et vibro-visuelle, basée sur une montre connectée, sont perçues comme plus utiles que l'aide visuelle reposant sur les lunettes de réalité augmentée, aide avec laquelle les participants ont plus de difficultés de navigation.

3.2.5 – Attentes des participants

On peut distinguer trois catégories principales d'améliorations envisagées par les participants : celles liées à la perception du signal, celles liées à la compréhension du signal, et des améliorations de confort. Aucune de ces améliorations n'apparaît comme inenvisageable dans un avenir proche, à condition d'accéder à des dispositifs techniques plus puissants en termes d'affichage (plus intense, plus lumineux).

Avec l'aide visuelle

Trois modifications majeures semblent nécessaires à une meilleure perception des messages visuels : une meilleure intensité lumineuse et/ou d'autres couleurs sont demandées par 33% des participants, tout comme une durée d'affichage plus longue. Ils sont également cinq (28%) à envisager la possibilité d'ajouter un message (sonore, vibratoire ou visuel) pour alerter sur l'apparition de la flèche dans le champ de vision.

Du point de vue de la compréhension des messages, cinq participants (28%) souhaiteraient que celui-ci se répète automatiquement à l'approche d'une intersection. Des idées de reconception des différents messages sont également proposées (demi-tour, arrivée et le rond-point). Et il est demandé d'ajouter un signal invitant à continuer tout droit à chaque intersection.

L'adaptation la plus évoquée du point de vue du confort concerne la possibilité de les adapter à la vue du participant (28%). Un dispositif plus léger et plus stable est également souhaité par trois personnes (17%).

Avec l'aide auditive

Concernant la compréhension des informations, il est demandé de modifier le message de rond-point ou d'utiliser des paroles au lieu/en complément des sons pour deux participants (11%), même si cette idée ne fait pas l'unanimité. Deux participants (11%) souhaiteraient également l'ajout du bouton "rejouer le message" directement sur le casque plutôt que sur l'application pour pouvoir y accéder plus facilement.

Les modifications de confort concernent la couleur du casque. Pourrait également être offerte la possibilité d'écouter de la musique en même temps, selon deux participants (11%).

Avec l'aide vibro-visuelle

Pour faciliter la lisibilité des messages, la préconisation principale est d'augmenter le niveau d'intensité de la vibration (56%). Parmi les autres améliorations, on trouve également l'allongement de la durée du signal (28%) ou le remplacement de la vibration par un son pour faciliter l'alerte (11%).

S11 « J'espérais plus une petite pointe, quelque chose de plus fort, plus quelque chose comme une pique, quelque chose comme ça. ».

Quelques améliorations pourraient aussi aider à la compréhension globale, telles que l'ajout d'un signal « tout droit » (28%), ou encore le changement de couleur des messages (17%). Il pourrait être aussi envisagé de rejouer automatiquement les messages ou d'ajouter le nom des rues sur l'écran de la montre.

Pour améliorer leur confort, cinq participants (28%) demandent à ajouter l'heure dans l'application.

En résumé, pour les 3 aides développées, les attentes des participants touchent à la perception et à la compréhension des instructions, et au confort du dispositif. Toutes ces attentes pourraient être satisfaites sans investissement majeur, exceptées celles liées à la perceptibilité des instructions (qui demandent des dispositifs plus puissants en termes d'affichage que ceux disponibles aujourd'hui sur le marché.)

3.2.6 – Analyse synthétique et statistique des données d'entretiens

Le tableau 11 récapitule le pourcentage d'évaluation positive pour chaque dimension de l'expérience utilisateur, ainsi que le nombre total de répondants sur lequel se fonde le calcul du pourcentage.

	Habituelle	Visuelle	Auditive	Vibro-visuelle
Perceptibilité des messages	NS ¹⁸	28% (18)	94% (17)	78% (18)
Attention portée aux messages	78% (18)	44% (18)	94% (18)	78% (18)
Attention à l'environnement et à la sécurité	NS	47% (17)	100% (18)	72% (18)
<i>Sentiment de sécurité</i> ¹⁹	78% (18)	22% (18)	69% (13)	100% (18)
Compréhension des messages a priori, hors contexte urbain	NS	83% (12)	67% (18)	100% (16)
Compréhension des messages en contexte urbain	NS	36% (14)	86% (14)	81% (16)
Sentiment de confiance en soi et dans le dispositif	NS	53% (17)	94% (16)	94% (18)
Confort physique et psychologique	NS	33% (18)	94% (18)	100% (18)
Etat émotionnel	NS	43% (14)	100% (15)	82% (17)
Utilité perçue	NS	50% (16)	78% (18)	100% (18)

Tableau 11: tableau récapitulatif général des pourcentages d'évaluation positive de chaque dimension de l'expérience utilisateur des participants de l'étude 3 selon le mode de guidage testé. En gras sur fond vert, les évaluations significativement plus positives que le pourcentage sur fond rouge.

Des analyses Chi² de Pearson ont été menées et permettent de mettre en valeur que les messages auditifs $\chi^2(1,35)=16.03$, $p<.001$ et les messages de vibro-visuels $\chi^2(1,36)=9.03$, $p<.01$ sont mieux perçus que les messages visuels. Les instructions visuelles demandent par ailleurs plus d'attention pour être perçues que les indications fournies par l'aide habituelle $\chi^2(1,36)=4.20$, $p<.05$, l'aide vibro-visuelle $\chi^2(1,36)=4.20$, $p<.05$ et que les messages auditifs délivrés par le casque à conduction osseuse $\chi^2(1,36)=10.60$, $p<.01$. L'aide visuelle $\chi^2(1,35)=12.8$, $p<.001$ et l'aide vibro-visuelle $\chi^2(1,36)=5.8$, $p<.05$ entraînent également une plus faible attention à l'environnement que l'aide auditive, mais il n'y a qu'avec le guidage visuel que les participants se sentent insécurisés (par rapport au guidage habituel $\chi^2(1,36)=9.03$, $p<.01$, à l'aide auditive $\chi^2(1,31)=6.85$, $p<.01$ et à la montre $\chi^2(1,36)=22.9$, $p<.001$).

¹⁸ Lorsque plus d'un tiers des participants n'ont pas donné leur opinion, les résultats pour la dimension et l'aide considérées ne sont pas pris en compte (NS dans le tableau).

¹⁹ Bien que la sécurité soit considérée dans le cadre de l'attention portée à l'environnement et à la sécurité, nous avons suffisamment d'éléments sur le *sentiment* de sécurité pour pouvoir les mettre en valeur dans ce tableau.

Les analyses mettent également en valeur que les messages vibro-visuels (flèches) sont mieux compris que les messages auditifs $\chi^2(1,34)=6.48$, $p<.02$. Les analyses ne permettent toutefois pas de mettre en évidence de différence significative dans la compréhension des messages visuels (mêmes flèches que pour la montre) et auditifs lors de la première session de l'étude $\chi^2(1,30)=1.02$, $p=.20$, ce qui peut laisser entendre une habitude aux flèches entre les 2 sessions de l'étude. La compréhension des messages auditifs en contexte $\chi^2(1,28)=7.34$, $p<.01$, et des messages fournis par la montre $\chi^2(1,30)=6.45$, $p<.02$ est également jugée plus positivement qu'avec l'aide visuelle, notamment grâce à une temporalité mieux adaptée dans le cas de ces deux aides. Ceci peut être dû à une connexion Bluetooth plus lente entre les lunettes et le smartphone qu'entre le casque ou la montre et le smartphone, sans possibilité toutefois de le vérifier empiriquement.

La confiance est plus grande avec les aides auditive $\chi^2(1,33)=6.92$, $p<.01$ et vibro-visuelle $\chi^2(1,35)=7.89$, $p<.01$ qu'avec l'aide visuelle, et le casque à conduction osseuse $\chi^2(1,36)=14.57$, $p<.001$ et la montre $\chi^2(1,36)=18$, $p<.001$ semblent plus confortables que les lunettes. En général, les émotions sont plus positives avec les aides auditive $\chi^2(1,29)=11.84$, $p<.001$ et vibro-visuelle $\chi^2(1,31)=5.23$, $p<.05$ qu'avec l'aide visuelle. On entend par émotions positives : l'amusement, la liberté, la surprise positive, la décontraction. On entend par émotions négatives : la contrainte, la surprise négative, la frustration, le stress, la déception, le sentiment de ne pas être à l'aise.

Bien que l'aide auditive soit évaluée positivement au cours de l'étude, l'aide vibro-visuelle s'appuyant sur la montre connectée est jugée plus utile que l'aide auditive $\chi^2(1,36)=4.5$, $p<.05$, et que l'aide visuelle $\chi^2(1,34)=11.77$, $p<.001$

3.3 – Analyse des données relatives au rappel du trajet

Un test de Kruskal-Wallis a été réalisé afin de comparer le nombre total d'éléments rappelés pour chaque aide utilisée. Il ne permet pas de mettre en valeur d'effet significatif ($p=.06$). En considérant uniquement les éléments rappelés relatifs à l'espace cartographique, à l'environnement et à l'expérience, des tests de Kruskal-Wallis permettent de mettre en valeur une différence significative entre les aides pour le nombre d'éléments rappelés relatifs à l'espace cartographique ($H(3, N=72) = 17.42$, $p < .001$) mais pas pour les éléments de l'environnement ($p = .47$) ni pour les éléments de l'expérience vécue ($p = .22$) (voir figure 72).

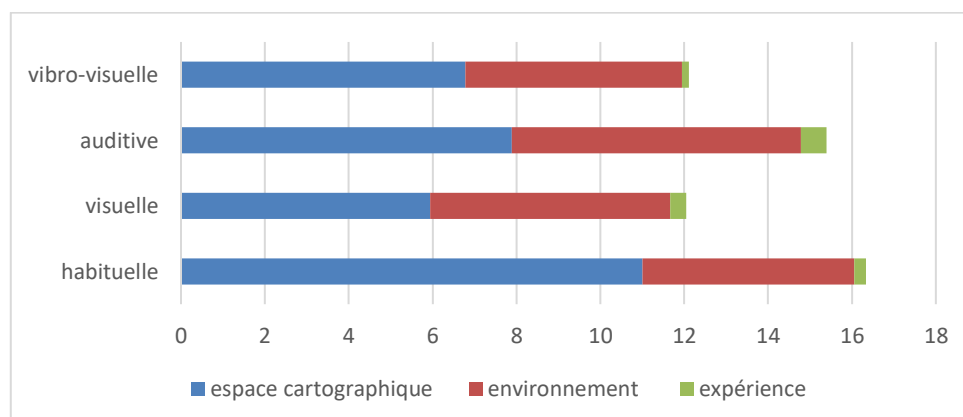


Figure 72: nombre moyen d'éléments rappelés selon chaque catégorie et chaque aide proposée dans l'étude 3.

Des tests T de Student ont été réalisés afin de comparer deux à deux les aides quant au rappel d'éléments de l'espace cartographique. On observe que le nombre d'éléments de l'espace cartographique rappelés avec l'aide habituelle (M= 11; SD=3,6) est plus élevé qu'avec l'aide visuelle (M=5,9; SD=3,6) $t(18)=4,2, p<.0005$, auditive (M=7,9; SD=3,5) $t(18)=2,6, p<.05$ et vibro-visuelle (M=6,8; SD=3,1) $t(18)=3,8, p<.001$, tandis qu'il n'y a pas de différence significative entre les aides technologiques que nous avons développées pour cette étude.

3.4- Analyse des inattentions sur enregistrements vidéo

Il est important que ces aides à la navigation ne nuisent pas à la sécurité des piétons et qu'elles ne soient pas source d'inattention, nous avons donc analysé les vidéos dans ce sens (18h de vidéo au total). Le tableau 12 présente le nombre d'inattentions manifestes dues au guidage utilisé ou à d'autres sources d'inattentions (environnement, discussion avec l'expérimentateur, etc.). On considère comme inattention manifeste les collisions avec une personne ou un élément du mobilier urbain, les arrêts en plein milieu de la chaussée ou d'une traversée de rue, ou encore le fait de traverser la rue sans avoir regardé autour de soi.

Inattentions :	Habituelle	Visuelle	Auditive	Vibro-visuelle
dues à l'aide	20	1	3	4
autre	2	8	6	0

Tableau 12 : nombre d'inattentions manifestes relevées sur les vidéos enregistrées pendant les parcours des participants de l'étude 3.

On considère que des inattentions sont dues à l'aide à la navigation lorsque le participant regarde manifestement la carte ou la montre, soutient les lunettes ou le casque avec sa main, ou exprime verbalement la source de son inattention à cause du dispositif (ex : « *qu'est-ce qu'il m'a dit là le casque ?* »). La figure 73 montre un participant en situation d'inattention manifeste à cause du dispositif : le participant regarde sa carte en marchant alors qu'une personne malvoyante arrive dans sa direction et la percute.

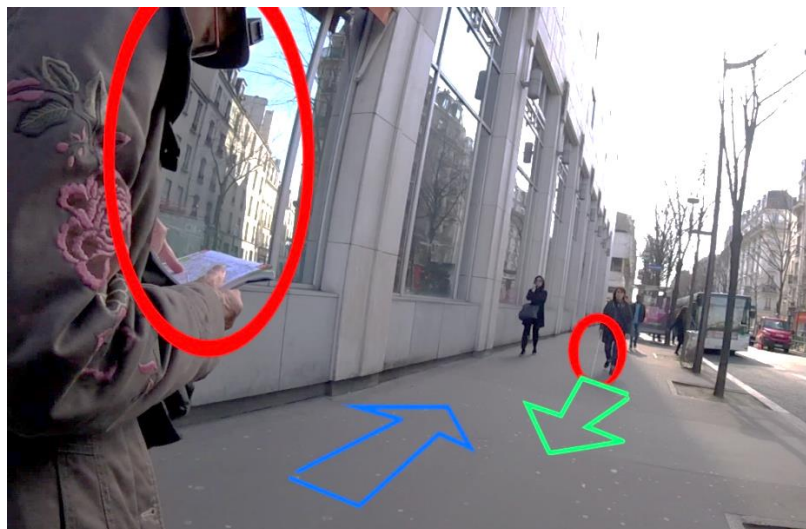


Figure 73 : participant en situation d'inattention manifeste ayant pour cause le dispositif de guidage.

On considère que des inattentions sont dues à une autre source que le dispositif de guidage lorsque le participant regarde l'expérimentateur, discute de tout autre sujet que celui de l'étude, plaisante, ou encore porte son attention à une vitrine. La figure 74 montre un participant en situation d'inattention manifeste pour une autre cause que celle liée au dispositif de guidage : alors qu'il discute, il s'engage dans une traversée de rue dangereuse, au point que l'expérimentateur doive le retenir.



Figure 74 : participant en situation d'inattention manifeste sans que le dispositif de guidage ne soit en cause

Ces inattentions manifestes, en plus d'être visibles sur l'enregistrement, ont souvent été évoquées lors des entretiens (collisions, surprises par un véhicule, messages non perçus). Par exemple, une participante lisant sa carte alors qu'elle marche, entre en collision avec une passante. Elle revient sur cet événement : « *A un moment j'ai regardé mon plan en continuant à marcher, ce qui n'était pas bien du tout. Face à moi est arrivée une dame mal voyante, et nous nous sommes heurtées. J'aurais dû m'arrêter, me poser, regarder mon plan pour ne pas déranger cette dame ... la pauvre, elle n'y était pour rien.* ».

Cependant, certains moments d'inattention (par exemple traverser sans regarder parce que l'attention est portée sur le guidage) peuvent ne pas être conscientisées par les piétons et par conséquent non-verbalisées lors des entretiens, d'où l'intérêt de trianguler les méthodes en analysant également le comportement observable sur les vidéos.

Des analyses χ^2 de Pearson ont été réalisées afin de comparer les aides entre elles. Les inattentions sont significativement plus fréquemment dues à l'interaction du participant avec son aide habituelle que lorsqu'il utilise le dispositif de guidage visuel $\chi^2(1,31)=18,6, p<.001$ et le guidage auditif $\chi^2(1,31)=11,06 p<.001$. De même, quand bien même le nombre d'inattentions est faible avec les aides technologiques innovantes que nous avons conçues, ces inattentions sont plus souvent observées avec le guidage vibro-visuel qu'avec le guidage visuel $\chi^2(1,13)=9,2, p<.01$ et le guidage auditif $\chi^2(1,13)=4,9, p<.05$.

En résumé, concernant la synthèse statistique, le rappel des éléments du parcours et les inattentions manifestes observées, on remarque que l'expérience utilisateur est globalement plus positive avec les guidages auditif par casque à conduction osseuse et vibro-visuel par montre connectée qu'avec le guidage visuel par lunettes de réalité augmentée, le faible nombre d'éléments de discours à propos de la navigation avec l'aide habituelle (par carte) ne permettant pas d'établir de comparaisons. Avec l'aide habituelle, les participants se remémorent mieux les éléments cartographiques. Le nombre d'informations spatiales remémorées au total, toutefois, ne diffère pas entre les 4 aides. Par ailleurs, les moments d'inattention sont plus fréquemment dues au guidage avec carte papier/numérique qu'avec les trois dispositifs innovants que nous avons proposé.

4-Discussion

L'objectif de cette troisième étude était d'évaluer l'efficacité et l'expérience utilisateur lors de la navigation avec des dispositifs d'aides à la navigation auprès de personnes âgées dans un environnement naturel urbain : des flèches incrustées dans le champ de vision grâce à des lunettes de réalité augmentée, des sons pseudo-spatialisés joués par un casque à conduction osseuse, et des flèches affichées sur une montre connectée vibrante ont été comparés entre-elles et à l'aide utilisée habituellement par les participants pour s'orienter dans un environnement inconnu à pied. Il n'existe pas, à notre connaissance, d'études en environnement naturel qui compare l'efficacité et l'expérience utilisateur avec plusieurs prototypes d'aides à la navigation technologiques sensorielles, a fortiori auprès d'un public âgé, ce qui constitue une originalité importante de ce travail.

Nous articulons cette discussion autour des sous-questions de recherche présentées plus haut, afin de mettre en valeur les apports de cette étude en lien avec notre problématique.

Sous question n°1 : par rapport aux dispositifs de guidage utilisés habituellement par les personnes âgées, carte papier ou GPS sur smartphone, les dispositifs proposés présentent-ils une plus-value en termes de performance de navigation et/ou d'expérience utilisateur ? Lesquels en particulier ?

Dans leur majorité (14 participants sur 18), les participants de cette étude font habituellement appel à une carte papier pour s'orienter à pied dans des environnements inconnus, ce qui est cohérent avec la littérature (Wither et al., 2013) et avec les résultats de l'étude en environnement virtuel, au cours de laquelle les participants déclaraient être peu habitués aux aides technologiques dans leurs déplacements piétons (voir chapitre 8). Seuls quatre participants utilisent les cartes numériques, mais recourent peu aux instructions égocentrées offertes par ce type de dispositifs géolocalisés (flèches, instructions vocales).

On observe qu'avec leurs aides habituelles les participants mettent plus de temps à réaliser l'itinéraire qu'avec les trois autres aides prototypiques que nous avons développées et testées, ce qui peut être mis en lien avec les difficultés habituelles des personnes âgées à naviguer en environnement inconnu sur la base d'une carte (Aubrey et al., 1994 ; Liljedahl et al., 2012). L'augmentation du temps de trajet avec l'aide habituelle est notamment due au temps de préparation que les participants consacrent à leur trajet, ce temps étant très variable d'une personne à l'autre. La préparation du trajet est une dimension importante pour les personnes âgées en environnement inconnu (Philips et al., 2013), et peut témoigner de différences interindividuelles dans la confiance que ces personnes ont dans leurs capacités d'orientation (Ariel et Moffat, 2017). L'étude en environnement virtuel avait déjà permis de souligner les fortes différences existant entre les participants dans l'évaluation de leurs capacités spatiales (voir chapitre 8).

On observe également, à travers l'analyse des performances de navigation, que les taux d'orientations correctes sont plus élevés (différence significative dans le cas des intersections simples) avec l'aide auditive reposant sur un casque à conduction osseuse, l'aide vibro-visuelle reposant sur une montre connectée et l'aide habituelle reposant sur une carte papier ou numérique qu'avec l'aide visuelle reposant sur des lunettes de réalité augmentée. Il est intéressant de noter que dans certains cas, le taux d'orientation correctes atteint 100% (avec le guidage vibro-visuel en carrefours complexes), ce qui tend à confirmer les résultats observés en environnement virtuel (chapitre 8) indiquant que les aides technologiques peuvent permettre de compenser les difficultés classiquement observées avec l'âge. L'expérience utilisateur (compréhension, perception, confort, etc.) est également globalement satisfaisante avec le casque et la montre alors qu'elle l'est beaucoup moins avec les lunettes de réalité augmentée. Les difficultés de navigation avec l'aide visuelle semblent, en particulier, être dues à une faible perceptibilité des flèches en environnement extérieur et à une nécessité accrue de partage

attentionnel entre l'environnement et le dispositif de guidage. Les messages fléchés sur lunettes sont en effet beaucoup plus souvent rejoués par les participants que les messages auditifs et vibro-visuels, et les entretiens post-activité permettent de souligner une nouvelle fois cette difficulté. Comme le remarquent Arning et al. (2012), la perceptibilité de l'information est au cœur de l'utilisation des aides à la navigation.

Il n'y a pas de différence significative en termes d'orientations correctes entre les aides technologiques auditive et vibro-visuelle et les aides utilisées habituellement par les participants. Ces derniers ne commettent en moyenne que peu d'erreurs avec leur aide habituelle, ce qui peut s'expliquer par la familiarité de celle-ci, le temps de préparation plus long du trajet, mais aussi par la composition assez homogène du groupe de participants (de nombreux randonneurs, un ancien chauffeur de direction, etc.). Par ailleurs, plusieurs participants ont estimé que le trajet avec carte était plus facile que les autres trajets, dans la mesure où il avait plus de cohérence (aller de la place d'Italie à Telecom ParisTech) que les itinéraires artificiellement complexifiés autour de Telecom ParisTech.

Bien que les performances ne diffèrent pas en termes de taux d'orientations correctes, on observe toutefois des différences dans la logique d'utilisation de ces deux types d'aides. L'utilisation des aides habituelles semble s'appuyer majoritairement sur l'interprétation d'un faisceau d'informations spatiales issues conjointement de l'aide et de l'environnement (géométrie de l'espace, noms des rues), informations qui sont recherchées activement par les participants pour résoudre les problèmes spatiaux auxquels ils sont confrontés. Les personnes ont la possibilité de prendre les informations nécessaires à leur navigation au moment qui leur sied, à la différence des aides technologiques égocentrées, ce qui les rend potentiellement plus autonomes. Ceci pourrait d'ailleurs expliquer pourquoi les participants se rappellent davantage des éléments liés à l'espace cartographique lorsqu'ils naviguent avec leur aide habituelle. Cette recherche d'informations engendre toutefois un coût attentionnel et des moments d'inattention, comme l'illustre l'analyse des vidéos, et repose sur des capacités cognitives spatiales qui peuvent varier fortement d'une personne à l'autre avec l'avancée en âge (voir chapitre 2).

La navigation avec les aides technologiques innovantes développées pour la présente étude, qui s'opère pas-à-pas, repose, pour sa part, sur un environnement spatial plus localisé (les personnes n'ont pas besoin de se situer dans l'espace de la carte) et sur la confiance que les participants accordent au fonctionnement de l'aide, à condition de ne pas manquer des instructions au cours du trajet suite à une difficulté d'attention et perception. Si les participants résolvent là encore activement des problèmes spatiaux, l'appariement des informations spatiales issues de l'environnement local et des instructions du système dépend pour beaucoup de l'aide technologique (capacité à rejouer les messages, interprétation de la logique du système ou la temporalité du message pour faire un choix spatial), ce qui peut conduire à une plus grande dépendance vis-à-vis du système. On remarque toutefois que, bien qu'ayant une carte du trajet à disposition dans l'application et la possibilité de la consulter en toute autonomie, les participants ne l'utilisent pas, ce qui témoigne de deux logiques très différentes dans la mise en œuvre de la recherche d'itinéraire.

La recherche d'itinéraire, avec les aides technologiques, semble faire appel à la cognition spatiale certes, mais aussi à d'autres capacités cognitives liées à l'utilisation d'artefacts cognitifs (Norman, 1993) telles que la mémorisation des messages de guidage, la capacité à interpréter une interface ou la capacité à comprendre et extrapoler la logique d'un système pas toujours transparente (Millerand, 2002). En ce sens, les aides technologiques peuvent présenter une plus-value pour les personnes vieillissantes connaissant des déclinis de la cognition spatiale car leur utilisation repose également sur d'autres fonctions cognitives qui peuvent être moins altérées, ce qui peut permettre de limiter les déclinis observés en navigation (à condition toutefois que les aides proposées ne demandent pas beaucoup de ressources attentionnelles pour être perçues et comprises).

Dans le présent cas de cette étude en environnement naturel, nous mettons en valeur en particulier le bénéfice du guidage auditif par casque à conduction osseuse et du guidage vibro-visuel par montre connectée par rapport au guidage visuel par lunettes de réalité augmentée, là où le guidage visuel était le plus adéquat en environnement virtuel.

Sous question n°2 : *les performances de navigation et l'expérience utilisateur avec les différents dispositifs de guidage testés sont-elles dépendantes de la configuration de l'environnement ?*

Le taux d'orientations correctes en carrefour complexe ne diffère pas significativement en fonction de l'aide utilisée et relativement peu d'hésitations sont rapportées durant les entretiens concernant ces zones (au regard du nombre de désorientations en intersection simple). Le nombre plus faible d'erreurs en intersection complexe qu'en intersection simple doit être mis en regard de l'attention plus importante portée à ces zones, peut-être du fait d'une appréhension plus grande ou d'un effet d'attente plus grand. Ainsi, de nombreux participants déclarent faire plus attention aux indications de guidage quand ils entrent ou sont dans un rond-point, quelle que soit l'aide utilisée.

La différenciation entre les zones complexes et les intersections simples, et les attentes plus fortes des participants vis-à-vis de ces zones, ont pu toutefois conduire à des erreurs, dans la mesure où certaines configurations ont été interprétées comme complexes sans être labellisées en tant que telles par le système, créant de fait un décalage entre les attentes des participants et la logique du système. La perception de l'environnement bâti en vue subjective peut en effet différer de la vue « carte » sur laquelle repose le système de guidage. Cet exemple illustre assez bien le besoin de bases géographiques spécifiques aux piétons, qui peuvent naviguer librement dans l'environnement par rapport aux véhicules motorisés (qui sont contraints par la chaussée) (Wither et al., 2013)

Ces résultats diffèrent des conclusions apportées par l'étude en environnement virtuel, au cours de laquelle les participants avaient plus de difficultés dans les carrefours complexes. On peut supposer que les modifications apportées aux messages complexes entre les études en environnement virtuel et naturel ont porté leurs fruits en les rendant plus facilement distinguables les uns des autres et compréhensibles. Par ailleurs, on peut supposer un effet d'apprentissage de la part des participants, 89% d'entre eux ayant pris part aux deux études (environnement virtuel et naturel).

Sous question n°3 : *quel(s) dispositif(s) de guidage est(sont) le(s) plus susceptible(s) de soutenir l'acquisition de connaissances spatiales à propos de l'environnement ?*

Le nombre total d'éléments rappelés ne varie pas significativement entre les différentes aides et, bien que les logiques d'utilisation diffèrent entre aide habituelle de type carte (papier ou numérique) et aides technologiques innovantes, le nombre d'éléments issus de l'environnement alentour n'est pas significativement différent (façades, objets etc.). Ceci sous-entendrait que l'acquisition de connaissances spatiales de type repère, qui sont au cœur de la navigation égocentrée des personnes âgées (Dejos, 2012), n'est pas impactée par le type d'aide utilisée. En proposant un autre type de tâche aux participants lors de l'étude en environnement virtuel (tâche de reconnaissance versus ici rappel), nous étions parvenus à des conclusions similaires. Les personnes âgées ne suivraient donc pas plus « bêtement » les instructions fournies par des aides technologiques que les indications fournies par des supports traditionnels, remettant partiellement en cause les critiques faites traditionnellement aux aides GPS pas-à-pas (Pielot et Boll, 2010).

Nous observons toutefois une différence significative dans le nombre d'éléments de l'espace cartographique rappelés : les participants se souviennent mieux des noms des rues et de la typologie des lieux lorsqu'ils utilisent leur aide habituelle de type carte que les trois aides

technologiques développées pour l'étude. Ceci peut s'expliquer par le recours plus régulier à ces éléments au cours de la résolution de problèmes spatiaux avec l'aide habituelle qu'avec les autres modes de guidage plus innovants, et cette dimension n'était pas prise en compte dans l'étude précédente. On peut supposer ici qu'il existe donc des différences entre les cartes cognitives construites au cours de la navigation avec l'aide habituelle cartographique et les aides technologiques égocentrées développées pour l'étude, les premières étant potentiellement plus riches (dans la mesure où elles intègrent davantage de noms de rues et d'éléments topographiques), bien que les personnes âgées rencontrent des difficultés à intégrer les informations allocentrées (voir chapitre 2). Il aurait pu être intéressant de proposer une tâche de rappel complémentaire s'intéressant aux représentations allocentrées (rappel libre du trajet en vue du dessus, fond de carte vierge, etc.) pour développer davantage cette hypothèse.

Sous question n°4 : quels sont les éléments susceptibles d'impacter l'expérience utilisateur et donc l'acceptabilité à terme des dispositifs technologiques proposés ?

Au-delà des performances de navigation, l'aide visuelle semble être source d'une expérience utilisateur plus négative que les aides auditive et vibro-visuelle, et ce pour toutes les dimensions prises en compte dans cette étude. On observe donc, là encore, une certaine congruence entre performances et expérience utilisateur (voir également chapitre 8) : les aides technologiques avec lesquelles le temps de parcours, le taux d'orientations correctes et le nombre de messages rejoués sont les plus positifs sont également celles qui sont le mieux évaluées par les participants et jugées les plus utiles.

Si la perception et compréhension des messages de guidage ne semble pas être source de difficultés dans la phase d'apprentissage, la perceptibilité des instructions de guidage et leur temporalité *en contexte de navigation* ainsi que le confort et l'esthétique du dispositif sensoriel utilisé semblent être des dimensions primordiales du guidage qui impactent l'expérience utilisateur. Cette expérience utilisateur s'articule selon 3 phénomènes évoluant dans le temps, qui correspondent aux 3 niveaux de besoins exprimés par les piétons dans l'utilisation d'aides à la navigation (Fang et al., 2015) : la transformation de l'attention (besoins liés à la préservation des sens physiques tels que la vue ou l'ouïe), la compréhension de la situation (besoins liés à la réassurance et à la confirmation du trajet) et l'émergence d'états émotionnels (besoins liés à la satisfaction).

Transformation de l'attention : Les instructions fléchées fournies par les lunettes et les vibrations de la montre posent des difficultés de perceptibilité, du fait d'une intensité et/ou d'une durée jugée trop faible en environnement naturel, qui n'est pas suffisante lorsque les participants sont impliqués dans une activité de marche et d'orientation. Cette perceptibilité dégradée, en contexte de navigation, implique pour les participants concernés de concentrer davantage leur attention sur la perception et la recherche des indications à travers un certain nombre de stratégies, parfois au détriment de leur environnement (bâti, trafic, interaction) ou de l'action à mener (sécurisation des traversés). L'attention préparatoire (voir chapitre 2) est ainsi mise en œuvre par une fixation du regard de l'œil droit avec les lunettes, ou par une immobilisation du bras près de l'oreille ou de l'œil avec la montre connectée, de sorte à compenser les difficultés de perception.

Le coût attentionnel lié à la perception de l'information de navigation peut également impacter le sentiment de sécurité des participants, en particulier dans le cadre du guidage visuel. Les participants ont ainsi tendance à faire plus attention à leur sécurité de crainte de ne pas être au maximum de leurs capacités lorsqu'ils portent les lunettes de réalité augmentée. On note aussi une tendance à l'immédiateté de l'action de traversée juste après le message qui peut engendrer des prises de risque, comme si le message était injonctif et obligeait à agir, ou par peur de l'oublier.

Compréhension de la situation : Il semble que la temporalité des messages revête une importance capitale dans le cadre de l'utilisation des aides technologiques innovantes que nous avons implémentées, à la différence de l'usage des cartes dont la consultation se fait en toute autonomie. Des informations de navigation jugées peu stables dans le temps et trop tardives peuvent entraîner des prises de décisions hâtives, des difficultés de compréhension, et impacter la confiance des participants dans le système, comme on l'observe surtout avec les lunettes de réalité augmentée.

Nous avons développé plus haut que l'appariement des informations spatiales issues de l'environnement et des instructions de guidage, ainsi que la confiance avec une aide technologique, semblent reposer, pour beaucoup, sur la logique propre du système (les messages de demi-tour, la possibilité de rejouer les indications, la régularité des informations, la compréhension des règles régissant le système), là où l'interprétation spatiale semble se faire en plus grande autonomie dans le cadre de l'usage d'une aide habituelle de type carte (la prise de décision dépendant de l'humain qui lit la carte dans ce cas). C'est pourquoi il est capital que les informations de guidage soient fiables, et donc fournies avec une temporalité correcte. Celle-ci est estimée une dizaine de mètres avant l'intersection par une majorité de participants, de sorte à pouvoir mettre en œuvre « tranquillement » l'indication reçue, c'est-à-dire en faisant attention à ce qui se passe autour.

Plusieurs éléments peuvent impacter la temporalité des messages, notamment la précision du signal GPS et la qualité de la connexion entre le dispositif portable et la source du signal (téléphone). Bien que naviguant dans un environnement urbain dense, au sein duquel la qualité du signal de localisation est généralement plus faible (Maris et al., 2015), et bien que la précision de réception des téléphones intelligents soit d'une dizaine de mètres (Von Watzdorf et Michahelles, 2010), ces éléments ne peuvent expliquer les différences perçues entre les guidages auditif et vibro-visuel d'une part, et le guidage visuel d'autre part. Aussi, on peut supposer que cette différence soit due à la connexion entre le téléphone intelligent et le dispositif Bluetooth, sans moyen de le mettre en valeur empiriquement. Il est également probable que, du fait du niveau d'attention élevé des participants lorsqu'ils portent les lunettes et du sentiment d'insécurité ressenti plus important, la temporalité des messages leur semble différente, le stress ayant un impact sur la durée perçue des stimuli (Van Hedger et al., 2017).

Emergence d'états émotionnels : Les participants font état d'émotions très contrastées au cours de leurs trajets, qu'il s'agisse de la frustration de ne pas percevoir certaines instructions, ou encore de la surprise d'être en mesure de se débrouiller avec le dispositif proposé. Le confort et l'esthétique du dispositif sont également des motifs susceptibles de conduire à l'émergence d'émotions, et sont au cœur des préoccupations des participants. Là encore, le casque à conduction osseuse et la montre connectée sont jugées plus positivement que les lunettes de réalité augmentée qui blessent du fait de leur lourdeur sur le nez, et sont peu discrètes. La possibilité de cacher le dispositif de guidage est régulièrement évoquée, tout comme l'idée d'être « comme tout le monde » dans la rue. Ainsi, les lunettes connotent des imaginaires plutôt fantaisistes et/ou négatifs, alors que la montre connectée est associée à une image positive de soi.

Ce résultat requiert de prêter une attention toute particulière dans la conception d'une aide « portée sur soi » à l'esthétique, aux couleurs et à la grosseur du dispositif, afin de favoriser le confort physique et psychologique des personnes âgées. L'esthétique est parfois décrite comme une dimension de moindre importance pour les personnes âgées (Faisal et al., 2014 ; Hsieh et al., 2004), en ce qu'elles jugeraient un objet davantage sur ses caractéristiques pragmatiques qu'esthétiques. Nous voyons toutefois ici que l'esthétique joue un rôle primordial dans l'expérience utilisateur. D'ailleurs, si l'ajout de verres de soleil sur les lunettes visaient à améliorer la visibilité des messages (et donc les qualités pragmatiques), cela a impacté

négativement l'expérience utilisateur en les rendant peu discrètes.

Si la compréhensibilité, l'utilité perçue (Nielsen, 1993), l'agréabilité (Venkatesh et Bala, 2008), ou encore l'esthétique (Hassenzahl, 2003) sont des éléments classiques qui orientent l'acceptabilité et la construction de l'expérience utilisateur, et qu'il semble cohérent de retrouver dans une étude de ce genre, il est intéressant toutefois de noter que certaines dimensions très spécifiques aux aides à la navigation ou aux personnes âgées occupent une part non négligeable du discours. La perceptibilité, la demande attentionnelle (Arning et al., 2012), la temporalité des indications et la précision du signal de localisation (Sarjakoski et Nivala, 2005) sont, de fait, des éléments impactant l'expérience utilisateur des aides à la navigation qui font l'objet d'une grande partie des entretiens. Par ailleurs, les sentiments de fiabilité, de sécurité, et de discrétion que nous avons mis en valeur sont plutôt caractéristiques de l'expérience utilisateur des personnes âgées (Holzinger, 2008).

Si cette étude ne permet pas de mettre en évidence de nouvelles dimensions impactant l'expérience utilisateur des personnes âgées avec des aides à la navigation, elle permet d'illustrer l'articulation entre les différentes dimensions de l'UX. Ainsi, les questions de perceptibilité et de demande attentionnelle impactent le sentiment de sécurité, qui revêt une importance toute particulière pour les personnes âgées. De même, l'esthétique et l'agréabilité, qui sont des dimensions classiques, trouvent un écho particulier en ce qu'elles impactent la discrétion perçue, qui est essentielle pour les personnes âgées.

Pour compléter cette discussion, nous proposons de revenir sur les limites de cette étude. En effet, alors que nos résultats permettent de souligner des éléments intéressants pour la conception d'aides technologiques à la navigation, notamment quant à l'importance du dispositif technique utilisé en termes de qualités pragmatiques et hédoniques, plusieurs limites à notre travail doivent être posées.

Le nombre de participants (18), s'il nous a permis de mener des entretiens détaillés, est limitant dans les possibilités de généralisation. Par ailleurs, nous ne pouvons pas, au même titre que dans l'étude 2, comparer les résultats des participants de plus de 70 ans à ceux de participants plus jeunes, ni comparer les résultats selon le genre, comme nous avons pu le faire dans l'étude en environnement virtuel. D'autres études plus orientées vers l'évaluation des performances devraient être envisagées, afin notamment d'étudier les bénéfices des différentes aides en fonction de l'âge ou du genre. Par ailleurs, dans la mesure où la grande majorité (89%) des participants de cette étude avait déjà pris part à l'étude précédente, on peut supposer un certain nombre de biais dans l'apprentissage des messages de guidage et dans les attentes vis-à-vis des dispositifs. Le guidage visuel avait été évalué très positivement sur simulateur, ce qui a pu conduire à des effets d'attente et de déception dans le cadre de cette nouvelle étude.

Une autre limite concerne la similarité des tâches et le contrebalancement des conditions. En effet, la tâche de navigation et l'entretien post-activité sont de nature différente lorsqu'il s'agit de l'aide habituelle ou des aides technologiques innovantes (plus centrés sur les habitudes d'utilisation et un parcours réaliste optimisé entre un point A à un point B dans le premier cas, et sur l'expérience vécue au cours d'une tâche de navigation spécifique, moins optimale, avec beaucoup de détours, dans les autres cas). Ceci limite de fait la comparabilité des résultats entre l'usage de la carte et des autres aides. De la même manière, le fait que l'aide habituelle soit toujours utilisée en premier lieu et l'aide vibro-visuelle dans une seconde session, a pu influencer sur les résultats.

Compte tenu de l'importance de la discrétion pour les personnes âgées (Holzinger, 2008), le port d'une Go Pro sur la tête a également pu impacter négativement quoiqu'indirectement leur expérience de navigation (même si toutes les conditions étaient identiques à ce niveau).

Si notre étude permet de souligner à quel point le dispositif utilisé est important, autant pour la performance que pour l'expérience utilisateur, nous n'avons testé qu'un nombre restreint de dispositifs d'une part, et nous devons regarder les performances de navigation à l'aune de ces

limites et de ces choix d'autre part. En effet, avec un autre casque, avec une autre montre, ou avec d'autres lunettes de réalité augmentée, les performances de navigation auraient-elles été différentes ? Le futur offrira peut-être également d'autres types de dispositifs innovants qu'il pourra être pertinent d'évaluer.

Synthèse

- Habituellement, les participants âgés recourent majoritairement à une carte papier pour se guider en environnement inconnu à pied.
- Le temps de trajet est plus élevé avec l'aide habituelle des participants (carte papier ou numérique) qu'avec les aides visuelle (lunettes de réalité augmentée projetant des flèches), auditive (casque à conduction osseuse diffusant des sons pseudo-spatialisés) et vibro-visuelle (montre connectée avec alerte vibratoire affichant des flèches). Ce temps plus long s'explique en particulier par un temps de préparation élevé et très variable d'un participant à l'autre.
- Les participants commettent plus d'erreurs en intersection simple avec l'aide visuelle qu'avec les aides auditive et vibro-visuelle et qu'avec leur aide habituelle. Ceci s'explique en outre par un manque de visibilité des flèches en environnement extérieur et par une demande attentionnelle plus forte, ainsi que par une temporalité jugée moins stable des flèches, qui entraîne des prises de décisions spatiales incertaines.
- La résolution de problèmes spatiaux avec l'aide habituelle du type carte s'appuie en général sur une prise d'informations spatiales volontaire de la part de la personne, les informations étant issues de l'aide (carte), mais aussi de l'environnement (topographie, noms de rues). Elle repose en revanche davantage sur le dispositif utilisé dans le cas des aides à la navigation innovantes développées pour l'occasion, et dépend moins de la recherche active d'informations de la part de la personne. Ceci peut conduire à mobiliser d'autres capacités cognitives que celles propres à la navigation spatiale avec carte, telles que la mémorisation des messages de guidage, la capacité à interpréter une interface, ou la capacité à comprendre et extrapoler la logique d'un système pas toujours transparente.
- On observe une grande congruence entre les recueils de données qualitatifs et quantitatifs, quel que soit le dispositif utilisé : l'expérience utilisateur avec les guidages auditif et vibro-visuel est plus positive que celle avec le guidage visuel, tout comme le sont les performances de navigation.
- Trois éléments majeurs impactent l'expérience utilisateur : la transformation de l'attention, pour laquelle la perceptibilité des informations occupe une place importante, la compréhension de la situation, qui s'appuie notamment sur la temporalité des instructions afin de faire correspondre le message perçu à l'environnement spatial urbain et concourt aux sentiments de confiance et de fiabilité, et l'émergence d'états émotionnels relatifs en particulier à l'esthétique du dispositif et sa discrétion, qui participent à un vécu positif de l'expérience de navigation.
- Les résultats quantitatifs ne mettent pas en valeur de difficulté dans les carrefours complexes. Les participants semblent toutefois faire particulièrement attention dans ces zones.
- Si la tâche de rappel de repères met en valeur que les participants se rappellent mieux des éléments de l'espace cartographique (noms de rues, topographie) avec leur aide habituelle de type carte et peut laisser entendre la construction de cartes cognitives différentes entre aide habituelle et aides technologiques, on n'observe pas de différence significative entre les aides dans le nombre de connaissances spatiales acquises au total.

CHAPITRE 10 – Etude 4 : Acceptabilité a priori d’aides futuristes à la navigation piétonne

Ce dernier chapitre empirique vise à l’acquisition de connaissances à propos de l’acceptabilité a priori de différentes aides futuristes à la navigation. Il repose à la fois sur la littérature et les brevets émergents dans le champ des interactions homme-machine, et sur les recommandations et remarques faites par les participants et liées à la conception des différents guidages et prototypes d’aide testés au cours des études précédentes. Nous nous intéressons notamment aux spécificités des personnes âgées par rapport aux personnes plus jeunes, ainsi qu’aux différences liées au genre quant aux attentes vis-à-vis des aides à la navigation et quant aux dimensions susceptibles de soutenir l’acceptabilité de tels dispositifs. Cette dernière étude vise par ailleurs à ouvrir le travail accompli dans cette thèse à d’autres publics et à d’autres possibles, en questionnant ce qui pourrait être, demain, notre rapport aux aides à la navigation.

1- Objectifs de l’étude

Cette seconde étude par questionnaire²⁰ vise à répondre à la quatrième question de recherche de cette thèse (voir chapitre 5), à savoir « quelle est l’acceptabilité a priori de guidages technologiques futuristes pour des personnes plus ou moins âgées ? ». Cette question nous semble en effet être importante afin de comprendre les leviers et éventuelles réticences à l’utilisation d’aides technologiques à la navigation piétonne pour les personnes âgées, telles qu’elles pourraient exister à moyen terme. Nous chercherons plus spécifiquement à questionner, dans une perspective de comparaison entre les répondants âgés et les répondants plus jeunes, et entre les hommes et les femmes :

- les motivations capables de soutenir l’activité de déplacement piéton dans le futur,
- les motivations capables de soutenir l’utilisation d’aides à la navigation dans le futur,
- les modalités sensorielles qui semblent être les plus adaptées a priori aux personnes,
- les éléments positifs et négatifs de l’acceptabilité à priori de cinq guidages futuristes : lentille de réalité augmentée, vêtements vibrants, application de musique spatialisée, carte intelligente et clip nasal pour une navigation guidée par l’odorat.

Notre objectif, à travers cette étude, est pluriel. Nous cherchons à mettre en valeur les motivations à marcher plus et à utiliser davantage les aides à la navigation pour les déplacements piétons, afin d’établir de potentiels leviers à l’activité piétonne reposant sur l’utilisation d’aides technologiques à la navigation. Nous questionnons également les éléments qui font qu’une aide à la navigation peut apparaître demain acceptable ou non, à la fois chez des répondants âgés et chez des répondants jeunes, chez les hommes et chez les femmes. Enfin, nous cherchons à faire le lien entre les attentes a priori des personnes pour leur mobilité piétonne et leur utilisation d’aides à la navigation, et les éléments caractéristiques de l’acceptabilité à priori de différentes aides futuristes.

²⁰ Cette étude a fait l’objet d’une publication :

Montuwy, A., Dommès, A., Cahour, B. 2018. What Sensory Pedestrian Navigation Aids For The Future? A Survey Study. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. CHI’18*, 21-26 April 2018, Montreal, Canada. <https://doi.org/10.1145/3170427.3188492>

2- Méthodologie

2.1- Population

602 personnes ont pris part à cette étude par questionnaire²¹, parmi lesquelles 231 hommes (38,4%) et 371 femmes (61,6%). L'âge moyen des répondants est de 37,2 ans (SD = 16,6). Les répondants actifs sont majoritairement cadres (31%) ou étudiants (30,9%). On trouve aussi 74 répondants retraités (12,9%), âgés de 60 à 79 ans (M = 68,7 ans ; SD = 4,5) qui seront au cœur de nos comparaisons et analyses. Parmi ces 74 répondants retraités, on trouve 38 hommes (51,4%) et 36 femmes (48,6%).

2.2- Dispositifs futuristes proposés

Cinq dispositifs de guidage futuristes ont été proposés, tous étant pensés pour être des aides à la navigation personnelles, compactes et relativement discrètes. Ces aides n'existent pas pour l'heure dans la forme proposée aux répondants, et ne peuvent donc être testées réellement par ces derniers.

Pour chacune de ces aides, une brève description a été donnée aux participants, incluant un exemple général d'utilisation, une présentation des messages utilisés, les possibilités de personnalisation du dispositif et des messages, la façon de recharger le dispositif et l'autonomie de sa batterie. Deux photos illustraient également chacune de ces aides pour permettre au répondant de se projeter.

Chacun de ces dispositifs repose à la fois sur la littérature dédiée aux aides à la navigation (voir chapitre 3), sur les résultats et les recommandations des participants au cours des études 2 et 3 (voir chapitre 8 et 9), sur les travaux relatifs aux interactions multisensorielles homme-machine (voir par exemple Spence et al., 2017) et sur les publications récentes de brevets ou de communiqués d'entreprises actives dans le champ des dispositifs portatifs.

²¹ Les questionnaires des études 1 et 4 de cette thèse ont été diffusés auprès des mêmes participants. Aussi, on retrouve parmi la population des répondants de ces deux études un grand nombre de personnes identiques.

2.2.1- Lentille de réalité augmentée

Nous avons vu au cours des études précédentes que, si un mode de guidage par incrustation d'informations dans le champ de vision peut s'avérer efficace et facile à comprendre (chapitre 8), ce type d'aide peut comporter des difficultés de lisibilité d'une part, et d'acceptation du dispositif d'autre part (chapitre 9).

