Mobilisation attentionnelle des piétons aveugles : Effets de l'âge, de l'antériorité de la cécité et de l'aide à la mobilité utilisée

Caroline Pigeon

▶ **To cite this version:**

Caroline Pigeon. Mobilisation attentionnelle des piétons aveugles : Effets de l'âge, de l'antériorité de la cécité et de l'aide à la mobilité utilisée. Neurosciences. Université de Lyon, 2016. Français. NNT : . tel-01452296

HAL Id: tel-01452296
https://hal.science/tel-01452296

Submitted on 7 Feb 2017

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.

Université Lumière Lyon 2

Ecole doctorale neurosciences et cognition (NSCo)

Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports

Mobilisation attentionnelle des piétons aveugles : Effets de l'âge, de l'antériorité de la cécité et de l'aide à la mobilité utilisée

Par Caroline PIGEON

Thèse de doctorat en Neuropsychologie

Dirigée par Claude Marin-Lamellet

Soutenue le Mardi 6 Décembre 2016

Devant un jury composé de :

M. Edouard Gentaz, Professeur, Université de Genève, *Rapporteur*

Mme Hélène Sauzéon, Professeur, Université de Bordeaux 2, *Rapporteur*

Mme Florence Gaunet, CR-HDR, Université Aix-Marseille, *Examinateur*

M. Jordan Navarro, MCF-HDR, Université de Lyon 2, *Examinateur*

Mme Judith Renaud, Professeure, Université de Montréal, *Examinateur*

M. François Vital-Durand, DR-HDR INSERM-EPHE-Retraité, *Examinateur*

M. Claude Marin-Lamellet, DR-HDR, IFSTTAR, Lyon, *Directeur de thèse*

IFSTTAR

INSTITUT FRANÇAIS
DES SCIENCES
ET TECHNOLOGIES
DES TRANSPORTS,
DE L'AMÉNAGEMENT
ET DES RÉSEAUX

Thèse de doctorat

Soutenue le 06 décembre 2016

Mobilisation attentionnelle des piétons aveugles : Effets de l'âge, de l'antériorité de la cécité et de l'aide à la mobilité utilisée

par **Caroline Pigeon**

en vue de l'obtention du titre de docteur en Neuropsychologie
de **l'Université de Lyon** dans le cadre de **l'Ecole Doctorale Neurosciences et Cognition – (ED 476 –NSCo)**

Structure de recherche d'accueil : IFSTTAR – TS2 – Lescot

Résumé

Mobilisation attentionnelle des piétons aveugles : Effets de l'âge, de l'antériorité de la cécité et de l'aide à la mobilité utilisée

L'objectif de ce travail de thèse était d'appréhender certains des mécanismes cognitifs peu étudiés dans la population des personnes aveugles, et leur rôle dans la réalisation sécurisée et efficiente de leurs déplacements, en prenant en compte certains facteurs individuels (dont l'âge, l'antériorité de la cécité et l'aide à la mobilité utilisée). Une première expérimentation comprenait une évaluation neuropsychologique réalisée auprès de 63 participants aveugles et 42 participants voyants. Les résultats ont montré que les participants aveugles obtenaient des performances d'attention et de mémoire de travail supérieures à celles des participants voyants. Parmi les participants aveugles, les personnes de plus de 60 ans avaient des performances inférieures à celles des participants aveugles de moins de 60 ans. Néanmoins, les performances des personnes aveugles de plus de 60 ans étaient tout de même supérieures à celles des participants voyants du même âge. Une deuxième expérimentation visait à explorer la charge cognitive induite par la marche des personnes aveugles. Dans un environnement contrôlé, 25 participants aveugles se déplaçant à l'aide d'une canne blanche ont réalisé des essais de marche en effectuant simultanément une tâche secondaire. L'observation de l'activité de la marche ainsi que l'analyse des paramètres de marche ont révélé que cette activité n'était pas modifiée par la réalisation de la tâche secondaire. Ces résultats suggèrent que les participants ont eu de bonnes capacités à partager leur attention entre les deux tâches. L'analyse de la performance à la tâche secondaire et des réponses à une évaluation de la charge mentale subjective a indiqué que le déplacement des personnes aveugles induisait une charge cognitive, d'autant plus importante lorsque l'environnement est rendu complexe (avec la présence d'obstacles). De plus, alors que les capacités attentionnelles des participants (mesurées dans la première étude) se sont révélées avoir un effet significatif sur leurs performances à cette seconde expérimentation, aucun effet de l'âge n'a été mis en évidence. Dans une troisième expérimentation, la seconde étude a été répliquée auprès de 13 participants aveugles accompagnés d'un chien-guide. Les résultats suggèrent que l'animal facilite le déplacement de la personne qu'il accompagne et diminue la charge cognitive du déplacement. L'ensemble de ces résultats met en évidence le rôle primordial de l'attention dans la réalisation des déplacements piétons chez les personnes aveugles et permet de proposer des pistes pour améliorer leur mobilité, notamment en termes de remédiation, de réadaptation et d'applications technologiques.

Mots-clés : Cécité, capacités attentionnelles, mémoire de travail, mobilité piétonne, vieillissement

Abstract

Attentional mobilization in blind pedestrians: effects of age, age of blindness onset, and the type of mobility aid used

The main objective of this PhD work was (1) to investigate some cognitive processes in the population of blind individuals and (2) to determine the involvement of these processes in their pedestrian mobility. Demographic factors, such as the age, the age of blindness onset, and the type of mobility aid were studied. Three studies were conducted. The first experiment consisted of assessing 63 blind participants and 42 age-matched sighted participants with a battery of neuropsychological tests. The results showed that blind participants had better performances than sighted participants in tests assessing attentional and working memory functions. Among blind participants, blind participants aged 60 years or older had poorer performances than those of younger blind participants. Findings revealed a detrimental effect of age on neuropsychological performances in blind participants. However, performances of blind participants aged 60 years or older were better than those of sighted participants. The second experiment aimed to study the cognitive load involved in the walking activity of blind individuals. In a controlled environment, 25 blind participants, using a white cane, performed walking trials while executing a secondary task. Findings revealed that the walking activity of blind participants was not impaired by the secondary task. This result suggests that the participants had good abilities to share their attention between two tasks. Participants performed significantly worse the secondary task when increasing the complexity of the walking activity. Participants also reported greater cognitive load while walking and simultaneously performing the secondary task. In addition, the attentional capacities of blind people (measured in the first experiment) had a significant effect on their performances at this second experiment. Similar to the second study, a third experiment was conducted with 13 blind participants using a guide dog. The results suggest that the guide dogs facilitated the walking of participants and reduced the cognitive load involved in the walking in comparison with the participants of the second experiment. Taken together, these results highlight the major role of attention in the mobility of blind individuals. This research offers interesting possibilities of improvement in the mobility of blind people, in terms of rehabilitation and technological applications.

Key-words : Blindness, attentional processes, working memory, pedestrian mobility, ageing

Publications et Communications

Publications :

- Pigeon, C. & Marin-Lamellet, C. (sous presse). Ageing effects on the attentional capacities and working memory of people who are blind. Disability and Rehabilitation

- Pigeon, C. & Marin-Lamellet, C. (2015). Evaluation of the attentional capacities and working memory of early and late blind persons. Acta Psychologica, 155, 1-7.

Communications internationales avec actes :

- Pigeon, C. & Marin-Lamellet, C. (2015). Mobility of persons who are blind: How the attentional processes and working memory are involved? International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons, July 2015, (pp. 1234-1248) Lisbon, Portugal.

- Grange-Faivre, C., Pigeon, C., Pagot, C., Cosma, I., Chateauroux, E., & Marin-Lamellet, C. (2015) Design for all: multimodal transport hubs and visually impaired travelers (TIMoDeV Project). International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons, July 2015, (pp. 838-853) Lisbon, Portugal.

Communications internationales sans actes :

- Pigeon, C. & Marin-Lamellet, C. (2015). Assessment of the attentional capacities and working memory of older persons who are blind. International Mobility Conference, July 2015, Montreal, Canada.

- Pigeon, C., Grange-Faivre, C., & Marin-Lamellet, C. (2015). Difficulties and strategies of visually impaired persons in multimodal transport hubs. International Mobility Conference, July 2015, Montreal, Canada.

Communication nationale avec actes :

- Pigeon, C. & Marin-Lamellet, C. (2014). Les personnes aveugles précoces ont des capacités de mémoire de travail supérieures aux personnes voyantes. Conférence Handicap 2014 – Les technologies d'assistance : de la compréhension à l'autonomie, 11-13 juin 2014, (pp. 194-199). Paris.

Communications nationales sans actes :

- Pigeon, C. & Marin-Lamellet, C. (2013). Les capacités attentionnelles des personnes aveugles. Journée Scientifique Recherches Handicap et Transports – A la croisée des différentes disciplines, 4 octobre 2013, CETE Lyon-Bron.

Remerciements

Trois ans exactement après le premier jour de ma thèse, il est temps pour moi d'en achever la rédaction en inscrivant quelques lignes pour remercier toutes les personnes qui m'ont accompagnée (parfois, à distance) durant ces quelques années.

Mes tous premiers remerciements s'adressent à mon directeur de thèse, Claude Marin-Lamellet, sans qui cette belle aventure, initiée lors de mon stage de Master 1, n'aurait jamais commencée. Merci de m'avoir transmis vos connaissances sur les mondes complexes et passionnants de la recherche et du handicap visuel. Je vous suis également reconnaissante de la disponibilité, de l'écoute et de la bienveillance que vous m'avez accordées.

Je remercie Hélène Sauzéon et Edouard Gentaz qui me font l'honneur de juger ce travail de thèse en tant que rapporteurs, merci également à chacun des membres du jury, Judith Renaud, François Vital-Durand (remercié aussi au titre de président de l'Association Valentin Haüy de Lyon, merci pour vos conseils et pour votre aide dans le recrutement des participants). Florence Gaunet et Jordan Navarro, je suis très heureuse que vous ayez fait partie de mon comité de suivi de thèse, et vous remercie d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je remercie chaleureusement l'ensemble des personnes qui ont participé aux études menées durant cette thèse. Merci de m'avoir accordé du temps, merci pour toutes ces discussions, suggestions, encouragements… Vous avez été parfaits ! Merci également aux présidents des associations sans qui je n'aurais pas pu rencontrer toutes ces personnes : l'Association Valentin Haüy de Lyon, l'Association Valentin Haüy de Grenoble, l'Association Valentin Haüy de Marseille, la Fédération des Aveugles de France et Point de Vue sur la Ville.

J'adresse mes remerciements à Tong Li et Gilbert Pradel pour m'avoir permis d'utiliser le dispositif qu'ils ont conçu pour l'analyse des paramètres de marche, ainsi que l'IFRH pour avoir soutenu financièrement cette collaboration. Merci à Annie Pauzie pour ses précieuses recommandations lors de l'adaptation du NASA-TLX. Brigitte Bruas, merci pour tes conseils experts d'instructrice de locomotion. Nos rencontres m'ont toujours été profitables. Je remercie Claire et Robin pour avoir réalisé les passations de Capachien.

Mélanie Levasseur, je vous remercie de m'avoir offert la perspective d'une belle aventure postdoctorale québécoise, motivation supplémentaire pour achever ce long travail.

Je remercie vivement l'ensemble de mes collègues, qui font du Lescot un lieu favorisant l'épanouissement intellectuel, scientifique mais aussi personnel. Un grand merci Hélène, directrice du Lescot, tu protèges tes petits doctorants comme une vraie maman poule. Tes pauses cacao nocturnes m'ont toujours été profitables et tu as toujours su comment m'aider à gérer mes quelques moments de panique !

Je remercie l'équipe technique au complet, et en particulier Fabien et Myriam. Fabien, sans toi, Capadyn n'aurait jamais été Capadyn. Merci pour ton aide technique, pour tes propositions méthodologiques et surtout ton pour amitié. Myriam, merci d'avoir volé à mon secours à chaque doute statistique (et il y en a eu !) avec tant de gentillesse.

Céline, merci de m'avoir donné l'opportunité de collaborer au projet Timodev. Nos escapades, non seulement agréables, m'ont permis de mieux comprendre les difficultés rencontrées et les stratégies mises en place par les personnes aveugles au cours de leurs déplacements. Je garde également un très beau souvenir de notre séjour à Lisbonne !

Mes chers amis doctorants sont chaleureusement remerciés, pour tous les éclats de rire que nous avons eus aux pauses café. Marion, je ne peux que tenter de dresser la liste de tout ce qu'on a partagé : un bureau, beaucoup de rires, quelques larmes, une voiture (promis, je vais te la rendre !), un certain nombre d'apéros, la réalisation de quelques tableaux en annexe et surtout une amitié formidable. Je te remercie aussi d'avoir été mon dico, mon Bescherelle et mon dictionnaire des synonymes personnel tout au long de cette thèse. Je te remercie Franck, pour tout ce qu'on a partagé depuis notre rencontre, merci pour ton calme et ton sourire constants ainsi que pour tes gifs percutants. Nico, je te remercie pour ta présence (même depuis ton départ, tu fais partie des murs, enfin, surtout les citations d'un certain Dr Hay…) ; merci Alex et Guillaume, pour vos encouragements (c'est bientôt votre tour mes petits !), Assitan et Jonathan, je vous remercie pour tous les échanges que nous avons eus.

J'aimerais également remercier Christophe, Alexandra, Véronique, Maud, Aline, Catherine et Laurence : vous m'avez conseillé, coaché, encouragé, soutenu et transmis vos bonnes ondes ! Nathalie, je te remercie pour ta profonde empathie. Merci aussi à Virginie, Anaïs et Véronique Gabriele.

Ma famille est vivement remerciée. Merci à mon papa, de toujours m'avoir poussé à aller plus loin, et à ma maman, pour avoir eu confiance en mes capacités. Je remercie mon frère et ma sœur pour leur gentillesse. Merci à mes grands-parents pour leur soutien constant, leurs ravitaillements en petits plats et pour avoir encouragé tout le quartier à participer à mon étude. Je tiens à remercier mes oncles et tantes, qui m'ont, depuis toute petite, encouragée à apprendre. De plus, merci Clarisse et Michel pour votre accueil lors de mes déplacements parisiens et votre aide dans le recrutement de participants. Merci à mes beaux-parents pour vos encouragements et à Jessica, pour le réconfort que tu m'as apporté pendant ces trois ans de thèse. Merci à ptit Louis, né au tout début de ma thèse, d'avoir enchanté mes week-ends !

Je remercie aussi Camille, Chantal, Estelle, Patricia, Valérie (et tous les copains de la plongée) pour vos encouragements pendant ces trois ans. Merci à Corinne, prof de yoga, d'avoir contribué à l'amélioration de mon sommeil malgré le stress de la thèse. Merci à Michelle et Marion (encore toi !) pour vos recherches (fructueuses…) de coquilles ! Même si elle ne sait pas lire, je remercie ma chère amie à quatre pattes pour ses marques d'affection très réconfortantes notamment pendant ces longs week-ends de rédaction.

J'ai une pensée toute particulière pour Sophie, qui est partie il y a quelques jours… c'est auprès de toi que mon regard sur le handicap s'est retrouvé bouleversé. Je t'embrasse où que tu sois.

Enfin, Thomas, je te dédie ce travail. Ta présence à mes côtés m'a apportée de la force pour accomplir ce travail. Je te suis particulièrement reconnaissante pour ton soutien dans mes choix professionnels, qui pourtant, impliquent à chaque fois de grands changements dans ta vie.

« La seule façon d'obtenir une guérison complète de la cécité – j'entends ici, une guérison sociale – est de ne jamais la traiter comme une différence, une cause de séparation, une infirmité, mais de la considérer comme un obstacle passager, une particularité sans doute, mais provisoire et qu'on va résoudre aujourd'hui ou au plus tard, demain. »

Jacques Lusseyran

Table des matières

Introduction Générale 1

Chapitre 1 : Contexte Théorique 5

I. La cécité 6

1. Généralités 6

1.1. Classifications de la déficience visuelle 6

1.2. Quelques données démographiques 8

1.3. Les causes d'acquisition de la cécité 8

1.4. Cécité précoce, cécité tardive 10

2. Le vieillissement des personnes aveugles 11

2.1. La population des personnes avec atteinte visuelle, une population vieillissante 11

2.2. Etre aveugle et vieillir 12

3. Cécité, qualité de vie et autonomie 16

II. Se déplacer sans voir 18

1. La mobilité des personnes aveugles 18

1.1. Les habitudes de déplacement des personnes aveugles 18

1.2. Le déplacement des personnes aveugles âgées 21

2. Analyse fonctionnelle de l'activité de déplacement du piéton aveugle 22

2.1. Les avantages de la vision pour le déplacement 23

2.2. Pallier l'absence de vision 25

a. L'apprentissage de la locomotion 25

b. Les informations issues des sens résiduels 27

c. Les aides techniques 31

2.3. Locomotion du piéton aveugle 39

2.4. Navigation du piéton aveugle 44

3. Se déplacer sans voir, un coût cognitif important 49
III. L'attention et la mémoire de travail des personnes aveugles 56
1. Les concepts d'attention et de mémoire de travail : rappels théoriques 57
2. Capacités attentionnelles et de mémoire de travail des personnes aveugles 63
2.1. Attention 63
2.2. Mémoire de travail 68
3. Vieillissement, déclin cognitif et déficience visuelle 73
Chapitre 2 : Problématique, Objectifs de la Recherche et Hypothèses 79
I. Problématique 80
II. Objectifs et hypothèses générales 83
Chapitre 3 : Partie Expérimentale 85
I. Etude 1 : Evaluation des capacités attentionnelles et de la mémoire de travail des personnes aveugles 86
1. Introduction 86
2. Méthode 87
2.1. Participants 87
2.2. Matériel et méthode 89
a. Les tests conçus pour l'étude 89
b. Les tests standardisés 91
c. Questionnaire d'habitudes de déplacement 92
3. Résultats 93
3.1. Comparaison des participants aveugles et voyants : effets de la cécité et effets de l'âge 94
a. Test d'attention sélective 94
a. Test d'attention soutenue 95
b. Test d'attention divisée 98
c. Tâche de n-back 99

d. Sous-test Mémoire des chiffres 101
e. Tâche du plus-minus auditive 101
f. Tâche de Hayling 102
a. L'échelle verbale de la WAIS-R 102
b. La tâche de temps de réponse simple 102
3.2. Participants aveugles : effets des facteurs inter-individuels 103
a. Facteurs sociodémographiques 104
b. Facteurs liés à la cécité 109
c. Facteurs liés à la mobilité 110
4. Discussion 117
4.1. Des capacités cognitives améliorées chez les personnes aveugles 117
4.2. Des effets de facteurs inter-individuels sur les capacités cognitives des personnes aveugles 121
4.3. Apports et limites de l'étude 124
II. Etude 2.a : La charge cognitive de la marche des personnes aveugles 126
1. Introduction 126
2. Méthode 127
2.1. Participants 127
2.2. Matériel 129
2.3. Conditions 132
a. Essais de marche 132
b. Tâches secondaires 133
2.4. Procédure 133
2.5. Mesures et Indices de performance 134
a. Performances de marche 134
b. Performance à la tâche secondaire 138
c. Interférence de la double tâche 138
d. Evaluation subjective de la charge mentale 139

3. Résultats 141
3.1. Performance de marche.....141
a. Durée de l'essai et arrêts 141
b. Paramètres de marche.....143
c. Gestion des obstacles 147
d. Gestion de la trajectoire 147
3.2. Performance à la tâche secondaire.....148
3.3. Interférence de la double tâche.....150
a. Interférence de la tâche cognitive sur la marche 150
b. Interférence de la marche sur la tâche cognitive 151
3.4. Evaluation subjective de la charge mentale 152
3.5. Effet de facteurs inter-individuels 154
a. Effet de l'âge.....155
b. Effet du sexe.....156
c. Effet de l'antériorité de la cécité 157
d. Effets de l'aisance de déplacement.....157
e. Effet des capacités attentionnelles.....160
4. Discussion 164
4.1. Effets de la double tâche.....164
4.2. Effets de facteurs inter-individuels 168
4.3. Apports et limites de l'étude 172
III. Etude complémentaire 2.b : les chiens-guides 175
1. Introduction.....175
2. Méthode 176
2.1. Participants.....176
2.2. Matériel et méthode 176
2.3. Mesures et Indices de performance 177