Ainsi, plusieurs participants des études précédentes ont indiqué souhaiter une information visuelle d'une durée plus longue ou répétée plus régulièrement, afin de faciliter la perception des indications de guidage dans le champ de vision. Les études relatives aux aides à la navigation en réalité augmentée sur smartphone reposent parfois sur des indications continues de type ligne à suivre (Walther-Franks et Malaka, 2008 ; Rehrl et al., 2014), ce qui pourrait contribuer à limiter les difficultés de perception des indications, au contraire des flèches ponctuelles incrustées dans le champ de vision et testées précédemment.

Par ailleurs, pour limiter la gêne occasionnée par le port de lunettes de réalité augmentée (lourdeur et manque de discrétion notamment), il pourrait être envisagé l'utilisation de lentilles, plus discrètes et plus légères. Ces dernières années, Google²² et Samsung²³ ont déposé plusieurs brevets de lentilles connectées visant à prendre des photos ou à mesurer la glycémie. De tels dispositifs pourraient être adaptés afin de guider les piétons par incrustation dans le champ de vision d'indication de guidage en réalité augmentée consistant en une ligne à suivre (voir figure 74 pour une illustration).

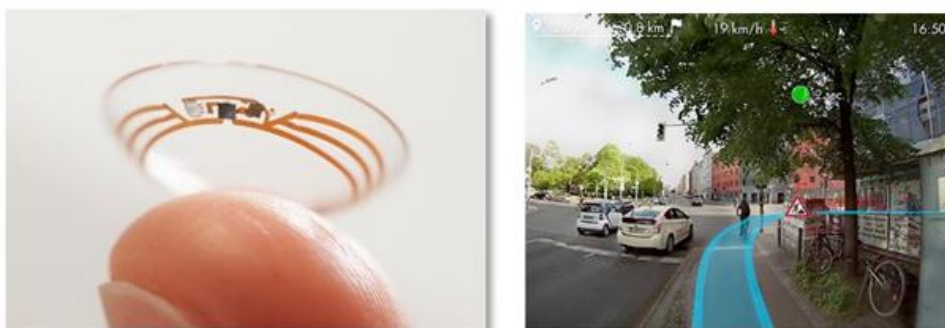


Figure 75 : illustration d'une lentille connectée pour la navigation par réalité augmentée.

²² <https://patents.google.com/patent/US20160324451>

²³ <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/samsung-smart-contact-lenses-patent-a6971766.html>

2.2.2- Vêtements vibrants

Nous avons vu au cours des études précédentes que la discrétion des dispositifs tactiles apparaît comme une plus-value aux utilisateurs (chapitre 8 et 9). Toutefois, la faible intensité des vibrations (chapitre 9) et les problématiques liées à la latéralisation des informations de guidage (chapitre 8) peuvent poser des difficultés de perception et de compréhension des indications de guidage vibratoires.

Dans la littérature, plusieurs prototypes vibrants pour la navigation ont déjà été investigués : des chaussures, des ceintures, etc. (Cammann, Stolz et Wölfel, 2017), et plusieurs startups ont levé des fonds récemment pour la création de vêtements vibrants esthétiques et pratiques. C'est le cas notamment des chaussures Lechal²⁴, ou des pantalons Spinali²⁵. Aussi, nous avons envisagé une gamme complète de vêtements adaptés à tous les âges, qui permettent de se guider par des vibrations latéralisées de chaque côté du corps (voir figure 75 pour une illustration).



Figure 76 : illustration d'une gamme de vêtements vibrants pour la navigation.

²⁴ <http://www.lechal.com/#The-Inspiration>

²⁵ <https://www.spinali-design.fr/pages/jeans-connectes-vibrants>

2.2.3- Application de musique spatialisée et casque à conduction osseuse

Le son spatialisé est un mode de guidage prometteur au vu des études réalisées dans cette thèse : à la fois bien perçu et bien compris des personnes âgées (voir chapitre 8 et 9), il semble être adapté également aux plus jeunes. Ainsi, plusieurs participants évoquent au cours des entretiens l'idée d'un guidage jeune et d'un guidage en musique. Par ailleurs, plusieurs études exploratoires ont investigué les possibilités offertes par la musique spatialisée pour la navigation (Hazzard, Benford, et Burnett, 2014; Strachan et al., 2005), avec un certain succès.

Toutefois, la question de la sécurité est centrale pour ce type de guidage, nécessitant de porter un casque sur la tête et donc d'être potentiellement coupé des bruits extérieurs. Si les participants des études 2 et 3 apprécient globalement les casques à conduction osseuse, des initiatives ont également été prises afin d'adapter des applications musicales aux contraintes des déplacements en ville. C'est notamment le cas de l'application Safe&Sound²⁶ qui coupe la musique des utilisateurs de smartphone à l'approche des traversées de rue.

Aussi, nous avons imaginé utiliser un casque à conduction osseuse et une application musicale qui guiderait les utilisateurs en fonction de l'intensité du son, et couperait celui-ci à l'approche des zones de danger (voir figure 76 pour une illustration).



Figure 77 : illustration d'une application musicale spatialisée, utilisant un casque à conduction osseuse.

²⁶ <https://lbbonline.com/news/this-music-app-makes-sure-youre-safesound-when-crossing-streets/>

2.2.4- Carte intelligente

Nous avons vu, au cours des études 1, 2 et 3 de cette thèse que les cartes papier sont des aides qui demeurent massivement utilisées et qui sont très familières, en particulier pour les piétons âgés (Wither et al., 2013). Ces derniers ont toutefois des difficultés à naviguer avec ces cartes, du fait de problèmes de lisibilité, d'orientation et d'interprétation (Aubrey et al., 1994). Les cartes numériques, sur téléphone intelligent, permettent de résoudre un certain nombre de ces problèmes, en proposant des cartes toujours alignées dans la direction regardée par l'utilisateur et indiquant sa position courante, et dont la taille peut être adaptée. L'utilisation de smartphone ou d'écrans de relativement petite taille peut cependant être difficile, en particulier pour les personnes âgées.

Les récents développements des écrans flexibles et enroulables²⁷ permettent toutefois d'imaginer pouvoir utiliser demain une carte numérique sur un support aussi pratique et familier qu'une carte papier. C'est pourquoi nous avons imaginé faire converger carte numérique et papier dans un même dispositif (voir figure 77 pour une illustration).



Figure 78 : illustration d'une carte intelligente et connectée.

²⁷ <https://www.usine-digitale.fr/article/ces-2016-lg-enroule-l-ecran-oled-comme-du-papier.N372014>

2.2.5- Clip olfactif

A l'heure de cette thèse, les dispositifs olfactifs ne sont pas encore suffisamment développés pour pouvoir en utiliser des prototypes pour la navigation piétonne en environnement extérieur. C'est pourquoi ils n'ont pas été considérés dans le travail mené dans les études 2 et 3.

Toutefois, l'étude des odeurs est devenue un thème récurrent dans la littérature en interaction Homme-Machine (voir par exemple Spencer et al., 2017), et plusieurs études ont été réalisées en laboratoire sur l'utilisation des odeurs dans les déplacements à pied (Jacobs et al., 2015) ou en voiture (Dmitrenko et al., 2017), avec succès.

Si les odeurs sont volatiles, et par définition difficiles à utiliser en environnement extérieur, la possibilité de simuler celles-ci par stimulation électrodermale se développe depuis peu (Hariri, Mustafa, Karunanayaka, et Cheok, 2016). C'est pourquoi nous avons imaginé une aide olfactive à la navigation, basée sur un clip nasal, qui permet de s'orienter en fonction de l'intensité d'une odeur prédéfinie (voir figure 78 pour une illustration).



Figure 79 : illustration d'un clip nasal pour une navigation à l'odeur.

2.3- Questionnaire

Le questionnaire visait à recueillir des données sur l'acceptabilité a priori d'aides qui n'existent pas réellement pour l'heure et ne peuvent donc être testées par les répondants. Il se composait de 10 questions relatives au futur de la mobilité piétonne et des aides à la navigation, ainsi que de 4 questions d'informations générales (genre, CSP, année de naissance et code postal). Ce questionnaire est visible en annexe 12 de cette thèse. Plus précisément, ce questionnaire se composait de questions portant sur :

- Les motivations à se déplacer davantage à pied dans le futur (2 questions)
- Les motivations à utiliser davantage d'aides technologiques à la navigation dans le futur (2 questions)
- Les types d'informations de guidage à préférer parmi des informations cartographiques, visuelles (flèches, pictogrammes), auditives (son, voix), tactiles (vibrations), ou olfactives (ex. odeur de pain pour la boulangerie) (1 question)
- L'acceptabilité de 5 aides à la navigation futuristes, à travers 6 items : utilité perçue, facilité d'utilisation, facilité de compréhension, sentiment de sécurité, agréabilité et image de soi (5 questions).

Les 6 items relatifs à l'acceptabilité ont été choisis afin de couvrir les principales dimensions de l'expérience utilisateur (pragmatique et hédonique) évoquées au cours des études précédentes. Ainsi, il apparaît que la facilité à comprendre et à utiliser effectivement des informations de navigation en contexte, tout comme l'utilité perçue du dispositif au vu des pratiques de chacun, sont déterminantes pour l'acceptabilité des aides à la navigation (voir Nielsen, 1993). Les sentiments de sécurité et de fiabilité jouent également un rôle important dans le cadre de l'expérience utilisateur (Holzinger, 2008) des personnes âgées, mais l'on peut supposer que cette problématique touche tout le monde quand il s'agit de naviguer dans la rue

avec une aide innovante. Enfin, les questions d'agréabilité et d'image de soi sont au centre des qualités hédoniques (Hassenzahl, 2003) généralement évoquées par les participants, et notamment la discrétion chez les plus âgés.

La plupart des questions relatives aux motivations consistaient à cocher une ou plusieurs réponses parmi une liste de propositions (ex : *Vous seriez prêt à vous déplacer davantage à pied si les déplacements piétons étaient ? - Plus sécurisés / - Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport en commun / - Plus faciles pour trouver son chemin / - Plus connectés à ce qui se passe autour / - Plus agréables / - Moins difficiles physiquement / - Plus valorisés socialement / - Je ne souhaite pas me déplacer davantage à pied*).

L'évaluation de l'acceptabilité des dispositifs reposait, pour sa part, sur des échelles de Likert en 8 points (ex : *D'après vous, cette aide pourrait être Utile ? (Entourez le chiffre correspondant à votre opinion : 0 = défavorable ; 7 = favorable)*). Les participants avaient également la possibilité de commenter chacune des aides futuristes dans un champ dédié.

2.4- Procédure

Cette étude s'est déroulée sous la forme d'un questionnaire disponible en ligne (plateforme typeform.com) et distribué également en version papier, afin de toucher plus facilement des répondants âgés. Le questionnaire était accessible pendant 2 mois. Il a été diffusé sur les réseaux sociaux, sur des listes de diffusion, et dans l'entourage personnel des chercheurs.

Avant le début du questionnaire, un texte présentait les objectifs de l'étude et le temps approximatif nécessaire pour répondre. Deux cartes cadeau d'une valeur de 30€ étaient proposées au tirage au sort afin de favoriser l'engagement des répondants.

2.5- Analyse des données

Pour chaque question (liste à cocher ou échelle de Likert), des pourcentages de réponses ont été calculés, et des analyses Chi² de Pearson ont été menées afin de comparer les réponses des personnes retraitées aux réponses des autres participants, et les réponses des hommes à celles des femmes. Les commentaires ont également été traités. Trois catégories thématiques ont émergé de leur analyse : les commentaires relatifs au dispositif technique proposé, à la modalité sensorielle utilisée, ou aux aides à la navigation en général.

3- Résultats

L'ensemble des tableaux de répartition de données, sur lesquels reposent les analyses par Chi² et les calculs de pourcentage, est disponible en annexe 13.

3.1 - Motivations à se déplacer davantage à pied

Environ 12,8% des participants (et 21,6% pour le seul groupe des retraités) ne souhaitent pas se déplacer davantage à pied. Une analyse Chi² met en valeur que les participants retraités souhaitent moins marcher davantage que les autres groupes $\chi^2(1,602)=5,9$, $p<.05$. Les hommes sont également significativement moins nombreux à vouloir marcher davantage que les femmes (16,9% des hommes ne veulent pas marcher plus, contre 9,2% de femmes ; $\chi^2(1,602)=8$, $p<.01$).

Parmi les 525 participants qui envisagent de se déplacer davantage à pied, l'agrément des trajets est le levier le plus souvent cité quel que soit le groupe (retraité ou non) (voir figure 80) et quel que soit le genre. Ainsi, l'agrément est citée par 69% des non retraités et 70,2% des retraités (NB : les participants pouvaient choisir plusieurs leviers), ainsi que par 72,9% des hommes et par 66,8% des femmes.

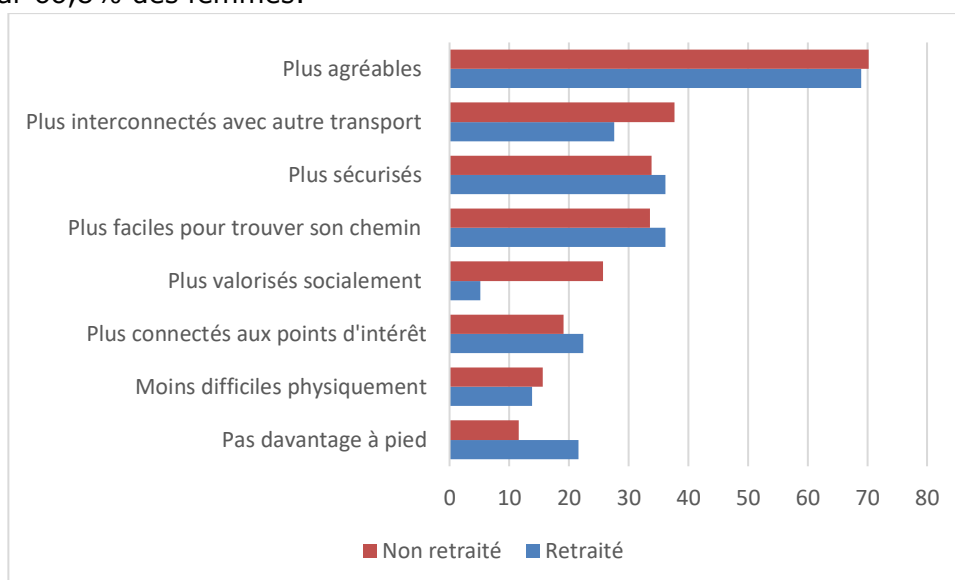


Figure 80 : pourcentages de citation de chaque levier à se déplacer davantage à pied en fonction du groupe de répondants (plusieurs leviers pouvaient être cités par répondant).

L'agrément des trajets est le levier prioritaire principal pour plus de déplacements à pied (43,4 % des participants et 34,4% des retraités ; 45,8% des hommes et 40,7% des femmes), devant la sécurité des trajets (17,7% des participants et 25,9% des retraités ; 14,6% des hommes et 19,3% des femmes), la facilité à trouver son chemin (12,2% des participants et 19% des retraités ; 10,4% des hommes et 12,5% des femmes ; notons que ce facteur « facilité à trouver son chemin » est celui qui guide notre problématique de recherche), et l'interconnexion avec d'autres moyens de transport (13% et 17,2% des retraités ; 16,1% des hommes et 11% des femmes). Les analyses Chi² ne permettent pas de mettre en valeur des différences entre le groupe des retraités et les autres répondants sur ces items, ni entre les hommes et les femmes.

3.2 - Motivations à utiliser davantage d'aides technologiques à la navigation

Environ 22,3% des participants (et 21,6% pour le seul groupe des retraités) ne souhaitent pas utiliser davantage d'aides technologiques à la navigation à l'avenir. Les hommes (30,7%) sont plus nombreux que les femmes (16,2%) à ne pas envisager utiliser davantage d'aides technologiques à la navigation à l'avenir $\chi^2(1,602)=17,7$, $p<.001$.

Pour les autres participants, qui souhaitent utiliser davantage d'aides technologiques à la navigation à l'avenir et qui sont majoritaires (77,7%), l'interconnexion avec d'autres moyens de transports est le levier le plus souvent cité (54,7%), devant le fait de profiter plus du paysage (51,5%) et l'ajout de points d'intérêt (48,2%) (NB : les répondants pouvaient identifier plusieurs leviers à l'utilisation des aides technologiques). Cependant, les leviers les plus souvent mentionnés par les seuls participants retraités diffèrent. Ainsi, la simplicité d'utilisation (51,7%), le fait de profiter plus du paysage (44,8%) et la sécurité des trajets (39,7%) sont les leviers les plus récurrents (voir figure 81).

Les analyses Chi² mettent en valeur que l'interconnexion avec d'autres modes de transport est significativement plus souvent citée par les non-retraités que par les retraités $\chi^2(1,468)=17,2$, $p<.001$, de même que le prix des aides $\chi^2(1,468)=9,6$, $p<.01$.

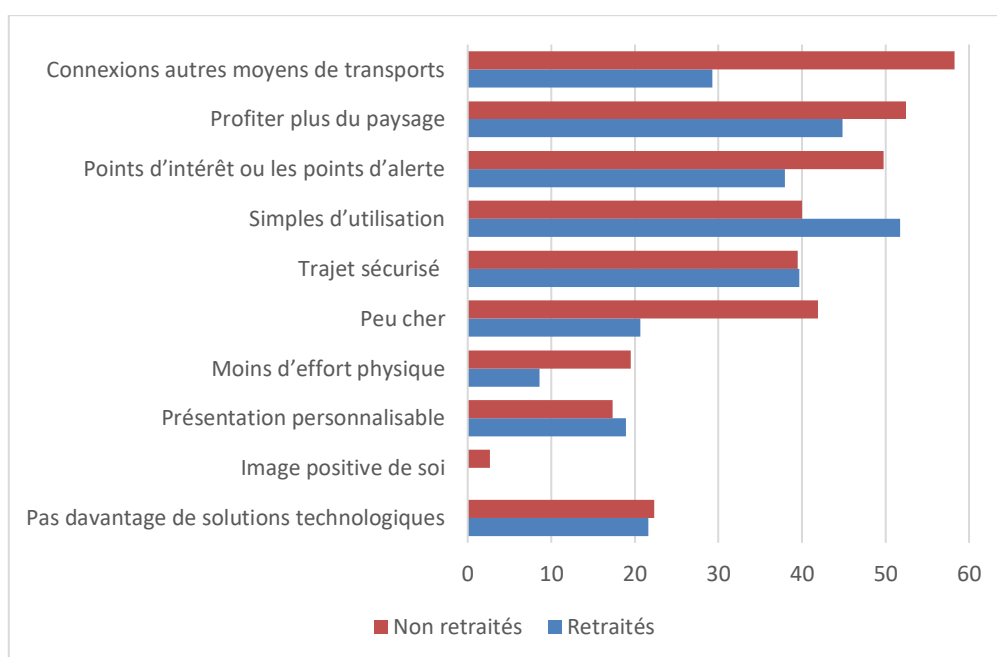


Figure 81 : pourcentages de citation de chaque levier à utiliser davantage d'aides à la navigation technologiques en fonction du groupe de répondants (plusieurs leviers pouvaient être cités par répondant).

Parmi les 468 répondants souhaitant utiliser plus d'aides technologiques à la navigation à l'avenir (77,7% des répondants), proposer une aide technologique qui soit simple, qui permette de profiter plus du paysage et qui soit sécurisante semblent être les priorités principales les plus partagées par l'ensemble des participants (respectivement classées prioritaires par 19,2%, 18,0% et 17% des participants), sans différence significative entre les hommes et les femmes. Parmi le seul groupe des retraités, toutefois, l'emphase est principalement mise sur la simplicité et la sécurité (pour respectivement 27,6% et 25,9% des répondants). Profiter du paysage n'est cité comme levier principal à l'utilisation davantage d'aides technologiques à la navigation que par 12% des retraités. Les analyses Chi² ne permettent pas de mettre en valeur des différences entre le groupe des retraités et les autres répondants sur ces items.

Nous avons cherché à savoir s'il pouvait exister une proximité entre le levier principal à plus de déplacement à pied et le levier principal à utiliser davantage d'aides technologiques à la navigation, c'est-à-dire si l'attente principale pour marcher plus et l'attente principale pour utiliser plus d'aides à la navigation pouvaient se rejoindre chez chaque répondant (voir annexe 14 pour le détail). Il en résulte une faible adéquation des réponses à ces deux questions puisqu'elles concordent pour seulement 177 participants (29,4%), dont 28 retraités (soit 37,8% des retraités). Parmi les réponses concordantes, le pourcentage de concordance le plus élevé concerne l'agrément du trajet (55%), juste devant la sécurité des trajets (49%).

3.3 - Informations de guidage préférées pour être guidé a priori

Les types d'informations de guidage à préférer parmi des informations cartographiques, visuelles (flèches, pictogrammes), auditives (son, voix), tactiles (vibrations), ou olfactives (ex. odeur de pain pour la boulangerie) les plus souvent cités par les participants sont les informations visuelles (citées par 66,1% des répondants) et cartographiques (55,8%) (voir figure 82), soit les plus classiquement utilisées (NB : les répondants pouvaient faire plusieurs choix).

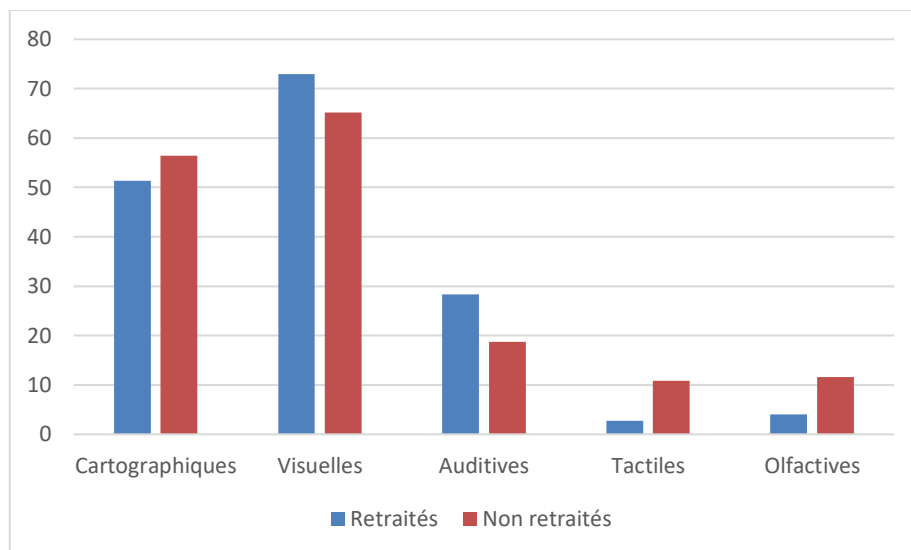


Figure 82 : Pourcentage de participants envisageant d'utiliser chaque type d'informations de guidage en fonction du groupe de répondants.

Une analyse Chi² met en valeur que les aides tactiles sont plus souvent envisagées par les non-retraités que par les retraités $\chi^2(1,602)=4,8$ $p<.05$. On n'observe toutefois pas de différences entre les groupes pour les indications visuelles et cartographiques. Les analyses mettent également en valeur que les hommes sont plus nombreux à envisager utiliser des informations cartographiques que les femmes (66,7% contre 48%, $\chi^2(1,602)=23$ $p<.001$). Il n'y a pas de différences liées au genre pour les autres types d'information (voir figure 83).

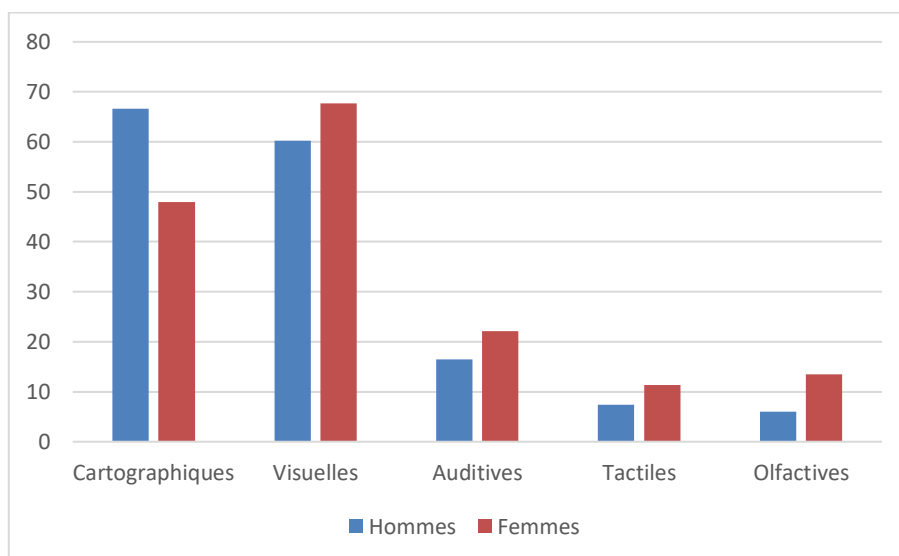


Figure 83: Pourcentage de participants envisageant d'utiliser chaque type d'informations de guidage en fonction du genre.

3.4 - Acceptabilité du guidage visuel par lentille connectée

Le tableau 13 et le tableau 14 présentent le pourcentage d'évaluation positive pour chaque dimension de l'acceptabilité en fonction du groupe de population et du genre, ainsi que d'éventuelles différences significatives.

	Tous participants	Retraités seuls	Différence ?
Utilité perçue	59,3 %	39,2%	OUI
Facilité d'utilisation	47,3 %	36,5 %	OUI
Facilité de compréhension	78,7 %	64,9 %	OUI
Sécurité	53,8 %	44,6 %	NON
Agréabilité	23,1 %	16,2%	NON
Image de soi	34,1 %	35,1 %	NON

Tableau 13 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage visuel par lentille connectée en fonction du groupe.

	Hommes	Femmes	Différence ?
Utilité perçue	61,9 %	58,2 %	NON
Facilité d'utilisation	54,5 %	42,9 %	OUI
Facilité de compréhension	80,5 %	77,6 %	NON
Sécurité	55,8 %	52,6 %	NON
Agréabilité	22,5 %	23,4%	NON
Image de soi	36,4 %	32,6 %	NON

Tableau 14 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage visuel par lentille connectée en fonction du genre.

Le guidage visuel par lentille connectée est perçu comme significativement moins utile par les retraités que par les autres répondants $\chi^2(1,602)=14,1$, $p<.001$. Il apparaît également moins facile d'utilisation aux retraités $\chi^2(1,602)= 4$, $p<.05$, et moins facile à comprendre $\chi^2(1,602)= 9,7$, $p<.01$. Entre les hommes et les femmes, la seule différence significative concerne la facilité d'utilisation, les femmes trouvant les lentilles moins pratiques que les hommes $\chi^2(1,602)=7,8$, $p<.01$.

Le tableau 15 présente les thèmes abordés et le nombre de commentaires relatifs à chaque thème pour le guidage visuel par lentille connectée.

	Thème du commentaire	Nombre
<i>Dispositif technique proposé (72 commentaires)</i>	Problèmes liés au contact avec l'œil	35
	Aspects santé / hygiène	30
	Manque d'écologie	4
	Prix	3
<i>Modalité sensorielle utilisée (27 commentaires)</i>	Risques pour la sécurité	14
	Caractère intrusif de la modalité	13
<i>Aides à la navigation en général (29 commentaires)</i>	Risque de dépendance	24
	Protection des données personnelles	5

Tableau 15 : récapitulatif des commentaires relatifs à l'aide visuelle par lentille connectée.

Le plus grand nombre de commentaires est relatif au dispositif technique lui-même, à savoir la lentille connectée. Les répondants évoquent les problèmes liés au contact de l'objet avec l'œil (comme le fait de souffrir de troubles ophtalmiques qui peuvent être gênants dans la perspective d'un tel guidage), les questions de santé et d'hygiène (comme le risque pour le cerveau à avoir un dispositif numérique si proche), le manque d'écologie du dispositif (puisqu'il faut changer souvent de lentilles), et son prix (qui serait élevé d'après les répondants).

Ils évoquent également des risques plus génériques, liés aux aides à la navigation en général, comme le risque de dépendance ou la crainte de perdre la main sur leurs données personnelles. Enfin, le caractère intrusif de la modalité sensorielle visuelle et les risques pour la sécurité piétonne (à cause notamment du manque de concentration causé par le fait d'avoir quelque chose dans le champ de vision) sont abordés.

3.5 - Acceptabilité du guidage tactile par vêtements vibrants

Le tableau 16 et le tableau 17 présentent le pourcentage d'évaluation positive pour chaque dimension de l'acceptabilité en fonction du groupe de population, et en fonction du genre, ainsi que d'éventuelles différences significatives.

	Tous participants	Retraités seuls	Différence ?
Utilité	46,2 %	35,1 %	OUI
Facilité d'utilisation	55,1 %	52,7 %	NON
Facilité de compréhension	54,2 %	54,1 %	NON
Sécurité	52 %	47,3 %	NON
Agréabilité	36 %	52,7 %	OUI
Image de soi	27,7 %	41,9 %	OUI

Tableau 16 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage tactile par vêtements vibrants en fonction du groupe.

	Hommes	Femmes	Différence ?
Utilité	45 %	46,9 %	NON
Facilité d'utilisation	57,6%	53,6%	NON
Facilité de compréhension	60,2%	50,4%	OUI
Sécurité	55,4%	49,9%	NON
Agréabilité	43,7%	31%	OUI
Image de soi	32 %	25,1%	NON

Tableau 17 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage tactile par vêtements vibrants en fonction du genre.

Le guidage tactile par vêtements vibrants est perçu comme significativement moins utile par les retraités que par les autres répondants $\chi^2(1,602)=4,1$, $p<.05$. Cependant, il est perçu comme plus agréable par les retraités que par les autres répondants $\chi^2(1,602)= 10,2$, $p<.005$, et comme meilleur pour l'image de soi $\chi^2(1,602)= 8,4$, $p<.005$. Il est perçu comme plus facile de compréhension par les hommes que par les femmes $\chi^2(1,602)=5,4$, $p<.02$, et plus agréable $\chi^2(1,602)=9,6$, $p<.01$.

Le tableau 18 présente les thèmes abordés et le nombre de commentaires relatifs à chaque thème pour le guidage tactile par vêtements vibrants.

	Thème du commentaire	Nombre
<i>Dispositif technique proposé (26 commentaires)</i>	Aspects santé / hygiène	8
	Prix élevé	6
	Dimension mode	5
	Manque d'écologie	4
	Problèmes liés à la météo	3
<i>Modalité sensorielle utilisée (39 commentaires)</i>	Manque de précision du guidage	15
	Manque d'intensité du guidage	9
	Impact des vibrations	7
	Caractère intrusif	5
	Risques pour la sécurité	3
<i>Aides à la navigation en général (13 commentaires)</i>	Risque de dépendance	13

Tableau 18 : récapitulatif des commentaires relatifs à l'aide tactile.

Le plus grand nombre de commentaires s'intéresse à la modalité sensorielle tactile, et à son adaptation pour la navigation des piétons. Ainsi, le caractère intrusif de la modalité (la crainte que cela ne vibre en permanence), l'impact des vibrations sur la santé et sur les os, les risques pour la sécurité (à cause de la concentration nécessaire pour percevoir les vibrations), le manque d'intensité des vibrations ou la possibilité de les confondre avec autre chose, et le manque de précision d'un tel mode de guidage par vibrations sont des thèmes abordés.

Les participants évoquent également des limites au dispositif vibratoire proposé : le port de tels vêtements peut soulever des questions d'hygiène, sans compter le prix et le manque d'écologie du dispositif (car ces vêtements seraient fragiles et donc à changer souvent). La mode est également à prendre en compte d'après les participants, au risque d'être tous vêtus de la même façon. Enfin, plusieurs participants s'inquiètent d'avoir trop chaud l'été avec un tel dispositif.

Le risque de dépendance, inhérent à toute aide à la navigation, est également abordé.

3.6 - Acceptabilité du guidage auditif par musique spatialisée et casque à conduction osseuse

Le tableau 19 et le tableau 20 présentent le pourcentage d'évaluation positive pour chaque dimension de l'acceptabilité en fonction du groupe et du genre, ainsi que d'éventuelles différences significatives.

	Tous participants	Retraités seuls	Différence ?
Utilité	58,4%	41,9%	OUI
Facilité d'utilisation	53,2%	52,7%	NON
Facilité de compréhension	54,7%	52,7%	NON
Sécurité	40,9%	36,5%	NON
Agréabilité	37,5%	35,1%	NON
Image de soi	32,9%	35,1%	NON

Tableau 19 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage auditif par application de musique spatialisée en fonction du groupe.

	Hommes	Femmes	Différence ?
Utilité	57,1%	59,3%	NON
Facilité d'utilisation	57,6%	50,4%	NON
Facilité de compréhension	57,1%	53,1%	NON
Sécurité	42,4%	39,9%	NON
Agréabilité	32,9%	40,4%	NON
Image de soi	35,5%	31,3%	NON

Tableau 20 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage auditif par application de musique spatialisée en fonction du genre.

Le guidage auditif par application de musique spatialisée et casque à conduction osseuse est perçu comme significativement moins utile par les retraités que par les autres répondants $\chi^2(1,602)=9,6, p<.005$. On n'observe pas de différence significative liée au genre des répondants.

Le tableau 21 présente les thèmes abordés et le nombre de commentaires relatifs à chaque thème pour le guidage auditif à travers une application de musique spatialisée.

	Thème du commentaire	Nombre
<i>Dispositif technique proposé</i> (22 commentaires)	Aspects santé / hygiène	16
	Altération de la musique	6
<i>Modalité sensorielle utilisée</i> (39 commentaires)	Risques pour la sécurité	22
	Caractère intrusif	13
	Manque de précision du guidage	2
	Manque d'intensité du guidage	2
<i>Aides à la navigation en général</i> (9 commentaires)	Risque de dépendance	9

Tableau 21 : récapitulatif des commentaires relatifs à l'aide auditive.

Le plus grand nombre de commentaires s'intéresse à la modalité sensorielle auditive, et à son adaptation pour la navigation des piétons. Son caractère intrusif (qui empêcherait de parler avec d'autres personnes et qui nécessiterait de devoir porter en permanence quelque chose pour entendre) est questionné, tout comme les risques pour la sécurité en environnement urbain. Le manque de précision d'un guidage par son, et le risque de ne pas entendre les indications sont également abordés.

D'autres commentaires s'intéressent plus spécifiquement au casque à conduction osseuse et à l'application proposée. Les risques pour la santé à porter un tel casque (risque de migraines, risque allergique, risque de perdre en capacité d'audition à cause des vibrations du casque), et l'altération de la musique qui engendrerait une perte de plaisir des mélomanes et une possible confusion des sons, sont des thématiques abordées.

Enfin, le risque de dépendance, inhérent à toute aide à la navigation, est également questionné.

3.7 - Acceptabilité du guidage par carte connectée

Le tableau 22 et le tableau 23 présentent le pourcentage d'évaluation positive pour chaque dimension de l'acceptabilité en fonction du groupe et du genre.

	Tous participants	Retraités seuls	Différence ?
Utilité	90,9%	91,9%	NON
Facilité d'utilisation	88,4%	82,4%	NON
Facilité de compréhension	90%	87,8%	NON
Sécurité	77,2%	82,4%	NON
Agréabilité	80,6%	79,7%	NON
Image de soi	58,6%	66,2%	NON

Tableau 22 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage cartographique par carte connectée en fonction du groupe.

	Hommes	Femmes	Différence ?
Utilité	87%	93,3%	NON
Facilité d'utilisation	87,4 %	88,9 %	NON
Facilité de compréhension	90,5%	89,8%	NON
Sécurité	75,3%	78,4%	NON
Agréabilité	78,4%	81,9%	NON
Image de soi	61,9%	56,6%	NON

Tableau 23 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage cartographique par carte connectée en fonction du genre.

On n'observe pas de différence significative entre les retraités et non-retraités dans le cas de cette aide, ni entre les hommes et les femmes. Tous trouvent la carte connectée très utile, facile à utiliser, facile à comprendre, sécurisante et agréable.

Le tableau 24 présente les thèmes abordés et le nombre de commentaires relatifs à chaque thème pour le guidage cartographique à l'aide d'une carte connectée.

	Thème du commentaire	Nombre
<i>Dispositif technique proposé (52 commentaires)</i>	Faible plus-value	17
	Encombrement du dispositif	15
	Durée de la batterie	4
	Prix élevé	4
	Nécessité d'avoir du réseau	4
	Nécessite de savoir lire une carte	4
	Risques liés à la météo	2
	Manque d'écologie	2
<i>Modalité sensorielle utilisée (3 commentaires)</i>	Risques pour la sécurité	3
<i>Aides à la navigation en général (4 commentaires)</i>	Risques liés aux données personnelles	3
	Risque de dépendance	1

Tableau 24 : récapitulatif des commentaires relatifs à l'aide cartographique.

La très grande majorité des commentaires touchent au dispositif proposé. Les participants soulignent la faible plus-value (par rapport à Google Maps ou aux cartes papiers) d'un tel objet et s'inquiètent de l'encombrement qu'il représente ainsi que de l'autonomie de la batterie. Le manque d'écologie de ce dispositif (notamment l'impossibilité de recycler une telle carte), l'impact des conditions météorologique (le risque à utiliser une telle carte sous la pluie), le prix, et la nécessité d'avoir du réseau pour l'utiliser sont des freins également abordés.

Quelques participants s'inquiètent des risques pour la sécurité à utiliser une carte (ne pas regarder là où on marche), et évoquent également la question de la gestion des données personnelles de géolocalisation.

3.8 - Acceptabilité du guidage olfactif par clip nasal

Le tableau 25 et le tableau 26 présentent le pourcentage d'évaluation positive pour chaque dimension de l'acceptabilité en fonction du groupe et du genre.

	Tous participants	Retraités seuls	Différence ?
Utilité	22,3 %	6,8 %	OUI
Facilité d'utilisation	18,4 %	8,1 %	OUI
Facilité de compréhension	22,9 %	10,8 %	OUI
Sécurité	30,1 %	12,2 %	OUI
Agréabilité	11,5 %	1,4 %	OUI
Image de soi	12,5 %	5,4 %	OUI

Tableau 25 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage olfactif par clip nasal en fonction du groupe.

	Hommes	Femmes	Différence ?
Utilité	22,5%	22,1%	NON
Facilité d'utilisation	13,9%	21,3%	OUI
Facilité de compréhension	17,7%	26,1%	
Sécurité	28,1%	31,3%	NON
Agréabilité	13%	10%	NON
Image de soi	13,4%	11,9%	NON

Tableau 26 : pourcentage d'évaluation positive de chaque dimension de l'acceptabilité pour le guidage olfactif par clip nasal en fonction du genre.

Pour toutes les dimensions considérées, les participants retraités évaluent cette aide plus négativement que les autres répondants. Le guidage olfactif par clip nasal est perçu comme significativement moins utile par les retraités que par les autres répondants $\chi^2(1,602)=11,7$, $p<.001$. Il apparaît également moins facile d'utilisation aux retraités $\chi^2(1,602)= 6,0$, $p<.05$, et moins facile à comprendre $\chi^2(1,602)= 7,0$, $p<.01$. Les répondants retraités estiment également que cette aide est moins sécurisante que les autres répondants, $\chi^2(1,602)= 12,9$, $p<.001$, ils la trouvent moins agréable à priori $\chi^2(1,602)= 8,5$, $p<.005$, et moins bonne pour l'image de soi $\chi^2(1,602)= 3,8$, $p<.05$. Concernant les différences liées au genre, les hommes considèrent ce guidage comme moins facile d'utilisation $\chi^2(1,602)= 5,2$, $p<.05$ et moins facile à comprendre $\chi^2(1,602)= 5,6$, $p<.02$ que les femmes.

Le tableau 27 présente les thèmes abordés et le nombre de commentaires relatifs à chaque thème pour le guidage olfactif par clip nasal.

	Thème du commentaire	Nombre
<i>Dispositif technique proposé (19 commentaires)</i>	Caractère intrusif de l'objet	18
	Manque d'écologie	1
<i>Modalité sensorielle utilisée (41 commentaires)</i>	Risque santé	18
	Manque d'intensité du guidage	13
	Manque de précision du guidage	9
	Risques pour la sécurité	1
<i>Aides à la navigation en général (3 commentaires)</i>	Risque de dépendance	2
	Utilisation des données personnelles	1

Tableau 27 : récapitulatif des commentaires relatifs à l'aide olfactive.

La majorité des commentaires touche à la modalité sensorielle olfactive et à sa pertinence pour la navigation des piétons. Les répondants questionnent beaucoup les risques pour la santé (risques chimiques, allergiques) à s'orienter par des odeurs. Qui plus est, ce mode de guidage semble peu précis, à cause du risque d'interaction avec d'autres odeurs dans l'environnement, et du risque de ne pas sentir en cas de rhume.

Les répondants commentent également l'objet proposé, son caractère intrusif (porté dans le nez), et son manque d'écologie (car envisagé comme un bout de plastique à usage unique).

Les questions classiques de dépendance et d'utilisation des données personnelles sont également abordées.

3.9 - Comparaison des guidages entre eux chez les retraités et non retraités : analyses statistiques

Le tableau 28 ci-après reprend les pourcentages calculés pour chaque dimension de l'acceptabilité et pour chaque guidage chez les retraités et non retraités. Compte tenu des faibles différences liées au genre dans l'évaluation de l'acceptabilité des guidages, nous ne présenterons pas ici de comparaison systématique des guidages fondée sur le genre.

La carte est le guidage le plus apprécié par les participants, qu'ils soient retraités ou non, hommes ou femmes, tandis que le guidage olfactif est le moins apprécié, et il l'est d'autant moins que les participants sont retraités (différence significative pour chaque dimension).

	VISUEL	TACTILE	AUDITIF	CARTE	OLFACTIF
Utilité	59,3 39,2	46,2 35,1	58,4 41,9	90,9 91,9	22,3 6,8
Facilité d'utilisation	47,3 36,5	55,1 52,7	53,2 52,7	88,4 82,4	18,4 8,1
Facilité de compréhension	78,7 64,9	54,2 54,1	54,7 52,7	90 87,8	22,9 10,8
Sécurité	53,8 44,6	52 47,3	40,9 36,5	77,2 82,4	30,1 12,2
Agréabilité	23,1 16,2	36 52,7	37,5 35,1	80,6 79,7	11,5 1,4
Image de soi	34,1 35,1	27,7 41,9	32,9 35,1	58,6 66,2	12,5 5,4

Tableau 28 : récapitulatif des pourcentages évaluations positives pour chaque aide et chaque dimension de l'acceptabilité dans l'étude 4 par questionnaire. En gras, les scores tous participants confondus. En dessous, les scores pour les seuls retraités. En fond bleu, les dimensions pour lesquelles il existe une différence significative entre les retraités et les autres répondants.

Utilité :

On observe que les guidages sont généralement perçus comme moins utiles par les retraités que par les autres répondants. Des analyses Chi² ont été menées afin de comparer chaque guidage à la moyenne des autres guidages.

En prenant en compte l'ensemble des répondants, le guidage visuel par lentille connectée est perçu comme plus utile que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,3010)=4,6$ $p<.05$, tout comme la carte connectée $\chi^2(1,3010)=382,7$ $p<.001$. En revanche, le guidage tactile par vêtements est perçu comme moins utile que la moyenne des guidages $\chi^2(1,3010)=26,0$ $p<.001$, tout comme le guidage olfactif par clip nasal $\chi^2(1,3010)=334,8$ $p<.001$.

Parmi les retraités, le guidage par carte connecté est perçu comme plus utile que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,370) = 90,3$ $p<.001$. En revanche, le guidage olfactif par clip nasal est perçu comme moins utile que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,370)=49,5$ $p<.001$ (voir figure 84).

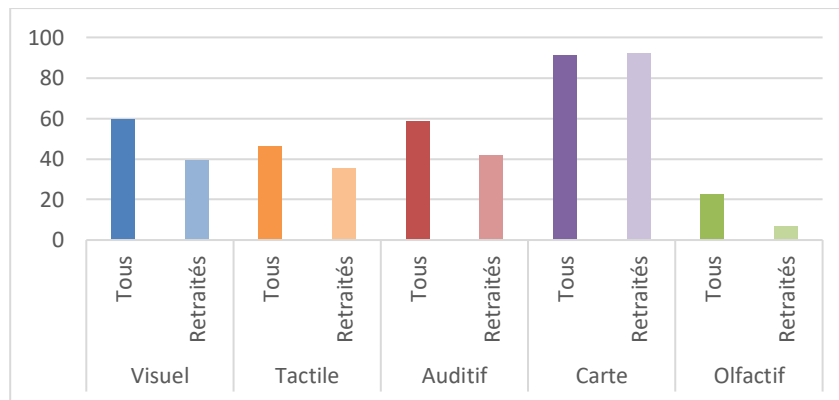


Figure 84 : Pourcentages d'évaluation positive pour la dimension « utilité » de l'acceptabilité des différentes aides à la navigation futuristes testées dans l'étude 4.

Facilité d'utilisation :

Une analyse Chi² de Pearson montre que, parmi l'ensemble des participants, la carte connectée est perçue comme plus facile d'utilisation que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,3010)=382,9$ $p<.001$. En revanche, le guidage visuel par lentille est perçu comme moins facile d'utilisation que la moyenne $\chi^2(1,3010)=7,7$ $p<.01$, tout comme le guidage olfactif par clip nasal $\chi^2(1,3010)=342,3$ $p<.001$.

Parmi les seuls retraités, le guidage par carte connectée est perçu comme plus facile d'utilisation que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,370)=43$ $p<.001$. En revanche, le guidage olfactif par clip nasal est perçu comme moins facile d'utilisation que la moyenne des guidages $\chi^2(1,370)=49,8$ $p<.001$ (voir figure 85).

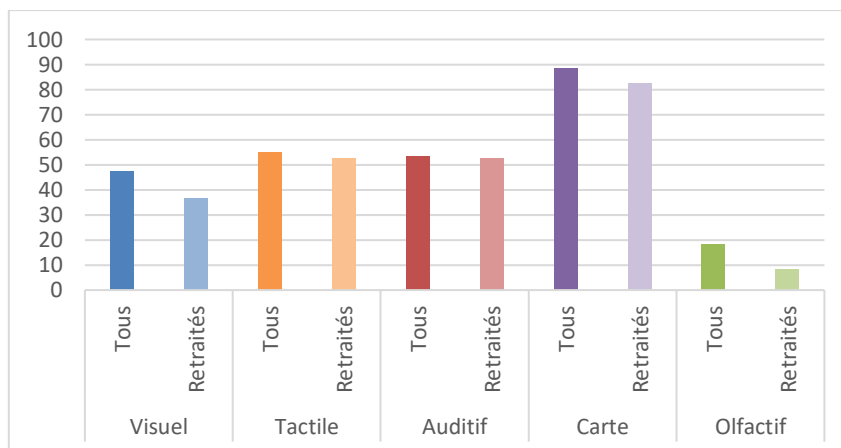


Figure 85 : Pourcentages d'évaluation positive pour la dimension « facilité d'utilisation » de l'acceptabilité des différentes aides à la navigation futuristes testées dans l'étude 4.

Facilité de compréhension :

Parmi l'ensemble des répondants, la carte connectée est perçue comme plus facile à comprendre que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,3010)=275,2$ $p<.001$, tout comme le guidage visuel par lentille $\chi^2(1,3010)=110,2$ $p<.001$. En revanche, le guidage tactile par vêtements vibrants $\chi^2(1,3010)=11,4$ $p<.001$, le guidage auditif par casque à conduction osseuse $\chi^2(1,3010)=8,4$ $p<.01$, et le guidage olfactif par clip nasal $\chi^2(1,3010)=433$ $p<.001$ apparaissent moins faciles à comprendre que la moyenne des autres guidages.

Parmi les retraités, le guidage visuel par lentille semble plus facile à comprendre que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,370)=4,7$ $p<.05$, tout comme la carte connectée $\chi^2(1,370)=36,7$ $p<.001$. En revanche, le guidage olfactif par clip nasal est perçu comme moins facile à comprendre que la moyenne $\chi^2(1,370)=70,3$ $p<.001$ (voir figure 86).

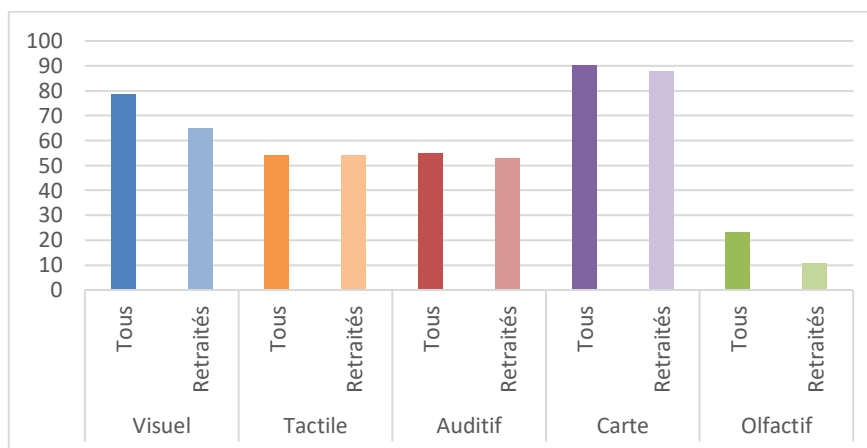


Figure 86 : Pourcentages d'évaluation positive pour la dimension « facilité de compréhension » de l'acceptabilité des différentes aides à la navigation futuristes testées dans l'étude 4.

Sécurité :

Parmi l'ensemble des répondants, la carte connectée est perçue comme plus sécurisante que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,3010)=206,3$ $p<.001$. Les guidages auditif par casque à conduction osseuse $\chi^2(1,3010)=28,9$ $p<.001$, et olfactif par clip nasal $\chi^2(1,3010)=126,8$ $p<.001$ sont perçus en revanche comme moins sécurisant que la moyenne.

Parmi les seuls retraités, le guidage par carte connectée est perçu comme plus sécurisant que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,370)=49,9$ $p<.001$, et le guidage olfactif par clip nasal est perçu comme moins sécurisant que la moyenne $\chi^2(1,370)=37,3$ $p<.001$ (voir figure 87).

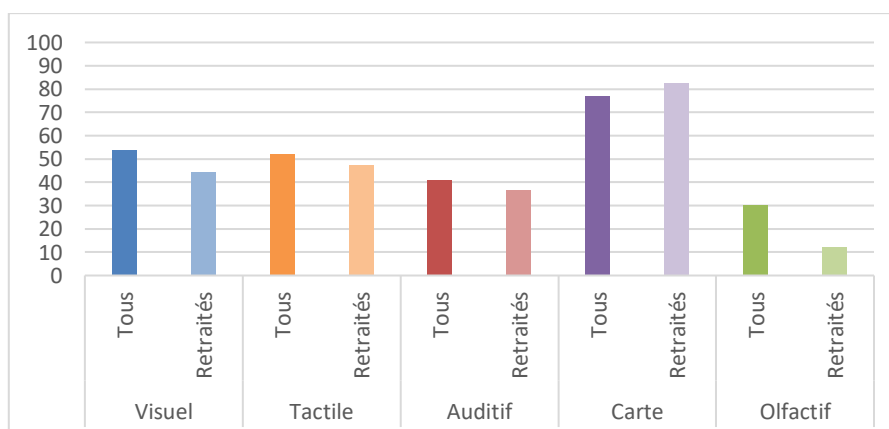


Figure 87 : Pourcentages d'évaluation positive pour la dimension « sécurité » de l'acceptabilité des différentes aides à la navigation futuristes testées dans l'étude 4.

Agréabilité :

Parmi l'ensemble des répondants, la carte connectée est perçue comme plus agréable que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,3010)=579,6$ $p<.001$. En revanche, le guidage visuel par lentille est perçu comme moins agréable que la moyenne $\chi^2(1,3010)=68$ $p<.001$, tout comme le guidage olfactif par clip nasal $\chi^2(1,3010)=213,1$ $p<.001$.

Parmi les retraités, le guidage tactile par vêtements vibrants est perçu comme plus agréable que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,370)=8$ $p<.01$, tout comme la carte connectée $\chi^2(1,370)=64,5$ $p<.001$. En revanche, le guidage visuel par lentille est perçu comme moins agréable que la moyenne $\chi^2(1,370)=16,9$ $p<.001$, tout comme le guidage olfactif par clip nasal $\chi^2(1,370)=41,3$ $p<.001$ (voir figure 88).

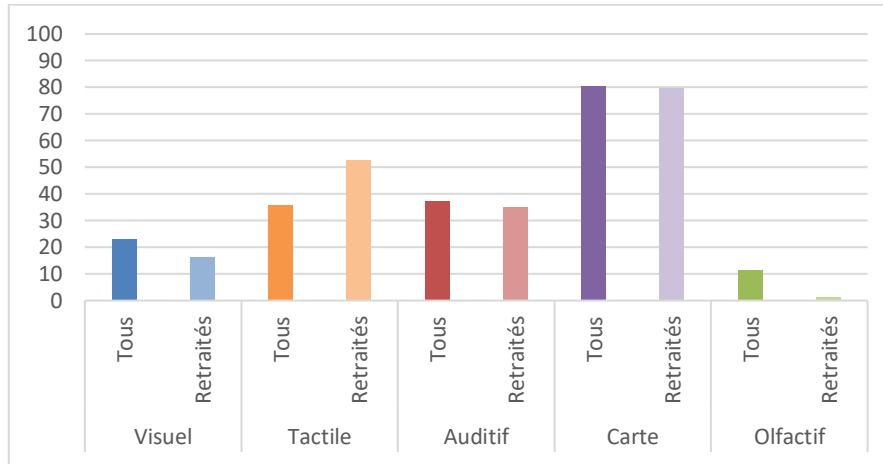


Figure 88 : Pourcentages d'évaluation positive pour la dimension « agréabilité » de l'acceptabilité des différentes aides à la navigation futuristes testées dans l'étude 4.

Image de soi :

Cette question semble assez mal comprise par les participants, plusieurs d'entre eux ayant laissé pour commentaire qu'ils ne voyaient pas le lien entre le guidage proposé et l'image de soi, ou encore qu'ils envisageaient mal qu'un guidage puisse donner une bonne image de soi dans la mesure où il est synonyme de dépendance.

Parmi l'ensemble des répondants, la carte connectée est perçue comme meilleure pour l'image de soi que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,3010)=215,7$ $p<.001$. En revanche, le guidage tactile par vêtements vibrants est perçu comme moins bon pour l'image de soi que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,3010)=9,5$ $p<.01$, tout comme le guidage olfactif par clip nasal $\chi^2(1,3010)=143,3$ $p<.001$.

Parmi les seuls retraités, le guidage par carte connectée est perçu comme meilleur pour l'image de soi que la moyenne des autres guidages $\chi^2(1,370)=29,6$ $p<.001$. En revanche, le guidage olfactif par clip nasal est perçu comme moins bon pour l'image de soi que la moyenne des guidages $\chi^2(1,370)=37,7$ $p<.001$ (voir figure 89).

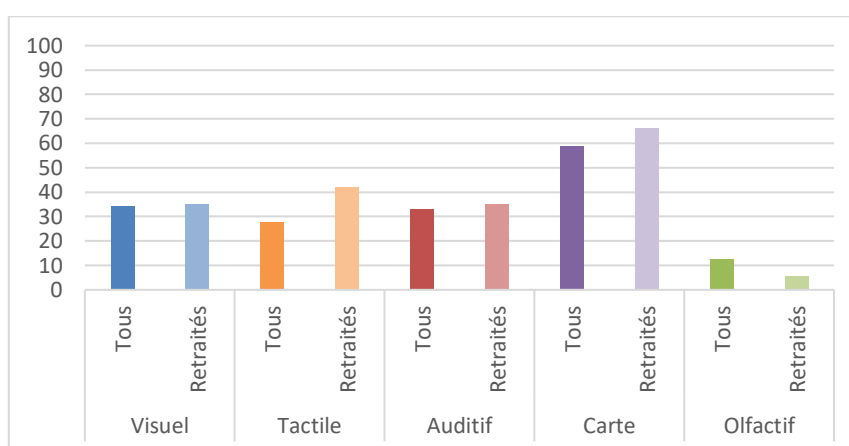


Figure 89 : Pourcentages d'évaluation positive pour la dimension « image de soi » de l'acceptabilité des différentes aides à la navigation futuristes testées dans l'étude 4.

3.10 – Comparaison des guidages entre eux : commentaires

Plusieurs grands thèmes parcourent les commentaires, quel que soit le guidage considéré : les questions relatives aux risques pour la santé, pour la sécurité, le caractère intrusif, la dépendance à la technologie ou encore la difficulté à être guidé avec précision. A titre illustratif, la figure 90 présente le nombre de commentaires relatifs à chacune des dimensions les plus courantes en fonction du guidage proposé.

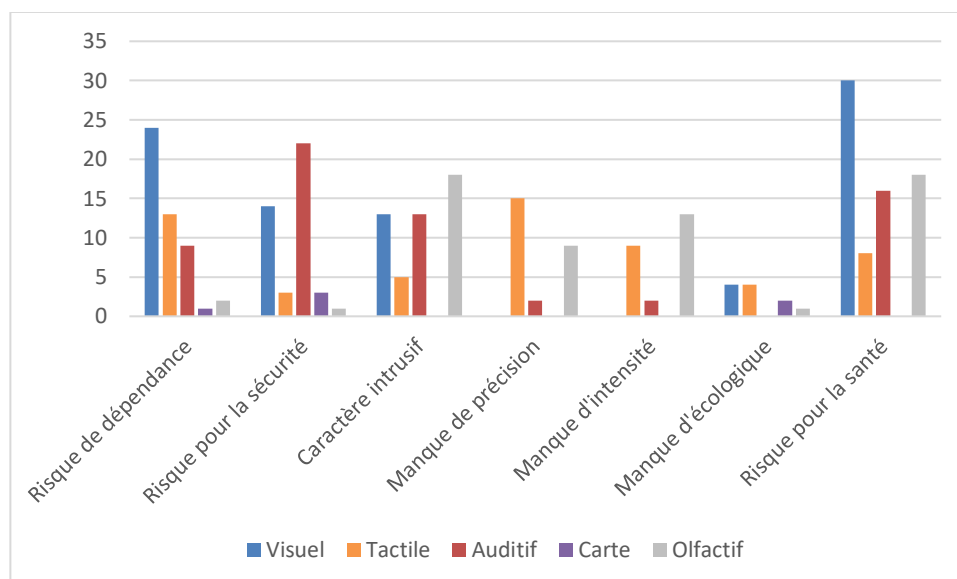


Figure 90 : nombre de commentaires pour chacune des dimensions les plus communes, en fonction du guidage.

Le tableau 29 récapitule, pour chaque guidage, le pourcentage de commentaires portant sur :

- le dispositif de guidage proposé (l'objet utilisé)
- la modalité sensorielle utilisée (proposer des informations visuelles, sonores, etc.)
- le fait d'utiliser une aide technique en général (en devenir dépendant, ne pas savoir quelle utilisation est faire des données personnelles)

	Dispositif	Modalité	Aide en général
Visuel	56,2	21,1	22,7
Tactile	33,3	50	16,7
Auditif	31,4	55,7	12,9
Carte	88,1	5,1	6,8
Olfactif	30,2	65,1	4,7

Tableau 29 : pourcentages de commentaires en fonction du thème abordé et de l'aide considérée parmi les différents dispositifs d'aide à la navigation futuristes testés dans l'étude 4.

Il est intéressant de noter que, pour les « modalités » les plus habituelles (visuelle et cartographique), les commentaires sont plutôt orientés vers le dispositif en lui-même. En revanche, dans le cas des modalités d'interaction moins habituelles, c'est davantage la modalité d'interaction en elle-même qui pose question (voir figure 91).

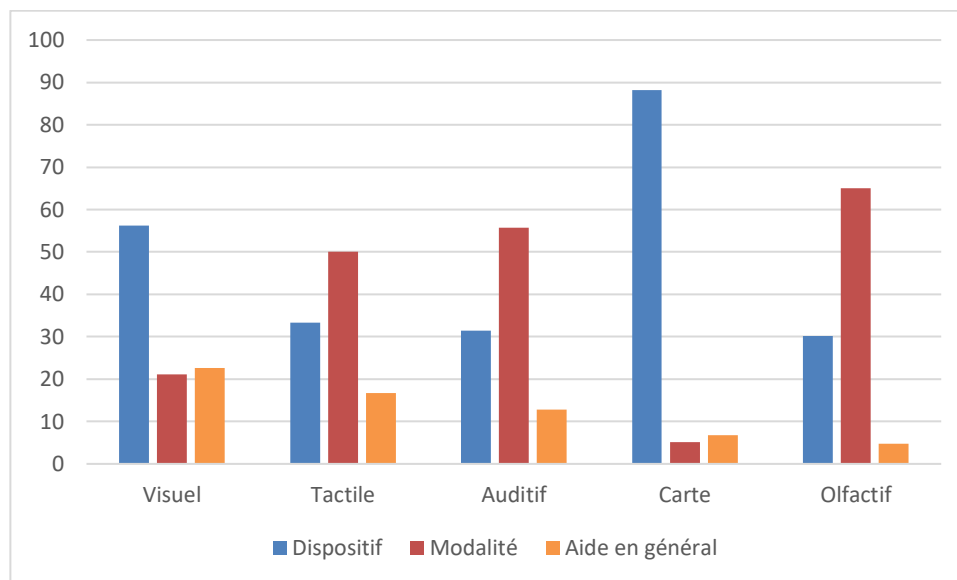


Figure 91 : Pourcentages de commentaires relatifs à chacun des 3 thèmes relevés pour chacun des différents dispositifs d'aide à la navigation futuristes testés dans l'étude 4.

4- Discussion

Les femmes sont plus nombreuses que les hommes à envisager marcher davantage à l'avenir, et à recourir davantage aux aides à la navigation pour leur mobilité piétonne. Cette différence liée au genre peut être rapprochée des résultats de l'étude 1, la pratique de la marche étant plus souvent mobilisée au quotidien par les femmes que par les hommes, et les femmes se rendant à priori plus souvent dans des endroits inconnus à pied par contrainte (seules, pour un rendez-vous) que les hommes (qui y vont davantage par loisirs).

L'agrément des parcours, la sécurité des trajets piétons, la facilité à trouver son chemin, et l'interconnexion avec d'autres moyens de transport sont les trois éléments les plus susceptibles de conduire à davantage de mobilité piétonne, autant chez les répondants retraités que non-retraités, et autant chez les hommes que chez les femmes. On retrouve, par ailleurs, une forte prégnance des thématiques de sécurité et d'agrément des parcours dans les leviers à utiliser davantage d'aides technologiques pour la navigation piétonne. La simplicité des aides technologiques est, également, un levier remarquable à la fois chez les retraités et chez les non-retraités. Bien que l'adéquation pour un même répondant entre les leviers à davantage de mobilité piétonne et les leviers à plus d'utilisation des aides technologiques soit relativement faible, 50% des personnes qui estiment que l'agrément des trajets ou leur sécurité sont prioritaires pour plus de mobilité piétonne estiment aussi que ces éléments sont des leviers prioritaires à davantage d'utilisation des aides technologiques.

Proposer des parcours agréables et sécurisés semble donc être un enjeu majeur du futur de la mobilité piétonne, et il semblerait que les aides technologiques puissent contribuer à accompagner cette transformation. Si aujourd'hui la question de la sécurisation des trajets piétons est souvent pensée en termes d'aménagements (îlots centraux, zone à vitesse réduite, rue piétonnisée, largeur des trottoirs, etc., voir ONU, 2013), il est possible que les aides technologiques puissent être un complément ou une alternative à certains aménagements, notamment par l'interconnexion grandissante des usagers de la route avec le mobilier urbain et les véhicules circulant sur la chaussée (Coeugnet, Dommes, et al., 2017). Par ailleurs, si la question de l'agrément des trajets émerge aujourd'hui dans la planification urbaine (à travers la prise en compte des aménités urbaines et environnementales ; voir CEREMA, 2016), l'apport potentiel des technologies n'est que peu développé pour l'heure.

On remarque, aussi, une assez forte proximité entre les attentes des personnes retraitées et celles des autres répondants, et entre les attentes des hommes et celles des femmes. Des aides prenant en compte les attentes et besoins des personnes les plus âgées sont donc susceptibles de porter un bénéfice pour l'ensemble de la population, ce qui est encourageant et ouvre des perspectives importantes en termes de conception universelle (Lusher et Mace, 1989) des aides à la navigation.

Cependant, et globalement, les personnes retraitées ont tendance à trouver les aides à la navigation futuristes moins utiles que les autres répondants. Ce résultat peut être éclairé par les résultats de l'étude 1 (chapitre 7), qui montraient que les personnes retraitées utilisaient aujourd'hui moins d'aides technologiques à la navigation que les autres catégories de population (mais davantage de cartes). Si les modèles d'acceptabilité traditionnels font le lien entre intention d'usage et utilité perçue (Nielsen, 1993 ; Venkatesh et Bala, 2008), la première étant orientée par la seconde, l'usage actuel d'un objet ou d'un service peut également orienter son utilité perçue (voir par exemple Poyet, 2015).

Parmi les aides futuristes proposées aux participants, la carte connectée est celle qui bénéficie des scores les plus élevés pour chaque dimension de l'acceptabilité (utilité, facilité d'utilisation, facilité de compréhension, sécurité, agrément et image de soi), et ce, chez les retraités comme chez les autres participants, et chez les hommes comme chez les femmes. On peut supposer que les personnes âgées, habituées aux cartes papier, y trouvent une aide familière, et que les répondants plus jeunes, habitués aux téléphones intelligents et aux applications de

navigation, lui trouve également une certaine familiarité. Bien que les femmes semblent moins enclines à utiliser des informations cartographiques pour se guider que les hommes, on n'observe aucune différence l'idée au genre dans l'acceptabilité de la carte connectée. L'aide visuelle par lentille connectée est également jugée plus positivement que la moyenne en termes d'utilité et de facilité de compréhension. Le guidage olfactif par clip nasal, en revanche, fait l'unanimité contre lui, et le guidage tactile par vêtements vibrants apparaît comme moins utile et moins compréhensible que la moyenne des autres guidages.

En analysant les commentaires et leur lien avec les informations susceptibles d'être utilisées par les participants pour naviguer, on observe que les commentaires relatifs aux dispositifs innovants visuel et cartographique touchent le plus souvent à l'objet en lui-même (sa praticité, son encombrement, sa résistance, etc.), et que ces informations sont les plus souvent plébiscitées par les participants. En revanche, pour les modalités moins envisagées pour le guidage piéton par les participants (auditive, tactile et olfactive), les commentaires sont davantage tournés vers la modalité sensorielle utilisée (la sécurité, le risque de ne pas percevoir, les risques pour la santé). Il semblerait donc que la projection à l'usage soit plus difficile dans le cas de modalités sensorielles inhabituelles pour le guidage (la plus habituelle étant celle qui est la mieux notée (i.e. la carte), et la plus « originale » (i.e. l'aide olfactive) étant celle qui est le moins appréciée). S'il est relativement habituel d'observer que la familiarité d'un objet a tendance à soutenir son adoption (Hamner et Qazi, 2008), la question de l'acceptabilité d'objets mobilisant des modalités sensorielles inhabituelles ne nous semble que peu adressée, alors qu'elle est centrale dans une perspective de conception innovante.

Assez paradoxalement, alors que la sécurité et le fait de pouvoir profiter du paysage semblent être les préoccupations principales à plus de mobilité piétonne assistée d'aides technologiques, c'est la carte qui est évaluée le plus positivement par les participants. Elle est pourtant la seule aide proposée qui nécessite de déporter le regard sur le dispositif, entraînant de fait moins d'attention à l'environnement urbain et au trafic. Ceci peut apparaître comme contradictoire, entre les attentes des participants d'une part, et l'acceptabilité des aides technologiques d'autre part. Cependant, l'analyse des commentaires permet de mettre en valeur que d'autres dimensions que celles questionnées traditionnellement par les modèles d'acceptabilité, et par ce questionnaire, entrent en jeu.

Ainsi, les risques pour la santé, le risque de dépendance vis-à-vis des technologies ou encore le caractère intrusif des aides portatives sont très présents à l'esprit des répondants alors que ces dimensions ne sont pas mises en avant dans les modèles classiques de l'acceptabilité et de l'expérience utilisateur (voir chapitre 4). On peut pourtant légitimement penser, qu'au-delà de l'effet de familiarité dont bénéficie la carte, le fait qu'elle ne soit pas portée directement sur le corps et le fait qu'elle nécessite un engagement plus actif de l'utilisateur pour trouver son chemin soient des éléments qui plaident en sa faveur pour les participants.

Synthèse

- Les femmes sont plus nombreuses à envisager marcher davantage à l'avenir. Elles sont également plus nombreuses à envisager utiliser des aides à la navigation pour leur déplacements piétons.
- L'agréabilité et la sécurité des parcours piétons semblent être des éléments capitaux pour davantage de mobilité piétonne guidée par des aides technologiques à l'avenir.
- On observe peu de différences entre les attentes des retraités et les attentes des autres répondants, et entre les attentes des hommes et celles des femmes, concernant la mobilité de demain.
- Les aides technologiques qui font appel à des informations de type carte et guidage visuel (ex. flèches) sont les plus appréciées par les participants, ce qui peut relever d'un effet de familiarité et d'une projection à l'usage facilitée.
- Les aides technologiques qui font appel à des modalités sensorielles moins habituelles du type guidage auditif, tactile et olfactif sont les moins appréciées par les participants, et soulèvent des questions quant aux risques pour la santé et à leur caractère intrusif.
- Bien que la préférence des participants pour l'aide cartographique puisse sembler inadéquate avec leurs attentes pour le futur (sécurité et attention à l'environnement), ce sont d'autres enjeux qui semblent motiver leur choix (mise à distance physique du dispositif et autonomie dans l'usage de l'aide).

DISCUSSION GENERALE

CHAPITRE 11- Discussion des apports de la thèse

Ce chapitre est consacré aux apports de nos différentes études. Nous présentons les apports principaux de la thèse sur le plan empirique, mis en regard des travaux existants dans la littérature. Nous discutons également des différentes méthodes adoptées dans cette thèse et des bénéfices à leur utilisation conjointe.

1- Apports relatifs aux connaissances sur le vieillissement

1.1- Connaissances sur les habitudes de mobilité des personnes âgées

Nous avons pu mettre en valeur, au cours des différentes études, que les habitudes des personnes retraitées et âgées en termes de mobilité diffèrent de celles des personnes plus jeunes et toujours en activité. Ainsi, les personnes âgées se déplacent moins que le reste de la population, et dépendent davantage de la mobilité piétonne pour leurs déplacements quotidiens. Ces résultats vont dans le sens d'études menées précédemment en France, telles l'Enquête Nationale Transports et Déplacements (CGDD, 2010), mais aussi dans d'autres pays occidentaux comme l'Angleterre ou les Etats-Unis (Dunbar et al., 2004).

Nos travaux permettent, toutefois, d'apporter un complément d'informations quant aux motifs et motivations des déplacements piétons, en particulier chez les retraités âgés. Au contraire des personnes en activité, pour qui les déplacements piétons sont un moyen de gagner du temps et de se déplacer efficacement en environnement urbain dense (aller au travail, faire des correspondances avec des moyens de transports), la mobilité piétonne des personnes âgées semble davantage orientée vers des activités à plus faible pression temporelle, telles que faire les courses ou pratiquer des activités de loisirs (se promener, faire du sport) dans des espaces géographiques de densité variable. Ces résultats sont corroborés par les travaux de l'INSEP (2011) : la marche de loisir est pratiquée par 62% des français de 50 ans et plus, contre 16% pour la marche utilitaire, ce qui fait de la marche une activité physique de premier plan chez les personnes vieillissantes. Ceci s'expliquerait par le désir de faire du sport et de se maintenir en forme avec l'avancée en âge, tout en craignant les blessures qui pourraient être causées par une activité trop intense (Burlot et Lefèvre, 2009).

On peut faire ici le parallèle avec un autre mode de déplacement doux : le vélo. Si celui-ci a gagné les centres-villes depuis le début des années 2000, sa pratique reste majoritairement utilitaire (48% des déplacements à vélo sont liés aux études ou au travail en région parisienne en 2010, contre 22% pour les loisirs ; IAU, 2014). La tendance s'inverse toutefois chez les plus de 50 ans : 19% pratiquent le vélo de loisirs, contre 4% le vélo utilitaire (INSEP, 2011). Le vélo demeure toutefois une activité a priori peu sécurisante (Martinez-Tabares, 2017) ce qui pourrait expliquer qu'il soit pratiqué dans des proportions inférieures à la marche.

Nos travaux permettent également de souligner que les personnes âgées vont moins à pied dans des environnements inconnus que les personnes plus jeunes, et que, quand elles le font, il s'agit souvent d'activités de loisirs (tourisme ou randonnée) accompagnées d'une ou plusieurs personnes (ce qui est vrai également chez les actifs, mais dans de moindres proportions). Si les personnes âgées se déplacent peu dans des environnements inconnus, c'est peut-être qu'elles compensent des difficultés de navigation dont elles seraient au moins partiellement conscientes. On observe par exemple de telles stratégies d'évitement chez les conducteurs âgés, qui compensent leurs difficultés de conduite en évitant de prendre la route la nuit, sous la pluie, ou dans les environnements complexes et inconnus (Charlton et al., 2006).

Nous avons mis en valeur aussi que les personnes âgées utilisent moins d'aides à la navigation que le reste de la population, ceci pouvant être mis en relation avec le fait qu'elles se rendent moins souvent dans des environnements inconnus. Si les aides technologiques semblent être les plus courantes aujourd'hui, elles sont utilisées davantage par les personnes actives ; au contraire, les personnes âgées utilisent encore beaucoup les cartes papier, quand bien même elles disposent d'un téléphone intelligent.

Dans le cadre de nos études, il est difficile d'établir une relation de causalité claire entre le faible usage des aides à la navigation (technologiques en particulier) et le nombre réduit de déplacements piétons en environnement inconnu chez les personnes âgées. Ces résultats nous confortent toutefois dans l'intérêt d'investiguer les potentialités des aides technologiques à la navigation pour ce public. En effet, il peut être entendu que les aides technologiques actuelles sont mal adaptées aux attentes, aux besoins et aux logiques d'usages des personnes âgées (Caradec, 2001), qui leur préfèrent généralement les cartes papier, plus familières (Wither et al., 2013). Compte tenu des difficultés liées à l'usage des cartes par les personnes âgées, fournir une aide mieux adaptée pourrait répondre à un besoin de mobilité, voire le stimuler, dans un contexte où les personnes âgées tendent à se déplacer davantage qu'auparavant (CGDD, 2010). On peut établir ici un parallèle avec une autre innovation de rupture largement adoptée par les plus âgés : la tablette tactile. Si le besoin de connexion ne semblait pas prégnant encore en 2011, 44% des personnes de plus de 65 ans percevant les ordinateurs comme des objets complexes, et 30% n'étant pas convaincus que les services internet pouvaient répondre à leurs besoins quotidiens (DUI, 2011), l'interaction simplifiée par les tablettes tactiles a changé la donne. Ainsi, en 2015, 24% des internautes français étaient âgés de 65 ans et plus (KORIAN, 2015), avec un taux d'équipement en tablette ayant bondit de 15% en un an pour la même tranche d'âge (CREDOC, 2015).

Contrairement à nos attentes, dans la population âgée étudiée dans cette thèse, le besoin et/ou le souhait d'aides à la navigation est au moins autant orienté vers les loisirs (promenade, sport) que vers un utilitarisme quotidien (faire les courses, faire la correspondance avec les autres modes de transport). Ceci peut s'expliquer par le fait que les participants âgés de ces études sont tous relativement autonomes, urbains et en très bonne santé (voir chapitre 12 consacré aux limites). La vision utilitaire des aides à la navigation transparait pourtant dans les entretiens, mais pour des populations en situation de handicap physique ou cognitif. Les participants soulignent ainsi le bénéfice de telles aides au quotidien pour les personnes sourdes ou malvoyantes, ou encore pour les personnes très âgées, souffrant de désorientation.

Ces résultats sont appuyés par les recommandations et remarques des participants âgés lors des études en environnements virtuel et naturel : l'ajout de points d'intérêt, de détours touristiques, le fait que l'aide soit « main-libre », l'utilisation de messages non-verbaux (qui ne nécessitent pas de parler la langue locale pour les étrangers) ou encore le fait qu'il n'y ait pas besoin de lire une carte et le nom des rues avec les aides technologiques à la navigation (par exemple quand on se trouve dans une zone géographique dont l'alphabet n'est pas latin) sont autant d'idées qui vont dans le sens d'une pratique touristique ou de loisirs de la mobilité piétonne, associée à l'idée d'acquérir des connaissances tout au long de sa vie.

1.2- Connaissances sur les difficultés de navigation des âgés

Les résultats de nos travaux permettent également de mettre en valeur des difficultés globales avec l'âge à naviguer dans un environnement inconnu. Les participants retraités âgés de plus de 70 ans ont ainsi, par rapport aux jeunes retraités et aux actifs de plus de 50 ans, plus de difficultés à naviguer dans un environnement virtuel inconnu, quel que soit le mode de guidage adopté (comparaisons inter-âges menées au cours de l'étude 2 sur simulateur).

Ces résultats sont totalement en lien avec d'autres études publiées dans la littérature (pour une synthèse, voir Moffat, 2009) que ce soit en environnement naturel (Gazova et al., 2013) ou en environnement virtuel (Moffat et Resnick, 2002). Les difficultés de navigation spatiale avec l'âge semblent particulièrement liées à l'utilisation de stratégies et d'informations spatiales allocentrées (Moffat, 2009), et notre étude en environnement virtuel abonde dans le sens de cette littérature, puisqu'on observe que les retraités âgés de plus de 70 ans ont davantage de difficultés avec la carte papier qu'avec les informations de guidage visuelles (flèches dans le champ de vision) et auditives (sons pseudo-spatialisés) égocentrées.

Si elles sont moins flagrantes car aucune comparaison inter-âges n'est menée, ces difficultés de navigation apparaissent aussi lors de l'étude 3 en environnement naturel, au cours de laquelle les participants consacrent beaucoup plus de temps à préparer et à mettre en œuvre leur activité de navigation avec leur aide habituelle de type carte papier qu'avec les aides technologiques proposées, pourtant moins familières. Si les personnes âgées prennent du temps pour se préparer avec leur carte, elles ne sont pour autant pas efficaces à 100%, et pas plus efficaces qu'avec les guidages auditif et vibro-visuel qui leurs étaient proposés.

Les aides technologiques égocentrées testées dans cette thèse (études 2 et 3) ont permis de meilleures performances de navigation que les cartes (papier ou numérique) en termes de temps de parcours et/ou d'orientations correctes. Ainsi, pour l'étude 2, les performances de navigation étaient aussi élevées chez les retraités âgés que chez les actifs de plus de 50 ans avec les guidages visuel et auditif, ceci suggérant que les informations de guidage visuelles et auditives utilisées dans le cadre de cette étude pourraient aider à compenser les effets délétères de l'âge sur les performances de navigation observées avec d'autres modalités de guidage telles qu'une carte papier. Il s'agit d'un résultat très positif et encourageant, dans la mesure où la perte d'autonomie liée à l'âge dans le cadre de la navigation en environnement inconnu pourrait être compensée par des aides technologiques à la navigation fournissant ces types d'instructions visuelles et/ou auditives de guidage. On observe aussi un résultat positif dans l'étude 3, avec 100% d'orientations correctes en carrefours complexes avec l'aide vibro-visuelle (bien que la différence avec les autres guidages ne soit pas significative). Les aides technologiques que nous avons développées et testées permettent donc le plus souvent de lever des difficultés associées à l'usage d'une carte pour se diriger avec l'âge.

Parmi ces aides, il faut retenir que celles proposant des informations égocentrées visuelles (flèches sur montre connectée pour l'étude en environnement naturel ou incrustées dans le champ de vision dans le cas de l'étude en environnement virtuel) et auditives (sons spatialisés) sont particulièrement efficaces pour aider à compenser les effets délétères de l'âge sur la navigation spatiale, ce qui est un résultat important au regard de notre problématique, alors que les résultats sont moins probants pour le guidage haptique (par bracelet vibrant dans l'étude sur simulateur). A relever également qu'il existe, dans la littérature, d'autres moyens de compenser les effets de l'âge sur la cognition spatiale, tels que les entraînements cognitifs (Hötting et al., 2013) ou encore les entraînements physiques (Rogge et al., 2017). Si ces méthodes d'entraînement ont des effets assez pérennes dans le temps (Willis et al., 2006), elles ne portent leur fruit que dans un temps beaucoup plus long et sont difficiles à mettre en œuvre, de sorte qu'il est difficilement envisageable d'en faire profiter tout un chacun. Il pourrait être envisagé aussi d'associer ces méthodes d'entraînement, qui ont des répercussions positives sur beaucoup

d'activités quotidiennes des personnes âgées au-delà de la cognition spatiale, avec l'utilisation d'aides à la navigation adaptées, plus spécifiques aux déclin de la cognition spatiale et plus directement utilisables par tous.

Enfin, si nos travaux soulignent les difficultés des personnes âgées en général face aux tâches de navigation, ils contribuent également à mettre en lumière la grande variabilité du groupe des *personnes âgées*, quand bien même les participants de nos études sont assez homogènes sur le plan socio-démographique (voir chapitre 12 consacré aux limites). On observe en effet que certains participants présentent de grandes difficultés de navigation (en particulier avec les cartes papier) tandis que d'autres n'en manifestent aucune, indépendamment de leur âge ou de leur genre, ce qui se traduit par des écarts-types importants dans nos analyses statistiques.

Les *personnes âgées* ne semblent en aucun cas constituer un groupe homogène (Caradec, 2008) et les déclin perceptifs et cognitifs impactant la navigation ne touchent pas toutes les personnes de la même manière. Cette remarque nous semble importante dans une perspective de conception d'aides à la navigation adaptées au plus grand nombre (voir chapitre 12 relatifs aux recommandations).

2- Apports relatifs aux différences inter-genres

La question du genre demeure sujette à débat dans la littérature dédiée à la mobilité piétonne, tant en ce qui concerne la cognition spatiale que les pratiques de mobilité. Ainsi, si de clairs effets du genre sont établis dans le cadre de tâches papier-crayon, telles que les tests de rotation mentale (Levine et al., 2016 pour une revue), les conséquences de ces différences cognitives sur la recherche d'itinéraire et la navigation spatiale ne sont pas toujours claires, les performances des femmes n'étant pas nécessairement différentes de celles des hommes quand il s'agit de trouver son chemin en environnement réel (Malinowski, 2001 ; De Goede, 2009).

Pareillement, si certaines études mettent en valeur des différences de pratiques liées au genre, comme par exemple pour la prise de risques lors des traversées de rue (Geraghty et al., 2016; Holland et Hill, 2010), ces conclusions ne sont pas partagées par tous les auteurs.

Dans cette thèse, nous avons cherché à prendre en compte les éventuelles différences liées au genre (excepté dans l'étude 3, compte tenu du faible nombre de participants) tant dans les aspects de navigation que dans les pratiques et attentes des répondants. Nous avons ainsi montré que les femmes sont a priori plus souvent dépendantes de la marche que les hommes et qu'elles se rendent plus souvent dans des lieux inconnus (pour des rendez-vous et plus souvent seules que les hommes, étude 1). Elles sont également moins confiantes dans leurs capacités d'orientation que les hommes, et ont des scores de rotation mentale plus faibles (étude 2). Les femmes sont également plus enclines que les hommes à marcher davantage et à utiliser davantage d'aides à la navigation pour leurs déplacements (étude 4). On n'observe toutefois pas de différence nette ni dans les performances des deux sexes (étude 2), ni dans l'expérience utilisateur avec les différents guidages proposés au cours de cette thèse, ni dans l'acceptabilité à priori de guidages futuristes (étude 4), ce qui semble limiter la portée des différences de genre observées.

Si des éléments socio-démographiques tels que la perte du conjoint conducteur, la non-possession du permis de conduire chez les femmes les plus âgées (Demoli, 2014), la plus longue espérance de vie des femmes (ONU, 2013) ou l'intégration de stéréotypes de genre peuvent expliquer les différences observées dans nos études, il s'agit principalement de différences liées aux pratiques. Il n'apparaît pas dans nos travaux d'effets majeurs du genre sur les plans perceptifs, cognitifs et émotionnels dans le cas de l'utilisation d'instructions de guidages pas-à-pas égocentrées. Il pourrait toutefois être intéressant d'intégrer ces différences de pratique dans la conception d'aides (voir chapitre suivant).

3- Apports relatifs aux messages de guidage pas-à-pas

Les modalités sensorielles utilisées pour communiquer l'information de guidage à travers une aide technologique à la navigation étaient au cœur de la problématique de cette thèse, et nos travaux permettent d'éclairer certains points importants, tant concernant les jugements a priori à propos des modalités sensorielles de guidage que les instructions en elles-mêmes.

3.1- Connaissances sur les jugements a priori relatifs aux modalités sensorielles de guidage

Les études menées dans cette thèse se sont notamment attachées à questionner la modalité sensorielle à utiliser a priori pour délivrer des instructions de guidage pas-à-pas, par des dispositifs techniques variés. Les résultats sont assez flagrants et montrent que certaines modalités sensorielles semblent a priori plus faciles ou difficiles d'utilisation pour la navigation piétonne et pour compenser les effets délétères de l'âge sur la navigation classiquement observés avec une carte papier.

La modalité visuelle bénéficie ainsi d'un certain crédit a priori de la part des personnes âgées lors des études en environnements virtuel et naturel, les réactions vis-à-vis du guidage visuel étant généralement positives lors des phases de familiarisation (il faut noter toutefois que ce crédit a priori a pu conduire à de la déception et de la frustration dans le cas de l'étude en environnement naturel avec les lunettes de réalité augmentée). De plus, dans l'étude 4, la modalité visuelle semble faciliter la projection à l'usage de l'aide technologique à la navigation proposée (i.e. lentilles connectées) par rapport aux autres modalités sensorielles questionnées (auditive, haptique, olfactive). Ainsi, la modalité visuelle est perçue comme naturelle pour la navigation, ainsi que le souligne Kolbe (2004), et comme la plus évidente à interpréter (voir point suivant), bénéficiant probablement d'un fort effet de familiarité relatif à l'utilisation d'informations visuelles pour la navigation au quotidien (la lecture de panneaux, la prise d'informations visuelles sur les repères, l'utilisation de GPS en voiture, etc.).

On observe également, dans la littérature, un biais en faveur de la modalité visuelle. Ainsi, la plupart des études relatives aux informations utilisées dans la navigation piétonne (voir par exemple May et al., 2003) questionnent le sens de la vue comme allant-de-soi, sans même aborder les indices auditifs, haptiques ou olfactifs utiles à la navigation, qui sont souvent cantonnés aux études sur les personnes malvoyantes (Hussain et al., 2015 ; Grussenmeyer et al., 2016) ou à des études plus fondamentales sur la navigation (Walker et Lindsay, 2006 ; Hazzard et al., 2014). On observe pourtant, au cours du rappel de repères en environnement naturel, qu'un certain nombre de sons (ex : bruit de sortie d'école) ou d'odeurs (ex : étal du poissonnier) sont pris comme repères par les participants, ce qui tend à démontrer que d'autres modalités que la modalité visuelle sont mobilisées et utiles lors de la navigation des piétons.

Au contraire de la modalité visuelle, les modalités olfactive, haptique, et auditive dans une moindre mesure ont moins appréciées a priori par les participants, et soulèvent des questions quant à leur pertinence pour une utilisation en navigation, notamment dans l'étude 4 : elles apparaissent comme trop peu intenses, trop peu précises et trop peu différenciées du reste de l'environnement pour être utilisées efficacement. Ces éléments semblent autant d'entraves à une projection à l'usage d'aides technologiques mobilisant ces modalités.

Les préoccupations quant aux modalités sensorielles moins habituellement mobilisées lors de la navigation transparaissent également dans les études en environnements virtuel et naturel. Les participants ont en effet tendance à être moins confiants dans leurs capacités a priori à ressentir les vibrations au cours de la navigation ou dans leurs capacités à distinguer les sons venus du casque par rapport à l'environnement lors des phases de familiarisation, ce qui n'était pas le cas avec le guidage visuel. Si ces a priori négatifs ont été confirmés/infirmés à certains égards au cours des tâches de navigation (voir point suivant), on peut probablement les

expliquer par la moindre familiarité de ces modalités.

Nous pouvons rapprocher ces observations quant au rôle de la familiarité des modalités sensorielles des travaux sur l'acceptabilité des innovations incrémentales et de rupture (*radical innovation* en anglais). Oreg et Goldenberg (2015) soulignent ainsi que les compétences préalables vont jouer un rôle important en faveur de l'acceptabilité des innovations incrémentales et en défaveur des innovations de rupture chez les utilisateurs experts.

Les premières sont perçues par les utilisateurs comme des sources d'amélioration de leurs compétences et de leurs performances (dans notre cas, les participants ont déjà l'habitude de lire et rechercher de l'information visuelle que ce soit sur des cartes, des panneaux ou des GPS, et peuvent parfois éprouver des difficultés avec ces dispositifs), tandis que les secondes remettent en cause les compétences acquises, peuvent présenter un risque de disqualification ou demander un effort d'adaptation important (dans notre cas, les participants ont tendance à s'interroger sur leurs capacités à interagir avec les aides haptiques, ou auditives, dans une moindre mesure). La perception et la compréhension des messages sensoriels sont au cœur de ces questionnements a priori.

3.2- Connaissances sur la perception et la compréhension de messages de guidage

Au-delà des a priori relatifs à l'usage d'une modalité sensorielle plutôt qu'une autre pour la navigation piétonne, nos résultats permettent d'observer un certain nombre de limites liées, en particulier, à la perception et à la compréhension des messages selon la modalité sensorielle convenue.

Les informations haptiques, en particulier, conduisent à des difficultés quant à leur apprentissage, leur lisibilité et leur compréhension en environnement virtuel, et demeurent difficiles à percevoir pour certains participants en environnement naturel. Si nous accordons le fait que les messages proposés n'étaient pas nécessairement optimaux (voir chapitre 12) et soulignons que les performances de navigation avec les guidages vibrants demeurent en général meilleures qu'avec une carte papier (voir aussi Anastassova et al., 2015), nous observons plus de difficultés avec les messages haptiques qu'avec les messages visuels et auditifs.

Concevoir des messages haptiques pour le guidage pas-à-pas semble une difficulté majeure à l'heure actuelle. Au-delà de la latéralisation, qui joue un rôle important dans l'interprétation des messages vibrants (Rantala et al., 2017), la grammaire haptique est relativement peu connue aujourd'hui par rapport aux grammaires visuelles ou auditives (Obrist et al., 2013). Il nous semble ainsi beaucoup plus simple de traduire l'idée de danger avec la modalité visuelle (on utilisera une couleur rouge, des polices d'écriture grasses, des formes dures) ou avec la modalité auditive (on utilisera des sons aigus, un rythme rapide) qu'avec la modalité haptique. Des informations complexes sont globalement difficiles à traduire par le sens du toucher, et les dernières études relatives à l'utilisation de messages haptiques pour la navigation ont encore tendance à en faire l'impasse, comme par exemple pour guider dans des infrastructures complexes telles que les ronds-points (Kiss et al., 2018).

Si de récents travaux se sont intéressés avec beaucoup de pertinence aux métaphores haptiques (voir notamment Brunet, 2014) ou aux possibilités offertes par la personnalisation des métaphores haptiques (Kobayashi et Nakano, 2015), ces messages demandent davantage de ressources pour être interprétés (puisque métaphoriques) que des messages qui se fonderaient sur une grammaire intrinsèque. On retrouve trace de cet effort interprétatif dans le nombre de répétitions nécessaires à l'apprentissage des messages vibratoires dans nos études (voir aussi Rümelin et al., 2011). Si quelques travaux investiguent le sens attribué aux fréquences de vibration et des fréquences temporelles des vibrations (voir Obrist et al., 2013), ces travaux sur la grammaire haptique demeurent à poursuivre pour une utilisation en navigation piétonne.

Une autre limite de taille à l'utilisation de dispositifs technologiques (autre qu'une carte) diffusant des messages de guidage au piéton par une de ses modalités sensorielles est la perceptibilité de ces messages en contexte, conditionnant dès lors leur compréhension et l'ensemble de l'activité de navigation (Arning et al. 2012). Les participants de nos études ont ainsi eu des difficultés à percevoir les vibrations en environnement virtuel et en environnement naturel, et des difficultés à percevoir les indications visuelles en environnement naturel.

Deux causes principales expliquent ces résultats : d'une part, des difficultés de perception liées à l'avancée en âge. Les difficultés de perception visuelle, auditive et haptique sont bien connues dans la littérature (voir chapitre 2). D'autre part, des limites techniques liées aux dispositifs utilisés, dont l'intensité maximale serait trop faible (voir aussi chapitre 12 relatif aux limites), ne permettant ainsi pas de compenser les effets délétères de l'âge sur la perception. D'autres aspects tels que la luminosité peuvent également jouer un rôle : ainsi, en environnement extérieur, Sun, Perrault et Lecolinet (2014) montrent que le taux de perception de flash lumineux sur une bague portée au doigt ne dépend pas du niveau d'intensité lumineuse du flash, et que la reconnaissance reste plus faible en environnement extérieur qu'en environnement intérieur.

Le dispositif utilisé pour diffuser le message, quelle que soit la modalité sensorielle, semble en réalité jouer un rôle essentiel dans la performance de navigation. Ainsi, le dispositif utilisé conditionne largement la perceptibilité et donc l'utilisabilité des instructions de guidage, peu importe la modalité sensorielle. Les résultats de nos études quant à la faible utilisabilité des instructions haptiques en environnement virtuel ou visuelles en environnement naturel ne peuvent être lus qu'à l'aune de ce constat : l'haptique (étude 2) comme le visuel (étude 3) ne sont pas des modalités sensorielles nécessairement vouées à l'échec pour la navigation piétonne en environnement urbain, mais les dispositifs utilisés dans le cadre de nos études (bracelet prototypique et lunettes de RA ORA2) ne permettent pas d'en tirer profit.

Un résultat plus positif de nos études porte sur l'utilisation du casque à conduction osseuse pour la perception des messages auditifs. S'il permet d'adapter l'intensité du son au contexte et à l'utilisateur (comme n'importe quel autre casque), il permet aussi d'entendre en toute sécurité les bruits de l'environnement tout en percevant bien les bruits issus du casque, et de compenser une surdité totale ou partielle. Cet élément n'est que peu pris en compte dans la littérature relative aux aides à la navigation (Goodman et al., 2005, utilisent une oreillette, Holland et al., 2002 et Liljedahl et al., 2012 utilisent un casque classique). Il nous semble toutefois pertinent de poursuivre son utilisation dans l'objectif de concevoir des aides adaptées au plus grand nombre (voir chapitre 12 relatif aux recommandations).

3.3- Connaissances sur les messages en carrefour complexe

Les deux principales études de cette thèse ont pris le parti de questionner les éventuelles différences existant entre navigation en intersection simple et navigation en intersection complexe, à l'aide de messages de guidage différenciés. Ce questionnement se fondait à la fois sur les observations et recommandations relatives à la navigation des conducteurs âgés, qui ont plus de difficultés dans ces zones spécifiques et bénéficient de l'utilisation de messages distincts (Davidse, 2007), et sur certaines observations relatives à l'usage de messages indifférenciés pour la navigation des piétons âgés (Chevalier, Coeugnet, Dommes et al., 2016) qui soulignent les difficultés accrues à interpréter les messages de guidage dans les carrefours complexes.

Les résultats quantitatifs et qualitatifs de l'étude en environnement virtuel ont mis en lumière les difficultés à concevoir des messages pour l'entrée dans les ronds-points, quelle que soit la modalité sensorielle concernée (visuel, auditif ou haptique). Leur interprétation est, en effet, souvent plus ambiguë que les messages de changement de directions simples (gauche/droite en

intersections simple types carrefour en T ou en X), et conduit à davantage d'erreurs de navigation. Plus globalement, notre travail souligne la difficulté à fournir aux individus des instructions complexes de navigation à l'aide de messages simples et distincts, ce qui est un enjeu important pour guider les personnes âgées (voir par exemple Arab et al., 2015).