3. Résultats 177
3.1. Analyses inter essais 178
a. Comportements de la dyade maître-chien.....178
b. Performance à la tâche principale 179
c. Performance à la tâche secondaire 180
d. Interférence de la double tâche.....182
e. Evaluation subjective de la charge mentale 183
3.2. Comparaison avec les participants avec canne 185
a. Performance de marche.....186
b. Performance à la tâche secondaire.....187
c. Interférence de la double tâche 189
d. Evaluation subjective de la charge attentionnelle 190
e. Capacités attentionnelles des participants 191
4. Discussion 192
4.1. Performance de marche et effets de la tâche secondaire.....192
4.2. Performance à la tâche secondaire et effet de la marche.....193
4.3. Comportements des dyades maître-chien.....195
4.4. Apport et limites de l'étude.....196
Chapitre 4 : Discussion Générale.....200
I. Contributions de ce travail 201
1. Principaux apports.....201
1.1. Evaluation neuropsychologique des personnes aveugles 201
1.2. Le déplacement des personnes aveugles.....202
1.3. Liens entre capacités attentionnelles et déplacement chez les personnes aveugles 202
2. Intégration des résultats dans un modèle psycho-ergonomique de l'adaptation 204
II. Limites de la thèse et perspective de recherche.....207

III. Implications pour la réadaptation et applications 209
Conclusion 212
Références Bibliographiques 214
Annexes 248

Glossaire

AC : administrateur central

AFNOR : Association française de normalisation

ANOVA : *Analysis of variance*

AP : participants aveugles précoces

AT : participants aveugles tardifs

AV : acuité visuelle

CIM : Classification Internationale des Maladies

PCV : participants contrôles voyants

Ch. V. : champ visuel

CV : coefficient de variation

DALI : *Driving Activity Load Index*

DMLA : dégénérescence maculaire liée à l'âge

EEG : électro-encéphalographie

ET : écart-type

FA : fausses alarmes

FAF : fédération des aveugles de France

GPS : *Global Positioning System*

HD : réponses hors délai

HID : Handicap – Incapacité – Dépendance

ICD : *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems*

IFSTTAR : Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

IRMf : Imagerie à résonnance magnétique fonctionnelle

Lescot : Laboratoire ergonomie et sciences cognitives pour les transports

m : mètre

M : moyenne

MDC : Mémoire des chiffres

MDT : mémoire de travail

min : minutes

ms : milliseconde

NASA-TLX : *National Aeronautics and Space Administration – Task Load Index*

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

QI : quotient intellectuel

RALI : *Riding Activity Load Index*

RC : réponses correctes

RTLX : *Raw Task Load Index*

s : seconde

SOC : Sélection-Optimisation-Compensation

STAPS : Sciences et techniques des activités physiques et sportives

SWAT : *Subjective Workload Assessment Technique*

TR : temps de réponse

TVSS : *Tactile Vision Substitution System*

WAIS-R : *Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised*

Liste des figures

Figure 1. Modèle de l'attention (adapté d'après Van Zomeren & Brouwer, 1994).....57
Figure 2. Modèle de mémoire de travail, d'après Baddeley (1986 ; 2000).....61
Figure 3. Durée de scolarité des participants 107
Figure 4. Notes obtenues au score d'aisance de déplacement subjectif.....112
Figure 5. Capture écran de l'enregistrement vidéo. A gauche, vue depuis la caméra placée en fin d'itinéraire, à droite, vue depuis la caméra placée sur le harnais porté par le participant.....130
Figure 6. Dispositif HemiGait installé sur un participant.....131
Figure 7. Capture écran du protocole de codage. A gauche, fenêtres de codage de l'activité de marche et d'affichage des paramètres de marche, pendant la lecture de la vidéo (à droite).....135
Figure 8. Effectifs des notes obtenues au score d'aisance 158

Liste des tableaux

Tableau 1. Récapitulatif des catégories de déficience visuelle selon la CIM-10 (2015) et la Classification française 7

Tableau 2. Récapitulatif des études sur l'attention des personnes aveugles 66

Tableau 3. Récapitulatif des études sur la mémoire de travail des personnes aveugles 72

Tableau 4. Caractéristiques sociodémographiques, visuelles et de mobilité des groupes ; effectifs ou moyennes (écart-types) 88

Tableau 5. Moyennes (écart-types) pour chaque variable pour chaque groupe (TR : temps de réponse, HD : réponses hors délai, FA : fausses alarmes).....96

Tableau 6. Récapitulatif des effets inter-individuels significatifs 103

Tableau 7. Moyennes (écart-types) des réponses correctes et temps de réponse selon l'âge des participants.....106

Tableau 8. Moyennes (écart-types) des variables de la tâche de Hayling selon la durée de scolarité des participants 108

Tableau 9. Effectifs des réponses aux questions d'habitudes de déplacements.....110

Tableau 10. Sexe et âge des participants appariés.....113

Tableau 11. Moyennes (écart-types) des réponses correctes et temps de réponse selon le groupe (aisance inférieure / aisance supérieur).....115

Tableau 12. Récapitulatif des effets inter-individuels significatifs.....116

Tableau 13. Caractéristiques sociodémographiques, de l'atteinte visuelle et latéralité manuelle des participants.....128

Tableau 14 Description des dimensions de l'échelle subjective 131

Tableau 15. Récapitulatif des variables dépendantes étudiées et conditions comparées 140

Tableau 16. Moyennes (écart-types) pour les variables de marche relatives à la durée de l'essai pour chaque condition.....142

Tableau 17. Moyennes (écart-types) des vitesses, fréquences, et longueurs des pas et coefficients de variation 143

Tableau 18. Moyennes (écart-types) des vitesses, fréquences, longueurs des pas hors et et dans les situations obstacles 146

Tableau 19. Moyennes (écart-types) des vitesses, fréquences et longueurs des pas en situation hors obstacle avant le premier obstacle et après le dernier obstacle.....147

Tableau 20. Moyennes (écart-types) pour les variables relatives à la déviation 148

Tableau 21. Moyennes (écart-types) des temps de réponse et pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire 149
Tableau 22. Moyennes (écart-types) des temps de réponse et pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire hors et dans les situations obstacles.....150
Tableau 23. Moyennes (écart-types) des DTE de la marche.....150
Tableau 24. Moyennes (écart-types) des DTE de la tâche secondaire.....151
Tableau 25. Moyennes (écart-types) des réponses des participants à l'évaluation subjective de la charge mentale 152
Tableau 26. Effectifs des participants selon la réponse aux questions relatives aux habitudes de déplacement 158
Tableau 27. Récapitulatif des effets inter-individuels significatifs.....162
Tableau 28. Occurrences ou moyennes (écart-types) de certains comportements des dyades maître-chien.....178
Tableau 29. Moyennes (écart-types) des variables de marche liées à la durée des essais.....179
Tableau 30. Moyennes (écart-types) des variables de gestion de la trajectoire.....180
Tableau 31. Moyennes (écart-types) des pourcentage de réponses correctes et temps de réponse à la tâche secondaire.....181
Tableau 32. Moyennes (écart-types) des pourcentages de réponses correctes et temps de réponse hors et dans les situations obstacles.....181
Tableau 33. Moyennes (écart-types) des pourcentages de réponses correctes et temps de réponse des participants selon s'ils parlaient à leur chien.....182
Tableau 34. Moyennes (écart-types) des DTE 183
Tableau 35. Moyenne (écart-types) des réponses à l'évaluation subjective de la charge mentale 184
Tableau 36. Moyennes (écart-types) et résultats des tests statistiques relatifs à la durée des essais et des arrêts.....186
Tableau 37. Moyennes (écart-types) des participants des variables relatives à la déviation de la trajectoire.....187
Tableau 38. Moyennes (écart-types) des pourcentages de réponses correctes et temps de réponses à la tâche secondaire 188
Tableau 39. Moyennes (écart-types) des pourcentage de réponses correctes et temps de réponses à la tâche secondaire en situation hors et dans les situations obstacles 189
Tableau 40. Moyennes (écart-types) des DTE 190

Tableau 41. Moyennes (écart-types) à la moyenne brute de l'évaluation de la charge mentale subjective.....191
Tableau 42. Performances aux tests d'attention (de l'étude 1) des participants utilisant une canne et de ceux accompagnés d'un chien 191

Liste des annexes

Annexe 1. Effets de l'âge 248
Annexe 2. Effets du sexe 249
Annexe 3. Effets de l'emploi 250
Annexe 4. Effets de l'âge d'acquisition cécité 251
Annexe 5. Effets de la présence de résidus visuels 252
Annexe 6. Effets de l'aide à la mobilité 253
Annexe 7. Effets de l'aisance de déplacement 254
Annexe 8. Effets de l'âge 255
Annexe 9. Effets du sexe 258
Annexe 10. Effets de l'âge de l'acquisition de la cécité 261
Annexe 11. Effets de l'aisance de déplacement 264
Annexe 12. Effets des capacités d'attention 267

INTRODUCTION GENERALE

Le terme « aveugle », du latin *ab oculis* (« sans œil ») est utilisé à partir du XI^{e} siècle pour définir la personne qui ne voit pas, jusqu'à ce qu'il soit remplacé au cours des années 1970-1980 par l'utilisation de l'euphémisme « non-voyant », qui marque tout autant le manque, et renforce paradoxalement la non appartenance au monde des voyants (Galiano, 2013). Quel que soit le terme employé, aveugle, non-voyant, voir même déficient visuel, il exprime un manque, une perte, un déficit. Lorsqu'ils sont utilisés comme des noms, ils deviennent ainsi la seule caractéristique de l'individu désigné. En revanche, relégués à leur place d'adjectifs, ces termes ne sont plus l'unique caractéristique de la personne qualifiée, permettant ainsi une inclusion sociale.

D'un point de vue historique, la cécité, et plus généralement le handicap, sont dès l'antiquité causes d'exclusion de la société. Les personnes présentant une atteinte sont ignorées ou fascinent car des pouvoirs mystiques leur sont attribués. Le handicap suscite la peur, et à partir du début du Moyen-Age, les personnes sont regroupées dans les nombreuses institutions qui sont créées (d'abords les Hôtels-dieu, puis par exemple l'Hôpital de la Salpêtrières et l'Institution des Invalides sous Louis XIV). Ce n'est qu'à partir du siècle des Lumières que la considération du handicap commence à être modifiée, notamment grâce à Diderot et la publication d'essais démontrant l'égalité des individus (par exemple sa « Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient » ; 1749). Les prémices législatives de l'inclusion dans la société des personnes présentant une atteinte apparaissent au niveau national à la fin du XIX^{e} siècle (avec la loi de 1898 sur la responsabilité de la collectivité, et les lois Ferry) mais les premiers jalons significatifs ne sont posés qu'en 1975 avec la loi d'orientation en faveur des personnes handicapées. Enfin, la loi du 11 février 2005 pour l'égalité des droits et des chances, la participation et la citoyenneté des personnes handicapées, qui reconnaît que le handicap n'est pas la conséquence d'une atteinte sensorielle, physique, mentale, psychique ou cognitive mais de l'inadaptation de la société à l'ensemble des individus est la dernière avancée législative française. Malgré cela, il reste du chemin à parcourir pour assurer à tous une inclusion totale dans notre société.