Il est intéressant de noter que ces difficultés interviennent quelle que soit la modalité sensorielle : les personnes âgées rencontrent des difficultés avec les messages d'entrée dans les carrefours complexes du type ronds-points qu'ils soient visuels, auditifs ou haptiques. Outre les erreurs de conception des messages (voir chapitre 12 relatif aux limites), et la gamme restreinte de modulation pour chaque modalité sensorielle (contrainte sur les couleurs utilisées, les plages de fréquences audibles, le nombre de vibreurs pouvant être distingués, etc.), qui limitent les possibilités de conception, ce résultat questionne également et plus généralement les capacités de mémorisation des informations de guidage.

Plusieurs études présentées dans le chapitre 3 utilisent en effet un nombre élevé d'instructions (8 par exemple pour Pielot et al., 2012), mais aucune de ces études ne s'intéressent aux personnes âgées. Or, les personnes âgées ont tendance à voir leurs capacités de mémoire décliner, notamment la mémoire épisodique (Giffard et al., 2001). Ceci pourrait expliquer, en partie, les difficultés des personnes âgées à retenir les messages complexes, difficultés observées aussi à travers un nombre de répétitions plus élevé que chez les actifs de plus de 50 ans pour l'apprentissage des messages lors de la familiarisation, quelle que soit la modalité sensorielle.

On observe aussi, lors de la seconde session de l'étude en environnement virtuel, et lors de l'étude 3 en environnement naturel (qui reprend une partie des participants impliqués dans l'étude 2), que les messages complexes sont de mieux en mieux intégrés par les participants âgés, à mesure des passations expérimentales dans le temps : les résultats quantitatifs en environnement naturel ne permettent plus de mettre en valeur de difficultés dans les carrefours complexes.

Si ceci peut en partie s'expliquer par les modifications apportées à la conception des messages visuels et auditifs pour les rendre plus compréhensibles et distincts en fonction des recommandations des participants de l'étude sur simulateur, ce résultat peut aussi s'expliquer par la familiarité des participants avec les instructions de guidage et soulignerait donc le bénéfice à répéter ces dernières plusieurs fois, dans un temps long. Ceci est un élément important en termes de conception d'aides à la navigation : une application de guidage pourrait par exemple proposer un tutoriel de familiarisation à plusieurs reprises lors de ces premières utilisations si elle est destinée aux personnes âgées.

Toutefois, les participants semblent faire particulièrement attention aux messages dans les zones de rond-point et être en situation d'attente accrue lors de l'étude en environnement naturel. Nous pensons qu'il s'agit, là encore, d'un effet de la familiarisation et de l'habituation des participants aux difficultés rencontrées en environnement virtuel (voir chapitre 12 consacré aux limites). Leur concentration ne semble en effet pas orientée vers d'autres motifs (tels que la sécurité routière), mais plutôt dépendante de la conception même du système de guidage dans les ronds-points, avec une indication pour l'entrée et une indication pour la sortie.

Plusieurs participants, au cours des deux études principales, ont ainsi fait part de leur souhait de n'avoir qu'une indication, totale, à la manière des GPS pour voiture, qui leur permette de mieux anticiper dès l'entrée du carrefour complexe la sortie à emprunter. Cet état de fait permet de souligner, encore une fois, les difficultés à concevoir des messages pour les carrefours complexes, entre limitation du nombre de messages fournis (pour des questions de mémorisation) et besoin de précision et d'anticipation.

3.4- Connaissances sur la multi-sensorialité des messages

D'après la littérature, la multi-sensorialité des informations de guidage serait source de bénéfice pour la navigation, en aidant à compenser les limites de l'une ou l'autre des modalités sensorielles (Rehrl et al. 2014). Toutefois, les combinaisons multi-sensorielles d'informations de guidage telles que mises en œuvre dans l'étude 2 en environnement virtuel présentent peu de plus-value en termes de performance. Elles sont par ailleurs jugées inutiles voire sources de confusion par les participants. Si nous pouvons, là encore, questionner la conception de ces messages et leur congruence dans le temps et l'espace pour soutenir l'activité de navigation (Kolers et Brewster, 1985 ; Wahlster, 1998, cité par Kray et al., 2005 ; voir aussi chapitre 12 consacré aux limites), ces résultats nous semblent intéressants dans la mesure où ils mettent en lumière des formes de dominance et d'interactions entre modalités sensorielles qui sont peu documentées dans la littérature sur les aides à la navigation.

On observe ainsi que le sens de la vue semble dominant sur l'ouïe et le toucher dans l'interprétation des messages, ce qui semble assez cohérent avec le fait que le sens visuel soit plus adapté pour des tâches liées à la localisation dans l'espace (ETSI EG, 2002) que les deux autres modalités sensorielles. On observe aussi que les sens auditif et haptique se confondent dans nos études en environnement virtuel et naturel (certains participants ne sachant dire s'ils ont été guidés par un son ou une vibration).

Cette confusion dépend de la nature même des indications (tactons vibratoires et bips sonores), mais aussi des dispositifs utilisés (car les montres haptiques produisent un bruit en vibrant, et le casque à conduction osseuse produit une vibration sur la peau). L'interrelation du bruit et des vibrations est bien connue en acoustique (Crocker, 2007) et parfois mise à profit dans la littérature à des fins d'alerte, avec un casque à conduction osseuse (Schoop et al., 2018). On peut supposer que cet effet de confusion entre auditif et vibratoire eut été moindre avec d'autres types d'indications (spatialiser une voix comme le font Heller et Schöning, (2018) aurait par exemple permis de moins facilement confondre le son avec une vibration). Cet effet de confusion aurait aussi pu être amoindri par le recours à d'autres types de dispositifs (un casque classique, par exemple, n'aurait pas produit autant de vibrations, ce qui souligne une nouvelle fois l'importance déterminante du dispositif utilisé). Ce résultat n'est pas discuté dans la littérature dédiée aux aides à la navigation utilisant des guidages haptiques ou des casques à conduction osseuse. Or il met en lumière, là encore, le rôle très important du dispositif sur la perception et la compréhension des informations de guidage, quelle que soit la modalité sensorielle utilisée.

Nos résultats montrent cependant que le recours à la multi-sensorialité peut s'avérer pertinent pour alerter de l'imminence d'un changement de direction ou pour confirmer une indication de guidage. Les indications visuelles, plus familières en termes d'interaction (Ware, 1996) et facilement compréhensibles, mais qui peuvent présenter des difficultés liées à leur visibilité si diffusées par un dispositif de type lunettes de réalité augmentée en environnement réel, pourraient ainsi être aussi annoncées par un son ou une vibration. Le potentiel d'alerte des modalités auditives (ETSI EG, 2002) et haptiques (Lee et al., 2004) est bien connu et largement utilisé dans l'industrie automobile par exemple. A ce titre, les indications abstraites (tels que les sons non verbaux) semblent plus adaptées que les indications directes (telles que la parole) pour alerter (Politis et al., 2015). Là encore, peu d'études dédiées aux aides à la navigation ont souligné ce potentiel.

4- Apports relatifs aux aides à la navigation

4.1- Connaissances sur l'utilisation des aides technologiques à la navigation

Nous avons déjà discuté des pratiques des personnes âgées quant à l'utilisation des aides à la navigation et de l'importance qu'occupent encore, à l'heure actuelle, les cartes papier pour ces populations. Bien que moins efficaces en termes de performances et décrites comme demandeuses sur le plan cognitif et attentionnel par les participants dans les études en environnement virtuel et naturel, les cartes n'en restent toutefois pas moins jugées comme une valeur sûre, utile et familière. Elles semblent bénéficier également d'une image positive quant à l'autonomie qu'elles offrent aux utilisateurs par rapports aux autres types d'aides, si l'on s'en réfère aux commentaires recueillis lors des études 2, 3 et 4.

Ces résultats sur l'acceptabilité des cartes auprès du public âgé est bien connu et documenté dans la littérature (Wither et al., 2013 ; Smets et al., 2008 ; Sjölander et al., 2005). Les cartes sont des supports avec lesquels il faut compter pour aider la navigation des personnes âgées (voir chapitre 12 à propos des recommandations).

Un des résultats importants de cette thèse est de mettre en valeur les différences entre pratiques de navigation avec une carte (papier en majorité, mais également numérique) et avec une aide technologique proposant des instructions égocentrées de guidage diffusées automatiquement au piéton par un de ses canaux sensoriels. La résolution de problèmes spatiaux avec l'aide habituelle (carte majoritairement), telle qu'observée lors des études en environnement naturel et en environnement virtuel, s'appuie en général sur des informations spatiales issues conjointement du support d'aide et de l'environnement (topographie, panneaux, etc.), et recherchées volontairement par l'utilisateur. Au contraire, avec les aides technologiques que nous avons développées et testées, même lorsque celles-ci proposent une carte (étude 3), la résolution de problèmes spatiaux dépend plus des informations délivrées directement au piéton par ses sens, et moins d'une recherche volontaire d'informations spatiales dans l'environnement. Dans ce cas, les participants ont davantage tendance à s'appuyer sur la temporalité des messages délivrés, les règles de fonctionnement du système, et les instructions de demi-tour, que sur la topographie ou les noms de rue. C'est une différence majeure en termes de pratiques et de processus cognitifs sous-jacents, probablement différents. C'est une différence aussi en termes de relation à l'aide, les cartes étant plus régulièrement associées à l'idée d'autonomie, d'indépendance, et les aides technologiques à la notion de confiance dans le système, voire de dépendance (certains participants déclarant suivre *aveuglément* leur guidage), le dispositif de guidage délivrant les instructions automatiquement, sans consentement et sans recherche active dans l'environnement de la part de l'utilisateur. Dans ce sens, Montello et Raubal (2013) parlent d'infantilisation technologique à propos des d'aides technologiques à la navigation, celles-ci conduisant le plus souvent à suivre des instructions sans se poser de questions. Nos résultats permettent de nuancer cette conclusion, car en faisant appel activement à d'autres types de compétences que celles généralement utilisées en navigation (ex. la capacité à interpréter les règles d'un système technique, à inférer un fonctionnement), les aides proposées dans cette thèse sont aussi un moyen d'accéder à l'autonomie pour des personnes souffrant de déclin de la cognition spatiale.

Par ailleurs, si les tâches de rappel et de reconnaissance proposées peuvent être discutées (voir chapitre 12 consacré aux limites), nos résultats mettent en valeur qu'il n'y a que peu de différences dans l'acquisition de connaissances spatiales entre une carte support à une navigation autonome, et une aide technologique, prétendument infantilisante. Contrairement à ce qui peut être dit dans la littérature (Pielot et Boll, 2010), nous observons que les participants sont dans une démarche active de recherche d'informations et d'interprétation de ces dernières lorsqu'ils utilisent des aides technologiques à la navigation, qu'ils sont présents à leur activité et à leur environnement, même si cette activité est davantage tournée vers l'utilisation en contexte

d'un dispositif technologique que vers l'interprétation d'informations spatiales en tant que telles. Nous observons toutefois, dans l'étude 3, une différence significative dans le nombre d'éléments de l'espace cartographique rappelés : les participants se souviennent mieux des noms de rue et de la topographie des lieux lorsqu'ils utilisent leur aide habituelle que les trois aides technologiques développées pour l'occasion, ce qui peut laisser entendre qu'ils construisent des cartes cognitives différentes à l'issue de ces différentes navigations et potentiellement plus riches avec une carte papier. Les personnes âgées ont, cependant, et quel que soit le guidage, des difficultés à construire de telles représentations cognitives de leur environnement (Dejos, 2013).

Cette utilisation des aides technologiques, basée sur la confiance voire sur la dépendance envers les informations fournies et la place prépondérante du support technologique dans la résolution de problèmes de navigation, doit amener à questionner les mécanismes de la confiance dans ces aides et leur acceptabilité.

4.2- Connaissances sur les critères d'acceptabilité des aides

Les cartes bénéficient d'évaluations plutôt positives de leur acceptabilité (du moins en termes d'autonomie et d'utilité) bien que des difficultés existent à leur usage. Ceci n'est pas le cas pour les autres guidages : on observe ainsi une forte congruence entre les recueils de données qualitatifs et quantitatifs pour les aides technologiques à la navigation visuelles, auditives et haptiques. Les guidages avec lesquels les participants rencontrent le plus de difficultés sont ceux qui sont jugés le plus négativement, et réciproquement. Ce résultat ne va pas de soi, car il n'est pas rare qu'un dispositif efficace ne soit pas jugé positivement par des participants (voir par exemple Al Mahmud et al., 2009, qui montrent que les GPS bénéficient plus aux âgés qu'aux jeunes, alors que les jeunes évaluent ces dispositifs plus positivement que les âgés).

Au cours des études en environnements virtuel et naturel, l'analyse des dimensions relatives à l'expérience utilisateur a permis de mettre en avant 3 dimensions qui concourent à l'acceptabilité des guidages et à une expérience utilisateur positive : la perceptibilité de l'information qui permet de limiter le partage attentionnel, la précision du guidage qui permet de comprendre aisément la situation et de naviguer en toute confiance, et l'esthétique/le confort du dispositif qui concourent à l'émergence d'émotions positives. Ces thématiques sont reprises spontanément en commentaires de l'étude 4 consacrée aux dispositifs futuristes, ce qui tend à appuyer l'importance de ces dimensions pour le public des aides à la navigation, qu'il soit âgé ou plus jeune.

Parmi les dispositifs utilisés dans cette thèse, l'aide auditive par sons pseudo-spatialisés à travers un casque à conduction osseuse se démarque par la perception aisée des informations qu'elle offre, et par la faible attention qu'elle demande. Que ce soit en environnement virtuel ou environnement naturel, les participants ont peu de difficultés à percevoir et à comprendre les sons, quand bien même ils souffrent de surdité, ce qui n'est pas le cas des informations haptiques (environnement virtuel et naturel) et visuelles (environnement naturel) qui pâtissent d'après les participants d'une trop faible intensité et/ou durée dans le temps pour être facilement perçues et distinctes.

La place centrale de la perceptibilité des informations de guidage est mise en lumière par Arning et al. (2012), mais relativement peu d'études en font état. La perceptibilité est pourtant essentielle pour limiter le partage attentionnel (faciliter l'attention sélective) et pour faciliter la compréhension des indications de guidage, dans la limite de ne pas gêner la perception de l'environnement. Dans les résultats de l'étude 4, les répondants se questionnent, là encore, sur la perceptibilité des messages auditifs, vibratoires et olfactifs pour se guider efficacement. Cette notion est donc centrale pour la conception d'aides à la navigation.

Outre la conception des messages de guidage, le dispositif utilisé pour fournir les indications auditives semble jouer un rôle important dans la perceptibilité des informations, en ce qu'il

permet de compenser les pertes auditives liées à l'âge. Un tel casque à conduction osseuse avait été utilisé dans d'autres études relatives aux aides à la navigation (voir Wilson et al., 2007), mais sans objectif de meilleure perception des sons auprès d'un public âgé. Au contraire, si les messages visuels et haptiques ont été conçus pour être bien perçus des participants les plus âgés (en suivant les recommandations de Zhao et al, 2017 pour les messages visuels ; Arab et al., 2015 pour les messages haptiques), le dispositif utilisé a impacté négativement la perceptibilité des informations : trop faible contraste en environnement extérieur avec les lunettes de réalité augmentée et bracelet vibrant de trop faible intensité. Ceci permet d'illustrer, à nouveau, le rôle capital du dispositif utilisé pour transmettre les indications de guidage.

La précision des indications occupe, elle aussi, une place centrale dans les préoccupations des participants de l'étude 4 : il peut sembler difficile a priori d'offrir des informations adéquates pour la navigation à travers les modalités sensorielles auditives, haptiques ou olfactives. La précision des informations fait également l'objet de questionnements lors de l'étude en environnement naturel, notamment en lien avec la temporalité des informations de guidage. Ainsi, le guidage auditif par casque à conduction osseuse et le guidage vibro-visuel par montre connectée semblent cette fois plus précis aux participants que le guidage visuel par lunettes de réalité augmentée.

La question de la précision temporelle et spatiale des indications de guidage avec une aide technologique à la navigation est mentionnée comme un élément important par Sarjakoski et Nivala (2005), mais là encore, peu d'études y font référence. Nous mettons pourtant en lumière que ce sont ces types d'éléments, intrinsèques à l'aide à la navigation, qui vont servir de support à la prise de décision spatiale, en complément des informations extraites de l'environnement. D'après nos études, pour le public visé, une « *bonne temporalité* » correspond à recevoir les informations de guidage à distance de 10m environ du changement de direction à opérer.

Nos travaux permettent également d'illustrer le lien existant entre la précision et la perceptibilité des messages de guidage d'une part, et la confiance dans le dispositif d'autre part. Des informations peu perceptibles ou peu stables dans le temps sont sources de prises de décision hâtives, de sentiment d'insécurité et, plus globalement, d'une confiance réduite. Il est donc capital de travailler à ces dimensions pour favoriser l'acceptabilité de ces types d'aides.

Les participants de nos études mettent également en avant l'importance de l'esthétique et de la discrétion des dispositifs utilisés pour leur navigation. Sur ce point, l'utilisation des montres vibrantes est évaluée très positivement, et plusieurs participants envisagent même d'autres bijoux haptiques pour s'orienter, tels que des colliers, des bagues (voir aussi Perrault, Gacem, Lecolinet, Guiard, 2013). Les lunettes de réalité augmentée et le casque à conduction osseuse font quant à eux l'objet d'opinions partagées quant à leur couleurs, grosseurs, ou quant à l'image qu'ils renvoient aux autres (voir Koelle et al., 2017 sur la place du regard social dans l'acceptabilité des lunettes de réalité augmentée).

Contrairement à ce qui est souvent dit (Faisal et al., 2014 ; Hsieh et al., 2014), l'esthétique semble donc jouer un rôle important pour les personnes âgées, et non seulement l'efficacité, notamment pour des préoccupations liées à la discrétion. Cette préoccupation de discrétion est mise en valeur dans les travaux relatifs à l'expérience utilisateur des personnes âgées (Holzinger et al., 2008) mais peu dans les études relatives aux aides à la navigation.

Sur cette dimension, là encore, le dispositif utilisé joue donc un rôle capital dans l'expérience utilisateur, au-delà des modalités sensorielles utilisées.

Ces trois dimensions (perceptibilité, précision des informations et esthétique) sont des éléments identifiés comme importants pour l'acceptabilité des technologies de guidages et/ou pour les personnes âgées (voir chapitre 4), et en ce sens, notre travail nous permet de confirmer la prévalence de ces éléments pour l'expérience utilisateur, alors qu'elles ne sont que très

rarement abordées dans les études relatives aux aides à la navigation. Par ailleurs, l'étude 4 de cette thèse permet de mettre en avant d'autres éléments, qui sont eux, originaux dans le champ de l'acceptabilité des aides à la navigation.

Nous voyons ainsi que les questions liées aux risques pour la santé et au caractère intrusif des guidages proposés sont essentielles (questions également abordées par certains participants dans les entretiens menés lors de l'étude 3). Il n'existe pas, à notre connaissance, de modèle de l'acceptabilité ou de l'expérience utilisateur qui mettent en valeur ces dimensions. Elles nous semblent toutefois primordiales dans le champ des aides à la navigation, mais plus généralement des technologies, alors que ces dernières tendent à se miniaturiser et à s'intégrer toujours davantage à notre corps, en particulier dans des domaines d'applications qui touchent aux personnes âgées (suivi médical, maintien au domicile, etc., voir Patel et al., 2012 pour une revue).

4.3- Connaissances orientées vers la conception universelle

Enfin, nos travaux permettent de mettre en valeur un certain nombre d'éléments de réflexion pour la conception universelle d'aides à la navigation (Lusher et Mace, 1989 ; voir aussi chapitre 12).

D'une part, au cours des études en environnement naturel et virtuel, les participants évoquent régulièrement les potentialités de tels guidages pour des personnes souffrant de handicaps sensoriels, quel que soit leur âge (malvoyants et malentendants surtout). Alors que des travaux relatifs aux aides à la navigation pour les personnes en situation de handicap ont été mobilisés dans la mise en œuvre des dispositifs proposés dans cette thèse (casque à conduction osseuse utilisé par Wilson et al., 2007 ou bracelet vibrant utilisé par Camman et al., 2017 auprès de personnes malvoyantes), on observe ici le lien fort qui existe entre conception pour personnes âgées et pour un public plus large, pouvant tirer parti de tels guidages.

Si, comme l'écrivent Rehr et al., (2014), il n'existe pas, à notre sens, d'aide à la navigation parfaite, adaptée précisément aux attentes et besoins de chacun, nous pensons cependant qu'il est pertinent de décloisonner les cadres réflexifs car une aide conçue pour une personne âgée peut convenir à une personne en situation de handicap, et soulèvera des problématiques d'usage pour une population dépendante de plusieurs moyens de transports en commun, etc. Relativement peu de travaux présentés dans le chapitre 3 de cette thèse portent ces réflexions, qui sont pourtant centrales pour la conception et le succès des aides à la navigation dans la société (voir Renaudin, Dommes et Guilbot, 2017).

D'autre part, des points communs existent entre les personnes âgées et les personnes plus jeunes, notamment quant aux attentes relatives à la mobilité de demain. Ainsi, même si les logiques de déplacements diffèrent aujourd'hui entre piétons actifs et piétons retraités (voir chapitre 7, mais aussi CGDD 2010), l'agrément, la sécurité des parcours piétons et la simplicité pour trouver son chemin semblent être des éléments capitaux pour davantage de mobilité piétonne guidée par des aides technologiques à l'avenir. Plus de 3 participants sur 4 au cours de l'étude 4 (77,7%) sont demandeurs d'aides à la navigation, ce qui nous conforte dans le besoin de développements de telles technologies pour la mobilité piétonne de demain.

Ces éléments doivent porter à réflexion sur ce qui constitue l'agrément d'un trajet et la sécurité de celui-ci. Si les aides à la navigation peuvent constituer une solution allant dans ce sens, à travers des propositions de trajets « touristiques » (Riebeck et al., 2008), l'ajout de points d'intérêt, l'alerte à l'approche des zones dangereuses (Coeugnet et al., 2015), etc., d'autres facteurs doivent être pris en compte, notamment en termes d'aménagement de l'espace urbain et d'interaction avec le trafic (aménités urbaines et environnementales, voir CEREMA, 2016 ; îlots centraux, zone à vitesse réduite, rue piétonnisée, largeur des trottoirs etc. Voir OMS, 2013).

5- Discussion méthodologique

Nous avons cherché, lors de la rédaction de cette discussion, à mettre en valeur les interrelations existantes entre les résultats de nos différentes études et les éclairages mutuels que celles-ci s'apportent. Nous parvenons ainsi à mettre en valeur certains fils-conducteurs dans la complexité de l'activité de navigation piétonne guidée par les aides à la navigation chez les personnes âgées : une activité orientée vers les loisirs et les activités quotidiennes (études 1, 2 et 3), encore fortement marquée par l'usage des cartes (études 1, 2, 3 et 4), orientée par des a priori vis-à-vis de l'usage de certaines modalités sensorielles pour naviguer en milieu urbain inconnu (études 2, 3 et 4), guidée par des problématiques d'agrément et de sécurité (études 3 et 4), fortement dépendante des technologies utilisées (études 2, 3 et 4), et bénéficiant potentiellement de l'usage de technologies recourant aux sons spatialisés ou aux flèches, annoncées par des alertes vibratoires (études 2 et 3).

Si la pluralité des méthodes mises en œuvre dans cette thèse est relativement originale, elle nous a permis, pensons-nous, d'éclairer efficacement la complexité de l'activité de navigation piétonne aidée de guidages technologiques. En s'intéressant aux performances de navigation par la mesure de plusieurs variables quantitatives en environnement virtuel et naturel, à l'expérience vécue par la mise en œuvre d'entretiens d'explicitation, aux prises de risques par l'usage de la vidéo, et aux besoins et attentes par l'usage de questionnaires, nous avons pu proposer une vision assez large de l'activité de navigation, qui, bien que non exhaustive, donne de la densité à ce travail.

Cette triangulation des méthodes (Creno et Cahour, 2015) n'est certes pas sans limites (voir chapitre 12), mais offre de comprendre l'observable par le non observable et réciproquement. Par ailleurs, cette approche méthodologique permet de situer nos études de terrain dans une perspective plus large offerte par l'usage des questionnaires en ligne.

Ainsi, les faibles difficultés apparentes des participants les plus jeunes lors de l'utilisation du bracelet vibro-tactile en environnement virtuel auraient pu être passées sous silence sans la mise en œuvre des entretiens, qui permettent de mettre en valeur le sentiment de difficulté et la faible acceptabilité de ce mode de guidage même chez les personnes les plus jeunes. Les quelques remarques des participants sur les risques pour la santé des guidages sensoriels en environnement naturel auraient probablement été noyées dans la masse des données d'entretien sans la mise en place des questionnaires, etc.

Sans constituer un apport méthodologique novateur dans le champ de la psychologie ergonomique, notre démarche s'avère être relativement peu commune dans le cas de l'étude d'aides à la navigation et plaide selon nous en faveur d'une prise en compte plus globale et plus systématique d'un ensemble de facteurs visant à éclairer les processus complexes de mobilité.

CHAPITRE 12 – Limites, recommandations et perspectives

Le travail réalisé dans cette thèse comprend plusieurs limites de mise en œuvre, de technique ou de méthode que nous explicitons dans ce chapitre. Forts des apports développés dans le chapitre précédent, et conscients des limites de notre travail, nous proposons également quelques recommandations pour la conception d'aides à la navigation à destination des personnes âgées notamment, et imaginons plusieurs perspectives qui pourraient permettre de prolonger ce travail.

1- Limites de la thèse

1.1- Limites liées aux études

1.1.1- Population des études

Une des premières limites au regard des quatre études réalisées dans cette thèse est la relative homogénéité et les biais de sélection opérant dans les groupes de participants âgés. Les personnes ayant pris part aux études sont en effet relativement urbaines, diplômées (le niveau d'étude moyen des participants est Bac +2), et autonomes, et ne représentent donc pas l'ensemble de la population des personnes âgées.

Si les conditions de sélection imposaient aux participants de ne pas relever du vieillissement pathologique et d'être en mesure de se déplacer à pied pendant 30 minutes, il s'avère que beaucoup de participants étaient des randonneurs ou des marcheurs chevronnés et portaient un vif intérêt pour les recherches menées dans le cadre de cette thèse, constituant de fait un biais de sélection.

Un autre biais de sélection repose dans la mise en œuvre d'études sur des sites relativement isolés (tels que le site de l'IFSTTAR Satory à Versailles) auxquelles n'étaient en mesure de participer que des personnes très mobiles, nécessitant la préparation d'un itinéraire, l'utilisation des transports en commun ou d'un véhicule personnel, etc.

Par ailleurs, on retrouve un grand nombre de participants communs entre les études 1 et 4, et entre les études 2 et 3. Si ce choix méthodologique devait nous permettre de croiser les données des différentes études plus aisément, et nous a permis par exemple de mettre en valeur l'intérêt de la modification des messages complexes entre les études 2 et 3, il a pu également constituer une limite dans la mesure où une habitude aux messages avait pu être mise en place sans qu'on la maîtrise bien et les attentes des participants étaient plus fortes quant à ce qui allait leur être proposé, et leur expérience vécue biaisée en ce sens.

Ainsi, les attentes vis-à-vis du guidage par flèches dans le champ de vision étaient grandes lors de l'étude 3, et les craintes de ne pas percevoir les vibrations également. De la même manière, les participants ont pu être décontenancés entre les questions posées lors du premier questionnaire et les solutions techniques proposées lors de l'étude 4. En faisant appel à d'autres participants, nous aurions pu éviter ces biais. Il faut toutefois mettre en valeur qu'il n'est pas toujours aisé de trouver des participants retraités disponibles et volontaires pour ce type d'études, en ce qu'ils peuvent craindre qu'elles remettent en cause leurs compétences, dans un domaine (la mobilité) sujet à préoccupations chez les plus âgés.

1.1.2- Choix de conception des études

Nos études s'intéressent majoritairement à 4 types d'aides à la navigation : des cartes, un guidage visuel par flèches incrustées dans le champ de vision, un guidage auditif par sons pseudo-spatialisés, et un guidage haptique, mobilisant des vibrations au niveau du poignet. Nous avons fait le choix, dans cette thèse, d'écarter les modalités sensorielles gustatives et olfactives, quand bien même les connaissances relatives à l'usage de ces modalités tendent à se

constituer depuis peu (voir par exemple Jacobs et al., 2015).

Si le fait de n'adresser que certaines modalités sensorielles peut constituer une limite, c'est surtout la mise en œuvre de ces différentes modalités au sein de nos études qui peut être un frein à la généralisation de notre travail. Nous avons fait le choix, en effet, de n'adresser que des aides technologiques égocentrées (lunettes de réalité augmentée, casque à conduction osseuse, bracelet vibrant) à l'échelle d'un guidage macroscopique (Gacem, Bailly, Eagan et Lecolinet, 2014) et pour ceci d'incruster des éléments dans le champ de vision, d'utiliser la spatialisation de sons et de communiquer des informations pas-à-pas par des vibrations. Si ces choix étaient motivés au regard de la littérature (voir chapitres 3 et 8 notamment), et étaient guidés par une préoccupation de sécurité visant à limiter la demande attentionnelle auprès des participants en leur fournissant l'indication le plus directement possible (sur la peau ou dans le champ de vision), il n'en demeure pas moins que nous aurions pu mettre en œuvre les modalités sensorielles autrement : utilisation de projecteurs de poche pour les indications visuelles plutôt qu'une incrustation directe (voir par exemple Arning et al., 2012), utilisation de guidages vocaux (voir par exemple Goodman et al., 2005), recours à des guidages vibrants mieux latéralisés (Voir par exemple Frey et al., 2007 ; Pielot et Boll, 2010) ou selon d'autres paradigmes de navigation (Gacem et al., 2014), sans connaissance de l'impact de tels dispositifs ou changements sur la demande attentionnelle.

En ce sens, nos résultats ne traitent pas des modalités sensorielles en elles-mêmes mais plutôt de la mise en œuvre de ces modalités à travers certains choix de présentation des informations, et doivent donc être considérés en tant que tels.

A ces choix quant aux modalités de présentation s'ajoutent d'autres choix relatifs aux messages de guidage utilisés qui, là encore, peuvent limiter la généralisation de nos résultats. Les messages proposés aux participants ne sont en effet qu'une émanation directe de la littérature (voir chapitre 8 et 9) et aucune étude préalable n'a été réalisée par nos soins en amont afin de comparer et choisir un ou plusieurs type(s) de message pour chaque modalité sensorielle. Il aurait ainsi pu être testé d'autres formes de flèches, d'autres couleurs, d'autres formes de sons ou d'autres intensités, d'autres patterns de vibration, etc.

Par ailleurs, si la durée des indications a été fixée en accord avec la littérature, d'autres durées ou modalités de répétitions auraient pu être comparées.

Nous avons fixé le nombre d'indications différentes à 6 par modalité sensorielle, mais d'autres auraient également pu être comparées, comme cela a été le cas dans d'autres études (voir par exemple Brunet, 2014), dans la limite raisonnable des capacités d'apprentissage humaines, notamment déclinant avec l'âge. Une indication visant à signaler les points d'intérêt et une indication alertant des traversées dangereuses auraient pu, notamment, être pertinentes au regard des comportements, attentes et préoccupations des personnes âgées. A contrario, on peut se questionner sur la pertinence de scinder en deux indications unitaires les messages dans les intersections complexes. Si ce choix se fonde, là encore, sur des éléments de la littérature, il pourrait être envisagé d'annoncer, dès l'entrée du carrefour, la sortie à emprunter de sorte à limiter les effets d'attentes dans ces zones. En cela, nos conclusions quant au comportement des piétons âgés en zones complexes ne valent qu'au regard de cette spécificité de nos messages.

1.2- Limites liées à la technologie actuelle

1.2.1- Limites liées aux dispositifs

Un des résultats principaux souligné dans cette thèse est l'impact considérable du dispositif utilisé pour fournir l'instruction de guidage sur les performances de navigation et l'expérience utilisateur. Pour des raisons de coût, mais aussi de contraintes temporelles et techniques, nous n'avons pas réalisé, toutefois, d'études visant à comparer différents dispositifs pour la communication d'une même modalité sensorielle, ce qui constitue une limite de notre travail, alors même que la littérature dédiée aux interfaces homme-machine s'attache à ce type d'études,

que ce soit pour des dispositifs olfactifs (voir Dmitrenko et al., 2016), haptiques (voir Meier et al., 2015), auditifs (voir Kondo et al., 2013) ou encore visuels (par exemple Arning et al., 2012) ...

Si les dispositifs testés, en particulier en environnement naturel, se situent dans la gamme moyenne à haute de ce qui existait sur le marché technologique au moment de l'étude, nous voyons que le manque de contrastes (visuel et vibratoire) et l'esthétique des dispositifs sont des éléments cruciaux pour l'expérience de navigation et sur lesquels le chercheur n'a que peu de prise. Il est probable qu'avec des dispositifs offrant de meilleurs contrastes ou une plus grande discrétion, nos résultats eurent été différents. Le développement technologique avançant rapidement, il y a fort à parier que les barrières liées à l'intensité et/ou à l'esthétique des dispositifs soient moins prégnantes dans quelques années.

1.2.2- Limites liées à la précision de la localisation

La question de la précision du guidage est, elle aussi, fortement dépendante de la technologie à l'œuvre au moment de l'étude. La faible précision des GPS sur téléphones intelligents (Liljedahl et al., 2012), d'autant plus en environnement bâti dense, et l'utilisation de bases géographiques non-adaptées aux comportements des piétons (Wither et al., 2013) ont constitué des limites à notre étude en environnement naturel. Ainsi, la mauvaise précision du signal GPS a pu entraîner des latences au moment de fournir l'instruction de guidage aux utilisateurs, et participer à l'impression d'une temporalité inadaptée des guidages. Les bases géographiques, si elles intègrent une prise en compte de plus en plus précise des trottoirs (largeur, hauteur), ne sont pas toujours adaptées dans les espaces ouverts (traversées de places ou raccourcis dans les ronds-points impossibles virtuellement mais possibles dans la réalité du marcheur) ou rendre virtuellement praticables des espaces qui ne le sont pas (présence de mobilier urbain imposant, d'une terrasse de restaurant etc.). Toutefois, dans un contexte où la précision des signaux de localisation en ville s'améliore (Marais et al., 2015), il y a fort à parier que ces limites puissent être soulevées dans les prochaines années.

1.3- Limites liées à la méthode

Nous avons, dans cette thèse, articulé plusieurs méthodes qui, bien qu'ayant apporté à la richesse de nos études, sont porteuses de certaines limites intrinsèques.

1.3.1 - Validité des simulateurs

La validité d'un simulateur peut s'exprimer comme le degré de similarité avec lequel des personnes vont réaliser une tâche spécifique en environnement naturel et en environnement virtuel (Kaptein et al., 1996). Cette validité s'exprime à plusieurs niveaux : validité de la tâche, validité du comportement physique, validité psychologique (Faure, 2017), etc.

S'il existe de nombreuses études relatives à la validité des simulateurs de conduite, peu existent dans le cadre des simulateurs piétons, de sorte que nous ne possédons pas de critères objectifs sur lesquels évaluer la validité du simulateur utilisé au cours de l'étude 2 au regard de la tâche de navigation. Nous pouvons toutefois supposer que, bien qu'adapté à une tâche de perception et de compréhension en contexte d'indications de guidage, l'absence de marche réelle du participant, la faible densité urbaine et le faible trafic routier ont pu conduire à des comportements de navigation parfois peu réalistes, ce qui constitue une limite de notre travail.

1.3.2- Limites en environnement naturel

L'étude réalisée en environnement naturel, pensée pour être la suite directe de l'étude en environnement virtuel et tirant bénéfice des apports de cette dernière, comporte, elle aussi, quelques limites. D'une part, en comparaison avec l'étude réalisée sur simulateur, et compte

tenu des difficultés de mise en œuvre d'une telle étude en ville, nous avons choisi de limiter le nombre de participants (18, contre 58 en simulateur), nous interdisant de fait des comparaisons inter-âges qui, pensons-nous, auraient été pertinentes. Nous avons dû recourir également à des messages de guidage légèrement différents entre les deux études afin de faciliter leur perception et leur compréhension, et à des médiums parfois différents pour les communiquer (écran pour incruster les flèches dans le cadre de l'environnement virtuel, contre lunettes en environnement naturel par exemple). Ces différences dans la mise en œuvre des deux études limitent les comparaisons qu'il serait intéressant de mener en virtuel et réel.

D'autre part, si le recours à un environnement naturel permet de coller au plus près à la réalité de l'activité de marche (mouvements effectifs, contraintes météorologiques, etc.), nous n'avons pu contrôler un ensemble de facteurs tels que la luminosité, le bruit, la densité du trafic, qui ont pu varier d'un participant à l'autre et impacter son expérience de navigation avec les aides proposées.

1.3.3- Limites des entretiens d'explicitation

Nous avons cherché, au cours des études 2 et 3, à questionner l'acceptabilité et l'expérience utilisateur des participants avec les types de guidages proposés, à l'aide d'entretiens inspirés des méthodes d'explicitation (Vermersch, 1994). Cette méthode est exigeante et demande une formation (Cahour et al., 2016) et beaucoup de pratique afin de ne pas induire de réponses attendues chez les participants.

Par ailleurs, l'entretien d'explicitation demande aux participants de se re-situer dans leur souvenir afin de partager avec l'expérimentateur l'expérience vécue au moment de l'activité. Si cette technique a déjà été mise en œuvre avec des personnes âgées (voir par exemple Cahour et al., 2010 ; Piguet et al., 2017), il a pu nous sembler difficile parfois, face à des personnes âgées dont la mémoire peut être plus faillible ou sujette à préoccupations, de mettre en œuvre les relances visant à développer le souvenir rappelé. Cette autolimitation de la part de l'expérimentateur constitue, là encore, une limite liée à la méthode utilisée.

1.3.4- Limites des questionnaires

Nous avons mis en place, dans cette thèse, deux questionnaires en ligne afin de recueillir des informations quant aux habitudes de mobilité et aux attentes des répondants vis-à-vis de la mobilité piétonne de demain. Si les questionnaires en ligne (et plus généralement les questionnaires non-supervisés) présentent un grand nombre d'avantages en termes de coût restreint et de possibilité de toucher un large public, ils comptent aussi un certain nombre de limites (pour une revue, voir Gingras et Belleau, 2015). Les répondants peuvent ainsi avoir des difficultés à ancrer leurs réponses dans le réel de leur pratique, compte tenu de questions relativement généralistes (par exemple, dans notre étude 1 : *Sur une journée ordinaire, combien de temps (en minutes) consacrez-vous en moyenne à vos trajets, tous modes de déplacement confondus ?*). L'utilisation de l'outil informatique biaise également de fait la population des répondants en favorisant davantage les personnes jeunes et urbaines (raison pour laquelle nous avons également imprimé et distribué les questionnaires en version papier). Par ailleurs, il est possible que les répondants aient tendance à ne pas répondre consciencieusement aux questions en l'absence d'un expérimentateur qui supervise le déroulement du questionnaire.

Outre les limites propres à cette technique, l'étude 4 questionne des aides à la navigation qui pourraient exister dans le futur. Si ce travail repose sur une revue de la littérature, il fait néanmoins appel, comme tout travail prospectif, à une part d'imagination (Jungk, 1969) ce qui constitue une limite dans la mesure où les participants peuvent avoir des difficultés à se projeter.

2- Recommandations pour la conception d'aides à la navigation adaptées à un public âgé

2.1- Modalités sensorielles et messages de guidage

Notre travail permet de mettre en avant les potentialités d'un guidage visuel ou auditif pour orienter des personnes âgées en milieu urbain inconnu. Au contraire, la modalité haptique semble présenter, dans l'état actuel de la recherche et des développements technologiques, encore quelques limites à son utilisation pour porter une information complexe de navigation et des limites en termes d'acceptabilité. D'autres types d'informations sensorielles visuelles ou auditives pourraient être utiles et doivent être investiguées : utilisation de sons verbaux, de musiques, ou encore de lignes représentant en continu l'itinéraire à suivre, afin de tirer le meilleur parti de ces modalités sensorielles dans le cadre d'une utilisation auprès d'un public âgé.

Nous pensons également que les modalités auditives et haptiques peuvent présenter une plus-value en complément de la lecture de cartes, dont la familiarité et le sentiment d'autonomie auprès des personnes âgées sont des ressorts sur lesquels nous pouvons nous appuyer pour faciliter l'acceptation d'aides à la navigation. Des travaux ont d'ores-et-déjà été réalisés dans ce sens avec succès (Smets et al., 2008 ; Pielot et Henze, 2009 pour l'ajout d'indices haptiques lors de la lecture de carte, et Heuten et al., 2006 pour la sonification d'informations cartographiques) afin, par exemple, de faciliter l'orientation de cartes numériques. Mais aucun de ces travaux ne s'adresse aux personnes âgées, alors que cela pourrait constituer une perspective intéressante à l'avenir (pour confirmer par exemple la direction empruntée avec la carte, ou pour faciliter l'orientation de l'utilisateur dans l'environnement). On a vu, récemment, que Google Maps travaillait à l'ajout d'informations en réalité augmentée pour faciliter le guidage, en complément de leur carte numérique²⁸, et pensons que les autres types d'informations mobilisés dans cette thèse (sons spatialisés, retours vibratoires) pourraient également présenter un intérêt pour faciliter la lecture de cartes.

Concernant la conception des messages, il nous semble important d'insister sur la nécessité de pouvoir ajuster l'intensité et la durée des indications aux besoins de chacun, comme le soulignent à de nombreuses reprises les participants (études 2 et 3). Nous avons proposé aux participants des messages d'une durée de 2 ou 3 secondes, qui s'est souvent montrée suffisante dans le cas des sons spatialisés, mais trop faibles pour les flèches incrustées et les vibrations au poignet. Cette question doit donc être davantage investiguée, en gardant à l'esprit la nécessité de ne pas perturber l'attention des personnes à leur environnement.

Outre ce premier niveau de personnalisation, il pourrait également être envisagé une personnalisation des messages complexes afin que ceux-ci soient porteurs de sens pour les utilisateurs, et également une personnalisation des informations fournies dans le contexte de navigation, en fonction de l'utilisateur. Cette nécessité de personnalisation est souvent commentée dans la littérature (Costanza, 2006 ; Van Erp, 2005 ; Ruzkio et al., 2009) mais force est de constater que très peu d'études adressent ce besoin, ou uniquement du point de vue de la personnalisation de la forme de l'information (taille, couleur, etc.), sans s'intéresser à sa sémantique (excepté par exemple Brunet, 2014).

²⁸ Vidéo de la KeyNote Google de mai 2018 : <https://www.youtube.com/watch?v=4F0gFpzsYLM>

2.2 - Paradigmes de navigation

Nos études se sont centrées sur l'utilisation d'informations égocentrées pas-à-pas. Nous pensons, au vu de nos résultats, que ce paradigme de navigation est adapté aux personnes âgées dans la mesure où les indications de guidage sont non-ambiguës et fournies suffisamment tôt pour permettre d'anticiper le changement de direction. On a vu, dans nos études, que des messages reçus 10 mètres avant le moment de tourner semblaient corrects aux participants (dans la mesure où ils étaient bien perçus et bien compris), leur permettant d'anticiper suffisamment le changement de direction.

Une perspective intéressante pourrait toutefois être de mobiliser, en complément de ces indications de changement de direction, des informations indiquant d'aller tout droit et des informations relatives aux repères (changements de directions mis en rapport avec les enseignes rencontrées, les noms des rues, etc.) afin de faciliter l'acquisition de connaissances spatiales et de rassurer les personnes âgées quant à la direction à emprunter. L'ajout de ces types d'informations est demandé par les participants, à la fois dans l'étude 2 et l'étude 3. Des études ont déjà investigué les types de repères les plus utiles pour la navigation (May et al., 2003) et de nouvelles recherches s'attachent récemment à comprendre l'importance des repères globaux (Wenig et al., 2017) dans la sécurisation de la prise de décision de navigation, mais ces études ne s'adressent pas, encore une fois, aux personnes âgées, alors que cela pourrait constituer une perspective intéressante.

Compte tenu du rapport particulier des personnes âgées à la mobilité piétonne, les aides à la navigation pourraient également intégrer des informations qui répondent à leurs pratiques : points d'intérêt, itinéraires « touristiques » (Riebeck et al., 2008), mais aussi informations sur l'activité physique en cours (rythme cardiaque, temps de marche total, calories dépensées etc.) pour favoriser l'acceptabilité de tels systèmes auprès des personnes âgées, sensibles à la notion de marche « santé ». Il pourrait être pertinent aussi de proposer des informations géographiques différentes en fonction du genre, dans la mesure où les pratiques diffèrent entre hommes et femmes, notamment chez les personnes âgées. On pourrait, par exemple, proposer plus d'informations en lien avec les commerces, les praticiens à proximité, etc., pour les femmes, dont la marche semble moins orientée vers les loisirs que les hommes, et davantage vers une dimension pratique (aller à un rendez-vous). Les indications pourraient également être plus « rassurantes » (détaillées, répétées) pour un public féminin, qui a plus tendance à plus souvent se déplacer seul en environnement inconnu que les hommes, qui sont généralement accompagnés.

Un intérêt tout particulier doit également être porté à la sécurisation des parcours piétons. Ceci peut être mis en œuvre par la communication des aides à la navigation avec les véhicules alentours afin de prévenir les traversées dangereuses (comme le proposent Coeugnet, Dommes, et al., 2015) mais aussi par l'utilisation de bases d'informations géographiques adaptées aux piétons, évitant les axes au trafic dense, les rues aux trottoirs cabossés ou aux pentes trop élevées. Des travaux de cet ordre ont déjà été réalisés pour favoriser les déplacements des personnes à mobilité réduite (voir par exemple Gamache et al., 2018) et pourraient bénéficier à l'ensemble des personnes âgées.

2.3- Dispositifs technologiques

Notre travail a permis de mettre en valeur l'importance centrale du dispositif utilisé pour communiquer l'information de navigation. Aussi, nous insistons sur l'importance d'utiliser des dispositifs aussi optimaux (en termes d'intensité et de précision de géolocalisation) et aussi esthétiques et discrets que possible pour favoriser la perceptibilité de l'information et l'acceptation des guidages, en lien avec les modèles d'expérience utilisateur des aides à la navigation (Arning et al., 2012 ; Sarjakoski et Nivala, 2005) et des modèles liés à l'acceptabilité des technologies auprès des personnes âgées (Lee et Coughlin, 2015 ; Holzinger et al., 2008).

Ainsi, la couleur et la taille des dispositifs sont des éléments régulièrement relevés par les participants des études 2 et 3, et qu'il convient d'adresser avec attention afin de favoriser la discrétion des aides à la navigation. On choisira de préférence des dispositifs de couleurs neutres (ex. noir, gris), et des dispositifs de petites tailles (dans la limite de pouvoir facilement interagir avec ces derniers). On privilégiera, sur le plan de l'intensité, des dispositifs comme le casque à conduction osseuse, qui permet d'entendre même en cas de surdité partielle, et offre la possibilité de percevoir les bruits alentours. On choisira également des dispositifs portatifs qui permettent une vitesse de rafraîchissement de l'information suffisamment élevée pour ne pas affecter la temporalité des messages, et donc leur précision.

L'utilisation des téléphones intelligents et des dispositifs portatifs tendant à se démocratiser même chez les personnes âgées, nous pensons qu'il s'agit d'un support intéressant pour fournir des indications de navigation. Toutefois, compte tenu des réticences quant aux risques pour la santé et au caractère intrusif de certaines aides à la navigation, il pourrait être envisagé d'utiliser des dispositifs sans contact direct avec le corps (tels que des projecteurs), ou des dispositifs filaires, limitant de ce fait le recours aux ondes.

2.4- Méthodes de conception

Enfin, nos travaux ont permis de mettre en valeur la grande variabilité des personnes âgées, et les potentialités d'usage des aides à la navigation auprès d'autres publics (actifs, personnes handicapées, touristes, etc.). Bien que nous n'ayons pas développé ces pistes, il nous semble important de penser les aides à la navigation selon les cadres de la conception universelle (Lusher et Mace, 1989), et de proposer des boucles de rétroaction au cours des phases de conception, mettant divers profils d'utilisateurs au cœur des préoccupations.