Pouvoir se déplacer en autonomie est essentiel pour que les individus puissent avoir une participation sociale optimale. C'est en effet une condition indispensable pour s'assurer une insertion professionnelle, exercer sa citoyenneté et avoir l'accès aux activités de loisirs et à la culture. Ceci est particulièrement vrai pour les personnes présentant une atteinte visuelle, pour qui le déplacement autonome est un facteur d'emploi (Bell & Mino, 2015 ; Cmar, 2015 ;

Coffey, Coufopoulos, & Kinghorn, 2014 ; McDonnall, 2011), et qui déclarent renoncer à des activités de loisir lorsqu'elles ne sont pas autonomes pour se déplacer (Seifert & Schelling, 2014). En plus de ne pas avoir accès à la conduite automobile, mode de transport privilégiés dans nos sociétés industrialisées (Banister & Bowling, 2004), les personnes aveugles rencontrent des difficultés dans l'utilisation des transports en commun (Grange-Faivre et al., 2015 ; Marin-Lamellet, Pachiaudi, & Le Breton-Gadegbeku, 2001) et dans la réalisation de leurs déplacements piétonniers. Cela se traduit par une réduction de l'autonomie dans les déplacements : 29 % des adultes présentant une atteinte visuelle (malvoyance ou cécité) en France ne sortent pas seuls de chez eux, et 15 % d'entre eux ne se déplacent seuls que sur certains trajets (Sander, Bournot, Lelièvre, & Tallec, 2005). En outre, les difficultés rencontrées dans les déplacements se font d'autant plus ressentir que la sévérité de l'atteinte visuelle est importante : 90 % des personnes avec une atteinte visuelle sévère ressentent des difficultés pour se déplacer à l'extérieur, c'est le cas pour 70 % des personnes atteintes de malvoyance moyenne et 20 % pour celles avec une malvoyance légère (Sander et al., 2005).

Néanmoins, les retentissements de la cécité sur la mobilité, et de façon plus générale sur la vie quotidienne, des personnes qui en sont atteintes sont très hétérogènes. Par exemple, alors que certaines personnes aveugles ne se déplacent pas sans aide humaine, d'autres sortent de chez elles quotidiennement, et certaines se déplacent dans des lieux complexes et inconnus (Douglas, Pavey, Corcoran, & Clements, 2011 ; Manduchi & Kurniawan, 2011 ; Sander et al., 2005). Cette hétérogénéité peut en partie être liée au fait que la cécité est acquise de multiple façons (et accompagnée parfois de troubles associés ou de problèmes de santé) et à tout âge de la vie (Galiano, 2013). L'âge des individus, qui peut également être une raison prépondérante à cette hétérogénéité, doit particulièrement être pris en considération, compte tenu du fait que 61 % des personnes présentant une atteinte visuelle en France sont âgées de 75 ans et plus (Sander et al., 2005). En effet, chez les personnes voyantes, le vieillissement entraîne des modifications au niveau de la mobilité piétonne (Dommes et al., 2008), qui sont en partie sous-tendues par les effets du déclin cognitif lié à l'âge (Tournier, Dommes, & Cavallo, 2016). Néanmoins, la question des effets du vieillissement sur la cognition et sur la mobilité des personnes aveugles n'est que peu abordée dans la littérature scientifique, alors que les modifications cognitives et de la mobilité des personnes présentant une atteinte visuelle liée à l'âge sont bien référencées (Bertone, Wittich, Watanabe, Overbury, & Faubert, 2005 ; Elyashiv, Shabtai, & Belkin, 2014 ; Rozzini et al., 2014 ; Wahl & Heyl, 2003 ; Gallagher & Jackson, 2012 ; Sengupta et al., 2015 ; Swenor, Munoz, & West, 2013). Puisque les personnes aveugles constituent une petite proportion de la population des personnes présentant une atteinte visuelle (OMS, 2014), leurs particularités et besoins ne sont pas

toujours spécifiquement étudiés ni pris en compte. Enfin, l'hétérogénéité observée dans le déplacement des personnes aveugles peut également être expliquée par d'autres facteurs tels que la manière dont la prise en charge de la cécité a été réalisée, le contexte familial (Hatwell, 2003b), l'acceptation de l'atteinte par les personnes qui en sont touchées, et des facteurs de personnalité (Beggs, 1992).

Dans le but d'améliorer la mobilité des personnes aveugles, de plus en plus d'outils technologiques destinés à aider les personnes avec une atteinte visuelle à se déplacer sont conçus. Ces dispositifs d'aide au déplacement apportent au piéton aveugle des informations utiles, mais requièrent de l'attention et de la concentration, et augmentent ainsi la charge cognitive de l'utilisateur (Giudice & Legge, 2008 ; Loomis, Klatzky, & Giudice, 2012 ; Marin-Lamellet & Aymond, 2008). Il est donc essentiel de définir si la personne aveugle sera en mesure de tirer bénéfice des informations supplémentaires fournies par ces aides technologiques et, plus primordial encore, de s'assurer que ces dispositifs n'aient pas d'effet délétère sur la gestion du déplacement. En effet, pour accomplir un déplacement en l'absence de vision, le piéton aveugle doit déjà traiter un grand nombre d'informations saisies par ses sens résiduels (échos et vibrations crées par le balayage de la canne blanche sur le sol, sons du flux des véhicules, changements de texture et inclinaisons du sol, etc.), mobilisant fortement son attention.

Ainsi, la compréhension du déplacement des personnes aveugles sous l'angle de la mobilisation de leurs processus cognitifs est une première étape pour garantir l'optimisation des aides technologiques qui leur sont proposées et ainsi favoriser leur autonomie, mobilité et participation sociale.

Ce travail de thèse se situe dans le cadre des recherches menées au LESCOT (laboratoire ergonomie et sciences cognitives pour les transports) dont l'un des axes vise à mettre en évidence et expliquer les mécanismes d'adaptation (cognitive ou par l'utilisation d'aides techniques) mis en place par les individus pour pallier une situation de handicap dans leurs déplacements.

Ce document est organisé autour de quatre chapitres. Dans le premier sera présenté le contexte théorique, composé de trois grandes parties. La première, qui abordera la cécité de façon générale, conduira au constat que la population des personnes aveugles est d'une grande hétérogénéité et principalement vieillissante. La seconde partie s'intéressera au déplacement des personnes aveugles, qui, nous le verrons en détails, est particulièrement coûteux d'un point de vue cognitif. Ce contexte théorique s'achèvera sur une troisième partie qui, après des rappels théoriques concernant les processus cognitifs appréhendés dans cette

thèse, présentera les études évaluant ces processus auprès des personnes aveugles, et décrira ensuite les effets du vieillissement cognitif observés sur ces processus. Un second chapitre sera consacré à la problématique, aux objectifs de ce travail et aux hypothèses générales. Dans le chapitre 3, seront décrites les trois expérimentations qui ont été réalisées durant cette thèse. Au cours de la discussion générale, présentée dans le chapitre 4, les apports des principaux résultats des expérimentations seront commentés, et intégrés au sein d'un modèle psycho-ergonomique de l'adaptation, les principales limites de ce travail seront présentées et déboucheront sur la description d'une perspective de recherche. Cette discussion s'achèvera sur les implications en termes de réadaptation et d'applications technologiques.

CHAPITRE 1 : CONTEXTE THEORIQUE

I. La cécité

1. Généralités

La vision pouvant être altérée de multiples façons et avoir des retentissements fonctionnels très variables, il n'existe pas de définition unique de la déficience visuelle (Sander et al., 2005). Néanmoins, une atteinte visuelle peut être catégorisée selon son degré et décrite selon sa cause et l'âge auquel elle est apparue.

1.1. Classifications de la déficience visuelle

La définition légale de la cécité spécifie des seuils de vision objectifs au-dessous desquels les personnes qui en sont atteintes bénéficient d'aides sociales. Par exemple, en France, les personnes dont l'acuité visuelle au meilleur œil après correction est inférieure ou égale à 1/10 peuvent légalement utiliser une canne blanche (*Code de l'action sociale et des familles - Article Annexe 2-4*, 2007). En France, une personne est considérée comme étant atteinte de cécité légale lorsqu'elle a une acuité visuelle inférieure à 1/20 et comme étant atteinte de malvoyance lorsqu'elle a une acuité visuelle comprise entre 4/10 et 1/20 ou un champ visuel compris entre 10 et 20 degrés (mesure d'acuité pour le meilleur œil après correction ; *Décret n°93-1217 du 4 novembre 1993 modifiant le code de la sécurité sociale, troisième partie*, 1993). Ces seuils, basés sur l'acuité visuelle et/ou la taille du champ visuel, sont variables d'un pays à l'autre.

Afin de permettre la comparaison entre différents pays et différentes époques, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) publie et met à jour régulièrement la Classification Internationale des Maladies (CIM[1]). D'après la version 10 de la CIM mise à jour (CIM-10, mises à jour cumulées de 1996 à 2015) :

- une acuité visuelle (mesurée avec la correction portée) comprise entre 3/10 et 1/10 est considérée comme une déficience visuelle modérée (catégorie 1),
- une acuité visuelle comprise entre 1/10 et 1/20 est considérée comme une déficience visuelle grave (catégorie 2),

[1] ou ICD pour *International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems* en anglais

- une acuité visuelle comprise entre 1/20 et 1/50 (ou un champ visuel du meilleur œil inférieur ou égal à 10 degrés) est considérée comme une cécité de catégorie 3,
- une acuité visuelle inférieure à 1/50 avec au minimum une perception lumineuse est considérée comme une cécité de catégorie 4,
- l'absence de perception lumineuse est considérée comme une cécité de catégorie 5.

Le Tableau 1 regroupe les classifications proposées par la CIM-10 (2015) et la législation française. Il illustre le fait que la CIM est bien plus précise que la classification française car plusieurs catégories de malvoyance et de cécité sont décrites. Une autre différence majeure concerne la manière dont est mesurée l'acuité visuelle : l'OMS préconise de mesurer l'acuité visuelle en tenant compte de l'acuité visuelle avec correction portée, ce qui n'est pas le cas dans la classification française, pour laquelle la mesure doit être réalisée avec la meilleure correction possible.

Tableau 1. Récapitulatif des catégories de déficience visuelle selon la CIM-10 (2015) et la Classification française

CIM			Classification française		
Catégorie	AV (correction portée) [1]	Ou Ch. V. du meilleur œil	Catégorie	AV (meilleure correction)	Ou Ch. V.
0/ vision normale	≥ 3/10				
1/ déficience visuelle modérée	< 3/10 et ≥ 1/10		Malvoyance	≤ 4/10 et > 1/20	> 10° et < 20°
2/ déficience visuelle grave	< 1/10 et ≥ 1/20				
3/ Cécité	< 1/20 et ≥ 1/50	≤ 10°	Cécité légale	≤ 1/20	
4/ Cécité	<1/50 et Perception lumineuse				
5/ Cécité	Pas de perception lumineuse		Cécité complète	Pas de perception lumineuse	
9/	Indéterminée				

AV : acuité visuelle, Ch. V. : champ visuel, 1 : binoculaire ou monoculaire

La définition légale française de la cécité est utile pour l'attribution d'aide sociale. En revanche, elle est inadaptée à l'étude en psychologie cognitive. Par exemple, une personne

légalement aveugle en France peut être capable de compter des doigts à un mètre, de percevoir des obstacles ou de gros caractères, tout comme n'avoir aucune perception lumineuse. Hatwell (2003b) propose de faire une distinction entre les personnes aveugles complètes, qui n'ont pas de perception visuelle ou uniquement une perception lumineuse, et celles qui ont des résidus visuels (personnes aveugles partielles) pour mieux appréhender les effets de l'absence de vision sur le fonctionnement cognitif.

Ainsi, une grande hétérogénéité au niveau de la sévérité de l'atteinte visuelle existe, même chez les individus légalement aveugles. Nous allons voir, au cours de ce contexte théorique, que les auteurs des études décrites ne font pas toujours de distinction entre cécité complète et cécité légale, et parfois même entre cécité et malvoyance (catégorie 1 ou 2 de la CIM). En revanche, dans le cadre de ce travail de thèse, les expérimentations menées porteront sur des personnes atteintes d'une cécité telle que définie par Hatwell (2003b), c'est-à-dire n'ayant pas de perception visuelle ou uniquement une perception lumineuse.

1.2. Quelques données démographiques

Puisque la loi interdit de dénombrer les personnes porteuses d'un handicap lors du recensement de la population française, aucune donnée précise concernant le nombre de personnes ayant une atteinte visuelle en France n'est disponible. Néanmoins, Sander et al. (2005) ont analysé les résultats de l'enquête Handicaps-Incapacités-Dépendance (HID) accomplie par l'INSEE (institut national de la statistique et des études économiques ; Goillot & Mormiche, 2003) qui a permis d'obtenir des estimations concernant le nombre de personnes atteintes de déficience visuelle en France. Ainsi, environ 1,7 millions de personnes seraient atteintes d'une déficience visuelle en France métropolitaine, dont 61000 seraient aveugles complets (Sander et al., 2005). Dans cette enquête, l'atteinte visuelle était définie selon les déclarations des personnes, en fonction de réponses à des questions relatives aux difficultés rencontrées dans la vie quotidienne, ce qui rend ces chiffres seulement indicatifs.

1.3. Les causes d'acquisition de la cécité

De nombreux évènements et affections peuvent donner lieu à une cécité. Ainsi se distinguent les cécités d'origine génétique, d'origine accidentelle, liées à une maladie ou au vieillissement, et enfin celles liées à des erreurs de réfractions non corrigées. Les principales causes de la cécité d'origine génétique sont la rétinite pigmentaire, qui apparaît à tout âge mais est la cause d'un tiers des cas de cécité chez l'enfant, la cataracte congénitale et le glaucome congénital. Des accidents multiples causant des contusions, des plaies ou des brûlures, peuvent également être à l'origine de déficience visuelle, voire de cécité. Ces cécités

d'origine accidentelle peuvent être précoces, comme c'est le cas avec le syndrome des bébés secoués, pouvant entraîner des hémorragies intravitréennes, ou tardives, causées par des accidents de la vie quotidienne (de la route, du travail ou domestique). La rétinopathie des prématurés (ou fibroplasie rétrolentale) est causée par un accident qui a lieu pendant la période périnatale. Il s'agit d'une atteinte de la rétine des nouveau-nés prématurés, résultant d'une concentration excessive en oxygène causée par une oxygénothérapie (placement en couveuse) intensive et non contrôlée. Les cécités peuvent également être causées par une maladie, comme une encéphalopathie, une tumeur cérébrale ou le diabète (causant la rétinopathie diabétique), ou liées au vieillissement. Les trois principales affections de l'œil liées à l'âge sont la cataracte, le glaucome et la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA ; West, 2013). Les défauts de réfraction les plus courants sont la myopie, l'hypermétropie, l'astigmatisme et la presbytie. Diagnostiqués à temps, ils peuvent être corrigés par le port de verres correcteurs, de lentilles de contact ou par un acte chirurgical. Non corrigés, ces défauts de réfraction peuvent entraîner des déficiences visuelles importantes et irréversibles, pouvant aller jusqu'à la cécité. Selon l'OMS, 120 millions de personnes dans le monde auraient une atteinte visuelle en raison de défauts de réfraction non corrigés, elles concerneraient 43 % de la déficience visuelle mondiale (Pascolini & Mariotti, 2012). La prise de conscience récente de l'importante prévalence des déficiences visuelles liées à des erreurs de réfractions non corrigées a entraîné la modification de la mesure de l'acuité visuelle indiquée dans la CIM-10 (West, 2013). En effet, comme préconisé par Dandona & Dandona (2006), l'acuité visuelle est actuellement mesurée avec la correction portée plutôt qu'avec la meilleure correction possible comme c'était le cas auparavant.

Certaines pathologies visuelles apparaissent durant la période périnatale ou pendant l'enfance, telles que la fibroplasie rétrolentale ou le glaucome congénital alors que d'autres peuvent survenir plus tardivement, parfois même au cours du vieillissement, comme c'est le cas avec la DMLA. Par ailleurs, beaucoup d'affections de l'œil apparaissent de façon progressive. La vision se dégrade au cours du temps, et après avoir été malvoyantes pendant plusieurs années, certaines personnes deviennent aveugles. Quand l'atteinte visuelle est progressive, les difficultés visuelles ressenties ne sont pas toujours les mêmes selon la cause. Par exemple, dans le cas du glaucome, c'est la vision périphérique (impression de tunnel) et la vision nocturne qui sont affectées en premier, avec une hyper-sensibilité à la lumière et des difficultés d'adaptation aux changements d'éclairage. Au contraire, dans la DMLA, c'est la vision centrale qui est touchée, alors que la vision périphérique n'est jamais dégradée, n'entraînant donc jamais de cécité totale. Dans le cas de la cataracte, elle débute par une vision qui devient floue, des couleurs difficiles à distinguer, et parfois une hyper sensibilité à la

lumière. Dans d'autres cas, après la survenue d'un accident par exemple, des personnes deviennent aveugle de façon brutale, d'un jour à l'autre.

En outre, il est important de garder à l'esprit que deux individus avec une atteinte visuelle liée à la même origine, qui présentent une même acuité visuelle et un même champ visuel, peuvent avoir des comportements et des difficultés différents. Ces variations peuvent, entre autres, être liées au niveau de prise en charge de l'atteinte visuelle et au contexte familial de l'individu, importants à prendre en compte (Hatwell, 2003b).

De plus, dans certains cas de cécité, tels que celui des bébés secoués, ou lorsque la cécité est causée par une encéphalopathie ou une tumeur cérébrale, des troubles associés peuvent être présents. Quatre cinquièmes des personnes avec une atteinte visuelle (malvoyants ou aveugles) présenteraient des troubles associés ; avec, par ordre d'importance en termes de fréquence : les déficiences viscérales ou métaboliques, les déficiences motrices, les déficiences intellectuelles ou du psychisme, les déficiences auditives et les déficiences du langage ou de la parole (Sander et al., 2005). La présence d'un trouble associé à l'attente visuelle augmente fortement les difficultés ressenties par les personnes. Dans le cadre de ce travail, les personnes aveugles présentant un trouble associé identifié ne seront pas étudiées.

Cette première partie illustre la grande hétérogénéité de la population des personnes aveugles, que ce soit en termes de présence de résidus visuels possible ou au niveau de la variété des causes possibles. Les effets de la cécité sur la vie quotidienne des individus sont également très variables selon l'âge auquel elle est apparue.

1.4. Cécité précoce, cécité tardive

Une distinction peut être faite entre les personnes aveugles congénitales (nées aveugles), les personnes aveugles précoces et les personnes aveugles tardives. L'âge seuil pour passer de la catégorie de la cécité précoce à la cécité tardive est très hétérogène dans la littérature. Cattaneo & Vecchi (2011) rapportent que dans certaines publications scientifiques, des participants sont considérés comme aveugles précoces s'ils ont perdu la vue entre la naissance et quelques mois ou un, deux, trois, cinq, sept voir quinze ans. Ainsi, une cécité acquise à l'âge de deux ans est considérée comme précoce dans certaines études et comme tardive dans d'autres. Cette hétérogénéité peut s'expliquer par le fait que selon les mécanismes étudiés, les personnes qui ont perdu la vue vers l'âge de cinq ans, par exemple, ont un comportement similaire à celui des personnes aveugles de naissance dans certains cas, ou similaire à celui des personnes ayant perdu la vue à l'âge adulte dans d'autres cas. Cette hétérogénéité rend néanmoins difficile la comparaison d'une étude à l'autre. Selon

Hatwell (2003b), l'âge seuil acceptable pour distinguer les personnes aveugles précoces des personnes aveugles tardives se situerait autour de trois ans, puisque les souvenirs visuels acquis avant cet âge ne resteraient pas suffisamment en mémoire pour être utilisables.

Par ailleurs, les problèmes rencontrés par les personnes aveugles peuvent être différents selon l'âge d'acquisition de la cécité. Par exemple, l'adaptation psychologique à la cécité semble plus difficile pour les personnes qui deviennent aveugles à l'âge adulte que pour les personnes aveugles précoces (Tuttle & Tuttle, 2004). La perte de vue a également des effets différents sur le fonctionnement cognitif selon l'âge auquel elle a eu lieu (Hatwell, 2003b). Ainsi, tout au long de ce contexte théorique, les différences observées selon l'âge d'acquisition de la cécité seront soulignées lorsque cela sera possible, bien que cet âge ne soit pas systématiquement renseigné dans les études. En outre, d'autres facteurs, rarement pris en compte ou peu mentionnés, pourraient expliquer des résultats présentés dans certaines études, tels que la durée de la cécité (Cattaneo & Vecchi, 2011) ou la soudaineté d'apparition de la cécité.