Si les personnes concernées par ce travail de thèse étaient majoritairement des personnes âgées d'aujourd'hui, nous avons souhaité ouvrir notre travail à des personnes âgées de demain (actifs de plus de 50 ans, voire plus jeunes) qui, même si elles diffèrent des retraités âgés dans leurs pratiques quotidiennes, partagent avec eux des attentes communes pour la mobilité, et une appréciation assez similaire des guidages proposés. Le travail réalisé dans cette thèse peut également être un premier pas pour des travaux orientés vers d'autres types de populations limitées dans leur navigation : personnes en situation de handicap physique et/ou sensoriel, personnes cérébro-lésées, etc.

3- Perspectives de recherche

Au vu des résultats de cette thèse et des recherches récentes dans le domaine des aides à la navigation, nous proposons plusieurs perspectives afin de poursuivre le travail de recherche entrepris.

Premièrement, il pourrait être envisagé d'autres modalités sensorielles afin d'aider la navigation des piétons âgés. Nous n'avons mobilisé que les modalités visuelles, auditives et haptiques, mais la modalité olfactive, notamment, pourrait s'avérer intéressante à moyen terme dans la mesure où les technologies olfactives se développent rapidement depuis plusieurs années (Dmitrenko et al., 2016), et permettraient de recourir à une modalité sensorielle peu mobilisée dans la navigation (au contraire de la vue et de l'ouïe), et donc de limiter la charge attentionnelle. Des recherches ont montré la bonne capacité de l'être humain à se guider grâce aux odeurs, mais ces recherches n'ont pas eu lieu, pour l'instant, en environnement naturel. Des recherches s'intéressent aussi aux alertes olfactives dans le cadre de la conduite automobile (Dmitrenko et al., 2017) afin de prévenir le conducteur de danger. Ces mécanismes pourraient s'avérer utiles pour les piétons, en complément de la lecture de carte, et une étude pourrait être réalisée dans ce sens. On proposerait, par exemple, à des piétons de se guider avec une carte numérique qui leur indiquerait par plusieurs modalités sensorielles (bips sonores, vibrations haptiques ou odeurs) quand ils se sont mal orientés. Au même titre que la modalité haptique, il semble que la modalité olfactive puisse être intéressante pour la navigation des piétons, bien que des défis majeurs en termes de communication d'information complexe et d'acceptabilité restent à relever.

Deuxièmement, si les indications égocentrées nous semblent convenir aux piétons âgés, il pourrait être intéressant de les enrichir en les associant à des repères, et ce, à la fois pour rassurer les piétons sur le chemin emprunté, et à la fois pour s'approcher de leur pratiques, orientées vers le tourisme (bâtiments historiques, etc.) ou à des fins plus utilitaires (aller chez des praticiens, commerces, etc.). Ceci pose toutefois la question d'investiguer la question de savoir quels sont les repères les plus pertinents pour les personnes âgées : s'agit-il de points de repères nécessairement familiers (grandes enseignes commerciales, La Poste, etc.), de repères saillants visuellement ou visibles de loin (Wenig et al., 2017), et ceux-ci diffèrent-ils selon l'âge et le genre ? L'étude de May et al. (2003) tend à montrer que les commences sont les repères les plus prégnants dans les trajets piétons, mais cette étude ne prend en compte ni l'âge, ni le genre des participants. Au cours de notre étude en environnement réel, nous avons observé, par exemple, que certains repères étaient souvent rappelés par les participants sans être nécessairement très saillants ou situés à des changements de direction : un mimosa sur le trottoir, la plaque d'un cabinet infirmier, un serrurier dont le nom de l'enseigne rappelle celui d'une chaîne de supermarché, etc. Il semble donc difficile a priori de savoir quels éléments s'avéreront les plus pertinents pour chaque personne. Une étude pourrait être réalisée en ce sens, s'inspirant de la méthode utilisée par May et al. (2003) : on pourrait demander à des participants jeunes et âgés, hommes et femmes, d'indiquer leur chemin à des pairs, afin d'étudier les éléments les plus spontanément mis en avant par chacun de ces groupes. Par ailleurs, l'ajout d'informations en lien avec les repères, si elle peut être pertinente sur le plan de la sécurisation et sur le plan des pratiques piétonnes, questionne le mode de communication utilisé pour ces repères : l'utilisation d'informations visuelles ou auditives enrichies de repères ne risquerait-elle pas de surcharger l'attention des personnes âgées ? Quid d'indications de repères haptiques ou olfactives ? Seraient-elles suffisamment précises ? Ces questions nous semblent primordiales à investiguer afin d'offrir aux personnes âgées des aides adaptées à leur pratiques et sécurisantes, mais elles ne sont pour l'heure pas adressées dans la littérature. On pourrait ainsi, comme l'a fait Brunet (2014) réaliser des études par focus groupes sur la conception de métaphores visuelles, auditives, haptiques, voire olfactives, pour communiquer des informations sur les points de repères.

Troisièmement, sur le plan de la sécurisation des parcours, nous avons précisé l'intérêt potentiel d'indiquer les éléments dangereux aux piétons, notamment lors de la traversée de rue. Ceci nécessite toutefois de questionner comment présenter l'information de danger, et sa temporalité, afin qu'elle soit efficace et bien acceptée. Coeugnet et al. (2017) ont par exemple utilisé un bracelet vibrant indiquant aux piétons âgés une traversée dangereuse en raison de l'approche imminente d'un véhicule. Leurs résultats montrent toutefois que 50% des alertes ne sont pas suivies (i.e. les personnes traversent quand même, malgré l'annonce d'un danger, alors elles n'en ont pas le temps), probablement en raison d'une forme de réactance chez les participants, qui peuvent se sentir disqualifiés par ce type de dispositif et cherchent à défier le système. Il pourrait être intéressant d'investiguer d'autres types d'alertes (bips sonores, indications en réalité augmentée ou même retours olfactifs) en environnement virtuel d'abord, puis en environnement réel, afin d'identifier les plus performants et mieux acceptés. Sur le plan de la sécurisation toujours, il pourrait être envisagé de proposer des itinéraires mieux adaptés, évitant au maximum les zones de danger (traversées de grands axes, ronds-points, etc.) afin de limiter la prise de risque. Mais ces itinéraires peuvent s'avérer beaucoup plus longs (voir aussi Garvey et al., 2016 sur la sécurisation d'itinéraire visant à limiter le risque d'agression physique), et donc difficiles à parcourir pour des personnes âgées. Une étude pourrait par exemple comparer l'expérience utilisateur de personnes âgées sur différents types d'itinéraires plus ou moins longs et insécurisants afin d'investiguer le ratio distance/sécurité le mieux acceptable de leur point de vue.

Enfin, le travail réalisé dans cette thèse pourrait intéresser d'autres populations qui seraient bénéficiaires de la multisensorialité d'informations de guidage et d'interfaces adaptées afin de favoriser leur mobilité : personnes en situation de handicap physique et/ou sensoriel, personnes cérébro-lésées, etc. Si des bases d'informations géographiques se développent afin de tenir compte de l'accessibilité des trottoirs dans la proposition d'itinéraires adaptés à chaque public en fonction de son profil (pentes acceptables, largeur de passage d'un fauteuil roulant, hauteur des trottoirs, etc.), il est difficilement envisageable de développer une solution propre pour chaque catégorie d'utilisateurs, et il serait donc pertinent de réfléchir à des solutions technologiques adaptables (dont l'affichage peut être personnalisé par l'utilisateur selon ses préférences) et adaptatives (qui puissent automatiquement tenir compte du contexte d'utilisation pour adapter leur forme et leur contenu). En ce sens, Hubert et al. (2017) développent le concept de géovisualisation plastique des itinéraires piétonniers, qui permettrait de proposer pour chaque personne un itinéraire adapté sous la forme qui lui convient le mieux (cartographique et/ou réalité augmentée et/ou guidage vocal et/ou retours haptiques, etc.), et sur le dispositif portatif de son choix (tablette, montre, téléphone, etc.), sans chercher à développer une solution unique par type de population. Une étude pourrait ainsi être menée afin de comparer les modalités d'informations et les dispositifs les mieux adaptés à un public cérébro-lésé : les attentes de ce public se rapprocheraient-elles des attentes des personnes âgées, dans la mesure où ces deux groupes peuvent partager un certain nombre de difficultés cognitives ? Les possibilités d'interaction des personnes cérébro-lésées avec une montre connectée leur permettraient-elles d'utiliser ces dispositifs dans la même mesure que les personnes âgées ? Par ailleurs, en cherchant à proposer des aides à la navigation adaptées à un public plus large, nous pourrions aussi questionner les modalités de saisie de l'itinéraire, sujet qui n'a pas été abordé dans cette thèse : une saisie vocale, ou une saisie haptique non tactile (par rotation de la couronne d'une montre connectée par exemple) seraient-elles plus efficaces pour ces différents groupes ? Toutes ces questions offrent, nous semble-t-il, des perspectives intéressantes de recherche en psychologie ergonomique et cognitive, afin de tirer le meilleur parti des outils technologiques pour favoriser la mobilité piétonne du plus grand nombre.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Al Mahmud, A., Mubin, O., et Shahid, S. 2009. User Experience with in-car GPS Navigation Systems: Comparing the Young and Elderly Drivers. In *Proceedings of the 11th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI '09*.
- Allain, P., Nicoleau, S., Pinon, K., Etcharry-Bouyx, F., Barré, J., Berrut, G., et Le Gall, D. 2005. Executive functioning in normal aging: A study of action planning using the Zoo Map Test. *Brain and Cognition*, 57, 1, 4–7. <http://doi.org/10.1016/j.bandc.2004.08.011>
- Allen, G. 1999. Spatial abilities, cognitive maps, and wayfinding: Bases for individual differences in spatial cognition and behaviour. In R. G. Golledge, *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Allen, G. L., Kirasic, K. C., Siegel, A. W., et Herman, J. F. 1979. Developmental issues in cognitive mapping: The selection and utilization of environmental landmarks. *Child Development*, 50, 1062–1070.
- Anastassova, M., Domes, A., Chevalier, A. 2015. *Projet A-PIED : Aider les PIETons à se Déplacer en milieu urbain*. Rapport final de convention.
- Antonova, E., Parslow, D., Brammer, M., Dawson, G.R., Jackson, S.H.D., et Morris, R.G. 2009. Age-related neural activity during allocentric spatial memory. *Memory*, 17, 125–143.
- Arab, F., Panëels, S., Coeugnet, S., Domes, A., Chevalier, A., et Anastassova, M. 2015. Haptic patterns and older adults: to repeat or not to repeat? In *Proceedings of IEEE Worldhaptics '15*, Evanston, IL, USA.
- Arden, G. B., et Jacobsen, J. 1978. A simple grating test for contrast sensitivity: preliminary results indicate value for screening in glaucoma. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 17, 23-32
- Ariel, R. et Moffat, S. 2017. Age-related similarities and differences in monitoring spatial cognition. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 25, 3.
- Arking, R. 1998. *Biology of Aging*. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Arning, K., Ziefle, M., Li, M., et Kobbelt, L. 2012. Insights into user experiences and acceptance of mobile indoor navigation devices. *Proceedings of the 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '12*, 1. <http://doi.org/10.1145/2406367.2406417>
- Ashraf, M. A. 2005. *La 3D interactive en temps réel comme aide à l'acquisition de connaissances spatiales : étude de l'influence du mode d'exploration*. Thèse de doctorat, Université Laval.
- Aslan, I., Schwalm, M., Baus, J., Krüger, A., et Tim, S. 2006. Acquisition of spatial knowledge in location aware mobile pedestrian navigation systems. In *Proceedings of the 8th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, 105- 108.
- Aubrey, J. B., Li, K. Z., et Dobbs, R. 1994. Age differences in the interpretation of misaligned “You-Are-Here” maps. *Journal of Gerontology*, 49, 1, 29–31. <http://doi.org/10.1093/geronj/49.1.P29>

B

- Banton, B., Stefanucci, J., Durgin, F., Fass, A., et Proffitt, D. 2005. The perception of speed walking in a virtual environment. *Presence* 14, 4, 394-406. DOI: 10.1162/105474605774785262.
- Barcenilla, J., et Bastien, J. M. C. 2009. L'acceptabilité des nouvelles technologies : quelles relations avec l'ergonomie, l'utilisabilité et l'expérience utilisateur ? *Le Travail humain*, LXXII, 311-331.
- Bastien, J. et Tricot, A. 2008. L'évaluation ergonomique des documents électroniques. In *Ergonomie des documents électroniques*, 205-227. Paris: Presses Universitaires de France. DOI : 10.3917/puf.cheva.2008.02.0205.
- Béguin, P. et Rabardel, P. 2001. Concevoir pour les activités instrumentées. *Revue d'Intelligence Artificielle*, 14, 35-54.
- Benetos, A., Thomas, F., Bean, K. E., Pannier, B., et Guize, L. 2005. Role of modifiable risk factors in life expectancy in the elderly. *J Hypertens* 23: 1803-8.
- Berg, C, Hertzog, C, et Hunt, E. 1982. Age differences in the speed of mental rotation. *Developmental Psychology*, 18, 95-107.
- Berke, E. M., Gottlieb, L. M., Moudon, A. V., and Larson, E. B. 2007. Protective association between neighborhood walkability and depression in older men. *Journal of the American Geriatrics Society*, 55, 4, 526-533. <http://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2007.01108.x>
- Bertel, S., Dressel, T., Kohlberg, T. et Von Jan, V. 2017. Spatial Knowledge Acquired from Pedestrian Urban Navigation Systems . In *Proceedings of the 2017 Mobile Human-Computer Interaction Conference. MobileHCI'17*, Wien, Austria.
- Berthoz, A. et Viaud-Delmon, I. 1999. Multisensory integration in spatial orientation. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 708-712.
- Beyer, S. 1990. Gender Differences in the Accuracy of Self-Evaluations of Performance. *Journal of Personality and Social Psychology* 59, 5, 960-970. DOI: 10.1037/00223514.59.5.960
- Bhavnani, Y., Rodden, K., Cuozzo Guarnotta, L., Lynn, M., Chizari, S., et Granka, L. 2017. Understanding mobile phone activities via retrospective review of visualizations of usage data. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, MobileHCI'17*.
- Birren, J. E., et Schaie, K. W. 1977. *Handbook of the psychology of aging*. New York : Van Nostrand and Reinhold.
- Bouccara, D., Ferrary, E., Mosnier, I., Bozorg Grayeli, A., et Sterkers, O. 2005. Presbyacousie. *EMC - Oto-Rhino-Laryngologie*, 2, 4, 329-342. <http://doi.org/10.1016/j.emcorl.2005.09.004>
- Brangier, E., et Barcenilla, J. 2003. *Concevoir un produit facile à utiliser*. Paris, Éditions d'Organisation.
- Brangier, E., et Bastien, C. 2010. L'évolution de l'ergonomie des produits informatiques : accessibilité, utilisabilité, émotionnalité et influençabilité. In G. Valléry, M. C. Le Port, M. Zouinar (Eds.) *Ergonomie, conception de produits et services médiatisés*. PUF : Paris.
- Brangier, E., Hammes-Adelé, S., et Bastien, J.-M.-C. 2010. Analyse critique des approches de l'acceptation des technologies : de l'utilisabilité à la symbiose humain-technologie-organisation, *European Review of Applied Psychology*, 60, 129-146.
- Brewster, S., et Brown, L. M. 2001. Tactons : Structured Tactile Messages for Non-Visual Information Display. In *Proceedings of the 5th Australasian User Interface Conference, AUIC2004*.
- Broadbent, D. 1958. *Perception and Communication*. London : Pergamon Press.
- Brooke, J. 1986. *System usability Scale: A Quick and Dirty method of system evaluation user information*. Digital Equipment, Ready, UK

- Brunet, L. 2014. *Etude ergonomique de la modalité haptique comme soutien à l'activité de déplacement piéton urbain: un projet de conception de produit innovant*. Thèse de Doctorat, Université Paris Sud.
- Burles, F., Guadagni, V., Hoey, F., Arnold, A. E. G. F., Levy, R. M., O'Neill, T., et Iaria, G. 2014. Neuroticism and self-evaluation measures are related to the ability to form cognitive maps critical for spatial orientation. *Behavioural Brain Research*, 271, 154–9. <http://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.06.002>
- Burlot, F., et Lefèvre, B. 2009. Le sport et les seniors : des pratiques spécifiques ? *Retraite et société*, 2, 58, 133-158.
- Burns, P. C. 1999. Navigation and the mobility of older drivers. *The Journal of Gerontology*, 54, 49–55.
- Byrt, T. 1996. How Good Is That Agreement? *Epidemiology* 7, 5, 561.

C

- Cahour, B., Forzy, J-F., et Martin, C. 2010. Feelings and strategies of senior drivers: ways of coping with fear ? *In Proceedings of ECCE 2010*, Delft, NL.
- Cahour, B., et Salembier, P. 2012. The user phenomenological Experience: evoking the lived activity with “re-situating” interviews, *CHI 2012*.
- Cahour, B., Salembier, P., et Zouinar, M. 2016. Analysing Lived Experience Of Activity. *Le Travail Humain/PUF*, 79, 2.
- Cammann, H., Stolz, P., et Wölfel, M. 2017. Non-Visual Pedestrian Navigation using Vibrotactile Stimuli in the Wristband of a Smartwatch. In *Proceedings of the 16th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia MUM 2017*.
- Camus, J.-F. 1996. *La psychologie cognitive de l'attention*. Paris : Armand Colin.
- Caradec, V. 2001. “Personnes âgées” et “objets technologiques” : une perspective en termes de logiques d'usage. *Revue française de sociologie*, 42, 1, 117-148
- Caradec, V. 2008. *Sociologie de la vieillesse et du vieillissement*. Paris : Armand Colin, coll. « 128 ».
- Carp, F. M. 1972. The older pedestrian in San Francisco. *Highway Research Record*, 403, 18-25.
- Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de Vie (CREDOC). *Baromètre du numérique 2015*. Collection des rapports, n°R325.
- Cerema - Direction Générale Centre-Est. 2016. Rapport : Piétons seniors et aménagement de la voirie en milieu urbain [En ligne] https://www.cerema.fr/fr/system/files/documents/2017/12/Securite_seniors_pietons-VFinale_maj_juin2016_cle23e1b9.pdf
- Chalmé, S., Visser, W., et Denis, M. 2000. Cognitive aspects of urban route planning. *International Conference on Traffic and Transport Psychology*, 145.
- Charlier, J., et Hache, J.-C. 1985 Réflexe pupillaire et presbytie, in Essilor (Edit.). *IIIe Symposium international de la Presbytie*, 2, 176-185.
- Charlton, J., Oxley, J., Fildes, B., Oxley, P., Newstead, S., Koppel, S., et O'Hare, M. 2006. Characteristics of older drivers who adopt self-regulatory driving behaviours. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 9, 5, 363-373.
- Chen, J. L., et Stanney, K. M. 1999. A Theoretical Model of Wayfinding in Virtual Environments: Proposed Strategies for Navigational Aiding. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 8, 671–685. <http://doi.org/10.1162/105474699566558>
- Chittaro, L., et Burigat, S. 2005. Augmenting audio messages with visual directions in mobile guides: an evaluation of three approaches. *Proceedings of the 7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, 107–114. <http://doi.org/10.1145/1085777.1085795>

- Chevalier, A., Coeugnet, S., Dommès, A., Vienne, F., Dang, N-T., Panëels, S., et Anastassova, M. 2016. A Vibrotactile Wristband for Older People to Navigate in a City. *International Journal of Psychology*, 51, 1149-1150.
- Coeugnet, S., Dommès, A., Vienne, F., Dang, N T, Paneels, S., Arab, F., Chevalier, A., et Anastassova, M. 2015. A vibrotactile device to help older pedestrians to get around safely. In *Proceedings of the 14th European Congress of Psychology*.
- Cœugnet, S., Dommès, A., Panëels, S., Chevalier, A., Vienne, F., Dang, N. T., et Anastassova, M. 2017. A vibrotactile wristband to help older pedestrians make safer street-crossing decisions. *Accident Analysis & Prevention*, 109, 1-9.
- Commissariat Général du Développement Durable (CGDD). 2010. *La mobilité des Français : Panorama issu de l'enquête nationale transports et déplacements 2008*. Service de l'observation et des statistiques, Paris. Coll. La revue. [En ligne] <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rev3.pdf>
- Conroy, R. 2001. *Spatial navigation in immersive virtual environments*. University College London.
- Costanza, E., Inverso, S. A., Pavlov, E., Allen, R, et Maes, P. 2006. eye-q: Eyeglass peripheral display for subtle intimate notifications. In *Proceedings of the 8th conference on Human-computer interaction with mobile devices and services MobileHCI'06*, 211-218
- Corbetta, M., Kincade, J. M., et Shulman, G. L. 2002. Neural systems for visual orienting and their relationships to spatial working memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 3, 508-523. <http://doi.org/10.1162/089892902317362029>
- Couclelis, H, Golledge, R. G., Gale N., et Tobler W. 1987. Exploring the anchor-point hypothesis of spatial cognition. *J Environ Psychol* 5, 99-122.
- Courtois, Y. 1985. Synthèse, croissance et vieillissement de la capsule cristallinienne, in Essilor (Edit.), *IIIe Symposium international de la Presbytie*, 2, 8-21.
- Craik, F.I.M., et Byrd, M. 1982. Aging and Cognitive Deficits. In: Craik F.I.M., Trehub S. (eds) *Aging and Cognitive Processes. Advances in the Study of Communication and Affect*. Springer, Boston, MA
- Creno, L. et Cahour, B. 2015. Triangulation des méthodes pour une analyse de l'activité selon différents points de vue : exemple de la gestion des emails chez des cadres surchargés. *Psychologie Française*, 60, 2, 129-144.
- Crocker, M. 2007. *Handbook of noise and vibration control*. John Wiley & Sons, UK.
- Cua, A. B., Wilhelm, K. P., et Maibach, H. I. 1990. Elastic properties of human skin: relation to age, sex, and anatomical region. *Arch Dermatol Res* 282, 5, 283-288.
- Cummings, S.R., Nevitt, M.C., et Browner, W.S. 1995. Risk factors for hip fracture in white women. Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *N Engl J Med* 332: 767-73.
- Cushman, L.A., Stein, K. et Duffy, C.J. 2008. Detecting navigational deficits in cognitive aging and Alzheimer disease using virtual reality. *Neurology*, 71, 888-895.
- Czaja, S. J., Charness, N., Fisk, A. D., Hertzog, C., Nair, S. N., Rogers, W. A. et Sharit, J. 2006. Factors Predicting the Use of Technology: Findings From the Center for Research and Education on Aging and Technology Enhancement (CREATE). *Journal of Psychological Aging*, 21, 2, 333-352.

D

- Dahlstedt, S. 1978. Walking speeds and walking habits of elderly people. In N. Ashford et W. G. Bell (Eds.), *International Conference on Transport for the Elderly and Handicapped*. Cambridge: Loughborough University of Technology
- Daniel, M. 2012. Les descriptions de configurations spatiales. Habilitation à Diriger les Recherches, LIMSI-CNRS.
- Darken, R.P. et Sibert, J.L. 1996. Navigating Large Virtual Spaces. *International Journal of Human-Computer Interaction* 8, 1.
- Darses, F. 2016. Activity analysis: not what it was! *Le Travail Humain*, 3, 79, 193-208.
- Davis, F. D. 1989. Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13, 3, 319- 340.
- Davidse, R. 2007. *Assisting the older driver: Intersection design and in-car devices to improve the safety of the older driver*. Thèse de Doctorat, Université de Rijk, Pays-Bas.
- De Beni, R., Pazzaglia, F., et Gardini, S. 2006. The role of mental rotation and age in spatial perspective- taking tasks: When age does not impair perspective-taking performance. *Applied Cognitive Psychology*, 20, 6, 807-821
- De Goede, M. 2009. *Gender differences in spatial cognition*. Thèse de doctorat de l'université d'Utrecht.
- Dejos, M. 2013. *Approche écologique de l'évaluation de la mémoire épisodique et de la navigation spatiale dans la maladie d'alzheimer*. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux 2.
- Délégation aux Usages de l'Internet (DUI). 2011. *Seniors et tablettes interactives*. Livre Blanc édité par le Ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche et le Ministère chargé de l'Industrie, de l'Énergie et de l'Économie Numérique.
- Demoli, Y., 2014. Les femmes prennent le volant. Les logiques sociales de la diffusion du permis, de l'accès au volant et de l'usage de l'automobile auprès des femmes au cours du XX^e siècle. *Travail, genre et sociétés*, 2, 32, 119-140.
- Deshmukh, A., Rodrigue, K. M., Kennedy, K. M., Land, S., Jacobs, B. S., et Raz, N. 2009. Synergistic effects of the MTHFR C677T polymorphism and hypertension on spatial navigation. *Biological Psychology*, 80, 2, 240–245.
- Desmet, P.M. 2002. *Designing Emotion*. Delft, Delft University of Technology.
- Desrocher, M., et Smith, M.L. 1998. Relative preservation of egocentric but not allocentric spatial memory in aging. *Brain and Cognition*, 37, 91–93.
- Devlin, A.S. 2001. *Mind and Maze: Spatial Cognition and Environmental Behavior*. Greenwood Press
- Devlin, A. S. 2003. Giving directions: Gender and perceived quality. *Journal of Applied Social Psychology*, 33, 1530–1551.
- Dijkstra, W., Smit, J. et Comijs, H. 2001. Using social desirability scales in research among elderly. *Quality and Quantity*, 35, 107-115
- Dmitrenko, D., Maggioni, E., Thanh Vi, C. et Obrist, M. 2017. What Did I Sniff?: Mapping Scents Onto Driving-Related Messages. In *Proceedings of the 9th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI 2017)*. ACM, Oldenburg, Germany.
- Dmitrenko, D., Thanh Vi, C., et Obrist, M. 2016. A Comparison of Scent-Delivery Devices and Their Meaningful Use for In-Car Olfactory Interaction. In *Proceedings of the AutomotiveUI'16: 8th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (Automotive'UI 16)*. ACM, New York, NY, USA, 23-26.

- Downs, R. M., et Stea, D. 1973. Cognitive maps and spatial behaviour: process and products. In R. M. Downs et D. Stea, Eds., *Image and Environment*. Chicago, IL: Aldine.
- Downs, R. M., et Stea D. 2011. *Cognitive Maps and Spatial Behaviour: Process and Products*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK
- Dror, I.E, et Kosslyn, S.M. 1994. Mental imagery and aging. *Psychology and Aging*, 9, 90–102.
- Dunbar, G., Holland, C., et Maylor, E. 2004. *Older Pedestrians : A Critical Review of the Literature*. Road Safety Research Report n°37. University of Warwick, UK.

E

- Endsley, M. R. 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factor*, 37, 1, 32-64.
- Eriksen, C., Hamlin, R. M., et Breitmeyer, R. G. 1970. Temporal factors in visual perception as related to aging. *Perception and Psychophysics*, 7, 354-356.
- Eriksen, C., St James, J. 1986. Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception and psychophysics* 40, 4, 252-240.
- Erp, J. V., Veen, H. A., Jansen, C. et Dobbins, T. 2005. Waypoint navigation with a vibrotactile waist belt. *ACM Transactions on Applied Perception* 2, 2, 106–117. DOI : 10.1145/1060581.1060585
- ETSI. 2002. *Human Factors: Guidelines on the multimodality of icons, symbols and pictograms*. EG 202 048 V1.1.1.
- Etter, R., et Specht, M. 2005. Melodious walkabout: Implicit navigation with contextualized personal audio contents. *Ext Proc. Pervasive 2005*, 43–49.

F

- Faisal, M., Yusof, M., et Romli, N. 2014. Design for Elderly Friendly: Mobile Phone Application and Design that Suitable for Elderly. *International Journal of Computer Applications*, 95, 3.
- Fang, Z., Li, Q., et Shaw, S-L. 2015. What about people in pedestrian navigation? *Geo-spatial Information Science* 18, 4, 135–150. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/10095020.2015.1126071>
- Farage, M., Miller, K., Ajayi, F., et Hutchins, D. 2012. Design Principles to Accommodate Older Adults. *Global journal of health science*.
- Faure, V. 2017. Les simulateurs de conduite : évaluation de la validité psychologique sous l'angle de la charge mentale. Thèse de doctorat de l'Université Paris Saclay.
- Fereday J., et Muir-Cochrane, E. 2006. Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development. *International Journal of Qualitative Methods* 5, 1.
- Feriel, C. 2015. *Piétonner les centres-villes (1960-1980). États, pouvoirs municipaux et sociétés urbaines face aux mutations des centres urbains au second XXe siècle (Europe, États-Unis)*. Thèse de Doctorat, Université Paris Saclay.
- Février, F., Gauducheau, N., Jamet, E., Rouxel, G., et Salembier, P. 2011. La prise en compte des affects dans le domaine des interactions homme-machine : quels modèles, quelles méthodes, quels bénéfices ? *Le Travail Humain*, 2, 74, 183-201

- Fiatarone, M. A., O'Neill, E. F., Ryan, N. D., Clements, K. M., Solares, G. R., et Nelson, M. E. 1994. Exercise training and nutritional supplementation for physical frailty in very elderly people. *N Engl J Med* 330, 1769–75.
- Fisk, A., Rogers, W., Charness, N., Czaja, S., et Sharit, J. 2009. *Designing for older adults: Principles and creative human factors approaches*. CRC Press
- Fontaine, S. 2000. *La cognition spatiale dans des environnements souterrains et urbains : aides verbales et graphiques à la navigation*. Thèse de doctorat, LIMSI-CNRS.
- Foo, P., Warren, W. H., Duchon, A., et Tarr, M. J. 2005. Do Humans Integrate Routes Into a Cognitive Map? Map- Versus Landmark-Based Navigation of Novel Shortcuts. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 31, 2, 195–215. <http://doi.org/10.1037/0278-7393.31.2.195>
- Forlizzi, J., et Battarbee, K. 2004. Understanding experience in interactive systems. In *Proceedings of the 2004 conference on Designing Interactive Systems, DIS 04*, 261.
- Franco, O. H., De Laet, C., Peeters, A., Jonker, J., Mackenbach, J., et Nusselder, W. 2005. Effects of physical activity on life expectancy with cardiovascular disease. *Arch Intern Med* 165: 2355–60.
- Franzen, M. D. et Wilhelm, K. L. 1996. Conceptual foundations of ecological validity in neuropsychology. In Sbordone, R. J., et Long, C. J. (eds.), *Ecological Validity of Neuropsychological Testing*, GR Press/St. Lucie Press, Delray Beach, FL.
- Freiherr, J., Lundström, J. N., Habel, U., et Reetz, K. 2013. Multisensory integration mechanisms during aging. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1–6. <http://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00863>
- Frey, M. 2007. CabBoots: Shoes with Integrated Guidance System. *Tej*, 245–246. <http://doi.org/10.1145/1226969.1227019>
- Friedman, D., Parikh, N., Giunta, N., Fahs, M., et Gallo, W. 2012. The influence of neighborhood factors on the quality of life of older adults attending new york city senior centers: Results from the health indicators project. *Quality of Life Research*, 21, 1, 123-131.
- Fuchs, P., Moreau, G., Berthoz, A., et Vercher, J.L. *Le traité de la réalité virtuelle - Volume 1 L'homme et l'environnement virtuel*. Paris : Presses de l'École des Mines de Paris, 2006.

G

- Gacem, H., Bailly, G., Eagan, J., et Lecolinet, E. 2014. A design space of guidance techniques for large and dense physical environments. In *Proceedings of the 26th Conference on l'Interaction Homme-Machine, IHM'14*. Villeneuve d'Ascq, France, 9-17.
- Gamache, S., Routhier, F., Morales, E., Vandersmissen, M-H., et Boucher, N. 2018. Mapping review of accessible pedestrian infrastructures for individuals with physical disabilities. *Disability & Rehabilitation: Assistive Technology*. DOI: 10.1080/17483107.2018.1449018
- Garling, T., et Golledge, R. G. 1989. Environmental perception and cognition. In E. Zube et G. Moore, (Eds.), *Advances in Environmental Behaviour and Design*. New York, NY: Plenum Press.
- Garvey, M., Das, N., Su, J., Natraj, M., Berma, V. 2016. PASSAGE: A Travel Safety Assistant with Safe Path Recommendations for Pedestrians. *IUI 2016*, Samona, CA, USA, 7-10 Mars.
- Gazova, I., Laczó, J., Rubinova, E., Mokrisova, I., Hyncicova, E., Andel, R., Vyhnalek, M., Sheardova, K., Coulson, E., et Hort, J. 2013. Spatial navigation in young versus older adults. *Frontiers in Aging Neurosciences*, 5, 94. DOI : 10.3389/fnagi.2013.00094
- Geraghty, J., Holland, C., et Rochelle, K., 2016. Examining links between cognitive markers, movement initiation and change, and pedestrian safety in older adults. *Accid. Anal. Prev.* 89, 151–159.

- Giannopoulos, I., Kiefer, P., et Raubal, M. 2015. GazeNav : Gaze-Based Pedestrian Navigation. *Proceedings of Mobile HCI'15*, 337–346.
- Giffard, B., Desgranges, B., et Eustache, F. 2001. Le vieillissement de la mémoire : vieillissement normal et pathologique. *Gérontologie et Société*, 24, 97, 33-47.
- Gilbert, J. G. 1957. Age changes in color matching. *Journal of Gerontology*, 12, 210-215
- Gingras, M. E., et Belleau, H. 2015. *Avantages et désavantages du sondage en ligne comme méthode de collecte de données : une revue de la littérature*. Working Paper. INRS Centre - Urbanisation Culture Société, Montréal.
- Goldin, S. E., et Thorndyke, P. 1981. *Spatial learning and reasoning skill*. Technical Report R-2805-ARMY. Santa Monica: Rand, Inc.
- Golledge, R. G. 1999. Human wayfinding and cognitive maps. In R. G. Golledge (Ed.), *Wayfinding behavior: Cognitive mapping and other spatial processes*. Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.
- Goodman, J., Brewster, S., et Gray, P. 2005. How can we best use landmarks to support older people in navigation? *Behaviour & Information Technology*, 24, 1, 3–20.
- Goodman, J., Gray, P., Khammampad, K., et Brewster, S. 2004. Using landmarks to support older people in navigation. *Mobile Human-Computer Interaction Conference MobileHCI 2004*, 38-48
- Gras, D., Daniel, M-P., Labiale, G., Piolino, P., et Gyselinck, V. 2012. Effet du vieillissement sur la mémorisation d'itinéraires réels : L'importance de la mémoire de travail et de la mémoire épisodique. *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du vieillissement*, 10, 4, 463-470.
- Grundy, J.W. 1987. A diagrammatic approach to occupational optometry and illumination. *Optometry Today*, 503-508.
- Grussenmeyer, W., Garcia, J., Jiang, F. 2016. Feasibility of Using Haptic Directions through Maps with a Tablet and SmartWatch for People who are Blind and Visually Impaired. In *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services - MobileHCI'16*, 83-89.
- Guerreiro, M., Murphy, D., et Van Gerven, P. 2010. The role of sensory modality in age-related distraction: a critical review and a renewed view. *Psychol. Bull.* 136, 975–1022. doi: 10.1037/a0020731
- Gyselinck, V., Meneghetti, C., Bormetti, M., Orriols, E., Piolino, P. et De Beni, R. 2013) Considering spatial ability in virtual route learning in early aging. *Cognitive Processing*, 14, 3:309-16.

H

- Hakim A. A., Petrovitch H., et Burchfiel, C. M. 1998. Effects of walking on mortality among nonsmoking retired men. *N Engl J Med* 338: 94–9.
- Halverstadt, A., Phares, D. A., Wilund, K. R., Goldberg, A. P., et Hagberg, J. M. 2007. Endurance exercise training raises high-density lipoprotein cholesterol and lowers small low-density lipoprotein and very low-density lipoprotein independent of body fat phenotypes in older men and women. *Metabolism* 56: 444–50.
- Hamner, M., et Qazi, R. 2008. Expanding the technology acceptance model to examine personal computing technology utilization in government agencies in developing countries. *Government Information Quarterly* 26, 1, 128-36.
- Handel, S., et Buffardi, L. 1969. Using several modalities to perceive one temporal pattern. *The Quarterly journal of experimental psychology*, 21, 3, 256-266
- Hanington, B. 2003. Methods in the Making: A Perspective on the State of Human Research in Design. *Design Issues*, 19, 4.

- Hardman, A. E. 2001. Physical activity and cancer risk. *Proc Nutr Soc* 60: 107–13.
- Hariri, S., Mustafa, N. A., Kurananayaka, K. et Cheok, A. D. 2016. Electrical stimulation of olfactory receptors for digitizing smell. In *Proceedings of the 2016 workshop on Multimodal Virtual and Augmented Reality (MVAR'16)*. New York, USA.
- Hassenzahl, M. 2003. The thing and I: understanding the relationship between user and product. In *Funology: from usability to enjoyment*, M Blythe, C. Overbeeke, A.F. Monk and PC Wright (Eds.), 31-42. Dordrecht : Kluwer.
- Hassenzahl, M. et Tractinsky, N. 2006. User experience - a research agenda. *Behaviour & Information Technology*, 25, 2, 91-97
- Hazzard, A., Benford, S., et Burnett, G. 2014. Walk this Way : Musically Guided Walking Experiences. *Proceedings of the 32nd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '14*, 605–614. <http://doi.org/10.1145/2556288.2557250>
- Head, D., et Isom, M. 2010. Age effects on wayfinding and route learning skills. *Behavioural Brain Research*, 209, 1, 49–58. <http://doi.org/10.1016/j.bbr.2010.01.012>
- Hegarty, M., Richardson, A., Montello, D., Lovelace, K., et Subbiah, I. 2002. Development of a self-report measure of environmental spatial ability. *Intelligence* 30, 5, 425-447.
- Heinroth, T., et Buhler, D. 2008. Arrigator — evaluation of a speech-based pedestrian navigation system. *Intelligent Environments, 2008 IET 4th International Conference*, 1–4.
- Heller, F. et Schöning, J. 2018. NavigaTone: Seamlessly Embedding Navigation Cues in Mobile Music Listening. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Montréal, Canada.
- Herman, J., et Bruce, P. 1983. Adults' mental rotation of spatial information: Effects of age, sex and cerebral laterality. *Experimental Aging Research* 9, 2, 83-85. DOI:10.1080/03610738308258430
- Heuten, W., Henze, N., Boll, S., et Pielot, M. 2008. Tactile wayfinder: a non-visual support system for wayfinding. *Proceedings of the 5th Nordic conference on Human-computer interaction*, 172-181
- Hile, H., Liu, A., Borriello, G. 2009. Visual Navigation for mobile devices. *IEEE Multimedia*, 17, 2, 16–25.
- Hirtle, S. C., et Jonides, J. 1985. Evidence of hierarchies in cognitive maps. *Memory & Cognition*, 13, 208–217.
- Holland, C., Hill, R. 2010. Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: A simulation study. *Accid. Anal. Prev.* 42, 4, 1097-1106.
- Holland, S., Morse, D. R., et Gedenryd, H. 2002. AudioGPS: Spatial audio navigation with a minimal attention interface. *Personal and Ubiquitous Computing*, 6, 4, 253–259. <http://doi.org/10.1007/s007790200025>
- Holzinger, A., Searle, G., Kleinberger, T., Seffah, A. et Javahery, H. 2008. Investigating Usability Metrics for the Design and Development of Applications for the Elderly. In K. Miesenberger et al. (Eds.): ICCHP 2008, LNCS 5105, 98–105. Springer-Verlag : Berlin Heidelberg
- Hommet, C., Beauchet, O., Moroni, C., Mondon, K., Perrier, D., Berrut, G., et Costants, T. 2009. Latéralisation cérébrale et interactions hémisphériques chez le sujet âgé: Place du test d'écoute dichotique. *Annales de Gériatriologie*, 7, 1, 65–72.
- Hötting, K., Holzschneider, K., Stenzel, A., Wolbers, T. et Röder, B. 2013. Effects of a cognitive training on spatial learning and associated functional brain activations. *BMC Neurosci.*, 14, 73.
- Hsieh, M. H., Pan, S. L., et Setiono, R. 2004. Product-, corporate- and country-image dimensions and purchase behavior: a multicountry analysis. *Journal of the Academy of Marketing Science* 32, 3, 251–270. DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/0092070304264262>
- Hubert, F., Sawadogo, M, et Mostafavi, M. 2017. Un premier pas vers la géovisualisation plastique des itinéraires piétonniers. In *Proceedings of Spatial Analysis and GEomatics 2017*.

- Hunt, E., et Waller, D. 1999. *Orientation and wayfinding: A review*. Arlington, VA: Office of Naval Research, 1999.
- Hussain, I., Chen, L., Mirza, H., Chen, G. et Hassan, S-U. 2015. Right mix of speech and non-speech: hybrid auditory feedback in mobility assistance of the visually impaired. *Universal Access in the Information Society*, 14, 4, 527-536.
- Hutchins, E. 1990. The technology of team navigation. In J. Galegher, ed., *Intellectual Teamwork*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Hutchins, E. 1995. How a cockpit remembers its speeds. *Cognitive Science*, 19, 265-288.

I

- Institut d'Aménagement et d'Urbanisme (IAU). 2014. Le vélo retrouve sa place parmi les mobilités du quotidien. *Note Rapide, Mobilité*, n°670.
- Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP). 2011. *Pratiques physiques et sportives en France 2010*. Rapport rédigé pour le Ministère des Sports.
- Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE). 2016. *Insee, situations démographiques et projections de population 2005-2050, scénario central*. [En ligne] : http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1089, consulté le 25 février 2016.
- International Transport Forum (ITF). 2012. *Pedestrian Safety, Urban Space and Health*. OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/9789282103654-en>.
- Irwin, M. L., Yasui, Y., et Ulrich, C.M. 2003. Effect of exercise on total and intra-abdominal body fat in postmenopausal women: a randomized controlled trial. *JAMA* 289: 323–30.
- Isomursu M., Tähti S., Väinämö S., et Kuutti K. 2007. Experimental Evaluation of Five Methods for Collecting Emotions in Field Settings with Mobile Applications. *International Journal of Human-Computer Studies*, 65, 404-418.

J

- Jacob, R., Winstanley, A., Togher, N., Roche, R., et Mooney, P. 2012. Pedestrian navigation using the sense of touch. *Computers, Environment and Urban Systems*, 36, 6, 513–525. <http://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2012.10.001>
- Jacobs, L. F., Arter, J., Cook, A., et Sulloway, F. J. 2015. Olfactory Orientation and Navigation in Humans. *PLOS One*, 10, 6. DOI: 10.1371/journal.pone.0129387
- Jain, S., Borgiattino, C., Ren, Y., Gruteser, M., Chen, Y. et Chiasserini, C. F. 2015. LookUp: Enabling Pedestrian Safety Services via Shoe Sensing. In *Proceedings of the 2015 MobiSys Conference*, Florence, Italy
- James, W. 1890. *Principles of psychology*. New York: Holt.
- Jamieson, S. 2004. Likert scales: how to (ab)use them. *Medical Education*, 38, 1212–1218.
- Jansen, P. et Heil, M. 2010. Gender Differences in Mental Rotation Across Adulthood. *Experimental Aging Research* 36, 1, 94-104. DOI: 10.1080/03610730903422762
- Jenkins, L., Myerson, J., Joerding, J., et Hale, S. 2000. Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging*, 15, 1, 157–175. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.15.1.157>
- Jeon, C.Y., Lokken, R.P., Hu, F.B., et Van Dam, R, M. 2007. Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes: a systematic review. *Diabetes Care* 30: 744–52.

- Johnston, W. A., et Dark, V. J. 1986. Selective attention. *Annual Review of Psychology*, 37, 43-47.
- Johnston, W. A., et Heinz, S. P. 1978. Flexibility and capacity demands of attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 4, 420-435.
- Jones, M. R., et Yee, W. 1993. Attending to auditory events: The role of temporal organization. In S. McAdams & E. Bigand (Eds.), *Thinking about sound: The cognitive psychology of human audition*. Oxford: Oxford University Press, Clarendon Press
- Juan, S. 1986. L'ouvert et le fermé dans la pratique du questionnaire. Analyse comparative et spécificités de l'enquête par correspondance. *Revue française de sociologie*, 27, 2, 301-316.
- Jungk, R. 1969. L'imagination et la prospective. *Revue Internationale des Sciences Sociales*, 21, 4, 599-604.

K

- Kahneman, D. 1973. *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall Inc.
- Kalisch, T., Kattenstroth, J. C., Kowalewski, R., Tegenthoff, M., et Dinse, H. R. 2012. Cognitive and tactile factors affecting human haptic performance in later life. *PLoS ONE*, 7, 1. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0030420>
- Kaplan, S. 1973. Cognitive maps in perception and thought. In R. M. Downs et D. Stea, Eds., *Image and Environment*. Chicago, IL: Aldine
- Kaptein, N., Theewes, J., et Van der Horst, R. 1996. Driving Simulator Validity: Some Considerations. *Transportation Research Record* 1550, 1, 30-36
- Kaufman, A., et Horn, J. 1996. Age changes on tests of fluid and crystallized ability for women and men on the Kaufman Adolescent and Adult Intelligence Test (KAIT) at ages 17–94 years. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 11, 2, 97-121
- Kerber, F., Kruger, A., et Lochtefeld, M. 2014. Investigating the Effectiveness of Peephole Interaction for Smartwatches in a Map Navigation Task. *Proceeding MobileHCI '14 Proceedings of the 16th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, 291–294. <http://doi.org/10.1145/2628363.2628393>
- Ketcham, C. J., et Stelmach, G. E. 2001. Age-related declines in motor control. In J. E. Birren et K.W. Schaie (Eds.), *Handbook of the Psychology of Aging*. London: Academic Press.
- Kim, S., et Dey, A. K. 2009. Simulated augmented reality windshield display as a cognitive mapping aid for elder driver navigation. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems CHI'09*, 133-142.
- Kim, S., Gajos, K., Muller, M. et Grosz, B. 2016. Acceptance of Mobile Technology by Older Adults: A Preliminary Study. In *Proceedings of the 2016 Conference on Mobile Human Computer Interaction, MobileHCI'16*.
- Kirasic, K. C. 2000. Age differences in adults' spatial abilities, learning environmental layout, and wayfinding behavior. *Spatial Cognition and Computation*, 2, 117-134.
- Kirasic, K. C., Allen, G. L., et Haggerty, D. 1992. Age-related differences in adults' macrospatial cognitive processes. *Experimental Aging Research*, 18, 33–39.
- Kiss, F., Boldt, R., Pfleging, B. et Schneegass, S. 2018. Navigation Systems for Motorcyclists: Exploring Wearable Tactile Feedback for Route Guidance in the Real World. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Montréal, Canada.
- Kitchin, R. M. 1994. Cognitive maps: What are they and why study them? *Journal of Environmental Psychology*, 14, 1, 1–19. [http://doi.org/10.1016/S0272-4944\(05\)80194-X](http://doi.org/10.1016/S0272-4944(05)80194-X)

- Klein, W. 1982. Local deixis in route directions. In R. J. Jarvella et W. Klein (Eds.), *Speech, place, and action*. Chichester : Wiley.
- Klencklen, G., Després, O., Dufour, A. 2012. What do we know about aging and spatial cognition? Reviews and perspectives. *Ageing Research Reviews*, 11, 1, 123–135. <http://doi.org/10.1016/j.arr.2011.10.001>
- Kline, D. W., et Scialfa, C. T. 1997. Sensory and perceptual functioning: basic research and human factors implication. In A. D. Fisk et W. A. Rogers (Eds.), *Handbook of Human Factors and the Older Adult*, 27-54. San Diego, CA: Academic Press
- Klippel, A. et Winter, S. 2005. Structural Saliency of Landmarks for Route Directions. In *Proceedings of the 2005 International Conference on Spatial Information Theory COSIT'05*, 347–362. DOI: http://dx.doi.org/10.1007/11556114_22
- Kobayashi, D. et Nakano, M. 2015. Designing memorable tactile patterns for older adults. In *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the IEA*, Melbourne, Australia.
- Koelle, M., El Ali, A., Cobus, V., Heuten, W., et Boll, S. 2017. All about Acceptability? Identifying Factors for the Adoption of Data Glasses. In *Proceedings of CHI'17*. Denver, USA.
- Kok, A. 1999. Varieties of inhibition: manifestations in cognition, event-related potentials and aging. *Acta Psychol* 101, 129-158.
- Kolb, B., et Whishaw, I. 1985. *Fundamentals of Human Neuropsychology*. W.H. Freeman & Co., New York.
- Kolbe, T. H. 2004. Augmented Videos and Panoramas for Pedestrian Navigation. *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services and TeleCartography*.
- Kolers, P., et Brewster, J. 1985. Rhythms and responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 2, 150.
- Kondo, K., Anazawa, N., et Kobayashi, Y. 2013. Characteristics comparison of two audio output devices for augmented audio reality. In *Proceedings of 2013 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference*, 1-6.
- Korian. 2015. *3ème Baromètre européen du bien vieillir*. Communiqué de presse.
- Kray, C., Coors, V., Elting, C., et Laakso, K. 2005. Presenting Route Instructions on Mobile Devices: From Textual Directions to 3D Visualization. *Exploring Geovisualization*, 529–550. <http://doi.org/10.1016/B978-008044531-1/50445-0>
- Kurniawan, S. 2008. *Older People and mobile phones : A multi-method investigation*. Elsevier Science.
- Kwon, S., Oldaker, S., Schragger, M., Talbot, L. A., Fozard, J. L., et Metter, E. J. 2001. Relationship between muscle strength and the time taken to complete a standardized walk-turn-walk test. *Journal of Gerontology: Biological Sciences*, 56, 398-404.