Ainsi, une multitude de paramètres sont à prendre en compte dans l'étude des effets de la cécité, tels que l'âge d'apparition de l'atteinte, sa sévérité ainsi que la rapidité avec laquelle elle s'est installée. Un autre facteur important à considérer, qui sera évoqué lors de la partie suivante, est l'âge de l'individu.

2. Le vieillissement des personnes aveugles

2.1. La population des personnes avec atteinte visuelle, une population vieillissante

La conjonction de plusieurs phénomènes tels que l'augmentation de l'espérance de vie, la diminution de la fécondité et le nombre de naissances important après la fin de la Seconde Guerre Mondiale (baby-boom) donne lieu à un vieillissement de la population générale, notamment dans les pays industrialisés. En 2015, les personnes de 60 ans et plus représentaient 12 % de la population mondiale et 24 % de la population européenne (United Nations, 2015). En 2050, d'après les estimations, 34 % des européens seront âgés de 60 ans et plus (United Nations, 2015).

Compte tenu que les déficiences visuelles soient majoritairement liées à l'âge, la population des personnes avec une atteinte visuelle est davantage vieillissante que la population générale (Pascolini & Mariotti, 2012). Selon une analyse de l'OMS portant sur les données obtenues entre 2000 à 2010 et sur des estimations pour les pays sans données sur

la déficience visuelle, 65 % des personnes avec une atteinte visuelle et 82 % des personnes aveugles auraient 50 ans et plus (Pascolini & Mariotti, 2012). En France également, la majorité des personnes avec une atteinte visuelle sont âgées : 61 % ont 60 ans et plus et 39 % ont plus de 75 ans (Sander et al., 2005).

Ces estimations restent limitées en termes de précision, en raison de seuils de catégorisation des atteintes visuelles différents selon les pays et de l'absence de données dans certains pays, nécessitant l'utilisation de méthodes d'extrapolation (Resnikoff & Keys, 2012). Elles illustrent néanmoins l'importance de la prise en compte du vieillissement dans l'étude de la déficience visuelle. En revanche, ces données statistiques n'informent pas sur la prévalence des personnes avec une déficience visuelle acquise avant le processus de vieillissement et de celles qui ont subis une atteinte visuelle avant de connaître les effets du vieillissement, même si la majorité semble concerner la première catégorie.

Globalement, peu de données sur le vieillissement des personnes qui présentent un handicap sont disponibles (Freedman, 2014). L'espérance de vie de l'ensemble des personnes en situation de handicap augmente et tend à approcher celle de la population générale (Azéma & Martinez, 2005), et, dans les sociétés industrialisées, celle des personnes avec une déficience visuelle ne semble pas différer de celle de la population générale (Galiano, 2013).

2.2. Etre aveugle et vieillir

Dans le cadre de ce travail de thèse, la définition du vieillissement avec un handicap d'Azéma & Martinez (2005) sera utilisée : « Une personne handicapée vieillissante est une personne qui a entamé ou connu sa situation de handicap (quelle qu'en soit la nature ou la cause) avant que de connaître les effets d'un vieillissement. La situation de handicap a donc précédé le vieillissement ». Ainsi, cette définition induit une distinction entre les personnes handicapées vieillissantes et les personnes avec un handicap lié à l'âge. Avant de s'intéresser aux effets du vieillissement sur les personnes aveugles, il est nécessaire de définir ce qu'est le vieillissement. Selon l'OMS, il s'agit d'un processus complexe, naturel, qui s'accompagne de nombreux changements pouvant entraîner des déclins fonctionnels variables d'un individu à l'autre (World Health Organization, 2015).

Des modifications biologiques, liées à une accumulation de lésions moléculaires et cellulaires, peuvent entraîner une limitation des ressources physiologiques, un risque plus grand de maladie et une diminution générale des capacités de la personne. Ces modifications biologiques sont à l'origine de déclins cognitifs (qui seront approfondis dans la partie III, page 73), physiques et sensoriels. Ces changements, ni linéaires, ni constants, sont fortement

influencés par des facteurs génétiques et par l'environnement, le mode de vie et le comportement de l'individu (World Health Organization, 2015). D'autres changements, liés aux rôles sociaux, surviennent avec l'âge. Par exemple, l'arrêt de l'activité professionnelle ou le décès de proches, qui peuvent avoir des conséquences sur le rythme de vie, les relations sociales et l'image de soi des individus (Alaphilippe & Bailly, 2013). L'ensemble des changements accompagnant le vieillissement peuvent avoir des effets sur le bien-être psychologique des personnes âgées, se traduisant par de l'anxiété et la présence de dépression. Ces aspects biologiques, psychologiques et sociaux du vieillissement entretiennent des liens étroits et peuvent avoir des effets les uns sur les autres. Ces conséquences du vieillissement sont très hétérogènes d'un individu à l'autre, et les déclins ne sont pas linéaires.

Malgré la présence de déclins et changements avec l'avancée en âge, une vision du vieillissement qui se veut positive émerge depuis quelques dizaines d'années. Différentes théories ont été élaborées au cours des dernières décennies et une mutation de la vision positive du vieillissement a eu lieu. Cette conception, initialement définie par la notion de vieillissement réussi (Havighurst, 1961 ; Rowe & Kahn, 1987 ; 1997), caractérisée par l'absence de déclin et d'incapacité, élitiste et idéalisée (Alaphilippe & Bailly, 2013 ; Gangbè & Ducharme, 2006), a ensuite été renouvelée à plusieurs reprises – vieillissement actif, vieillissement positif, bien vieillir - pour récemment correspondre à la définition holistique et multifactorielle du vieillissement en bonne santé de l'OMS (World Health Organization, 2015). Cette notion se focalise sur la question de la prise en compte du niveau de bien-être et du niveau de fonctionnement de l'individu, plutôt que de la présence d'atteintes. Ainsi, ce n'est pas la simple présence d'altérations physiques, cognitives et/ou sensorielles qui entraîne une dégradation du bien vieillir, mais plutôt le fait que ces altérations puissent aboutir à des atteintes fonctionnelles. Les atteintes intrinsèques peuvent être palliées par des adaptations, mises en place par les individus eux-mêmes, mais également grâce à des compensations environnementales (modèle SOC pour Sélection-Optimisation-Compensation ; Freund & Baltes, 1998 ; World Health Organization, 2015). En conséquence, la présence d'une atteinte visuelle peut entraver un vieillissement en bonne santé mais il reste possible de bien vieillir avec une telle atteinte, puisqu'une adaptation aux changements qui apparaissent avec l'âge et la perception de bien-être malgré ces changements est concevable.

Bien que la littérature présente des lacunes à ce sujet (Freedman, 2014), la manière dont les personnes qui présentent une incapacité font face au vieillissement semble différente de celle des personnes qui acquièrent une incapacité au cours du vieillissement. Peu d'études ont été menées sur le vieillissement des personnes avec une atteinte visuelle, contrairement

au vieillissement des personnes avec un handicap mental qui a été plus appréhendé (Azéma & Martinez, 2005). Pourtant, les conséquences de l'atteinte visuelle et du vieillissement ne sont pas les mêmes pour une personne qui a appris à faire face au handicap visuel avant de faire face au vieillissement et pour une personne qui doit apprendre à faire face en même temps au handicap visuel et au vieillissement. En effet, la mise en place de stratégies compensatoires à l'atteinte visuelle devient plus difficile avec l'avancée en âge (Covelet, 2007).

Jones, Crews, & Danielson (2010) ont analysé les données d'une enquête réalisée aux Etats-Unis portant sur plus de 40000 adultes de plus de 65 ans (auto-déclarés aveugles, ayant une perte de vision sans être aveugles ou ne reportant aucune atteinte de la vision) ne vivant pas en institution. D'après les résultats, les personnes ayant déclaré être aveugles sont plus nombreuses à exprimer avoir une faible santé (54 % contre 42 % des personnes malvoyantes et 22 % des personnes sans trouble visuel), à rapporter souffrir d'une détresse psychologique (un quart d'entre elles avaient des symptômes de dépression sévère ou modérée, contre un cinquième pour les personnes malvoyantes et moins de 10 % pour celles sans atteinte visuelle). Cette enquête est particulièrement intéressante car les personnes avec une atteinte visuelle interrogées sont divisées en deux sous-populations : les personnes aveugles et les personnes malvoyantes, fait plutôt rare dans l'étude des effets du vieillissement chez les personnes avec une atteinte visuelle. En revanche, aucune information concernant l'âge d'acquisition de la déficience visuelle n'a été recueillie, limitant la généralisation de ces résultats aux personnes aveugles vieillissantes. En France, les personnes qui présentent une atteinte visuelle (aveugles et malvoyantes) ont également un plus grand risque d'avoir une autre atteinte à mesure qu'elles vieillissent. Le nombre moyen de troubles associés présentés par les personnes qui ont une atteinte visuelle est de 1,0 entre 20 et 60 ans, de 2,1 chez les personnes âgées de 60 à 74 ans et de 2,8 chez les plus de 80 ans (Sander et al., 2005).

D'après l'enquête réalisée par Jones et collaborateurs (2010), les limitations fonctionnelles sont également plus importantes chez les personnes âgées qui sont aveugles, que chez celles qui sont malvoyantes, et sont également plus importantes que chez celles sans atteinte visuelle. En effet, les personnes aveugles déclarent avoir le plus de problèmes pour la réalisation d'activités de la vie quotidienne (29 % contre 12 % pour les personnes malvoyantes et 4 % pour les personnes sans atteinte visuelle) et de socialisation avec la famille ou les amis (46 % contre 30 % pour les personnes malvoyantes et 13 % pour les personnes sans atteinte visuelle). Par ailleurs, la même proportion de personnes aveugles et de personnes malvoyantes rapporte avoir des problèmes liés à la mobilité (78,9 % et 79,2 % contre 55,2 % des personnes sans trouble de la vue). Ainsi, être âgé et aveugle entraîne plus

de risque d'avoir des problèmes de santé (physique et mentale) et des limitations fonctionnelles, que d'être malvoyant ou que de ne pas avoir de trouble visuel.

Un rapport présentant les résultats d'entretiens qualitatifs réalisés auprès de personnes âgées ayant une atteinte visuelle évoque la question du cumul des difficultés liées à l'avancée en âge et celles liées à l'atteinte visuelle, dit de la « double charge » (Seifert & Schelling, 2014). Les entretiens ont été réalisés auprès de douze personnes présentant une atteinte visuelle acquise après l'âge de la retraite (en Suisse, à l'âge de 64-65 ans) et de dix personnes présentant une atteinte visuelle acquise avant (dans l'enfance ou au cours de la vie), dont trois étaient aveugles. D'après l'analyse des déclarations des participants, cette double charge est ressentie par ces deux catégories bien que des différences soient exprimées. Par exemple, par rapport aux personnes qui ont été touchées par une atteinte visuelle au cours du vieillissement, celles qui ont été touchées avant la retraite disposent de plus moyens pour faire face au handicap. Elles bénéficient par exemple d'un réseau de ressources lié au handicap plus important (associations, groupes d'entraide, etc.), ont mieux accepté leur handicap et ont plus de facilités à utiliser des outils de compensation (par exemple la canne blanche). En revanche, les difficultés déjà présentes en raison de l'atteinte visuelle sont augmentées par le vieillissement. Par exemple, les activités de la vie quotidienne sont réalisées avec plus de difficultés, les déplacements sont raccourcis, les lieux inconnus et ceux présentant une grande affluence sont de plus en plus évités. Le poids de cette double charge perçue est très variable d'un individu à l'autre. La taille des groupes, ainsi que la non prise en compte de la gravité de l'atteinte visuelle (cécité ou malvoyance) limitent néanmoins la portée des résultats de cette enquête qualitative. Bachar & Shanan (1997) ont quant à eux appréhendé la capacité des personnes aveugles à s'adapter au vieillissement. Soixante-quinze participants aveugles depuis plus de 10 ans (la majorité aveugle depuis l'enfance) ont été appariés (âge, genre, niveau d'éducation et pays d'origine) à 75 participants voyants. Vingt-huit des paires appariées étaient âgées de 46 à 55 ans et 40 avaient entre 56 à 65 ans. Les participants ont complété des questionnaires mesurant la propension à s'adapter activement[2], l'engagement social dans quatre domaines (relations sociales au travail, avec les amis, avec la famille et activités de loisirs), ainsi que les trois sous-tests verbaux Information, Compréhension, et Empan de Chiffres de la Wechsler-Bellevue Intelligence Scale (Wechsler, 1939). L'engagement social des participants aveugles était significativement inférieur à celui des participants voyants,

[2] *Readiness for active coping* en anglais

uniquement pour les plus âgés dans trois des quatre domaines : relations sociales au travail, avec la famille et activités de loisirs. Pour ces trois mêmes domaines, les différences entre les participants aveugles et voyants (tout âge confondu) étaient significatives uniquement pour les participants avec un bas niveau d'éducation (moins de 10 ans de scolarité), sauf pour le domaine relations sociales avec la famille qui restait significativement différent entre les participants aveugles et voyants quel que soit le niveau d'éducation. Les participants aveugles qui ont déclaré bénéficier d'un haut niveau d'assistance sont ceux qui ont obtenu les meilleurs scores de propension à s'adapter activement, d'intelligence (mesurés avec les trois sous-tests de la Wechsler-Bellevue Intelligence Scale), et d'engagement social par rapport à ceux qui ont déclaré bénéficier d'un niveau d'assistance modéré ou bas. Ainsi, le désengagement social est plus précoce chez les personnes aveugles que chez les personnes voyantes vieillissantes. Néanmoins, l'éducation et le fait de bénéficier de soutien sont des ressources permettant de retarder ce désengagement chez les personnes aveugles.

Ainsi, la présence d'une atteinte visuelle tend à augmenter les difficultés rencontrées au cours du vieillissement, particulièrement dans le cas d'une cécité. Les personnes aveugles vieillissantes ont plus de risque d'être touchées par une maladie, de subir des limitations fonctionnelles plus importantes, et de présenter un désengagement social plus précoce que les personnes sans trouble visuel du même âge. En revanche, certains facteurs, tels que le niveau d'éducation ou le soutien social, ont été identifiés comme étant protecteurs pour certains de ces risques (Bachar & Shanan, 1997). Cependant, dans les études qui traitent de cette question, les distinctions entre les personnes aveugles et les personnes malvoyantes, d'une part, et entre les personnes qui vieillissent avec une atteinte visuelle et celles qui subissent l'apparition d'une atteinte visuelle au cours du vieillissement, d'autre part, ne sont pas toujours faites. L'absence de ces catégorisations limite la précision de la compréhension du vieillissement avec une cécité.

3. Cécité, qualité de vie et autonomie

Une atteinte visuelle entraîne une gêne fonctionnelle significative dans la vie quotidienne, et peut être à l'origine d'une diminution de la qualité de vie. La qualité de vie est un concept difficile à définir, proche des notions de bien-être, de bonheur et de satisfaction. L'OMS, en 1993, définit la qualité de vie comme étant : « la perception qu'a un individu de sa place dans la vie, dans le contexte de la culture et du système de valeurs dans lequel il vit, en relation avec ses objectifs, ses attentes, ses normes et ses inquiétudes. C'est un concept très large qui peut être influencé de manière complexe par la santé physique du sujet, son état psychologique et son niveau d'indépendance, ses relations sociales et sa relation aux

éléments essentiels de son environnement » (World Health Organization, 1993). Ainsi, la qualité de vie est une notion multidimensionnelle et subjective car elle concerne la satisfaction qu'un individu ressent en fonction de ses propres besoins.

La présence d'une atteinte visuelle diminue la qualité de vie particulièrement lorsqu'elle est sévère (Brown, Brown, Sharma, & Busbee, 2003 ; Stelmack, 2001 ; Varma, Wu, Chong, Azen, & Hays, 2006 ; Wang, Mitchell, & Smith, 2000). La durée de l'atteinte visuelle ne semble pas avoir d'effet sur la qualité de vie des personnes (Brown et al., 2003), ni sur leur niveau de bien-être (Bergeron & Wanet-Defalque, 2013). En revanche, le niveau d'acceptation de l'atteinte visuelle, corrélé au niveau de bien-être, est significativement moins important dans les deux premières années après l'apparition de l'atteinte visuelle que deux ans après (Bergeron & Wanet-Defalque, 2013). Le bien-être psychologique (qui correspond à l'absence de maladie mentale, un haut niveau d'émotions positives et une satisfaction par rapport à sa vie) des personnes présentant une atteinte visuelle est également moins élevé que pour les personnes sans atteinte de la vision (Nyman, Gosney, & Victor, 2009 pour une revue ; Pinquart & Pfeiffer, 2011 pour une méta-analyse), alors qu'il est un facteur important de leur qualité de vie (Papadopoulos, Papakonstantinou, Montgomery, & Solomou, 2014). De plus, le support social et la participation des personnes présentant une atteinte visuelle influent fortement sur leur qualité de vie (Renaud et al., 2010) alors qu'ils sont plus restreints que dans la population générale (Alma et al., 2011).

L'autonomie, qui renvoie à la possibilité de décider librement de l'accomplissement d'une activité personnelle ou sociale et de la réaliser, est également un facteur de qualité de vie (World Health Organization, 1993). Autonomie et dépendance ne sont pas deux termes contradictoires. Une personne peut choisir elle-même de réaliser une activité et y parvenir, tout en étant dépendante d'une aide (technique, humaine, ou animale) pour la réalisation de cette activité (Hamonet, 2016). En revanche, le fait de dépendre d'une aide humaine peut réduire l'autonomie puisque certaines personnes avec une atteinte visuelle déclarent renoncer à réaliser des activités, notamment de loisirs, car elles ne souhaitent pas ou n'osent pas demander d'être accompagnées pour se rendre à ces activités qu'elles jugent superficielles (Seifert & Schelling, 2014). Ainsi, être non dépendant d'une aide humaine pour se déplacer semble être un facteur de participation important. Il s'agit d'une des conditions permettant aux personnes aveugles d'être autonomes dans les autres sphères de leur vie. Par exemple, le fait d'être autonome sans dépendre d'une aide humaine pour se déplacer est un facteur d'emploi chez les personnes avec une atteinte visuelle (Bell & Mino, 2015 ; Cmar, 2015 ; Coffey, Coufopoulos, & Kinghorn, 2014 ; McDonnall, 2011). La sévérité de l'atteinte visuelle (cécité ou malvoyance) n'aurait pas d'effet significatif sur le fait d'être employé à temps plein

contrairement au fait d'utiliser une canne pour se déplacer (Bell & Mino, 2015). Se déplacer en autonomie est en outre fortement relié à l'estime de soi des personnes aveugles (Beggs, 1992 ; Tuttle & Tuttle, 2004).

En conclusion, la présence d'une atteinte visuelle réduit la qualité de vie des personnes en raison d'une santé, d'un bien-être psychologique, d'un niveau de participation et d'une autonomie qui peuvent être restreints, et sont eux-mêmes entremêlés et interdépendants. Néanmoins, certaines des études présentées ici ne distinguent pas la cécité de la malvoyance, et/ou s'intéressent uniquement aux personnes âgées, qui pour la plupart ont une atteinte visuelle liée à l'âge. Le déplacement, qui est un facteur important d'autonomie et donc de qualité de vie pour les personnes aveugles, est également une des situations les plus handicapantes. En effet, se déplacer sans voir est une activité complexe qui nécessite la mise en place de mécanismes d'adaptation importants. Le déplacement du piéton aveugle, cœur de ce travail de thèse, va faire l'objet de la prochaine partie.

II. Se déplacer sans voir

1. La mobilité des personnes aveugles

1.1. Les habitudes de déplacement des personnes aveugles

Les difficultés exprimées par les personnes aveugles pour se déplacer ont été décrites dans plusieurs enquêtes. Par exemple, les données de l'enquête HID (Sander et al., 2005) ont montré qu'en France, plus de 90 % des personnes avec une atteinte visuelle sévère (« aveugles et malvoyantes profondes ») ont des difficultés pour se déplacer à l'extérieur. Dans une enquête téléphonique réalisée en Irlande auprès de 564 personnes avec une atteinte visuelle, 90 % des personnes sondées ont déclaré ressentir des difficultés pour se déplacer dans des environnements fortement fréquentés et non familiers (Mac Cobb, 2013). Comparées à l'ensemble de la population, les personnes avec une atteinte visuelle (toutes atteintes confondues) sont plus nombreuses à rencontrer des difficultés lors de leurs déplacements à l'extérieur (13 % contre 50 % en France ; Sander et al., 2005).