L

- LaBerge, D. 1995. *Attentional Processing: The brain's art of mindfulness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Laboratoire de la Mobilité Inclusive (LMI). 2014. *Mobilité des séniors en France*. [En ligne] <http://www.mobiliteinclusive.com/2014/11/07/etude-seniors/>
- Lallemand, C. et Gronier, G. 2015. *Méthodes de Design UX*. Eyrolles, Paris.
- Landi, F., Cesari, M., Onder, G., Lattanzio, F., Gravina, E.M., et Bernabei, R. 2004. Physical activity and mortality in frail, community-living elderly patients. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 59: 833–7.
- Lang, P. J. 1980. Behavioral Treatment and Bio-Behavioral Assessment: Computer Applications. In J. Sidowski, H. Johnson et T. Williams (eds.), *Technology in Mental Health Care Delivery Systems*, 119-137, NJ, Ablex.

- Larson, E.B., Wang, L., et Bowen, J.D. 2006. Exercise is associated with reduced risk for incident dementia among persons 65 years of age and older. *Ann Intern Med* 144: 73–81.
- Laugwitz, B., Held, T. et Schrepp, M. 2008. Construction and Evaluation of a User Experience Questionnaire. In *Proceedings of USAB 2008*, 63-76.
- Lawton, C. 1994. Gender differences in way-finding strategies: Relationship to spatial ability and spatial anxiety. *Sex Roles*, 30, 765–779. <http://doi.org/10.1007/BF01544230>
- Lee, C., et Coughlin, J. F. 2015. PERSPECTIVE: Older Adults' Adoption of Technology: An Integrated Approach to Identifying Determinants and Barriers. *Journal of Product innovation and management*.
- Lee, J., Hoffman, J., et Hayes, E. 2004. Collision Warning Design to Mitigate Driver Distraction. In *Proceedings of CHI 2004*. Vienna, Austria.
- Levine, S., Foley, A., Lourenco, S., Ehrlich, S. et Ratliff, K. 2016. Sex differences in spatial cognition: advancing the conversation. *WIREs Cogn Sci*, 7, 127–155. DOI : 10.1002/wcs.1380
- Li, M., Arning, K., Sack, O., Park, J., Kim, M.-H., Ziefle, M., et Kobbelt, L. 2014. Evaluation of a Mobile Projector-Based Indoor Navigation Interface. *Interacting with Computers*, 26, 6, 595–613. <http://doi.org/10.1093/iwc/iwt053>
- Licoppe, C., et Levallois-Barth, C. 2009. Configurer l'accessibilité des voyageurs équipés à des services mobiles multimédia. *Réseaux*, 4, 15-48.
- Light, A. 2006. Adding method to meaning: a technique for exploring peoples' experience with technology. *Behaviour & Information Technology*, 25, 2, 175-187.
- Liljedahl, M., Lindberg, S., Delsing, K., Polojärvi, M., Saloranta, T., et Alakärppä, I. 2012. Testing Two Tools for Multimodal Navigation. *Advances in Human-Computer Interaction*, 1–10.
- Lindenberger, U., Marsiske, M., et Baltes, P. B. 2000. Memorizing while walking: increase in dual-task costs from young adulthood to old age. *Psychol Aging*, 15, 3, 417-36.
- Lipman, P. D. 1991. Age and Exposure Differences in the Acquisition of Route Information. *Psychology and Aging*, 6, 128-133.
- Lipman, P. D., et Caplan, L. J. 1992. Adult age differences in memory for routes: effects of instruction and spatial diagram. *Psychology and Aging*, 7, 435–442.
- Lister J., et Tarver, K. 2004. Effect of age on silent gap discrimination in synthetic speech stimuli. *J Speech Lang Hear Res* 47, 2, 257–268.
- Lithfous, S., Dufour, A., et Després, O. 2013. Spatial navigation in normal aging and the prodromal stage of Alzheimer's disease: insights from imaging and behavioral studies. *Ageing Research Reviews*, 12, 1, 201–13. <http://doi.org/10.1016/j.arr.2012.04.007>
- Lokki, T., et Gröhn, M. 2005. Navigation with auditory cues in a virtual environment. *IEEE Multimedia*, 12, 2, 80–86. <http://doi.org/10.1109/MMUL.2005.33>
- Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Golledge, R. G., et Philbeck, J. W. 1999. Human navigation by path integration. In: Golledge RG, Philbeck JW, editors. *Wayfinding: cognitive mapping and spatial behaviour*. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- Lovden, M., Schellenbach, M., Grossman-Hutter, B., Kruger, A., et Lindenberger, U. 2005. Environmental topography and postural control demands shape aging-associated decrements in spatial navigation performance. *Psychology and Aging*, 20, 4, 683–694.
- Luria, A. R. 1978. Les fonctions corticales supérieures de l'homme. Paris: Presses Universitaires de France.
- Lusher, R. H. et Mace, R. L. 1989. Design for Physical and Mental Disabilities. In *Encyclopedia of Architecture: Design Engineering and Construction*, ed. J. Wilkes and Sons, 3.

M

- Maguire, E., Burgess, N., et O'Keefe, J. 1999. Human spatial navigation: Cognitive maps, sexual dimorphism, and neural substrates. *Current Opinion in Neurobiology*, 9, 2, 171–177. [http://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)80023-3](http://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)80023-3)
- Mahlke, S. et Lindgaard, G. 2007. Emotional Experiences and Quality Perceptions of Interactive Products. In J. Jacko (Ed.) *Human-Computer Interaction, Part I*, HCII 2007, LNCS 4550. Berlin: Springer.
- Mahmood, O., Adamo, D., Briceno, E., et Moffat, S. D. 2009. Age differences in visual path integration. *Behavioural Brain Research*, 205, 1, 88–95. <http://doi.org/10.1016/j.bbr.2009.08.001>
- Malbut, K.E., Dinan, S., et Young, A. 2002. Aerobic training in the 'oldest old': the effect of 24 weeks of training. *Age Ageing* 31: 255–60.
- Malinowski, J. 2001. Mental rotation and real-world wayfinding. *Perceptual and Motor Skills*, 92, 19-30. DOI: 10.2466/pms.2001.92.1.19
- Mammarella, N., Fairfield, B., De Beni, R., et Cornoldi, C. 2009. Aging and intrusion errors in an active visuo-spatial working memory task. *Aging Clinical and Experimental Research* 21, 282–291.
- Marais, J., Ambellouis, S. Meurie, C., et Ruichek, Y. 2015. Image processing for a more accurate GNSS-based positioning in urban environment. In *Proceedings of 22nd ITS World Congress*. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.10493.97760>
- Marmor, M. F., 1985. Retinal and visual changes with aging, in Essilor (Edit.), *IIIe Symposium international de la Presbytie*, 2, 176-185
- Marottoli, R. A., Mendes de Leon, C. F., Glass, T. A., Williams, C. S., Cooney Jr., L. M., Berkman, L. F., et Tinetti, M. E. 1997. Driving cessation and increased depressive symptoms: prospective evidence from the New Haven EPESE (Established Populations for Epidemiologic Studies of the Elderly). *Journal of the American Geriatrics Society*, 45, 2, 202-206.
- Marshall, J., Brauer, M., et Frank, L. 2009. Healthy neighborhoods: Walkability and air pollution. *Environmental Health Perspectives*, 117, 11, 1752–1759.
- Martinez-Tabares, C. 2017. *Individual factors related to utilitarian urban cycling: representations, motivations and perceived aggression*. Thèse de doctorat de l'Université Paris 8.
- May, A. J., Ross, T., Bayer, S. H., et Tarkiainen, M. J. 2003. Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications. *Personal and Ubiquitous Computing*, 7, 6, 331–338. <http://doi.org/10.1007/s00779-003-0248-5>
- McFarland, R. A., Domey, R. G., Warren, A. B., et Ward, D. C. 1960. Dark adaptation as a function of age, a statistical analysis. *Journal of Gerontology*, 15, 149-154.
- McGookin, D., Brewster, S., et Priego, P. 2009. Audio bubbles: Employing non-speech audio to support tourist wayfinding. *Proceedings of HAID 2009*, Dresden, Germany, 41–50.
- Meier, A., Matthies, D., Urban, B., et Wettach, R. 2015. Exploring Vibrotactile Feedback on the Body and Foot for the Purpose of Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 2nd international Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction*. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2790044.2790051>
- Meneghetti, C., Borella, E., Grasso, I. et De Beni, R. 2012. Learning a route using a map and/or description in young and older adults. *Journal of Cognitive Psychology* 24, 165-178. <http://dx.doi.org/10.1080/20445911.2011.603694>
- Millerand, F. 2002. La dimension cognitive de l'appropriation des artefacts communicationnels. In F. Jauréguiberry & S. Proulx (Eds), *Internet : nouvel espace citoyen*. Paris : L'Harmattan, 181-203.
- Milleville-Pennel, I., et Charron, C. 2015. Driving for Real or on a Fixed-Base Simulator: Is It so Different? An Explorative Study. *Presence*, 24, 1, 74-91

- Moffat, S. D. 2009. Aging and Spatial Navigation: What Do We Know and Where Do We Go? *Neuropsychology Review*, 19, 4, 478–489. <http://doi.org/10.1007/s11065-009-9120-3>
- Moffat, S. D., et Resnick, S.M. 2002. Effects of age on virtual environment place navigation and allocentric cognitive mapping. *Behavioral neuroscience*, 116, 5, 851-859.
- Moffat, S.D., Zonderman, A.B. et Resnick, S.M. 2001. Age differences in spatial memory in a virtual environment navigation task. *Neurobiology of Aging*, 22, 787–796.
- Mondor, T. A., et Bryden, M. P. 1992. Orienting of auditory spatial attention: effects of a lateralized tone cue. *Neuropsychologia*, 30, 8, 743-52.
- Montello, D. R. 2005. Navigation. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *The Cambridge handbook of visuospatial thinking*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Montello, D., Lovelace, K., Golledge, R. et Self, C. 1999. Sex-related differences and similarities in geographic and environmental spatial abilities. *Annals of the Association of American Geographers* 89, 515-534. DOI: 10.1111/0004-5608.00160.
- Montello, D. et Raubal, M. 2013. Functions and applications of spatial cognition. In D. Waller et L. Nadel (Eds.), *Handbook of spatial cognition*. Washington, DC : American Psychology Association, pp 249-264.
- Montello, D. R. et Sas, C. 2006. Human Factors of Wayfinding in Navigation. In W. Karwowski (Ed.). *International encyclopedia of ergonomics and human factors*, 2nd ed. London: CRC Press/Taylor & Francis, Ltd
- Mori, Y., et Mizohata, M. 1995. Characteristics of older road users and their effect on road safety. *Accident Analysis and Prevention*, 27, 391-404.
- Morineau, T. et Parenthoën, M. 2003. Une présentation de l'approche écologique en psychologie ergonomique. *Psychologie Française*, 48, 77-88.
- Mulloni, A., Seichter, H., et Schmalstieg, D. 2011. User experiences with augmented reality aided navigation on phones. *10th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, ISMAR 2011*, 229–230. <http://doi.org/10.1109/ISMAR.2011.6092390>

N

- Nancarrow, C. et Brace, I. 2000. Saying the “right thing”: coping with social desirability bias in marketing research. *Bristol Business School Teaching and Research Review*, 3.
- Nardi, B. 1996. *Context and Consciousness: activity theory and human-computer interaction*. Boston : MIT Press.
- Neisser, U. 1967. *Cognitive psychology*. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Nelson, J. 2011. *Contribution à l'analyse prospective des usages dans les projets d'innovation*. Thèse de doctorat, ENSAM.
- Ng, A., et Chan, A. 2012. Finger Response Times to Visual, Auditory and Tactile Modality Stimuli. In *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists, IMECS 2012*, Hong Kong.
- Nielsen, J. 1993. *Usability Engineering*. San Francisco, CA, USA : Morgan Kaufmann.
- Nivala, A. M., Sarjakoski, T.L. et Sarjakoski, T. 2007. Usability methods' familiarity among map application developers. *International Journal of Human-Computer Studies* 65, 9, 784–795. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.04.002>
- Noble, B. 2000. Travel characteristics of older people. In *Transport Trends 2000*. London: DETR.

- Noel, M., Bernard, A. et Luyat, M. 2011. The overestimation of performance: a specific bias of aging? *Geriatric et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillissement* 9, 3, 287-294. DOI: 10.1684/pnv.2011.0290.
- Norman, D. A. 1993. Les artefacts cognitifs. *Raisons Pratiques*, 4, 15-34. Trad. fr. partielle par F. Cara de Cognitive artifacts. In J. M. Carroll (Ed.). (1991), *Designing Interaction*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Norman, D. A. 2004. *Emotional design: Why we love (or hate) everyday things*. New York: Basic Books.
- North, R. V. 1993. *Work and the Eye*. Oxford: Oxford University Press.
- Nusbaum, N. J. 1999. Aging and sensory senescence. *Southern Medical Journal* 92, 3, 267-275. DOI: 10.1097/00007611-199903000-00002.

O

- Obrist, M., Comber, R., Subramanian, S., Piqueras-Fizman, B., Velasco, C. et Spence, C. 2014. Temporal, Affective, and Embodied Characteristics of Taste Experiences: A Framework for Design. In *Proceedings of the 2014 Computer Human Interaction Conference, CHI'14*.
- Obrist, M., Seah, S. A. et Subramanian, S. 2013. Talking about tactile experiences. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '13)*. ACM, New York, NY, USA, 1659-1668.
- Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière (ONISR). 2014. *La sécurité routière en France. Bilan de l'année 2013*. La documentation Française, Paris
- Olson, I.R, Zhang, J.X., Mitchell, K.J., Johnson, M.K., Bloise, S.M., et Higgins, J.A. 2004. Preserved spatial memory over brief intervals in older adults. *Psychology and Aging* 19, 310–317.
- Oreg, S., et Goldenberg, J. 2015. *Resistance to Innovation: Its Sources and Manifestations*. Chicago : presses universitaires.
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). 2013. Sécurité des piétons : manuel de sécurité routière pour les décideurs et les intervenants. [En Ligne] http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/128042/9789242505351_fre.pdf;jsessionid=82FCC3630B9B3E1DC22EDFFE92D7A43E?sequence=1
- Organisation Mondiale de la Santé (OMS). 2015. Rapport Mondial sur le Vieillissement et la Santé. [En ligne] http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/186469/1/WHO_FWC_ALC_15.01_fre.pdf
- Organisation des Nations Unies (ONU), Département des affaires économiques et sociales. 2015. *Annuaire démographique 2014*. 65e édition. [En ligne] <http://unstats.un.org/unsd/demographic/products/dyb/dybsets/2014.pdf>
- Organisation des Nations Unies (ONU), Département des affaires économiques et sociales. 2013. *World Population Prospects: The 2012 Revision, Highlights and Advance Tables*. Working Paper No. ESA/P/WP.228. [En ligne] esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2012_HIGHLIGHTS.pdf
- Oulasvirta, A., Tamminen, S., Roto, V. et Kuorelahti, J. 2005. Interaction in 4-Second Bursts: The Fragmented Nature of Attentional Resources in Mobile HCI. In *Proceedings of the 1st Conference on Human Factors in Computing Systems CHI 2005*, Portland, USA.

P

- Parasuraman, R., et Greenwood, P. M. 1998. Selective attention in aging and dementia. In Parasuraman, R. (Ed.) *The attentive brain*. Cambridge: MIT Press.
- Park, D. C. 2000. Basic mechanisms accounting for age-related decline in cognitive functions. In D. C. Park et N. Schwarz (Eds.), *Cognitive aging: A primer*. Philadelphia: Psychology.
- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L. et Rodgers, M. 2012. A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 9, 21.
- Pazzaglia, F., Cornoldi, C. et De Beni, R. 2000. Differenze individuali nella rappresentazione dello spazio: presentazione di un Questionario autovalutativo. *Giornale Italiano di Psicologia*, 3, 241-264.
- Pazzaglia, F. et De Beni, R. 2001. Strategies of processing spatial information in survey and landmark-centred individuals. *European journal of cognitive psychology*, 13, 4, 493–508
- Pellegrino, J.W., et Goldman, S.R. 1983. Developmental and Individual Differences in Verbal and Spatial Reasoning. In R.F. Dillon and R.R. Schmeck, (Eds.) *Individual Differences in Cognition*, 137-180. NY: Academic Press.
- Perrault, S., Gacem, H., Lecolinet, E. et Guiard, Y. 2013. Augmenting digital jewelry with advanced display capacities. In *Proceedings of CHI'13*. Paris, France.
- Phillips, J., Walford, N., Hockey, A., Foreman, N., et Lewis, M. 2013. Older people and outdoor environments: Pedestrian anxieties and barriers in the use of familiar and unfamiliar spaces. *Geoforum*, 47, 113-124.
- Pielot, M., et Boll, S. 2010. Tactile Wayfinder: Comparison of tactile waypoint navigation with commercial pedestrian navigation systems. *Lecture Notes in Computer Science*, 6030 LNCS, 76–93. http://doi.org/10.1007/978-3-642-12654-3_5
- Pielot, M., et Henze, N. 2009. Supporting Map-Based Wayfinding with Tactile Cues. *Proceedings of Mobile HCI'09*.
- Pielot, M., Poppinga, B., Heuten, W., et Boll, S. 2012. Pocketnavigator: studying tactile navigation systems in-situ. *Proceedings of SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems CHI '12*, Austin, USA, 3131–3140.
- Piguet, C., Droz Mendelzweig, M., et Bedin, M G. 2017. Vivre et vieillir à domicile, entre risques vitaux et menaces existentielles. *Gérontologie et Société*, 39, 152.
- Politis, I., Brewster, S., et Pollick, F. 2015. To Beep or Not to Beep? Comparing Abstract versus Language-Based Multimodal Driver Displays. In *Proceedings of CHI'15*. Seoul, South Korea.
- Posner, M. 1980. Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 1, 3-25
- Posner, M. 1994. Attention: the mechanisms of consciousness. *Proc Natl Acad Sci USA*. 91, 16, 7398–7403.
- Posner, M., et Snyder, C. 1975. Attention and Cognitive Control. In Robert L. Solso, *Information Processing and Cognition: The Loyola Symposium*. Lawrence Erlbaum.
- Pouliot, S., et Gagnon, S. 2005. Is egocentric space automatically encoded? *Acta psychologica* 118, 193–210.
- Poyet, F. 2015. Perception de l'utilité et usages pédagogiques d'environnements numériques de travail par des enseignants du second degré. *Sticef*, 22, 45-64.

R

- Rabardel, P. 1995. *Les hommes et les technologies. Approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Colin
- Rantala, J., Majaranta, P., Kangas, J., Isokoski, P., Akkil, D., Špakov, O. et Raisamo, R. 2017. Gaze Interaction with Vibrotactile Feedback: Review and Design Guidelines. *Human–Computer Interaction*. DOI: 10.1080/07370024.2017.1306444
- Rasmus-Gröhn, K. et Magnusson, C. 2014. Finding the Way Home: Supporting Wayfinding for Older Users with Memory Problems. In *Proceedings of the 2014 Nordic Computer-Human Interaction Conference, NordiCHI '14*, Helsinki, Finland
- Raubal, M. 2001. Human wayfinding in unfamiliar buildings: a simulation with a cognizing agent. *Cognitive Processing*, 2, 3, 363-388.
- Rehrl, K., Häusler, E., Leitinger, S., et Bell, D. 2014. Pedestrian navigation with augmented reality, voice and digital map: final results from an in situ field study assessing performance and user experience. *Journal of Location Based Services*, 8, 2, 75–96. <http://doi.org/10.1080/17489725.2014.946975>
- Renaudin, V., Dommès, A. et Guilbot, M. 2017. Engineering, Human, and Legal Challenges of Navigation Systems for Personal Mobility. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 18, 1.
- Requin, J. 1985. Looking forward to moving soon: Ante factum selective processes in motor control. In Michael I. Posner and O. Marin (eds.), *Attention and Performance XI*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum
- Richter, E. 1980. Quantitative study of human Scarpa's ganglion and vestibular sensory epithelia. *Acta Otolaryngol*, 90, 199-208
- Riebeck, M., Stark, A., et Modsching, M. 2008. Studying the User Acceptance of a Mobile Information System for Tourists in the Field. *Information Technology & Tourism*, 10, 13, 189–199. <http://doi.org/10.3727/109830508787157308>
- Robinson, S., et Jones, M. 2010. I did it my way: moving away from the tyranny of turn-by-turn pedestrian navigation. *Proceedings of the 12th Mobile Human-Computer Interaction Conference, MobileHCI'10*.
- Roche, R. P., Mangaoang, M., Commins, S., et O'Mara, S. M. 2005. Hippocampal contributions to neurocognitive mapping in humans: A new model. *Hippocampus*, 15, 5, 622–641. <http://doi.org/10.1002/hipo.20084>
- Rock, I., et Victor, J. 1964. Vision and Touch: An Experimentally Created Conflict between the Two Senses. *Science* 143, 594-596.
- Roger, M., Bonnardel, N., et Le Bigot, L. 2011. Landmarks' use in speech map navigation tasks. *Journal of Environmental Psychology*, 31, 2, 192-199.
- Rogge, A-K., Röder, B., Zech, A., Nagel, V., Hollander, K., Braumann, K-M et Hötting, K. 2017. Balance training improves memory and spatial cognition in healthy adults. *Scientific Reports*, 7, 5661. DOI : 10.1038/s41598-017-06071-9
- Rosenhall, U., et Rubin, W. 1975. Degenerative changes in the human vestibular sensory epithelia. *Acta Otolaryngologia*, 79, 67-81.
- Ross, D., et Blasch, B. 2000. Wearable interfaces for orientation and wayfinding. *Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies*, 193-200.
- Rouleau, N., et Belleville, S. 1996. Irrelevant speech effect in aging: an assessment of inhibitory processes in working memory. *J. Gerontol. B Psychol. Sci. Soc. Sci.* 51B, 356–363.
- Ruddle, R. A., Payne, S. J., et Jones, D. M. 1997. Navigating buildings in desk-top virtual environments: experimental investigations using extended navigational experience. *Journal of Experimental Psychology*, 3, 143–159.

Rukzio, E., Müller, M., et Hardy, R. 2009. Design, Implementation and Evaluation of a Novel Public Display for Pedestrian Navigation: The Rotating Compass. *Proceedings of the 27th International Conference on Human Factors in Computing Systems CHI'09*, 113–122. <http://doi.org/10.1145/1518701.1518722>

Rümelin, S., Rukzio, E., et Hardy, R. 2011. NaviRadar: A Novel Tactile Information Display for Pedestrian Navigation. In *Proceedings of the 24th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology*, 293–302. <http://doi.org/10.1145/2047196.2047234>

S

Sakurai, R., Fujiwara, V., Ishihara, M., Higuchi, T., Uchida, H. et Imanaka, K. 2013. Age-related self-overestimation of step-over ability in healthy older adults and its relationship to fall risk. *BMC Geriatrics* 13, 44. DOI: 10.1186/1471-2318-13-44

Salthouse, T.A. 1996. General and specific speed mediation of adult age differences in memory. *The Journal of Gerontology*, 51, 30–42.

Sarjakoski, L.T. et Nivala, A. M. 2005. Adaptation to Context - A Way to Improve the Usability of Mobile Maps. In Meng, L., Zipf, A. et T. Reichenbacher, (eds.) *Map-based Mobile Services, Theories, Methods and Implementations*, Springer, NY, 107-123.

Scharlach, A. E. 2009. Creating Aging-Friendly Communities. *Generations*, 33, 2, 5-11.

Schoop, E., Smith, J., et Hartmann, B. 2018. HindSight: Enhancing Spatial Awareness by Sonifying Detected Objects in Real-Time 360-Degree Video. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '18)*. Montréal, Canada.

Schweyer, F. X. 2000. L'enquête par questionnaire. Des contextes d'usage variable. In *Les méthodes au concret*. PUF : Paris.

Shumway-Cook, A., et Woollacott, M. H. 2001. *Motor Control: Theory and Practical Applications*. Baltimore, MD: Lippincott, Williams and Wilkins.

Siegel, A. W., et White, S. H. 1975. The development of spatial representations of large-scale environments. In H. W. Reese (Ed.): *Advances in child development and behavior*. New York: Academic Press.

Siéroff, E. 2008. Chapitre 18. L'attention. In Francis Eustache et al., *Traité de neuropsychologie clinique*, De Boeck Supérieur « Neurosciences & cognition », p. 263-293. DOI 10.3917/dbu.eusta.2008.01.0263

Siéroff, E. et Auclair, L. 2007. L'attention préparatoire. In G. Michael, *Neurosciences cognitives de l'attention visuelle*. Marseille : Solal Editeur.

Siéroff, E., et Piquard, A. 2004. Attention et Vieillesse. *Psychologie et Neuropsychiatrie du Vieillessement* 2, 4, 257-269.

Sjölinder, M., Höök, K., Nilsson, L. G., et Andersson, G. 2005. Age differences and the acquisition of spatial knowledge in a three-dimensional environment: Evaluating the use of an overview map as a navigation aid. *International Journal of Human Computer Studies*, 63, 6, 537–564. <http://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2005.04.024>

Sloane, P. D., Baloh, R. W., et Honrubia, V. 1989. The vestibular system in the elderly: Clinical implications. *American Journal of Otolaryngology--Head and Neck Medicine and Surgery*, 10, 6, 422–429. [http://doi.org/10.1016/0196-0709\(89\)90038-0](http://doi.org/10.1016/0196-0709(89)90038-0)

Smets, N., Brake Te, G., Neerinx, M., et Lindenberg, J. 2008. Effects of Mobile Map Orientation and Tactile Feedback on Navigation Speed and Situation Awareness. In *Proceedings of Mobile HCI 2008* <http://doi.org/10.1145/1409240.1409249>

Spence, C., Obrist, M., Velasco, C., et Ranasinghe, N. 2017. Digitizing the chemical senses: Possibilities and pitfalls. *International Journal of Human-Computer Studies*. DOI: 10.1016/j.ijhcs.2017.06.003

- Spence, I., et Feng, J. 2010. Video games and spatial cognition. *Review of General Psychology* 14, 92–104.
- Stark, A., Riebeck, M. et Kawalek, J. 2007. How to Design an Advanced Pedestrian Navigation System: Field Trial Results. *IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. Dortmund, Germany.
- Stea, D., et Blaut, M. 1973. Some preliminary observations on spatial learning in school children. In R. M. Downs & D. Stea, Eds., *Image and Environment*. Chicago, IL: Aldine, pp 226-234.
- Stephens, S. D. G. 1982. What is acquired hearing loss in the elderly? In F. Glendenning (Ed.), *Acquired Hearing Loss and Elderly People*. Stoke-on-Trent, UK: Beth Johnson Foundation Publications.
- Stern, E., et Portugali, J. 1999. Environmental cognition and decision making in urban navigation. *Wayfinding Behavior: Cognitive Mapping and Other Spatial Processes*, 99-118.
- Strachan, S., Eslambolchilar, P., Murray-Smith, R., Hughes, S., O'Modhrain, S., et Machinery, A. A. 2005. GpsTunes: Controlling Navigation Via Audio Feedback. *7th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices & Services*, 111, 275–278. <http://doi.org/10.1145/1085777.1085831>
- Sun, L., Perrault, S. et Lecolinet, E. 2014. The Ring Ring: Drawing Attention through Light. In *Chinese CHI 2014 Poster Session*, 15-16.

T

- Taillade, M., N'Kaoua, B., Arvind Pala, et P., Sauzéon, H. 2014. Cognition spatiale et vieillissement : les nouveaux éclairages offerts par les études utilisant la réalité virtuelle. *Revue de Neuropsychologie*, 6, 1, 36–47. <http://doi.org/10.1684/nrp.2014.0292>
- Terrin J.J. 2011. *Le piéton dans la ville : l'espace public partagé*. Paris, Editions Parenthèses, Coll. La ville en train de se faire.
- Theureau, J. 2010. Les entretiens d'autoconfrontation et de remise en situation par les traces matérielles et le programme de recherche « cours d'action ». *Revue d'anthropologie des connaissances*, 4, 2, 287–322.
- Thüring, M., et Mahlke, S. 2007. Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology*, 42, 4, 253–264
- Tinetti, M. E. 2003. Clinical practice. Preventing falls in elderly persons. *N Engl J Med* 348: 42–9.
- Tkacz, S. 1998. Learning map interpretation: Skill acquisition and underlying abilities. *Journal of Environmental Psychology*, 18, 3, 237-249.
- Tolman, E. 1948. Cognitive maps in rats and men. *Psychological review*, 55, 4, 189.
- Tran, T. V., Letowski, T. et Abouchacra, K.S. 2000. Evaluation of acoustic beacon characteristics for navigation tasks. *Ergonomics* 43, 6, 807–827. DOI: 10.1080/001401300404760
- Treisman, A. M. 1960. Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 4, 242–248.
- Tricot, A., Détienne, F., et Bastien, J.M.C. 2003. Recherches en psychologie ergonomique : introduction. *Psychologie Française*, 48, 3, 1-8
- Tullis, T et Albert, W. 2008. *Measuring the User Experience : Collecting, Analyzing and Presenting Usability Metrics*. Morgan Kaufmann, San Francisco, USA.
- Tupper, D. et Cicerone, K. 1990. Introduction to the neuropsychology of everyday life. In: Tupper, D., and Cicerone, K. (eds.), *The Neuropsychology of Everyday Life: Assessment and Basic Competencies*, Kluwer Academic, Boston, MA.
- Tversky, B. 1992. Distortions in cognitive maps. *Geoforum*, 23, 2, 131-138.

- Tversky, B. 2003. Structures Of Mental Spaces How People Think About Space. *Environment and behavior*, 35, 1, 66-80.
- Tversky, B., Taylor, H., et Mainwaring, S. 1997. Langage et perspective spatiale (Language and spatial perspective). In M. Denis, *Langage et Cognition Spatiale*. Paris: Masson.

U

- Urry, J. 2007. *Mobilities*. Cambridge : Polity.
- Uzan, G., Mbodj, M., Mégard, C., et Brunet, L. 2011. *Besoins des voyageurs dans les transports collectifs: perceptions, interactions et place de l'haptique dans la prise d'information*. Projet Tictact. Paris.

V

- Valentin, A., Lancry, A., et Lemarchand, C. 2010. La construction des échantillons dans la conception ergonomique de produits logiciels pour le grand public. Quel quantitatif pour les études qualitatives ? *Le travail humain*, 73, 3, 261-290.
- Valerio, B. C., Nobrega, J. A., et Tilbery, C. P. 2004. Neural conduction in hand nerves and the physiological factor of age. *Arq Neuropsiquiatr*, 62, 1, 114–118.
- Van Dyk, T., Gelderblom, H., Renaud, K. et Van Bijon, J. 2012. Mobile phones for the elderly: a design framework. In *Proceedings of the 7th International Development Informatics Association Conference*, Bangkok, Thailande.
- Van Erp, J. 2005. Presenting directions with a vibrotactile torso display. *Ergonomics*, 48, 3, 302-313.
- Van Gerven, P., et Guerreiro, M. 2016. Selective Attention and Sensory Modality in Aging: Curses and Blessings. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 1-7.
- Van Hedger, K., Necka, E. A., Barakzai, A. K. et Norman, G. J. 2017. The influence of social stress on time perception and psychophysiological reactivity. *Psychophysiology*, 54, 5, 706-712. doi: 10.1111/psyp.12836.
- Van Veen, H., Distler, H., Braun, S., et Biilthoff, H. 1998. Navigating through a virtual city: Using virtual reality technology to study human action and perception. *Future Generation Computer Systems* 14, 3-4, 231-242. DOI: 10.1016/S0167739X(98)00027-2
- Vandenberg, S. et Kuse, A. 1978. Mental rotations, a group test of three-dimensional spatial visualization. *Perceptual and motor skills*, 47, 2, 599-604. DOI: 10.2466/pms.1978.47.2.599
- Venkatesh, V. et Bala, H. 2008. Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions. *Decision Sciences*, 39, 2.
- Ventura, M., Shute, V., Wright, T. et Zhao, W. 2013. An investigation of the validity of the virtual spatial navigation assessment. *Frontiers in Psychology*, 4, 852.
- Verhaeghen, P., et Cerella, J. 2002. Aging, Executive Control and attention: a review of meta-analysis. *Neurosci Biobehav Rev* 26, 849-857.
- Verillon, P. et Rabardel, P. 1995. Cognition and artifacts: A contribution to the study of thought in relation to instrumented activity. *European journal of psychology of education*, 10, 1, 77-101.
- Vermersch, P. 1994. *L'entretien d'explicitation*. ESF editeur, Paris.
- Vogel, T., Brechat, P. H., Leprêtre, P. M., Kaltenbach, G., Berthel, M., et Lonsdorfer, J. 2009. Health benefits of physical activity in older patients: A review. *International Journal of Clinical Practice*, 63(2), 303–320. <http://doi.org/10.1111/j.1742-1241.2008.01957.x>

- Von Watzdorf, S., et Michahelles, F. 2010. Accuracy of Positioning Data on Smartphones. In *Proceedings of LocWeb 2010*, 29 Novembre 2010 Tokyo, Japan.
- Vuong, Q. C., et Tarr, M. J. 2004. Rotation direction affects object recognition. *Vision Research*, 44, 1717–1730.

W

- Walford, N., Samarasundera, E., Philips, J., Hockey, A., et Foreman, N. 2011. Older people's navigation of urban areas as pedestrians: Measuring quality of built environment using oral narratives and virtual routes. *Landscape and Urban Planning*, 100, 1-2, 163-168.
- Walker, B. N., et Lindsay, J. 2003. Effect of Beacon Sounds on Navigation Performance in a Virtual Reality Environment. In *Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display*, Boston, MA, USA, 6-9 July 2003
- Walker, B. N., et Lindsay, J. 2006. Navigation performance with a virtual auditory display: effects of beacon sound, capture radius, and practice. *Human Factors*, 48, 2, 265–278. <http://doi.org/10.1518/001872006777724507>
- Walter, J., et Scott, K. 1981. Auditory-Visual Conflicts in the Perceived Duration of Lights, Tones, and Gaps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 7, 6, 1327-1339.
- Walther-Franks, B., et Malaka, R. 2008. Evaluation of an Augmented Photograph-based Pedestrian Navigation System. *Proceedings of the 9th International Symposium on Smart Graphics*. Salamanca, Spain, 28-30.
- Ware, C. 1996. Multimedia output devices and techniques. *Journal ACM Computing Surveys*.
- Weale, R. A. 1963. *The aging eye*. New York, Harper & Row.
- Wendel-Vos, G. C., Schuit, A. J., et Feskens, E. J. 2004. Physical activity and stroke. A meta-analysis of observational data. *Int J Epidemiol* 33: 787–98.
- Wenig, N., D. Wenig, S. Ernst, R. Malaka, B. Hecht, and J. Schöning. 2017. Pharos: Improving navigation instructions on smartwatches by including global landmarks. In *Proceedings of the 19th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Wien, Austria. DOI: 10.1145/3098279.3098529
- Weisman, J. 1981. Evaluating architectural legibility: way-finding in the built environment. *Environment and Behaviour*, 13, 189-204.
- Weiss, R. L. 2010. Promoting Active Urban Aging: A Measurement Approach to Neighborhood Walkability for Older Adults. *Cities and the environment*, 3, 1, 12-17.
- Whelton, S. P., Chin, A., Xin, X., et He, J. 2002. Effect of aerobic exercise on blood pressure: a meta-analysis of randomized, controlled trials. *Ann Intern Med* 136: 493–503.
- Wickens, C. D. 1984. Processing resources in attention. In R. Parasuraman & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention*. New York: Academic Press.
- Wiles, P. G., Pearce, S. M., Rice, P. J. S. et Mitchell, J. M. O. 1991. Vibration Perception Threshold: Influence of Age, Height, Sex, and Smoking, and Calculation of Accurate Centile Values. *Diabetic Medicine* 8, 2, 157–161.
- Wilkniss, S. M., Jones, M. G., Korol, D. L., Gold, P. E., et Manning, C. 1997. Age-related differences in an ecologically based study of route learning. *Psychology and Aging*, 12, 2, 372–5. <http://doi.org/10.1037/0882-7974.12.2.372>

- Willis, S. L., Tennstedt, S. L., Marsiske, M., Ball, K., Elias, J., Koepke, K. M., et Wright, E. 2006. Long-term Effects of Cognitive Training on Everyday Functional Outcomes in Older Adults. *JAMA: The Journal of the American Medical Association*, 296, 23, 2805–2814. <http://doi.org/10.1001/jama.296.23.2805>
- Willott, J. F. 1991. *Aging and the Auditory System: Anatomy, Physiology, and Psychophysics*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.
- Wilson, J., Walker, B. N., Lindsay, J., Cambias, C., et Dellaert, F. 2007. SWAN: System for wearable audio navigation. *Proceedings - International Symposium on Wearable Computers, ISWC*, 91–98. <http://doi.org/10.1109/ISWC.2007.4373786>
- Wingfield, A., Tun, P., Mccoy, S. L., et Mccoy, L. 2013. Hearing Loss in Older Adulthood: What It Is and How It Interacts With Cognitive Performance. *Current Directions in Psychological Science*, 14, 3, 144–148.
- Winkler, C., Broscheit, M. and Rukzio, E. 2011 NaviBeam: Indoor Assistance and Navigation for Shopping Malls Through Projector Phones. *CHI 2011, Workshop on Mobile and Personal Projection*, Vancouver, BC, May 7–12.
- Wither, J., Au, C. E., Rischpater, R., et Grzeszczuk, R. 2013. Moving beyond the map. *Proceedings of the 15th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services - MobileHCI '13*, 203. <http://doi.org/10.1145/2493190.2493235>
- Wolbers, T., et Hegarty, M. 2010. What determines our navigational abilities? *Trends in Cognitive Sciences*, 14, 3, 138–146. <http://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.001>
- Wolfe, J.M. 1998. What Can 1,000,000 Trials Tell Us About Visual Search? *Psychological Science*, 9, 1.

X

- Xu, Q., Li, L., Lim, J. H., Tan, C. Y. C., Mukawa, M., et Wang, G. 2014. A wearable virtual guide for context-aware cognitive indoor navigation. *Proceedings of the 16th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices & Services - MobileHCI '14*, 111–120. <http://doi.org/10.1145/2628363.2628390>

Z

- Zhao, Y., Hu, M., Hashash, S. et Azenkot, S. 2017. Understanding Low Vision People's Visual Perception on Commercial Augmented Reality Glasses. In *Proceedings of the 2017 Computer-Human Interaction Conference, CHI'17*, Denver, CO, USA.

ANNEXE 1 : QUESTIONNAIRE UTILISE LORS DE L'ETUDE 1	294
ANNEXE 2 : TABLEAUX DE REPARTITION DES EFFECTIFS DE REpondANTS POUR CHAQUE QUESTION A COCHER DE L'ETUDE 1	297
ANNEXE 3 : QUESTIONNAIRE D'INFORMATIONS GENERALES POUR LES PARTICIPANTS DE L'ETUDE 2.....	302
ANNEXE 4 : QUESTIONNAIRE SUR LES USAGES DES AIDES A LA NAVIGATION POUR LES PARTICIPANTS DE L'ETUDE 2	305
ANNEXE 5 : QUESTIONNAIRE SUR LES REPRESENTATIONS SPATIALES UTILISE LORS DE L'ETUDE 2.....	307
ANNEXE 6 : MODALITES DE CODAGE ET VALENCE ATTRIBUEE POUR CHAQUE DIMENSION DE L'EXPERIENCE UTILISATEUR QUESTIONNEE LORS DE L'ETUDE 2.....	309
ANNEXE 7 : DETAILS DES MOYENNES ET ECARTS-TYPES POUR CAQUE VARIABLE QUANTITATIVE DE PERFORMANCE MESUREE LORS DE L'ETUDE 2.....	310
ANNEXE 8 : MOTS-CLES UTILISES POUR DECRIRE LES DIMENSIONS DE L'EXPERIENCE UTILISATEUR QUESTIONNEES DURANT L'ETUDE 3 ET LEUR VALENCE	311
ANNEXE 9 : ETUDE DE LA TEMPORALITE DANS L'ANALYSE DES ENTRETIENS LORS DE L'ETUDE 3 ET DIMENSIONS PRINCIPALEMENT IMPACTEES	322
ANNEXE 10 : TABLEAU DETAILLE DE L'ANALYSE DES VIDEOS A PROPOS DES INATTENTIONS MANIFESTES LORS DE L'ETUDE 3	323
ANNEXE 11 : AGE ET GENRE DES PARTICIPANTS DE L'ETUDE 3	326
ANNEXE 12 : QUESTIONNAIRE UTILISE LORS DE L'ETUDE 4	327
ANNEXE 13 : TABLEAUX DE REPARTITION DES EFFECTIFS DE REpondANTS POUR CHAQUE QUESTION A COCHER DE L'ETUDE 4	335
ANNEXE 14 : APPARIEMENT DES REPONSES AUX QUESTIONS 2 ET 4 DE L'ETUDE 4	344

Annexe 1 : Questionnaire utilisé lors de l'étude 1

Question 1 – Avant de commencer, en moyenne et tous modes de déplacements confondus, à quelle fréquence vous déplacez-vous hors de chez vous chaque semaine ?

- Entre 0 et 2 jours dans la semaine
- Entre 3 et 4 jours dans la semaine
- Entre 5 et 6 jours dans la semaine
- Tous les jours de la semaine, voire plusieurs fois chaque jour

Question 2 – Sur une journée ordinaire, combien de temps (en minutes) consacrez-vous en moyenne à vos trajets, tous modes de déplacement confondus ?

_____ minutes

Intéressons-nous maintenant uniquement à vos **déplacements piétons actuels**.

Un déplacement piéton correspond à n'importe quel trajet effectué à pied en dehors de chez vous, comme aller chercher le pain, marcher en correspondance entre deux moyens de transports, faire une promenade ou une randonnée, se rendre sur son lieu de travail à pied uniquement, ou sur son lieu d'études, etc., **peu importe la durée ou la distance parcourue à pied**.

Question 3 – En moyenne, chaque semaine, à quelle fréquence vous déplacez-vous à pied hors de chez vous ? (une seule réponse)

- Entre 0 et 2 jours dans la semaine
- Entre 3 et 4 jours dans la semaine
- Entre 5 et 6 jours dans la semaine
- Tous les jours de la semaine, voire plusieurs fois chaque jour

Question 4 – Sur une journée ordinaire, combien de temps (en minutes) consacrez-vous en moyenne à vos trajets à pied ?

_____ minutes

*Question 5 - Pour quelle(s) raison(s) vous déplacez-vous à pied en général ?
(vous pouvez choisir plusieurs réponses)*

- Pour faire la correspondance avec un autre moyen de transport (train, métro, voiture, bus, vélo etc.)
- Pour aller faire les courses quotidiennes (boulangerie, marché, presse etc.)
- Pour aller au travail ou au lieu d'étude (uniquement à pied)
- Pour accompagner quelqu'un (enfant à l'école, personne à mobilité réduite)
- Pour rendre visite à des amis, de la famille
- Pour aller à un RDV (aller chez le médecin, aller chez le coiffeur etc.)
- Pour me rendre à une activité de loisirs, culturelle ou sportive (association, musée, gym, etc.)
- Pour faire de la « marche santé », avoir une activité physique
- Pour faire de la « marche loisir », me balader, me promener, faire du tourisme
- Je ne me déplace pas à pied

Question 6 - Parmi toutes les raisons de déplacement à pied évoquées à la question précédente, laquelle est la plus fréquente pour vous ? (une seule réponse)

- Pour faire la correspondance avec un autre moyen de transport (train, métro, voiture, bus, vélo etc.)
- Pour aller faire les courses quotidiennes
- Pour aller au travail ou au lieu d'étude (à pied uniquement)
- Pour accompagner quelqu'un (enfant à l'école, personne à mobilité réduite)
- Pour rendre visite à des amis, de la famille
- Pour aller à un RDV (aller chez le médecin, aller chez le coiffeur etc.)
- Pour me rendre à une activité de loisirs, culturelle ou sportive (association, musée, gym etc.)
- Pour faire de la « marche santé », avoir une activité physique
- Pour faire de la « marche loisir », me balader, me promener, faire du tourisme
- Je ne me déplace pas à pied

*Question 7 - En général, lorsque vous vous déplacez à pied, c'est parce que :
(vous pouvez choisir plusieurs réponses)*

- Vous en avez simplement envie
- C'est plus pratique, plus rapide, que les autres modes de transport dont vous disposez
- C'est plus écologique que les autres modes de transport dont vous disposez
- C'est meilleur pour la santé que les autres modes de transport dont vous disposez
- C'est plus économique que la voiture ou les transports en commun
- Vous n'avez pas envie/vous craignez de prendre un autre mode de transport (la voiture, les transports en commun, le vélo)
- Vous n'avez pas d'alternative (pas de voiture, pas de transports en commun à proximité, pas de vélo) sinon vous feriez volontiers autrement.
- Autre : _____

Question 8 - Dans quel environnement vous déplacez-vous à pied en général ?
(vous pouvez choisir plusieurs réponses)

- Zone urbaine dense (ex : centre-ville)
- Zone urbaine peu dense ou péri-urbaine (ex : zone pavillonnaire, banlieue)
- Zone non-urbaine aménagée (ex : parc, parcours santé)
- Zone non urbaine non aménagée (ex : chemin de campagne, bois, plage)

Question 9 - Vous arrive-t-il de vous déplacer à pied dans des lieux que vous ne connaissez pas ou peu ? (une seule réponse)

- Jamais
- Parfois
- Souvent

Question 10 - Si oui, lorsque vous vous déplacez à pied dans des lieux inconnus, il s'agit le plus souvent : (une seule réponse)

- De tourisme (en France ou à l'étranger)
- D'une randonnée, d'une balade
- D'un nouveau lieu de RDV

Question 11 - Si oui, lorsque vous vous déplacez à pied dans des lieux inconnus, vous êtes le plus souvent : (une seule réponse)

- Seul
- En couple ou accompagné d'une personne
- Dans un groupe (plus de 2 personnes)

Question 12 - Si oui, quel(s) support(s) utilisez-vous pour vous rendre dans ces lieux inconnus ? (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

- Aucun
- Je prépare mon trajet à l'avance et je prends des notes
- J'utilise une carte papier
- Je demande autour de moi
- J'utilise une solution technologique (GPS, application sur téléphone etc.)

Annexe 2 : Tableaux de répartition des effectifs de répondants pour chaque question à cocher de l'étude 1

Question 1 – Avant de commencer, en moyenne et tous modes de déplacements confondus, à quelle fréquence vous déplacez-vous hors de chez vous chaque semaine ?

Répartition en fonction du groupe :

	Entre 0 et 2 jours par semaine	Entre 3 et 4 jours par semaine	Entre 5 et 6 jours par semaine	Tous les jours de la semaine, voire plusieurs fois chaque jour
Retraités	3	14	18	49
Non-retraités	7	12	140	439
Total	10	26	158	488
	SE DEPLACE PEU		SE DEPLACE BEAUCOUP	

Répartition en fonction du genre :

	Entre 0 et 2 jours par semaine	Entre 3 et 4 jours par semaine	Entre 5 et 6 jours par semaine	Tous les jours de la semaine, voire plusieurs fois chaque jour
Hommes	6	13	71	191
Femmes	4	13	87	297
Total	10	26	158	488
	SE DEPLACE PEU		SE DEPLACE BEAUCOUP	

Question 3 – En moyenne, chaque semaine, à quelle fréquence vous déplacez-vous à pied hors de chez vous ? (une seule réponse)

Répartition en fonction du groupe :

	Entre 0 et 2 jours par semaine	Entre 3 et 4 jours par semaine	Entre 5 et 6 jours par semaine	Tous les jours de la semaine, voire plusieurs fois chaque jour
Retraités	15	16	21	32
Non-retraités	52	71	154	321
Total	67	87	175	353
	SE DEPLACE PEU A PIED		SE DEPLACE BEAUCOUP A PIED	

Répartition en fonction du genre :

	Entre 0 et 2 jours par semaine	Entre 3 et 4 jours par semaine	Entre 5 et 6 jours par semaine	Tous les jours de la semaine, voire plusieurs fois chaque jour
Hommes	39	42	68	132
Femmes	28	45	107	221
Total	67	87	175	353
	SE DEPLACE PEU A PIED		SE DEPLACE BEAUCOUP A PIED	

Question 5 - Pour quelle(s) raison(s) vous déplacez-vous à pied en général ? (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraités	Non-retraités	Total
Je ne me déplace pas à pied	2	4	6
Pour accompagner quelqu'un	7	112	119
Pour faire de la « marche santé »	34	106	140
Pour aller au travail ou au lieu d'étude	6	200	206
Pour rendre visite à des amis, de la famille	33	185	218
Pour me rendre à une activité de loisirs, culturelle ou sportive	36	230	266
Pour faire de la « marche loisir »	39	255	294
Pour aller à un RDV	43	283	326
Pour faire la correspondance	43	420	463
Pour aller faire les courses quotidiennes	61	430	491

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Je ne me déplace pas à pied	3	3	6
Pour accompagner quelqu'un	41	78	119
Pour faire de la « marche santé »	57	83	140
Pour aller au travail ou au lieu d'étude	77	129	206
Pour rendre visite à des amis, de la famille	79	139	218
Pour me rendre à une activité de loisirs, culturelle ou sportive	94	172	266
Pour faire de la « marche loisir »	108	186	294
Pour aller à un RDV	113	213	326
Pour faire la correspondance	165	298	463
Pour aller faire les courses quotidiennes	205	286	491

Question 6 - Parmi toutes les raisons de déplacement à pied évoquées à la question précédente, laquelle est la plus fréquente pour vous ? (une seule réponse)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraités	Non retraités	Total
Je ne me déplace pas à pied	2	4	6
Pour aller à un RDV	4	6	10
Pour rendre visite à des amis, de la famille	2	10	12
Pour me rendre à une activité de loisirs, culturelle ou sportive	9	18	27
Pour accompagner quelqu'un	2	28	30
Pour faire de la "marche santé", avoir une activité physique	19	20	39
Pour faire de la "marche loisir", me balader, me promener, faire du tourisme	14	49	63
Pour aller au travail ou au lieu d'étude (à pied uniquement)	0	122	122
Pour aller faire les courses quotidiennes	17	115	132

Pour faire la correspondance avec un autre moyen de transport	15	226	241
---------------------------------------------------------------	----	-----	-----

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Je ne me déplace pas à pied	3	3	6
Pour aller à un RDV	3	7	10
Pour rendre visite à des amis, de la famille	10	2	12
Pour me rendre à une activité de loisirs, culturelle ou sportive	17	10	27
Pour accompagner quelqu'un	9	21	30
Pour faire de la "marche santé", avoir une activité physique	20	19	39
Pour faire de la "marche loisir", me balader, me promener, faire du tourisme	22	41	63
Pour aller au travail ou au lieu d'étude (à pied uniquement)	50	72	122
Pour aller faire les courses quotidiennes	64	68	132
Pour faire la correspondance avec un autre moyen de transport	83	158	241

Question 7 - En général, lorsque vous vous déplacez à pied, c'est parce que : (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraités	Non retraités	Total
Crainte d'un autre moyen	3	56	59
Pas d'alternative	5	96	101
Plus économique	9	134	143
Plus écologique	17	153	170
Meilleur pour la santé	39	229	268
Plus pratique, plus rapide	31	319	350
Simplement envie	44	311	355

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Crainte d'un autre moyen	22	37	59
Pas d'alternative	43	58	101
Plus économique	56	87	143
Plus écologique	64	106	170
Meilleur pour la santé	104	164	268
Plus pratique, plus rapide	143	207	350
Simplement envie	141	214	355

Question 8 - Dans quel environnement vous déplacez-vous à pied en général ? (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraités	Non retraités	Total
Zone non-urbaine aménagée	14	121	135
Zone non urbaine non aménagée	27	113	140
Zone urbaine peu dense ou péri-urbaine	45	223	268
Zone urbaine dense	41	500	541

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Zone non-urbaine aménagée	55	80	135
Zone non urbaine non aménagée	64	76	140
Zone urbaine peu dense ou péri-urbaine	125	143	268
Zone urbaine dense	204	337	541

Question 9 - Vous arrive-t-il de vous déplacer à pied dans des lieux que vous ne connaissez pas ou peu ? (une seule réponse)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total	
Jamais	10	6	16	PAS LIEU INCONNU
Parfois	57	440	497	FREQUENTE LIEUX INCONNUS
Souvent	17	152	169	

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total	
Jamais	9	7	16	PAS LIEU INCONNU
Parfois	218	279	497	FREQUENTE LIEUX INCONNUS
Souvent	54	115	169	

Question 10 - Si oui, lorsque vous vous déplacez à pied dans des lieux inconnus, il s'agit le plus souvent : (une seule réponse)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total	
De tourisme (en France ou à l'étranger)	27	228	255	LOISIRS

D'une randonnée, d'une balade	35	143	178	
D'un nouveau lieu de RDV	12	221	233	UTILITAIRE

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total	
De tourisme (en France ou à l'étranger)	105	150	255	LOISIRS
D'une randonnée, d'une balade	85	93	178	
D'un nouveau lieu de RDV	82	151	233	UTILITAIRE

Question 11 - Si oui, lorsque vous vous déplacez à pied dans des lieux inconnus, vous êtes le plus souvent : (une seule réponse)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total	
Dans un groupe (plus de deux personnes)	14	56	70	ACCOMPAGNE
En couple, ou accompagné d'une personne	36	229	265	
Seul	24	307	331	SEUL

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total	
Dans un groupe (plus de deux personnes)	34	36	70	ACCOMPAGNE
En couple, ou accompagné d'une personne	109	156	265	
Seul	129	202	331	SEUL

Question 12 - Si oui, quel(s) support(s) utilisez-vous pour vous rendre dans ces lieux inconnus ? (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

Répartition en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total
Aucun	7	20	27
Demander à quelqu'un	9	124	133
Carte papier	33	111	144
Préparer avant	28	261	289
Solution technologique	36	434	470

Répartition en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Aucun	12	15	27
Demander à quelqu'un	40	93	133
Carte papier	68	76	144
Préparer avant	108	181	289
Solution technologique	192	278	470

Annexe 3 : Questionnaire d'informations générales pour les participants de l'étude 2

FICHE D'INFORMATIONS GENERALES

Identifiant : _____

Date : ____ / ____ / ____

Informations générales

- 1- Vous êtes : un homme une femme

- 2- Votre date de naissance : ____ / ____ / ____

- 3- Avez-vous des problèmes visuels ? Oui Non Précisez : _____
Avez-vous des problèmes auditifs ? Oui Non Précisez : _____

- 4- Quel est votre niveau d'étude le plus élevé ?
 - Certificat d'études primaires, aucun diplôme
 - Brevet des collèges, BEPC
 - CAP, BEP ou diplôme du même niveau
 - Baccalauréat général, technologique, professionnel ou équivalent
 - Diplôme de 1^{er} cycle universitaire, BTS, DUT ou équivalent, niveau BAC+2
 - Diplôme de 2^{ème} cycle universitaire
 - Diplôme de 3^{ème} cycle universitaire, doctorat, grande école, ingénieur
 - Equivalence(s) ou concours interne(s). Précisez : _____

- 5- Vous êtes :
 - Célibataire
 - En couple
 - Marié(e)
 - Divorcé(e)
 - Veuf (ve)

- 6- Quel est votre code postal ? _____

- 7- Etes-vous retraité(e) ? Oui Non

- 8- Quelle est votre catégorie socioprofessionnelle (dernière si retraité(e) ou actuelle) ?
 - Agriculteur exploitant
 - Artisan, commerçant et chef d'entreprise
 - Cadre et profession intellectuelle supérieure
 - Profession intermédiaire
 - Employé
 - Ouvrier
 - Sans activité professionnelle
 - Autre : _____

Votre mobilité quotidienne

9- Pouvez-vous marcher sans aide humaine et/ou matérielle pendant 30 minutes ?
 Oui Non

10- Déterminez l'ordre d'utilisation de vos moyens de déplacement à l'extérieur de chez vous :

	Ordre	Transcrire en %, pour un total de 100%
A pied		
En voiture - conducteur		
En voiture - passager		
En transports en commun		
A vélo		
Autre (ex. rollers, etc.)		

11- Évaluez les propositions suivantes sur une échelle allant de *tout à fait d'accord (1)* à *pas du tout d'accord (7)* :

1 2 3 4 5 6 7

- 1- Je m'oriente facilement dans une nouvelle ville
- 2- Je m'oriente facilement dans une ville que je connais
- 3- J'ai des difficultés pour comprendre les directions (ex : tournez à gauche)
- 4- Je suis anxieux/anxieuse lorsque je ne sais pas où je suis.
- 5- J'aime bien lire des plans de ville, des cartes routières.
- 6- J'aime bien donner des directions, indiquer leur chemin aux personnes qui me le demande.
- 7- Je laisse souvent une autre personne préparer la feuille de route pour les longs trajets.
- 8- Je me rappelle bien d'un nouveau trajet après l'avoir effectué une seule fois
- 9- Je ne me rappelle pas bien des trajets quand je voyage en tant que passager d'une voiture
- 10- J'ai des difficultés à poursuivre mon chemin si je suis interrompu(e) au cours de mon déplacement

Historique des accidents et chutes

12- Avez-vous déjà eu un ou plusieurs accident(s) de la route en tant que piéton ?
 Oui Non

Si oui, combien ? _____

Que s'est-il passé ?

- Collision avec une voiture sur un passage piéton
- Collision avec une voiture sur la chaussée
- Collision avec un autre véhicule (deux roues, bus etc.)

13- Avez-vous chuté au cours des 12 derniers mois, sur la voie publique ou à la maison ?

- Oui
- Non

Si oui, combien de fois ? _____

Circonstances de la chute ou des chutes :

Vos habitudes de conduite

14- Etes-vous titulaire du permis de conduire (Permis B) ?

- Oui Année d'obtention : _____
- Non

15- Conduisez-vous actuellement ?

- Oui, je conduis actuellement
- Non, je ne conduis plus aujourd'hui
- Non, je n'ai jamais conduit

Si vous conduisez actuellement :

Conduisez-vous le plus souvent seul(e) ou accompagné(e) ?

- Seul(e)
- Accompagné(e)

A quelle fréquence conduisez-vous ?

- Tous les jours ou presque
- Au moins une fois par semaine
- Au moins une fois par mois
- Plusieurs fois par an
- Moins souvent

Sur quel(s) type(s) de trajet conduisez-vous ? (vous pouvez cocher plusieurs cases)

- Court (moins de 20 km)
- Moyen (entre 20 et 100 km)
- Long (plus de 100 km)

Si vous ne conduisez plus aujourd'hui, pour quelle(s) raison(s) avez-vous arrêté ?

Annexe 4 : Questionnaire sur les usages des aides à la navigation pour les participants de l'étude 2

USAGE DES TECHNOLOGIES MOBILES POUR LA NAVIGATION

Identifiant : _____

Date : ____ / ____ / ____

Systèmes de navigation GPS pour voiture

1- Avez-vous déjà utilisé un GPS pour voiture ?

- Oui Non

Si oui, sur une échelle allant de aucune (1) à beaucoup (5), avez-vous rencontré des difficultés pour :

- Programmer votre destination (difficultés pour appuyer sur les boutons, menu complexe)
Aucune difficulté 1 2 3 4 5 Beaucoup de difficultés

- Comprendre les indications orales (qualité de la voix, redondance de l'information)
Aucune difficulté 1 2 3 4 5 Beaucoup de difficultés

- Comprendre les indications visuelles (qualité, précision des flèches et sorties)
Aucune difficulté 1 2 3 4 5 Beaucoup de difficultés

2- Concernant votre usage du GPS pour vos déplacements en voiture, vous diriez que :

- Vous ne possédez pas de GPS
- Vous possédez un GPS pour voiture, mais vous ne l'utilisez jamais
- Vous utilisez rarement le GPS, seulement quand vous êtes perdu(e)
- Vous utilisez parfois le GPS, pour aller à des endroits peu ou pas connus
- Vous utilisez régulièrement le GPS, sur la quasi-totalité de vos trajets

Téléphone intelligent

3- Possédez-vous un téléphone mobile intelligent (smartphone, iphone) ?

- Oui Non

Si oui, sur une échelle allant de aucune (1) à beaucoup (5), rencontrez-vous des difficultés pour :

- Interagir avec le téléphone (taper sur le clavier tactile, appuyer sur les boutons)
Aucune difficulté 1 2 3 4 5 Beaucoup de difficultés

- Naviguer dans les différents menus du téléphone
Aucune difficulté 1 2 3 4 5 Beaucoup de difficultés

- Installer de nouvelles applications
Aucune difficulté 1 2 3 4 5 Beaucoup de difficultés

Si vous disposez d'un téléphone intelligent, utilisez-vous des applications de navigation pour vous déplacer à pied lorsque vous marchez dans la rue (Google Maps, etc.) :

- Jamais
- Rarement, seulement quand vous êtes perdu(e)
- Parfois, pour aller à des endroits peu ou pas connus
- Régulièrement, sur la quasi-totalité de vos trajets

Avis général sur les aides à la navigation

4 - Quand vous devez vous rendre seul à un endroit que vous ne connaissez pas ou peu, vous préférez (numérotez par ordre de préférence les 3 propositions qui vous correspondent le mieux dans chaque colonne) :

Lorsque vous êtes en voiture

- Demander votre chemin aux passants
- Faire appel à votre mémoire des environs
- Utiliser une carte papier
- Utiliser un GPS
- Préparer à l'avance votre itinéraire sur internet et prendre des notes
- Vous arranger pour ne pas avoir à y aller
- Autre : _____

Lorsque vous êtes à pied

- Demander votre chemin aux passants
- Faire appel à votre mémoire des environs
- Utiliser une carte papier
- Utiliser un GPS
- Préparer à l'avance votre itinéraire sur internet et prendre des notes
- Vous arranger pour ne pas avoir à y aller
- Autre : _____

5- En général, vous utilisez les aides à la navigation :

- Jamais ou presque
- Uniquement pour planifier votre itinéraire avant de quitter votre domicile
- Uniquement en chemin, pour être guidé sur la route
- Les deux, pour planifier votre itinéraire et pour être guidé sur la route

6- En général, sur une échelle allant de pas du tout (1) à tout à fait (5), diriez-vous qu'avec les aides à la navigation :

- Vous vous sentez en sécurité
Pas du tout 1 2 3 4 5 Tout à fait

- Vous faites moins attention à la route
Pas du tout 1 2 3 4 5 Tout à fait

- Vous avez confiance pour être guidé vers votre destination
Pas du tout 1 2 3 4 5 Tout à fait

- Vous avez le contrôle sur les événements
Pas du tout 1 2 3 4 5 Tout à fait

Annexe 6 : Modalités de codage et valence attribuée pour chaque dimension de l'expérience utilisateur questionnée lors de l'étude 2

Grille d'analyse des entretiens utilisée dans l'étude 2	Modalités pour chaque dimension d'analyse (1 seul par participant et par dimension pour chaque guidage testé)
Perceptibilité des instructions de guidage	BONNE PERCEPTIBILITE TROP INTENSE TROP FAIBLE CONFUS PAS PERCEPTIBLE
Compréhensibilité des instructions de guidage	FACILE DIFFICILE PARTOUT DIFFICILE EN ROND-POINT DIFFICILE DEMI-TOUR DIFFICILE ARRIVEE TARDIF
Attention portée à l'environnement	ATTENTION ATTENTION FAIBLE PAS ATTENTION
Sentiment de sécurité	SECURITE PRUDENCE VOITURE PAS PRUDENCE VOITURE PLUS QU'AVEC UN SEUL MESSAGE (2 ^e session)
Hésitations	PAS HESITATION OUI ROND-POINT OUI DEBUT OUI INTERSECTION OUI DEMI-TOUR OUI ARRIVEE
Sentiment d'être désorienté	DESORIENTE PAS DESORIENTE
Sentiment d'autonomie	AUTONOME CONTRAINTE NEUTRE
Agréabilité	AGREABLE DESAGREABLE NEUTRE
Utilité a priori	UTILE POUR MOI UTILE POUR AUTRE UTILE EN GENERAL PAS UTILE
Recommandations de conception	MESSAGES DIFFERENTS CONFIRMER APRES TOUT DROIT VOIX (au lieu de son) AUTRE DISPO
Habitude d'un tel guidage	HABITUDE FUTURISTE
Aspect innovant	INNOVANT PAS INNOVANT INNOVANT EN MAL NEUTRE

NB : la couleur des modalités correspond à la valence attribuée pour le calcul des Chi². Ainsi, en rouge sont indiqués les jugements négatifs et en vert les jugements positifs vis-à-vis du guidage.

Annexe 7 : Détails des moyennes et écarts-types pour chaque variable quantitative de performance mesurée lors de l'étude 2

	Actifs plus de 50 ans	Jeunes retraités	Retraités plus âgés
Visuel	11,7 (SD=12,8)	10,3 (SD=8)	16,8 (SD=9,3)
Auditif	11,6 (SD=10,3)	9,6 (SD=8,2)	26,2 (SD=24,9)
Haptique	18,5 (SD=13,8)	25,2 (SD=15,3)	35,5 (SD=19,8)
Visuel +Auditif	6,5 (SD=5,8)	6,9 (SD=5,7)	9,8 (SD=8,9)
Visuel + Haptique	6,5 (SD=6,5)	7,1 (SD=5,2)	10,8 (SD=9,8)
Auditif + Haptique	17,3 (SD=13)	15,9 (SD=18,2)	27,4 (SD=19,7)
Carte	57,3 (SD=50,2)	61,1 (SD=56,4)	96,3 (SD=53,2)

Moyennes des pourcentages d'augmentation du temps de parcours par rapport au temps optimal en fonction de la condition expérimentale et du groupe de participants

	Actifs plus de 50 ans	Jeunes retraités	Retraités plus âgés
Visuel	98,6 (SD=3,8)	100 (SD=0)	98,1 (SD=6,2)
Auditif	97,5 (SD=7,1)	96,9 (SD=6,3)	91,3 (SD=14,3)
Haptique	88,4 (SD=14,8)	91,2 (SD=10,4)	84,5 (SD=13,5)
Visuel +Auditif	100 (SD=0)	100 (SD=0)	100 (SD=0)
Visuel + Haptique	100 (SD=0)	100 (SD=0)	100 (SD=0)
Auditif + Haptique	91,7 (SD=12,8)	93,9 (SD=15,7)	83,6 (SD=20,1)
Carte	94,9 (SD=9,3)	87,9 (SD=18,3)	69,6 (SD=22)

Moyennes des taux d'orientations correcte en intersections simples en fonction de la condition expérimentale et du groupe de participants

	Actifs plus de 50 ans	Jeunes retraités	Retraités plus âgés
Visuel	92,3 (SD=18,6)	94,6 (SD=12,3)	89,2 (SD=15)
Auditif	96,8 (SD=8,9)	95,6 (SD=9,9)	88 (SD=15)
Haptique	88,1 (SD=18,3)	70,4 (SD=20,8)	65,3 (SD=24,4)
Visuel +Auditif	98,2 (SD=4,7)	98,4 (SD=4,4)	95,2 (SD=10,3)
Visuel + Haptique	95 (SD=13,6)	94,4 (SD=9,9)	91,6 (SD=16,8)
Auditif + Haptique	86,5 (SD=16,8)	88,6 (SD=19)	72,4 (SD=28,7)
Carte	92,3 (SD=12,3)	89,5 (SD= 23)	71,4 (SD=31,7)

Moyennes des taux d'orientations correcte en intersections simples en fonction de la condition expérimentale et du groupe de participants

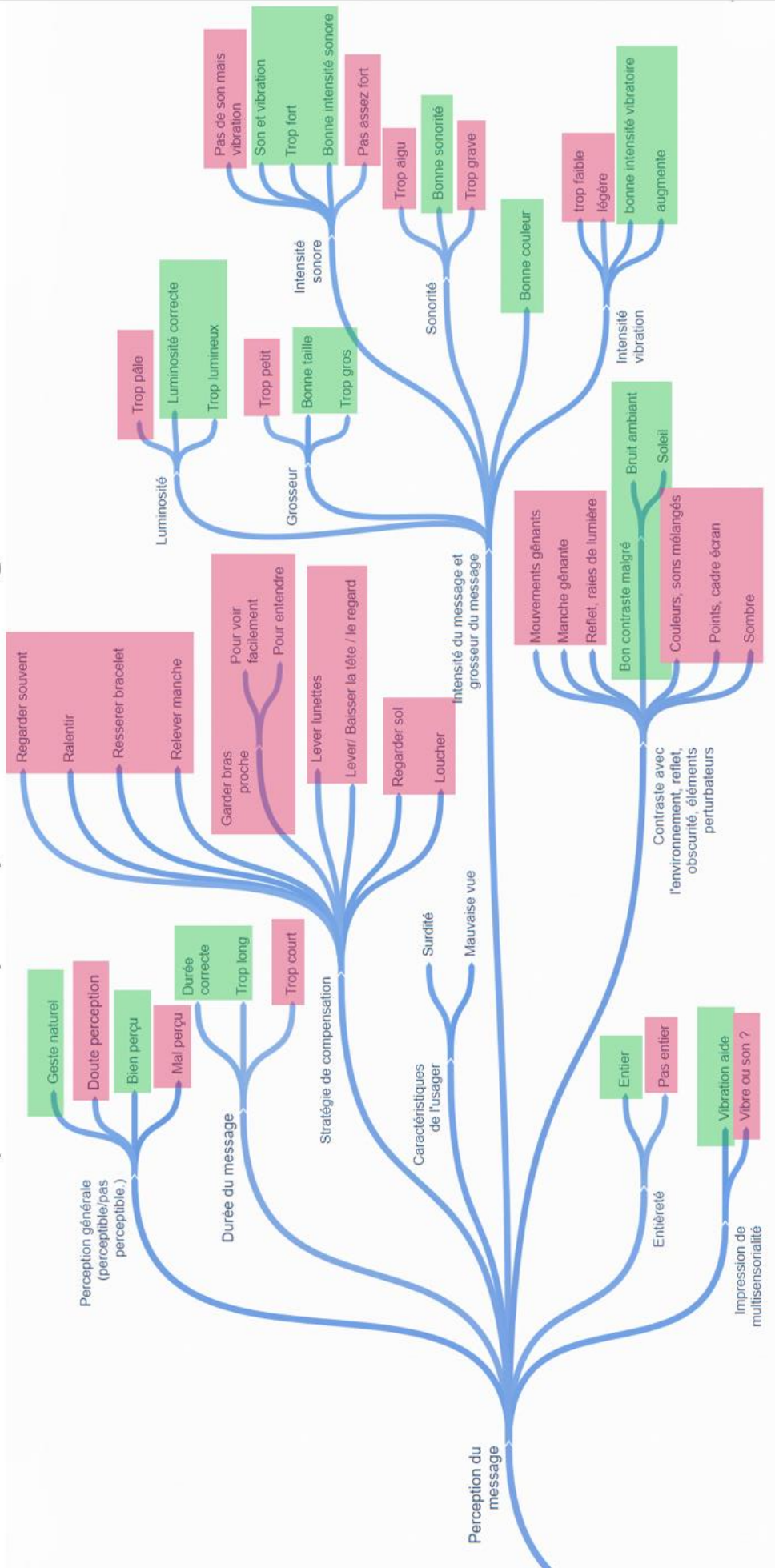
Annexe 8 : Mots-clés utilisés pour décrire les dimensions de l'expérience utilisateur questionnées durant l'étude 3 et leur valence

NB : Dans le cadre des analyses par Chi², les mots clés ont été réduits à une valence positive (en vert) ou négative (en rouge). Pour chaque dimension (perceptibilité, compréhensibilité etc.), il a été considéré que l'évaluation était négative à partir du moment où au moins 1/3 des mots clés utilisés pour décrire les verbatims relatifs à cette dimension étaient codés négativement.

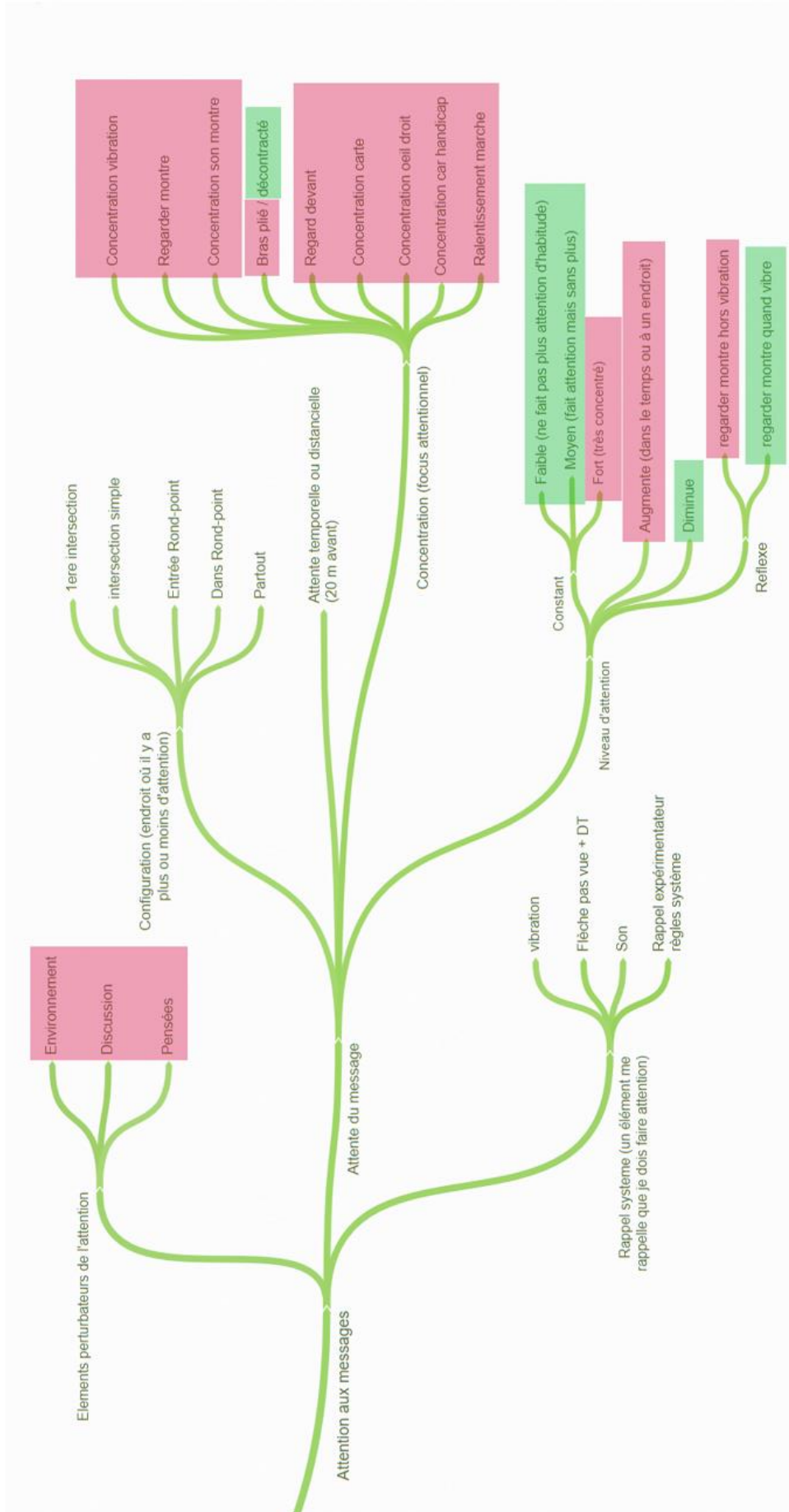
EXEMPLE : analyse des verbatims relatifs à la perceptibilité pour le participants S01 avec la montre

	Perception : durée	Perception : intensité / taille	Perception : dans l'environnement	Perception : stratégies
V E R B A T I M	<p>(6) Quand ça vibre, le temps de lever le bras, de regarder, la flèche est toujours là, donc ça dure assez.</p> <p>(114) J'ai pas une seule fois été « oh merde, la flèche s'est barrée », non</p>	<p>(2) c'est vrai qu'au départ j'ai trouvé que la vibration n'était pas assez fort</p> <p>(4) On va un peu se déconcentrer et on ne va pas sentir. Mais je pense que pour une personne seule qui se dit « bon, je marche, toctoc, ça vibre », c'est bien.</p> <p>(4) En plus, c'est clair, on voit bien la flèche, c'est pas un truc tout riquiqui.</p> <p>(28) La flèche est bien proportionnée, il y a un bon contraste, c'est pas le truc tout petit, pas lisible.</p> <p>(28) C'est vraiment vert vert. Vert et noir, on ne peut pas faire mieux.</p>	<p>(28) je me disais que comme il y avait du soleil, « tiens, avec le soleil, est-ce que ça ne va pas me gêner un peu ? ». Et bah non.</p>	<p>(12) . Quand ça vibre, je pense que la moindre des choses c'est de regarder, de s'arrêter ou de ralentir, et de regarder</p> <p>(20) c'est vrai que c'est logique, et il faut regarder à plat.</p> <p>(50) Une fois qu'on connaît le système, c'est naturel. Ca vibre, je ramène mon bras devant moi, et hop, gauche.</p>
MOTS - CLES	(6) (114) Durée correcte	(2) (4) [départ] vibration trop faible color: green;">(4) (28) bonne taille color: green;">(28) bonne couleur	(28) bon contraste [soleil]	(12) ralentir color: green;">(20) (50) Geste naturel
VALENCE	Positif * 2	Négatif *2 Positif *3	Positif *1	Négatif *1 Positif *2
VALENCE TOTALE	8 positifs et 3 négatifs => Evaluation plutôt positive de la perceptibilité			

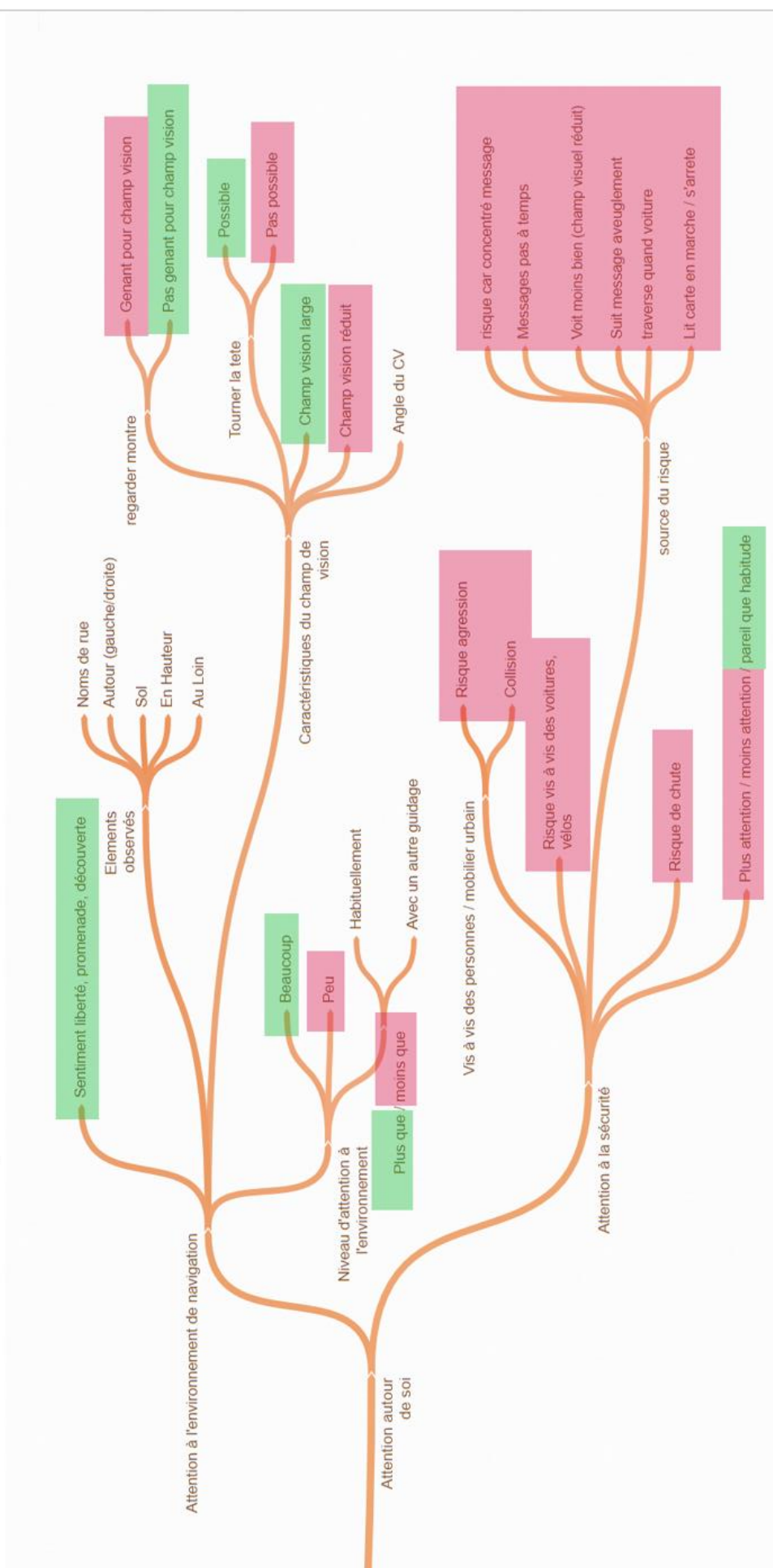
Éléments descriptifs de la perception des messages dans l'étude 3



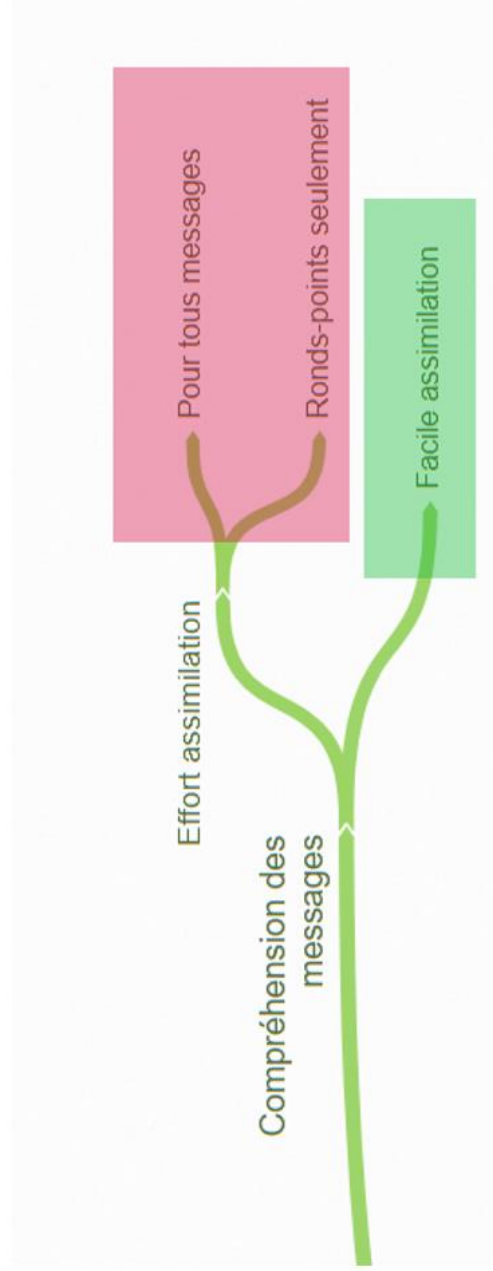
Éléments descriptifs de l'attention aux messages dans l'étude 3



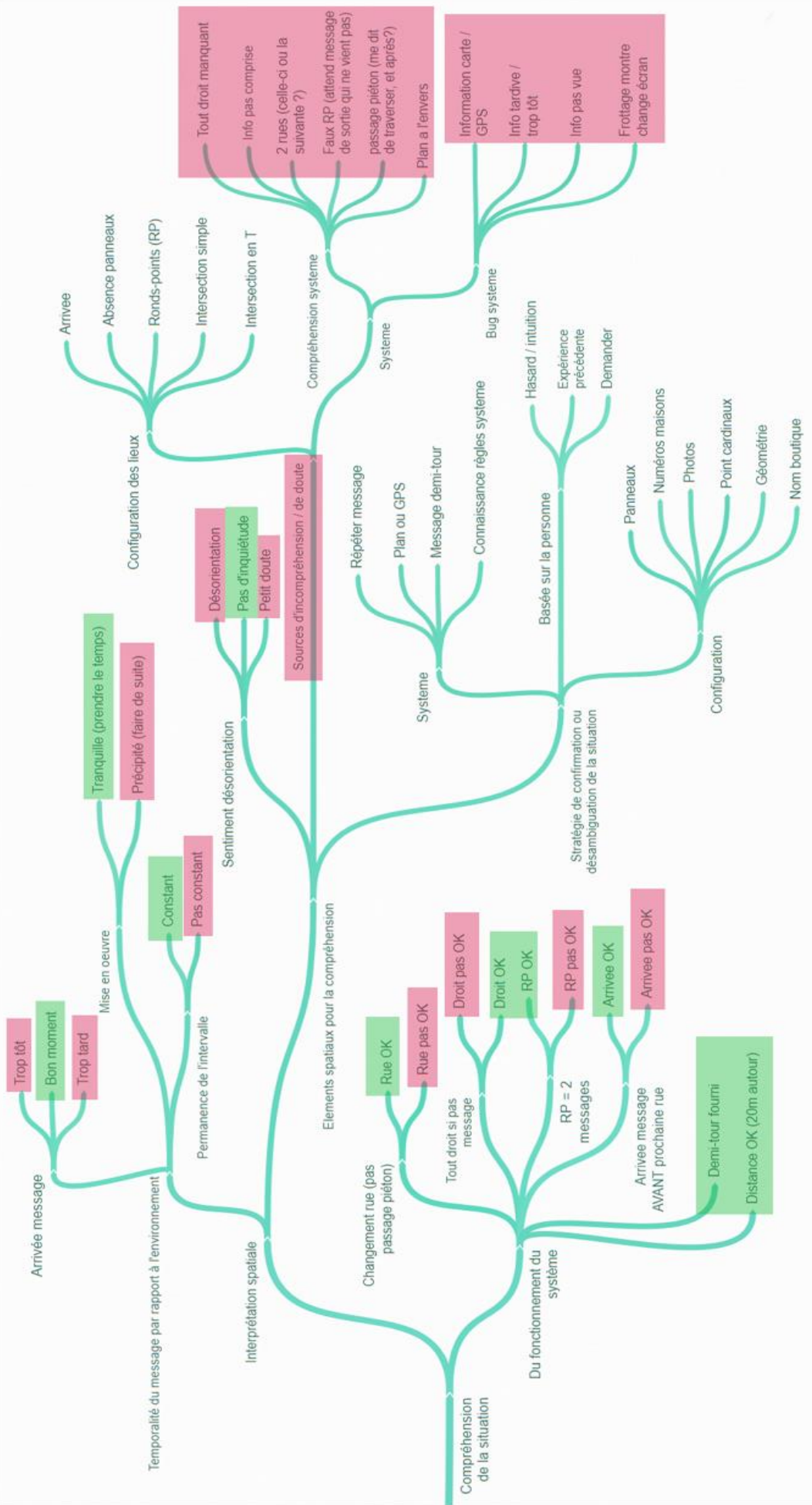
Éléments descriptifs de l'attention à l'environnement dans l'étude 3



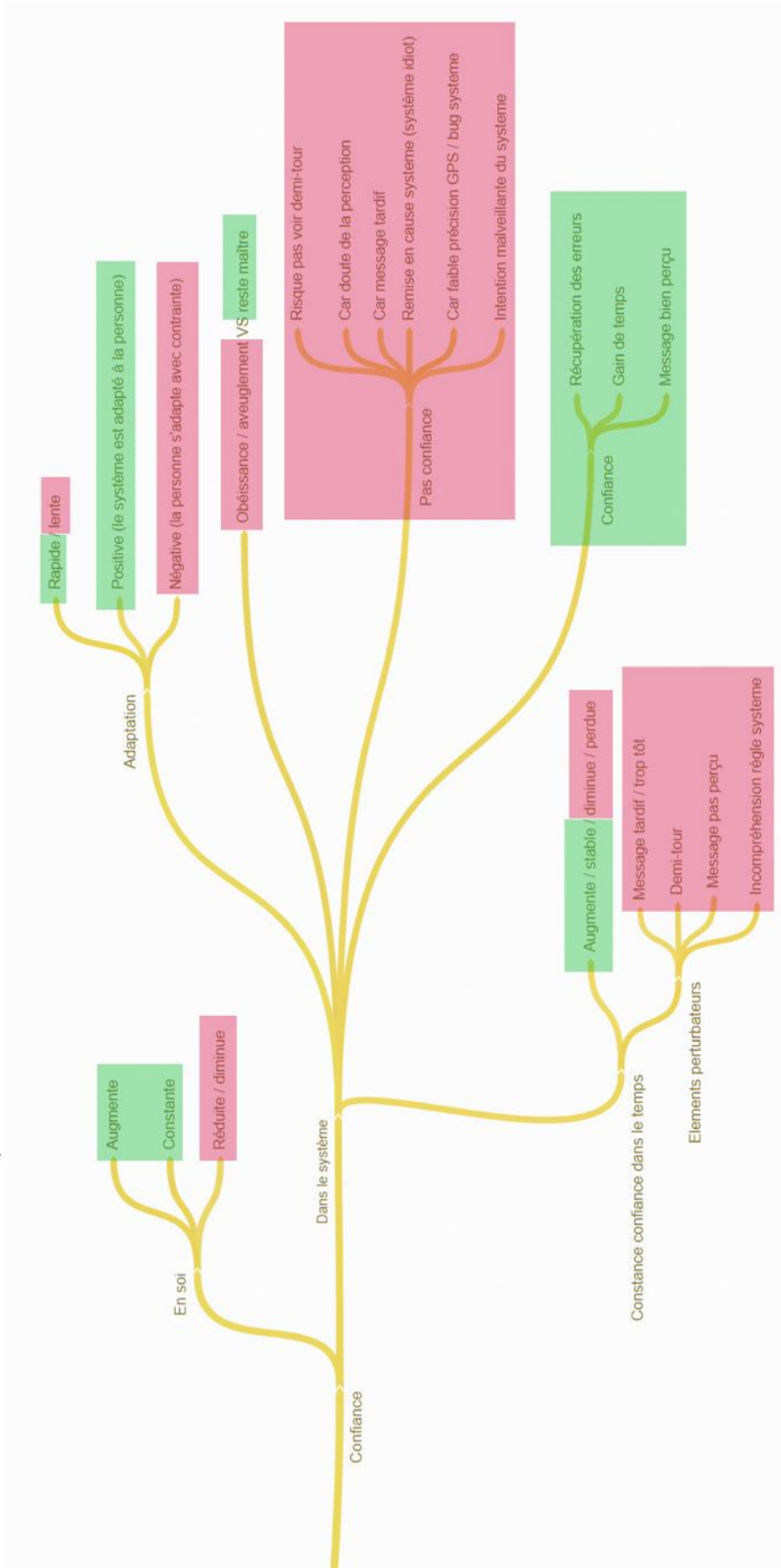
Éléments descriptifs de la compréhension des messages dans l'étude 3



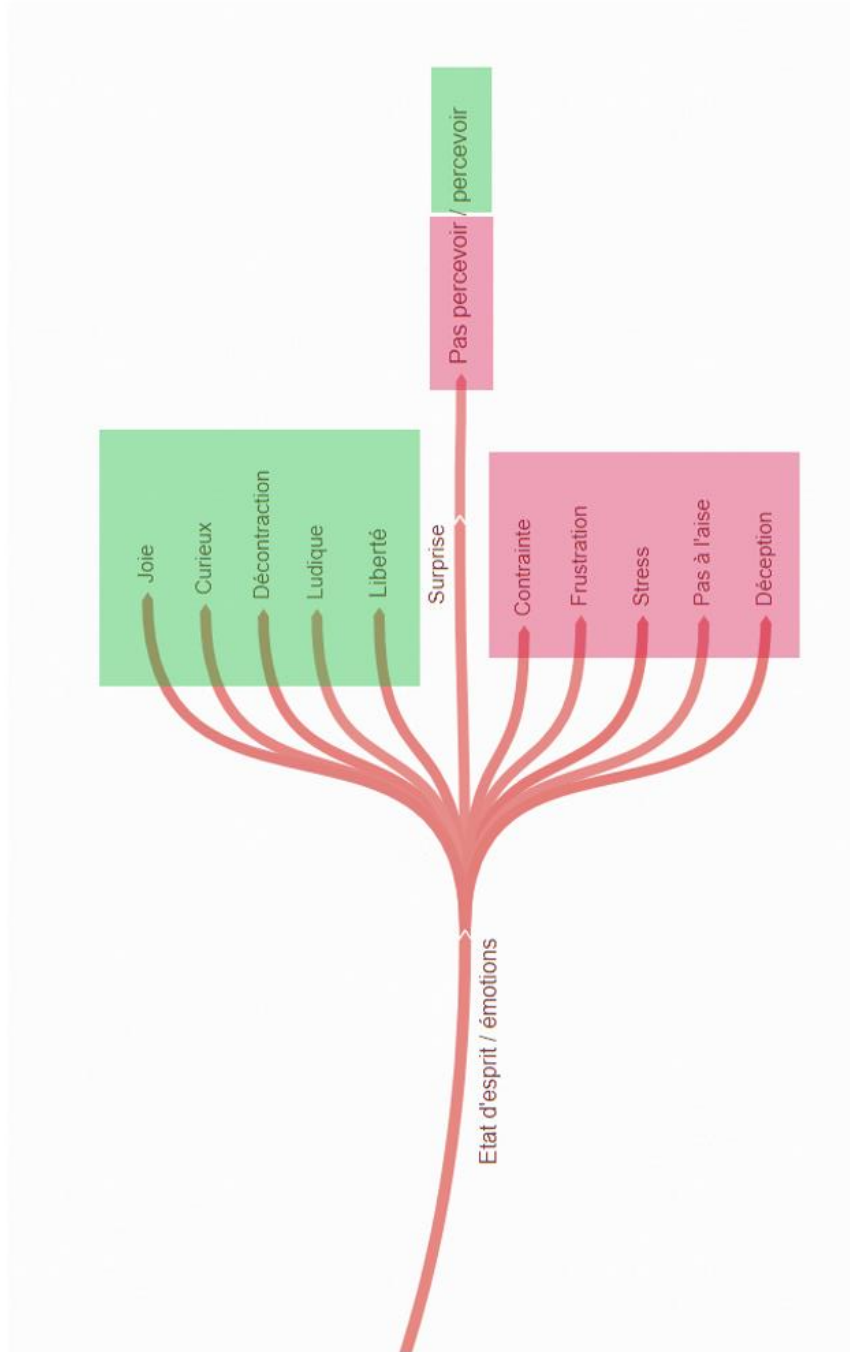
Éléments descriptifs de la compréhension de la situation dans l'étude 3



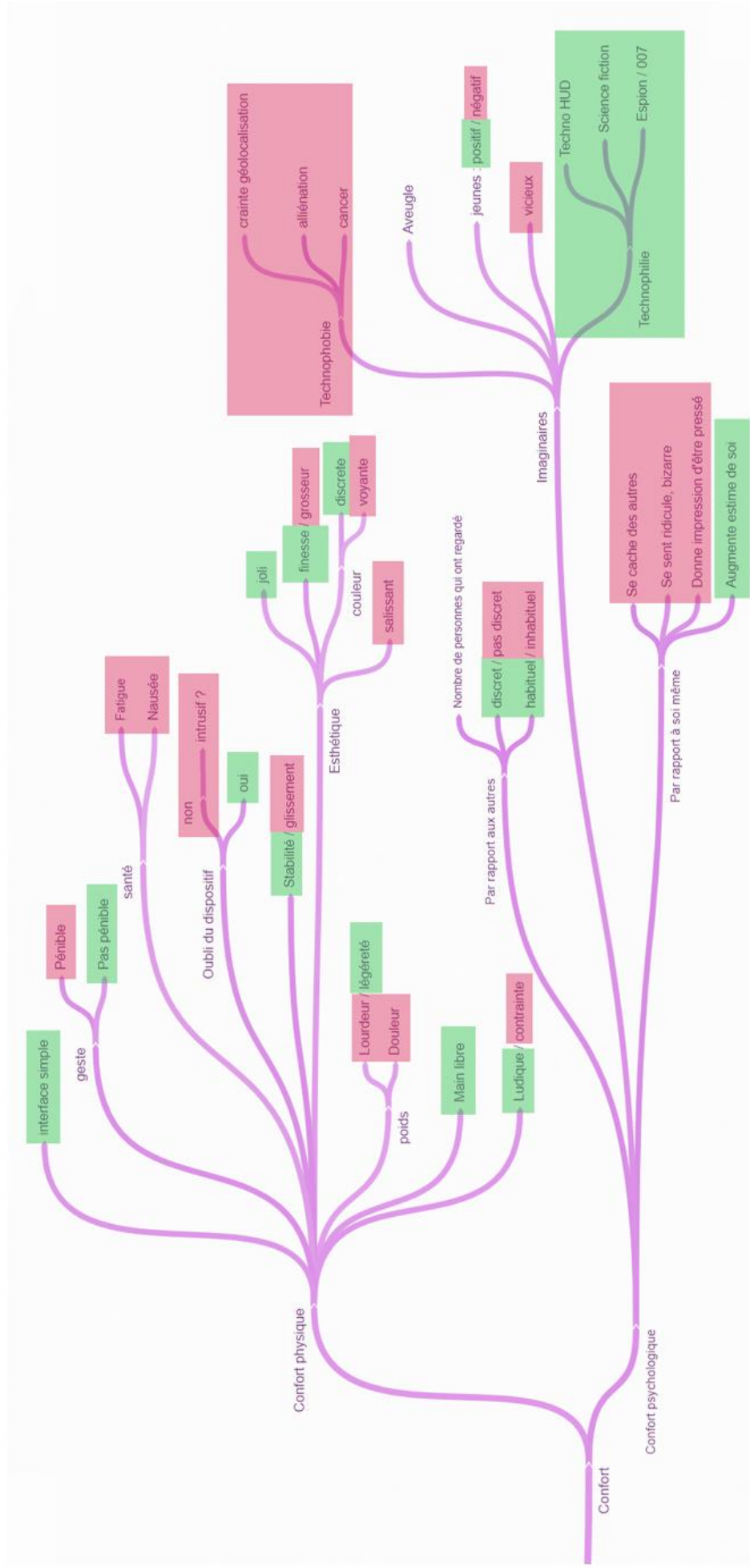
Éléments descriptifs du sentiment de confiance dans l'étude 3



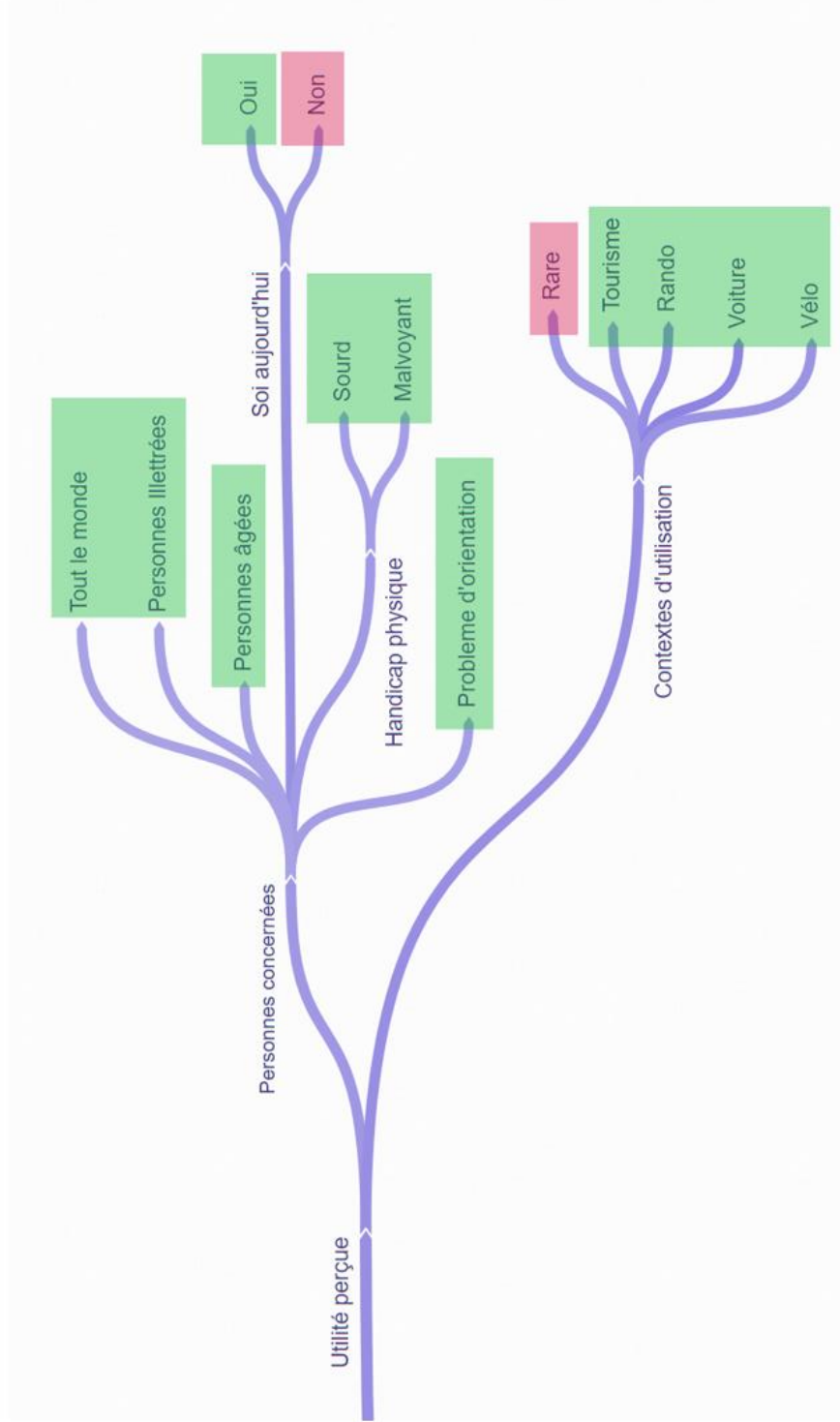
Éléments descriptifs des émotions dans l'étude 3



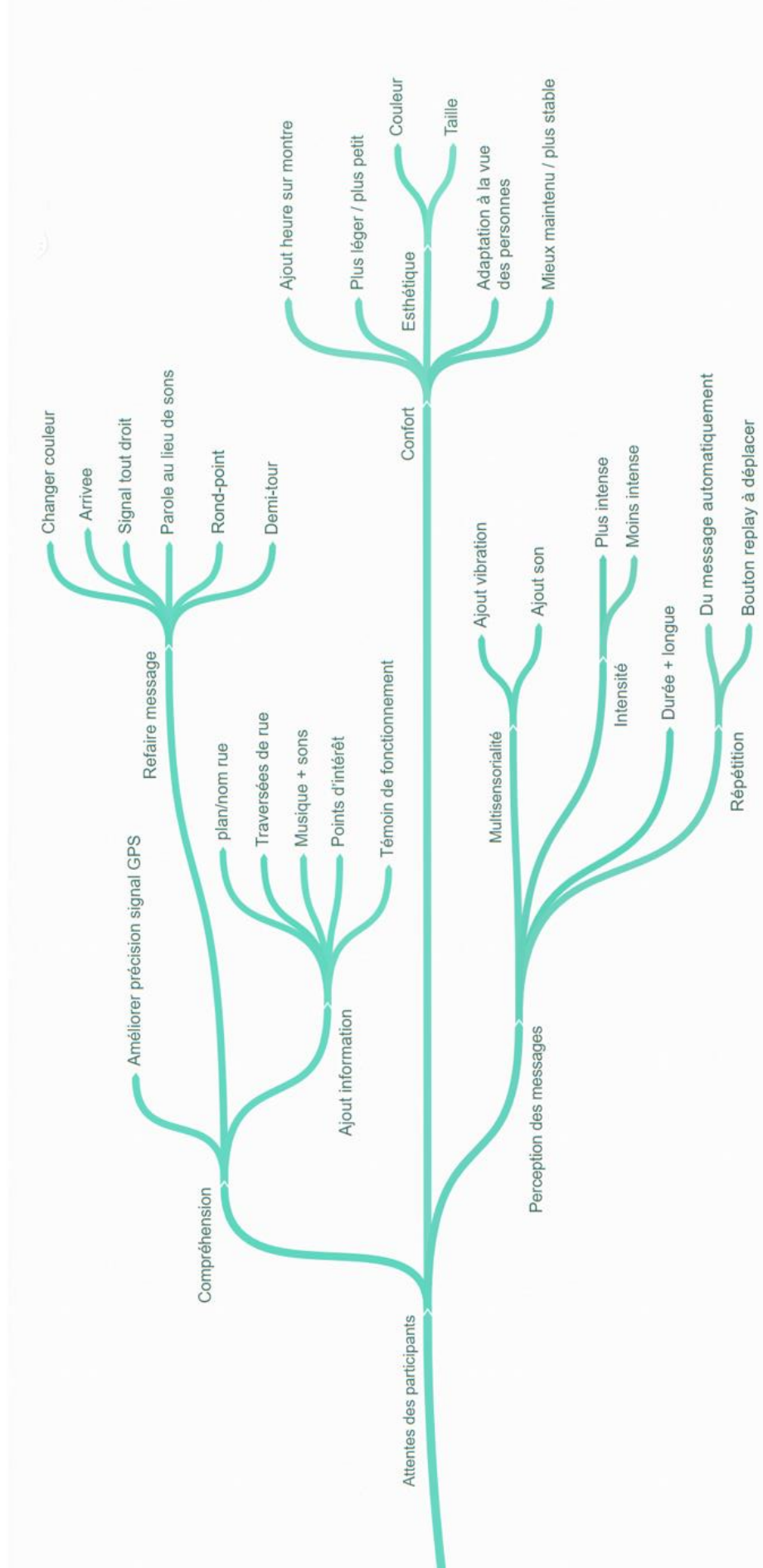
Éléments descriptifs du confort dans l'étude 3



Éléments descriptifs de l'utilité perçue dans l'étude 3



Éléments descriptifs des attentes des participants dans l'étude 3



Annexe 9 : Etude de la temporalité dans l'analyse des entretiens lors de l'étude 3 et dimensions principalement impactées

Sept éléments temporels dessinant l'expérience utilisateur ont été identifiés dans les entretiens. Le tableau ci-après présente les principales caractéristiques de l'UX associées à chacun de ces moments.

Moment caractéristique	Caractéristiques UX principalement évoquées
Avant le départ	<i>Attention au message</i> : assez forte <i>Confiance</i> : assez élevée <i>Emotion</i> : appréhension ou attentes positives vis-à-vis du dispositif <i>Confort psychologique</i> : sentiment d'être bizarre, d'être regardé
Lors de la première indication	<i>Attention au message</i> : augmente/diminue <i>Confiance</i> : augmente / diminue <i>Emotion</i> : surprise de bien/mal percevoir
Lorsqu'une information est mal perçue	<i>Attention au message</i> : augmente <i>Confiance</i> : diminue <i>Emotion</i> : frustration + surprise négative
Lorsqu'une information est bien perçue	<i>Emotion</i> : joie, détente
Lorsque le message arrive trop tôt/tard ou lors d'un message de demi-tour	<i>Attention au message</i> : augmente <i>Confiance</i> : augmente / se stabilise / diminue <i>Emotion</i> : surprise positive / négative + frustration
Au niveau d'un rond-point A l'arrivée	<i>Attention au message</i> : augmente <i>Emotions</i> : soulagement, joie

Annexe 10 : Tableau détaillé de l'analyse des vidéos à propos des inattentions manifestes lors de l'étude 3

En bleu : le niveau d'interaction avec l'expérimentateur :

- Interaction faible : l'expérimentateur pose quelques questions (2 à 3 sur tout le trajet), le participant répond brièvement (oui/non, en quelques mots)
- Interaction normale : l'expérimentateur pose des questions après chaque intersection ou moment d'hésitation, le participant répond avec quelques détails
- Interaction forte : en plus des questions de l'expérimentateur, le participant initie la conversation, aborde sa vie personnelle etc.

En violet : le participant déclare être gêné par le port de la Go Pro

Participant	Carte	Audio	Visuel	Montre
	Dispo = 20 Autre = 2	Dispo = 3 Autre = 6	Dispo = 1 Autre = 8	Dispo = 4 Autre = 0
S01 Gene	Interaction faible Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction forte Pas d'inattention manifeste
S02 Gene	Interaction forte Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction forte. Dispo : S'engage pour traverser sans regarder. Puis revient quand voitures démarrent (V1 - 7 :20)	Interaction forte Pas d'inattention manifeste
S03 Gene	Interaction faible Dispo : S'arrête en pleine traversée pour lire carte (C2 - 4 :20)	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste
S04 Gene	Interaction forte Dispo : s'arrête en pleine traversée pour lire carte (C3-1 :20)	Interaction forte Dispo : s'arrête en pleine traversée pour entendre (A2-00 :50)	Interaction forte Parle et se retourne : Collision poteau (V1-6 :20)	Interaction forte Pas d'inattention manifeste
S05	Interaction faible Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Parle : marche sur la route au lieu du trottoir (A1-2 :40)	Interaction normale Parle : s'arrête au milieu de passage piéton (V2- 0 :30)	Interaction forte Pas d'inattention manifeste
S06 Gene	Interaction forte Dispo : Traverse en lisant (C2-2 :30)	Interaction forte Parle : traverse alors que moto arrive (A1-	Interaction forte Parle : voiture recule sur passage piéton alors que traverse	Interaction forte Pas d'inattention

	Dispo : marche en lisant (C2-7 :00)	6 :45)	(V2-1 :55)	manifeste
S07 Gene	Interaction forte Dispo : marche en lisant (C2-00 :40) Parle : s'arrête en pleine traversée (C2-5 :20) Dispo : s'arrête en pleine traversée pour lire carte (C2 - 6 :45)	Interaction forte Dispo : s'arrête en pleine traversée pour écouter son (A2-4 :15)	Interaction forte Pas d'inattention manifeste	Interaction forte Pas d'inattention manifeste
S08	Interaction forte Dispo : s'arrête en pleine traversée pour lire carte (C2-3 :15)	Interaction forte Pas d'inattention manifeste	Interaction forte Pas d'inattention manifeste	Interaction forte Dispo : regarde montre en traversant (M1-1 :40)
S09	Interaction forte Dispo : marche en lisant + Collision dame (C1-9 :20)	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Parle : traverse sans regarder + collision avec expérimentateur (V1-7 :00)	Interaction normale Pas d'inattention manifeste
S10 Gene	Interaction normale Dispo : marche en lisant (C2-2 :20)	Interaction normale Parle : s'arrête en pleine traversée	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste
S11	Interaction faible Dispo : marche en lisant (C2-0 :15) Dispo : marche en lisant (C2 - 5 :00) Dispo : marche en lisant (C2 - 9 :20)	Interaction forte Pas d'inattention manifeste	Interaction forte Parle : s'arrete en pleine traversée (V1-2 :00) Parle : s'arrete en pleine traversée (V1-9 :30)	Interaction forte Pas d'inattention manifeste
S12	Interaction faible Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction forte Dispo : regarde montre en traversant (M1-1 :25)
S13 Gene	Interaction faible Pas d'inattention manifeste	Interaction normale Pas d'inattention	Interaction normale Pas d'inattention manifeste	Interaction forte Pas

		manifeste		d'inattention manifeste
S14 Gene	<p>Interaction forte Dispo : marche en lisant (C2-3 :50)</p> <p>Dispo : marche en lisant (C2-6 :30)</p> <p>Dispo : s'arrête en pleine traversée pour lire carte (C2-10 :00)</p>	<p>Interaction forte Parle : marche sur la route (A1-4:20)</p>	<p>Interaction forte Pas d'inattention manifeste</p>	<p>Interaction forte Pas d'inattention manifeste</p>
S15 Gene	<p>Interaction forte Pas d'inattention manifeste</p>	<p>Interaction normale Pas d'inattention manifeste</p>	<p>Interaction normale Pas d'inattention manifeste</p>	<p>Interaction normale Dispo : marche en regardant montre (M1-3 :15)</p> <p>Dispo : marche en regardant montre (M1-11 :00)</p>
S16	<p>Interaction faible Dispo : marche en lisant (C1-5 :00)</p> <p>Dispo : marche en lisant (C2-4 :50)</p>	<p>Interaction forte Pas d'inattention manifeste</p>	<p>Interaction forte Environnement : collision pigeon (V1-10 :10)</p>	<p>Interaction forte Pas d'inattention manifeste</p>
S17	<p>Interaction forte Dispo : marche en lisant (C1-9 :10)</p> <p>Parle : s'arrête en pleine traversée (C3-4 :10)</p>	<p>Interaction forte Parle : traverse alors que véhicule arrive (A1-3 :20)</p> <p>Parle : s'arrête en pleine traversée (A1-11 :30)</p>	<p>Interaction forte Pas d'inattention manifeste</p>	<p>Interaction forte Pas d'inattention manifeste</p>
S18	<p>Interaction forte Dispo : marche en lisant (C2-8 :20)</p> <p>Dispo : marche en lisant (C3-1 :05)</p>	<p>Interaction forte Dispo : s'arrête en pleine traversée pour écouter son (A2-3 :25)</p>	<p>Interaction forte Environnement : presque collision avec fillette (V2-1 :30)</p>	<p>Interaction normale Pas d'inattention manifeste</p>

Annexe 11 : Age et genre des participants de l'étude 3

Code participant étude 3	Genre	Age
S01	Homme	66 ans
S02	Femme	69 ans
S03	Homme	60 ans
S04	Femme	62 ans
S05	Homme	63 ans
S06	Homme	71 ans
S07	Femme	72 ans
S08	Homme	76 ans
S09	Femme	75 ans
S10	Homme	77 ans
S11	Homme	70 ans
S12	Homme	70 ans
S13	Homme	71 ans
S14	Femme	62 ans
S15	Femme	71 ans
S16	Femme	65 ans
S17	Homme	65 ans
S18	Femme	72 ans

Partie 1 : Vos attentes pour la mobilité piétonne de demain

Question 1 - Vous seriez prêt à vous déplacer davantage à pied si les déplacements piétons étaient : (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

- Plus sécurisés (par rapport aux voitures, aux vélos, aux rollers etc.)
- Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport en commun (bus, métro, navette etc.)
- Plus faciles pour trouver son chemin (rues mieux indiquées, bornes d'aides, plans des quartiers etc.)
- Plus connectés à ce qui se passe autour (information en temps réel sur les travaux, les manifestations, les points d'intérêt aux alentours etc.)
- Plus agréables (moins de bruit, moins de pollution, moins de saleté au sol etc.)
- Moins difficiles physiquement (parcours sans dénivelé, hauteur des trottoirs réduite etc.)
- Plus valorisés socialement (politique publique plus incitative, aides financière ou matérielle pour favoriser la marche en ville etc.)
- Je ne souhaite pas me déplacer davantage à pied

*Question 2 - Parmi toutes les améliorations à apporter aux déplacements piétons évoquées ci-dessus, **laquelle est la principale priorité** selon vous ? (une seule réponse)*

- Plus sécurisés
- Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport en commun
- Plus faciles pour trouver son chemin
- Plus connectés à ce qui se passe autour
- Plus agréables
- Moins difficiles physiquement
- Plus valorisés socialement
- Je ne souhaite pas me déplacer davantage à pied

Question 3 - Vous seriez prêt à utiliser davantage de solution(s) technologique(s) (GPS, application sur téléphone, etc.) pour vous aider dans vos déplacements à pied dans des lieux inconnus : (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

- Si la présentation des informations de guidage est personnalisable à vos goûts (choix des couleurs, de la voix du GPS, de la durée et de l'intensité des informations, etc.)
- Si le trajet proposé est sécurisé pour les piétons (évitement des intersections dangereuses, indication des passages piétons à proximité)
- Si des informations sur les points d'intérêt ou les points d'alerte à proximité peuvent être ajoutées à la demande (lieux touristiques aux alentours, magasins, travaux etc.)
- Si ces solutions sont peu chères ou fournies gratuitement par la mairie
- Si ces solutions sont très simples d'utilisation (peu de boutons, commande vocale pour entrer la destination ...)
- Si ces solutions vous proposent des alternatives avec d'autres moyens de transports (en cas de pluie, de fatigue, de retard)
- Si ces solutions prennent en compte les trajets avec le moins d'effort physique (dénivelé, distance à parcourir etc.)
- Si ces solutions vous permettent de profiter plus du paysage (ne pas devoir regarder en permanence une carte ou un écran)
- Si ces solutions renvoient une image positive de soi (tendance, à la mode)
- Je ne souhaite pas utiliser davantage de solutions technologiques

Question 4 - Parmi toutes les raisons pour utiliser davantage une solution technologique d'aide à la navigation piétonne évoquées ci-dessus, laquelle est la principale priorité selon vous ? (une seule réponse)

- Présentation personnalisable
- Trajet sécurisé
- Ajout de points d'intérêt
- Prix
- Simplicité
- Connexions avec d'autres moyens de transports
- Moins d'effort physique
- Profiter du paysage
- Renvoyer une image positive de soi
- Je ne souhaite pas utiliser davantage de solutions technologiques

Question 5 - A priori, vous préféreriez être guidé par des informations : (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

- Cartographiques
- Visuelles (flèche, pictogrammes)
- Auditives (son, voix)
- Tactiles (vibrations)
- Olfactives (odeur de pain pour la boulangerie etc...)

Partie 2 : Les aides à la navigation piétonne de demain

Imaginez-vous en 2030. Plusieurs aides technologiques pour vos déplacements piétons sont disponibles sur le marché, avec chacune leurs avantages et leurs inconvénients. Pour chacune des aides à la navigation que nous vous proposons, merci d'indiquer pour chaque item votre opinion à l'aide d'une échelle en 8 points, où 0 indique l'opinion la plus défavorable, et 7 l'opinion la plus favorable.

Aide n° 1 : Les lentilles connectées

Les lentilles connectées ne pèsent que quelques grammes. Vous entrez votre destination sur votre téléphone et le trajet à suivre s'incruste instantanément dans votre champ de vision sous la forme d'une ligne continue à suivre. Vous pouvez également ajouter les points d'intérêt de votre choix sur votre parcours (supermarché, transports en commun etc.), et choisir les couleurs d'affichage. Ces lentilles se rechargent lorsqu'elles sont portées, grâce à l'énergie libérée lors des mouvements oculaires.



Question 6 - D'après vous, cette aide pourrait être :
(entourez le chiffre correspondant à votre opinion : 0 = défavorable ; 7 = favorable)

Utile

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à utiliser (pratique, peu de temps pour s'habituer au fonctionnement)

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à comprendre (informations de guidage simples à percevoir, à interpréter)

0 1 2 3 4 5 6 7

Sécurisante

0 1 2 3 4 5 6 7

Agréable à porter

0 1 2 3 4 5 6 7

Bonne pour l'image de soi, valorisante ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Commentaire éventuel :

Aide n° 2 : Les vêtements vibrants

Cette gamme de vêtements vibrants propose des pantalons, T-shirts, manteaux et chaussures adaptés à tous les styles vestimentaires. Équipés de micro-vibreurs résistants au lavage, ces vêtements vous indiquent où aller par une vibration sur le côté gauche ou le côté droit du corps. Les micro-vibreurs sont alimentés par la chaleur corporelle et la destination peut être programmée via une application sur téléphone ou tablette.



Question 7 - D'après vous, cette aide pourrait être :
(entourez le chiffre correspondant à votre opinion : 0 = défavorable ; 7 = favorable)

Utile

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à utiliser (pratique, peu de temps pour s'habituer au fonctionnement) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à comprendre (informations de guidage simples à percevoir, à interpréter) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Sécurisante

0 1 2 3 4 5 6 7

Agréable à porter

0 1 2 3 4 5 6 7

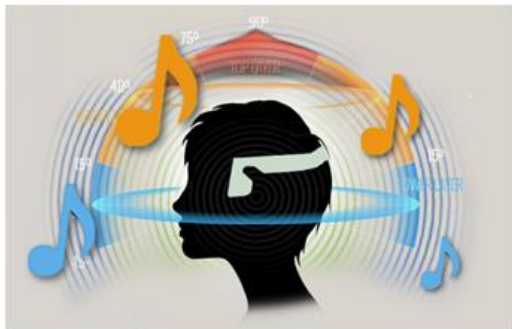
Bonne pour l'image de soi, valorisante ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Commentaire éventuel :

Aide n° 3 : L'application et le casque à conduction osseuse pour vous guider grâce à du son spatialisé

Ce dispositif se compose d'une application sur téléphone ou tablette et d'un casque à conduction osseuse (qui ne bouche pas les oreilles et transmet le son par légère vibration sur les os des tempes). Il permet de vous guider dans la rue tout en écoutant de la musique ou la radio. Après avoir sélectionné la musique ou la radio de votre choix, vous entrez votre destination sur votre smartphone, enfiler votre casque à conduction osseuse et vous vous laissez guider par le son. Lorsque vous devez changer de direction, le volume diminue dans l'oreille correspondante, vous indiquant de tourner dans cette direction. De plus, le son se coupe à l'approche des trams, des bus et des intersections. Le casque possède une autonomie de plusieurs jours, et est rechargeable via prise USB.



Question 8 - D'après vous, cette aide pourrait être :
(entourez le chiffre correspondant à votre opinion : 0 = défavorable ; 7 = favorable)

Utile

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à utiliser (pratique, peu de temps pour s'habituer au fonctionnement) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à comprendre (informations de guidage simples à percevoir, à interpréter) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Sécurisante

0 1 2 3 4 5 6 7

Agréable à porter

0 1 2 3 4 5 6 7

Bonne pour l'image de soi, valorisante ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Commentaire éventuel :

Aide n° 4 : La carte connectée et flexible

Cette carte flexible offre une qualité d'image et est connectée directement au réseau téléphonique 4G, sans avoir besoin de téléphone ou de tablette. Tactile, elle permet de rechercher une rue, de zoomer, ou de tracer un trajet très simplement avec vos doigts. Flexible, elle se range dans la poche ou dans le sac, et actualise votre position en temps réel sur la carte (point bleu clignotant). Elle dispose d'une autonomie de 5 à 6 heures et se recharge grâce à une prise USB.



Question 9 - D'après vous, cette aide pourrait être :
(entourez le chiffre correspondant à votre opinion : 0 = défavorable ; 7 = favorable)

Utile

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à utiliser (pratique, peu de temps pour s'habituer au fonctionnement) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à comprendre (informations de guidage simples à percevoir, à interpréter) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Sécurisante

0 1 2 3 4 5 6 7

Agréable à porter

0 1 2 3 4 5 6 7

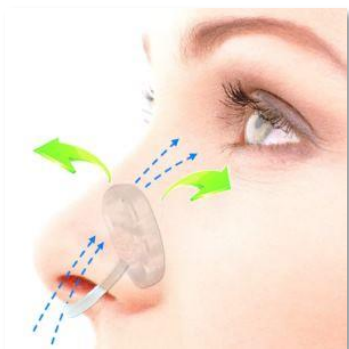
Bonne pour l'image de soi, valorisante ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Commentaire éventuel :

Aide n° 5 : Le clip nasal olfactif

Le clip nasal olfactif est transparent et ne pèse que quelques grammes. Connecté à votre téléphone, il vous permet de vous orienter en suivant l'odeur de votre choix (parmi 12 odeurs disponibles). Pour cela, entrer votre destination et choisissez l'odeur à y associer (par exemple : menthe pour une pharmacie, pain frais pour une boulangerie, citron pour un restaurant etc.), puis insérez le clip olfactif dans votre nez. Grâce à une légère stimulation électrodermale, vous avez la sensation de sentir, et il ne vous reste qu'à suivre l'odeur pour trouver votre destination. L'odeur s'intensifie à mesure que vous approchez du but et, en cas de problème, une odeur piquante vous indique de faire demi-tour. Equipé d'une dynamo miniaturisée, ce dispositif se recharge grâce au flux d'air inspiré.



Question 10 - D'après vous, cette aide pourrait être :
(entourez le chiffre correspondant à votre opinion : 0 = défavorable ; 7 = favorable)

Utile

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à utiliser (pratique, peu de temps pour s'habituer au fonctionnement) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Facile à comprendre (informations de guidage simples à percevoir, à interpréter) ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Sécurisante

0 1 2 3 4 5 6 7

Agréable à porter

0 1 2 3 4 5 6 7

Bonne pour l'image de soi, valorisante ?

0 1 2 3 4 5 6 7

Commentaire éventuel :

Annexe 13 : Tableaux de répartition des effectifs de répondants pour chaque question à cocher de l'étude 4

Question 1 - Vous seriez prêt à vous déplacer davantage à pied si les déplacements piétons étaient : (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

Réponses en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total
Ne souhaite pas me déplacer davantage à pied	12	61	73
Moins difficiles physiquement	8	73	81
Plus connectés à ce qui se passe autour	13	89	102
Plus valorisés socialement	3	120	123
Plus faciles pour trouver son chemin	19	157	176
Plus sécurisés	21	158	179
Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport	14	176	190
Plus agréables	37	328	365

Réponses en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Ne souhaite pas me déplacer davantage à pied	39	34	73
Moins difficiles physiquement	18	63	81
Plus connectés à ce qui se passe autour	33	69	102
Plus valorisés socialement	53	70	123
Plus faciles pour trouver son chemin	51	125	176
Plus sécurisés	60	119	179
Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport	67	123	190
Plus agréables	140	225	365

Question 2 - Parmi toutes les améliorations à apporter aux déplacements piétons évoquées ci-dessus, laquelle est la principale priorité selon vous ? (une seule réponse)

Réponses en fonction du groupe :

	Retraité s	Non retraités	Total
Plus connectés à ce qui se passe autour	2	15	17
Moins difficiles physiquement	0	21	21
Plus valorisés socialement	0	34	34
Plus faciles pour trouver son chemin	9	53	62
Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport en commun	10	58	68
Plus sécurisés	15	78	93
Plus agréables	17	208	225
Je ne souhaite pas me déplacer davantage à pied	12	61	73

Réponse en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Plus connectés à ce qui se passe autour	9	8	17
Moins difficiles physiquement	3	18	21
Plus valorisés socialement	13	21	34
Plus faciles pour trouver son chemin	20	42	62
Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport en commun	31	37	68
Plus sécurisés	28	65	93
Plus agréables	88	137	225
Je ne souhaite pas me déplacer davantage à pied	39	34	73

Question 3 - Vous seriez prêt à utiliser davantage de solution(s) technologique(s) (GPS, application sur téléphone, etc.) pour vous aider dans vos déplacements à pied dans des lieux inconnus : (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

Réponses en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total
Image positive de soi	0	11	11
Présentation personnalisable	11	71	82
moins d'effort physique	5	80	85
Peu cher	11	172	183
Trajet sécurisé	23	162	185
Simple d'utilisation	27	164	191
Points d'intérêt ou les points d'alerte	21	204	225
Profiter plus du paysage	25	215	240
Connexions autres moyens de transports	15	239	254
Ne souhaite pas utiliser davantage de solutions technologiques	13	118	131

Question 4 - Parmi toutes les raisons pour utiliser davantage une solution technologique d'aide à la navigation piétonne évoquées ci-dessus, laquelle est la principale priorité selon vous ? (une seule réponse)

Réponses en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total
Renvoyer une image positive de soi	0	1	1
Moins d'effort physique	0	6	6
Présentation personnalisable	3	11	14
Connexions avec d'autres moyens de transports	6	55	61
Prix	6	57	63
Ajout de points d'intérêt	4	60	64
Trajet sécurisé	15	65	80
Simplicité	12	74	86
Profiter du paysage	6	81	87
Je ne souhaite pas utiliser davantage de solutions technologiques	13	118	131

Réponses en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Renvoyer une image positive de soi	0	1	1
Moins d'effort physique	1	5	6
Présentation personnalisable	5	9	14
Connexions avec d'autres moyens de transports	26	35	61
Prix	24	39	63
Ajout de points d'intérêt	21	43	64
Trajet sécurisé	25	55	80
Simplicité	26	60	86
Profiter du paysage	32	55	87
Je ne souhaite pas utiliser davantage de solutions technologiques	71	60	131

Question 5 - A priori, vous préféreriez être guidé par des informations : (vous pouvez choisir plusieurs réponses)

Réponses en fonction du groupe :

	Retraité	Non retraité	Total
Cartographiques	34	298	332
Visuelles	46	344	390
Auditives	21	99	120
Tactiles	2	57	59
Olfactives	3	61	64

Réponses en fonction du genre :

	Hommes	Femmes	Total
Cartographiques	154	178	332
Visuelles	139	251	390
Auditives	38	82	120
Tactiles	17	42	59
Olfactives	14	50	64

Question 6 : Acceptabilité a priori des lentilles connectées pour un guidage visuel

Réponses en fonction du groupe :

Utilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	19	85	104	NEGATIF
Plutôt Négatif	18	115	133	
Plutôt Positif	19	142	161	POSITIF
Positif	9	186	195	

Facilité d'utilisation	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	19	131	150	NEGATIF
Plutôt Négatif	22	139	161	
Plutôt Positif	19	146	165	POSITIF
Positif	5	112	117	

Facilité de compréhension	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	8	29	37	NEGATIF
Plutôt Négatif	15	73	88	
Plutôt Positif	20	173	193	POSITIF
Positif	22	253	275	

Sécurité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	19	94	113	NEGATIF
Plutôt Négatif	18	143	161	
Plutôt Positif	22	176	198	POSITIF
Positif	6	115	121	

Agréabilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	41	241	282	NEGATIF
Plutôt Négatif	15	160	175	
Plutôt Positif	7	99	106	POSITIF
Positif	2	28	30	

Image de soi	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	28	186	214	NEGATIF
Plutôt Négatif	16	163	179	
Plutôt Positif	21	134	155	POSITIF
Positif	0	45	45	

Réponses positives en fonction du genre

Dimensions de l'acceptabilité	Hommes	Femmes
Utilité	143	216
Facilité d'utilisation	126	159
Facilité de compréhension	186	288
Sécurité	129	195
Agréabilité	52	87
Image de soi	84	121

Question 7 : Acceptabilité a priori des vêtements vibrants pour un guidage tactile

Utilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	18	123	141	NEGATIF
Plutôt Négatif	27	153	180	
Plutôt Positif	14	170	184	POSITIF
Positif	6	82	88	

Facilité d'utilisation	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	13	103	116	NEGATIF
Plutôt Négatif	18	132	150	
Plutôt Positif	22	177	199	POSITIF
Positif	12	116	128	

Facilité de compréhension	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	12	85	97	NEGATIF
Plutôt Négatif	19	157	176	
Plutôt Positif	23	182	205	POSITIF
Positif	11	104	115	

Sécurité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	15	108	123	NEGATIF
Plutôt Négatif	21	142	163	
Plutôt Positif	22	183	205	POSITIF
Positif	7	95	102	

Agréabilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	20	173	193	NEGATIF
Plutôt Négatif	12	177	189	
Plutôt Positif	20	127	147	POSITIF
Positif	13	51	64	

Image de soi	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	21	205	226	NEGATIF
Plutôt Négatif	16	187	203	
Plutôt Positif	26	109	135	POSITIF
Positif	2	27	29	

Réponses positives en fonction du genre

Dimensions de l'acceptabilité	Hommes	Femmes
Utilité	104	174
Facilité d'utilisation	133	199
Facilité de compréhension	139	187
Sécurité	128	185
Agréabilité	101	116
Image de soi	74	93

Question 8 : Acceptabilité a priori du casque à conduction osseuse et de l'application musicale pour un guidage auditif

Utilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	11	96	107	NEGATIF
Plutôt Négatif	27	111	138	
Plutôt Positif	19	211	230	POSITIF
Positif	8	110	118	

Facilité d'utilisation	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	8	89	97	NEGATIF
Plutôt Négatif	22	158	180	
Plutôt Positif	29	176	205	POSITIF
Positif	6	105	111	

Facilité de compréhension	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	6	88	94	NEGATIF
Plutôt Négatif	24	150	174	
Plutôt Positif	26	188	214	POSITIF
Positif	9	102	111	

Sécurité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	19	151	170	NEGATIF
Plutôt Négatif	23	158	181	
Plutôt Positif	16	146	162	POSITIF
Positif	7	73	80	

Agréabilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	20	168	188	NEGATIF
Plutôt Négatif	23	160	183	
Plutôt Positif	18	155	173	POSITIF
Positif	4	45	49	

Image de soi	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	20	178	198	NEGATIF
Plutôt Négatif	22	178	200	
Plutôt Positif	21	139	160	POSITIF
Positif	2	33	35	

Réponses positives en fonction du genre

Dimensions de l'acceptabilité	Hommes	Femmes
Utilité	132	220
Facilité d'utilisation	133	187
Facilité de compréhension	132	197
Sécurité	98	148
Agréabilité	76	150
Image de soi	82	116

Question 9 : Acceptabilité a priori de la carte connectée pour un guidage cartographique

Utilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	3	17	20	NEGATIF
Plutôt Négatif	2	32	34	
Plutôt Positif	24	168	192	POSITIF
Positif	36	311	347	

Facilité d'utilisation	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	2	9	11	NEGATIF
Plutôt Négatif	9	48	57	
Plutôt Positif	21	190	211	POSITIF
Positif	33	281	314	

Facilité de compréhension	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	2	7	9	NEGATIF
Plutôt Négatif	7	44	51	
Plutôt Positif	22	194	216	POSITIF
Positif	34	283	317	

Sécurité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	5	22	27	NEGATIF
Plutôt Négatif	7	102	109	
Plutôt Positif	24	199	223	POSITIF
Positif	29	205	234	

Agréabilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	2	15	17	NEGATIF

Plutôt Négatif	12	87	99	
Plutôt Positif	25	194	219	POSITIF
Positif	26	232	258	

Image de soi	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	11	70	81	NEGATIF
Plutôt Négatif	12	154	166	
Plutôt Positif	31	168	199	POSITIF
Positif	11	136	147	

Réponses positives en fonction du genre

Dimensions de l'acceptabilité	Hommes	Femmes
Utilité	201	346
Facilité d'utilisation	202	330
Facilité de compréhension	209	333
Sécurité	174	291
Agréabilité	181	304
Image de soi	143	210

Question 10 : Acceptabilité a priori d'un clip nasal pour un guidage olfactif

Utilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	48	234	282	NEGATIF
Plutôt Négatif	14	165	179	
Plutôt Positif	2	99	101	POSITIF
Positif	1	30	31	

Facilité d'utilisation	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	44	240	284	NEGATIF
Plutôt Négatif	16	183	199	
Plutôt Positif	5	76	81	POSITIF
Positif	0	29	29	

Facilité de compréhension	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	36	218	254	NEGATIF
Plutôt Négatif	25	180	205	
Plutôt Positif	2	91	93	POSITIF
Positif	2	39	41	

Sécurité	Retraité	Non retraité	Total	
-----------------	----------	--------------	-------	--

Négatif	48	197	245	NEGATIF
Plutôt Négatif	11	159	170	
Plutôt Positif	5	124	129	POSITIF
Positif	1	48	49	

Agréabilité	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	54	351	405	NEGATIF
Plutôt Négatif	10	109	119	
Plutôt Positif	0	47	47	POSITIF
Positif	1	21	22	

Image de soi	Retraité	Non retraité	Total	
Négatif	52	310	362	NEGATIF
Plutôt Négatif	11	147	158	
Plutôt Positif	1	56	57	POSITIF
Positif	1	15	16	

Réponses positives en fonction du genre

Dimensions de l'acceptabilité	Hommes	Femmes
Utilité	52	82
Facilité d'utilisation	32	79
Facilité de compréhension	41	97
Sécurité	65	116
Agréabilité	30	39
Image de soi	31	44

Annexe 14 : Appariement des réponses aux questions 2 et 4 de l'étude 4

Dans l'étude 4, nous avons cherché à savoir qu'il existait une corrélation entre la principale amélioration à apporter pour favoriser les déplacements à pied (question 2) et la raison principale pour utiliser davantage d'aides à la navigation (question 4). Pour cela, nous avons opéré une correspondance entre les réponses aux deux questions comme il suit :

Q2 : leviers plus de marche	Q4 : leviers aides technologiques	Mise en correspondance
Plus connectés à ce qui se passe autour	Ajout de points d'intérêt	Point d'intérêt
Moins difficiles physiquement	Moins d'effort physique	Effort physique
Plus valorisés socialement	Prix + Renvoyer une image positive de soi	Valorisation
Plus faciles pour trouver son chemin	Simplicité + Présentation personnalisable	Simplicité
Plus interconnectés avec d'autres moyens de transport en commun	Connections avec d'autres moyens de transports	Interconnexion
Plus sécurisés	Trajet sécurisé	Sécurité
Plus agréables	Profiter du paysage	Agréabilité
Je ne souhaite pas me déplacer davantage à pied	Je ne souhaite pas utiliser davantage de solutions technologiques	Non

Il convient de relever que nous avons regroupé, sous la même étiquette, les questions du prix et de l'image de soi avec les aides à la navigation, afin de les rapprocher de la valorisation sociale abordée comme levier à la marche (incitation financière ou d'autre nature). Nous avons aussi regroupé la simplicité de l'interface et la possibilité de personnaliser les indications afin de les faire correspondre au levier « Plus facile pour trouver son chemin » abordé dans la question 2. C'est sur la base de cette mise en correspondance qu'a été questionné la corrélation entre questions 2 et 4.

Titre : Efficacité et expérience utilisateur de guidages visuels, auditifs et haptique pour les piétons âgés

Mots clés : aides à la navigation, personnes âgées, modalités sensorielles

Résumé : Alors que la population mondiale vieillit et vit de plus en plus en zone urbaine, maintenir les capacités de mobilité piétonne des personnes âgées en ville est un enjeu majeur pour leur santé et leur autonomie. La marche est, en effet, un des modes principaux de déplacement des personnes âgées en ville. Cependant, les déclinés perceptifs, cognitifs et moteurs liés à l'avancée en âge peuvent affecter considérablement cette activité quotidienne.

La navigation piétonne, qui consiste à aller d'un point A à un point B, peut être particulièrement affectée par l'avancée en âge. Il s'agit d'un processus complexe, sollicitant de nombreuses fonctions perceptives et cognitives, afin de percevoir, analyser et intégrer un grand nombre d'informations pour se déplacer. Si les personnes âgées recourent le plus souvent aux cartes papier pour s'aider dans cette activité de navigation, ces supports sont peu adaptés, car ils mobilisent des informations allocentrées (en vue du dessus) difficiles à interpréter par les personnes âgées, et font fortement appel à l'attention visuelle, qui est nécessaire par ailleurs pour naviguer en toute sécurité.

Des aides à la navigation technologiques (type GPS) pourraient permettre de lever certaines difficultés de mobilité avec l'âge, en fournissant des informations de guidage à travers plusieurs canaux sensoriels, et ce afin de limiter le partage attentionnel. Ces aides devraient également proposer une expérience utilisateur positive, afin de faciliter leur acceptation par une population âgée pas toujours à l'aise avec les technologies.

Cette thèse en psychologie ergonomique s'intéresse à l'efficacité et à l'expérience utilisateur de plusieurs aides à la navigation technologiques mobilisant des instructions pas-à-pas égocentrées (en vue à la première personne) à travers les sens visuel, auditif et haptique pour la navigation piétonne des personnes âgées.

Après avoir questionné les pratiques de mobilité piétonne et les

différences existant entre personnes actives et retraitées (étude 1), nous avons comparé, lors d'une étude en environnement virtuel (étude 2), différentes instructions de guidage pas-à-pas faisant appel aux sens visuel (flèches incrustées sur simulateur), auditif (sons spatialisés par casque à conduction osseuse) et haptique (montre vibrante au poignet droit), ainsi que l'utilisation d'une carte papier. Nous avons pu mettre en valeur que des difficultés de navigation observées chez les participants âgés avec la carte pouvaient être compensées par le recours à un guidage par flèches visuelles ou sons spatialisés.

Nous avons poursuivi ce travail par une étude en environnement naturel urbain (étude 3) au cours de laquelle des participants âgés ont été invités à parcourir des itinéraires avec leur aide habituelle (carte), un guidage visuel par flèches projetées sur des lunettes de réalité augmentée, un guidage auditif par sons spatialisés grâce à un casque à conduction osseuse, et un guidage vibro-visuel proposant flèches et vibrations par le biais d'une montre connectée. Les résultats obtenus par des observables et des entretiens indiquent que les lunettes de réalité augmentée paraissent cette fois-ci, en contexte naturel, et au contraire de l'étude 2 sur simulateur, moins adaptées que le casque à conduction osseuse et que la montre connectée, ces deux derniers dispositifs montrant des résultats très positifs. La perceptibilité des instructions, leur interprétation en contexte de navigation, et le confort des participants sont grandement dépendants du dispositif technique utilisé.

Dans une dernière étude, nous avons investigué les facteurs susceptibles de favoriser l'acceptabilité d'aides à la navigation qui ne sont pas disponibles sur le marché mais pourraient exister demain (ex. lentilles de réalité augmentée, vêtements vibrants, etc.).

Nous proposons, en conclusion, plusieurs recommandations utiles à la conception d'aides à la navigation adaptées aux besoins et aux attentes des piétons âgés.

Title: Effectiveness and user experience with visual, auditory, and haptic navigation aids among older pedestrians

Keywords: navigation aids, older people, sensory modalities

Abstract: As worldwide population is ageing and concentrating in cities, maintaining older people's pedestrian mobility in urban areas has become a key issue for their health and autonomy. Walking is, indeed, one of the most frequent transportation mode used by older people in cities. But age-related perceptual, cognitive and physical declines could negatively impact this daily activity.

Pedestrian navigation, which consists in moving from a point A to a point B, could be particularly affected when advancing in age. It involves complex cognitive and perceptual processes to perceive and understand a multiplicity of information required to reach destination. Older people tend to use paper maps to help them finding their way while navigating. But maps are not suitable for older pedestrians because they provide allocentric information (viewed from the top) which is difficult to understand when advancing in age and requires a lot of visual attention which is also needed to navigate safely.

Technological pedestrian navigation aids (such as GPS systems) may help older people to navigate by providing them guidance messages via various sensory modalities in order to limit attention sharing. Those aids should also be related to a positive user experience to facilitate their acceptance among older people who feel not necessarily comfortable with technologies.

This thesis in ergonomic psychology focuses on how older people perceive and experience various technological pedestrian navigation aids, providing them with visual, auditory and haptic egocentric turn-by-turn guidance messages.

We firstly investigated the reasons why people use pedestrian mobility in

their daily activities and the differences existing between retired and non-retired people (study 1). We then compared some step-by-step guidance messages to a paper map in a virtual environment (study 2).

We used visual messages (arrows inlayed on the screen of the simulator), auditory messages (spatialized sounds provided by a bone-conduction headset) and haptic messages (vibrating watch around the right wrist) and highlighted that the increased difficulties faced by older people to find their way with a map could be compensated using visual arrows or spatialized sound.

We then continued this work in a real urban environment (study 3). People were asked to navigate some routes with their own navigation aid (usually a map), or arrows inlayed in their field of view thanks to augmented-reality glasses, or spatialized sounds provided by a bone-conduction headset, or arrows displayed on a smartwatch that vibrated to announce that a visual message was incoming. Augmented-reality glasses were less suitable for older pedestrians than bone-conduction headset and smartwatch in the natural environment, which was different from the results observed in virtual environment. Results from the interviews showed that the perceptibility of the messages, the way people interpreted them in the environment, and the comfort people felt was highly conditioned by the device used.

We finally investigated which UX dimensions could foster or limit the acceptability of some sensory navigation aids that do not exist yet but could exist in a near future (augmented-reality lens, vibrating clothes etc.).

As a conclusion, we provide the reader with recommendations for designing navigation aids that are adapted to older pedestrians' needs and expectations.