En France, 29 % des adultes de plus de 20 ans présentant une atteinte visuelle (cécité ou malvoyance) ne peuvent se déplacer seuls hors de chez eux et 15 % d'entre eux peuvent se déplacer seuls mais uniquement sur certains trajets (Sander et al., 2005). Au Royaume Uni, des entretiens téléphoniques réalisés auprès de 960 personnes aveugles et malvoyantes de

plus de 18 ans ont montré que 55 % d'entre elles sortaient de chez elles chaque jour et 80 % plusieurs fois par semaine (Douglas, Pavey, Corcoran, & Clements, 2011), sans que cette fréquence ne soit liée au statut visuel (aveugle ou malvoyant, rapporté par les personnes interrogées). Une enquête menée aux Etats-Unis auprès de 307 personnes avec une cécité légale âgées entre 18 et 83 ans (âge moyen de 47 ans) a montré que plus de 60 % des répondants réalisaient des déplacements hors du domicile une fois par semaine ou plus, environ 15 % une fois par mois ou plus et environ 15 % cinq fois par semaine ou plus (Manduchi & Kurniawan, 2011). Des déplacements hors des trajets familiers étaient réalisés par 45 % des répondants une fois par semaine ou plus, environ 30 % une fois par mois ou plus, 15 % cinq fois par semaine ou plus alors qu'un peu plus de 5 % n'en réalisaient jamais. La même distribution était observée pour les personnes aveugles complètes ou avec une perception lumineuse et celles qui avaient des résidus visuels (mais aveugles légaux), suggérant une absence d'effet de la gravité de l'atteinte visuelle. En Irlande, 51 % des personnes sondées par Mac Cobb (2013) ont déclaré sortir de chez elles presque tous les jours. Beggs (1992) s'est intéressé à la personnalité de vingt personnes aveugles qu'il décrit comme étant des « piétons élites » (se déplaçant tous les jours seuls avec une canne) et vingt autres décrits comme ayant de mauvaises compétences de mobilité[3] (ne se déplaçant pas ou peu en autonomie mais ayant reçu une formation en locomotion) dont la cécité était de sévérité variable et apparue à différents âges. Les principales différences observées au niveau de la personnalité (évaluée à l'aide de questionnaires) furent que les « piétons élites » étaient moins sujets à l'anxiété et à la perte de confiance en eux que les piétons ayant de mauvaises compétences en mobilité.

Les fréquences de déplacement présentées précédemment diffèrent d'une étude à l'autre. Cette variabilité peut être expliquée par plusieurs raisons, telles que la façon dont les atteintes visuelles sont catégorisées (il n'y pas toujours de distinction entre malvoyance et cécité, le degré de l'atteinte visuelle est définie différemment selon les études et il est souvent auto-déclaré), le fait que les études aient été réalisées dans des pays différents (avec une prise en charge des personnes avec atteinte visuelle qui peut varier), ou des biais liés aux méthodes de recrutement des personnes sondées. Malgré ces disparités, les fréquences de déplacement des personnes aveugles sont réduites, indiquant une limitation de la participation liée à l'atteinte visuelle. En effet, parmi les personnes interrogées par Douglas et al. (2011),

[3] *Elite travellers and poor travellers* en anglais

43 % souhaiteraient sortir de chez elles plus souvent. Trente-deux pour cent de ces personnes rapportent que les barrières qu'elles rencontrent sont liées à leur atteinte visuelle et elles sont pour 22 % liées aux transports (disponibilité, accessibilité ou coût). Au Canada, les déplacements et l'utilisation des transports sont un des principaux besoins non satisfaits par les personnes présentant une atteinte visuelle (Gold & Simson, 2005).

De plus, lorsqu'elles se déplacent, les personnes aveugles ont un risque important d'être victime d'un accident. Manduchi & Kurniawan (2011) ont étudié la fréquence et les conséquences de deux types d'accidents subis par les personnes aveugles au cours de leur déplacement : les chocs au niveau de la tête et les chutes. Environ 60 % des répondants ont déclaré avoir un choc au niveau de la tête et presque 40 % tomber plus d'une fois par an. Les chocs au niveau de la tête sont principalement liés à des collisions avec des branches d'arbres, poteaux et panneaux, engins de construction et camions. Les principales causes de chute invoquées sont le manque d'attention à l'environnement ou aux avertissements donnés par le chien-guide, la présence d'obstacles là où il n'y en avait pas précédemment, et un mauvais jugement des distances et des angles. Ces accidents ont des conséquences médicales (assistance de professionnels de santé, repos à domicile) dans 23 % des cas pour les chocs au niveau de la tête et dans 36 % des cas pour les chutes. Ils entraînent des changements dans les habitudes de déplacement (vitesse de marche diminuée, évitement de certains lieux, utilisation d'une assistance humaine pour se déplacer) dans 43 % des cas pour les accidents au niveau de la tête et 51 % des cas pour les chutes. Les personnes déclarent que l'accident a affecté leur confiance en eux pour 26 % des accidents au niveau de la tête et pour 30 % des chutes. La proportion de personnes qui n'ont pas de résidus visuels (ou au mieux une perception lumineuse) déclarant n'avoir jamais eu d'accident est moins importante (2 % pour les accidents au niveau de la tête, 8 % pour les chutes) que celle ayant plus de résidus visuels (12 % pour les accidents au niveau de la tête, 10 % pour les chutes). De plus, les personnes qui ont le plus tendance à subir un accident au niveau de la tête sont également celles qui sont le plus à risque de tomber. En revanche, aucune corrélation n'a été trouvée entre la fréquence des déplacements et la fréquence des accidents subis : les personnes qui sortent de chez elles plus fréquemment ne sont pas plus à risque que celles qui sortent moins.

Les habitudes de déplacement des personnes aveugles sont très hétérogènes : certaines personnes ne sortent pas seules de chez elles, d'autres le font mais uniquement pour réaliser des itinéraires connus, alors que d'autres encore se déplacent sur tout type d'itinéraire, avec une fréquence qui peut être très variée. Cette hétérogénéité peut être expliquée par une multitude de facteurs, mais, à part certains facteurs psychologiques, peu ont été étudiés. Par exemple, alors que le fait d'être aveugle précoce ou tardif peut être un

facteur explicatif de la mobilité, les études relatives aux habitudes de déplacement des personnes avec une atteinte visuelle ne prennent pas en compte l'âge d'acquisition de la cécité. En revanche, un paramètre qui semble influer la mobilité des personnes aveugles est bien décrit dans la littérature et fera l'objet de la partie suivante : il s'agit de l'âge.

1.2. Le déplacement des personnes aveugles âgées

Les changements physiques, sensoriels et cognitifs observés au cours du vieillissement peuvent modifier la mobilité des piétons. C'est le cas pour les personnes voyantes, qui rencontrent avec l'âge plus de difficultés pour se déplacer à pied et tombent plus souvent que les personnes plus jeunes (pour une revue récente des difficultés rencontrées par les piétons âgés, voir Tournier, Dommes, & Cavallo, 2016). Ces difficultés liées à l'âge semblent encore plus prépondérantes chez les personnes qui présentent une atteinte visuelle. Par exemple, les difficultés déclarées par les personnes avec une atteinte visuelle au cours de leur déplacement sont fortement liées au facteur âge. En effet, alors que 31 % des personnes avec une atteinte visuelle (toutes sévérités) de moins de 60 ans déclarent avoir des difficultés pour se déplacer, c'est le cas pour 61 % des personnes âgées entre 60 et 74 ans et 81 % pour les 75 ans et plus (Sander et al., 2005).

L'âge a également une incidence sur la fréquence de déplacement hors du domicile de ces personnes. Au Royaume Uni, 67 % des personnes avec une atteinte visuelle en âge de travailler sortent de chez elles quotidiennement, ce qui n'est le cas que pour 40 % des personnes qui sont à l'âge de la retraite (Douglas et al., 2011). Les personnes âgées entre 65 et 100 ans sondées par Mac Cobb (2013) déclarent à 38 % ne jamais sortir de chez elles sans un accompagnant voyant, ce qui est le cas pour 25 % des personnes sondées âgées de 18 à 64 ans. Aux Etats-Unis, Manduchi & Kurniawan (2011) ont également montré que l'âge des répondants était négativement corrélé à la fréquence des déplacements en dehors du domicile. En revanche, même si elles se déplacent moins, les personnes avec une atteinte visuelle en âge de la retraite sont moins nombreuses (41%) à déclarer vouloir sortir de chez elles plus souvent que celles qui sont en âge de travailler (55% ; Douglas et al., 2011). De plus, les personnes âgées qui présentent une atteinte visuelle sont également plus à risque de chuter. Plus l'atteinte visuelle est importante, plus ce risque est grand (Black & Wood, 2005 ; Legood, Scuffham, & Cryer, 2002).

Une atteinte visuelle, couplée au vieillissement a des conséquences qui peuvent être importantes sur la mobilité des personnes. La mobilité des personnes âgées présentant une atteinte visuelle liée à l'âge (malvoyance la plupart du temps) a bien été décrite dans la

littérature scientifique (pour une revue, voir Gallagher & Jackson, 2012). Par exemple, des auteurs ont réalisé un enregistrement de l'activité de personnes âgées de 60 à 80 ans présentant ou non une DMLA pendant une semaine avec un accéléromètre et un dispositif de repérage (Sengupta et al., 2015). Celles atteintes d'une DMLA ont eu un nombre de pas et une durée d'activité journalière, ainsi qu'un nombre de sorties du domicile hebdomadaire significativement inférieurs à ceux de personnes du même âge sans atteinte visuelle. Dans une autre étude, l'analyse d'informations qualitatives (recueillies dans des carnets de bords relatifs aux déplacements réalisés la semaine précédente) et quantitatives (issues d'un questionnaire) fournies par 66 personnes âgées 61 à 94 ans avec une atteinte visuelle liée à l'âge (8 % de personnes aveugles légales) a montré que les principaux facteurs de restriction de la marche étaient l'âge, la vision résiduelle et le sentiment d'insécurité (Montarzino et al., 2007). En revanche, la mobilité des personnes aveugles vieillissantes n'a pas été spécifiquement appréhendée.

Nous venons d'observer que la cécité entrave la mobilité, avec des effets plus ou moins marqués selon les personnes. Vieillir et avoir une atteinte visuelle semble réduire la mobilité de façon encore plus prépondérante, bien que le vieillissement des personnes aveugles ne soit pas spécifiquement appréhendé dans les études présentées. Enfin, le risque d'être victime d'un accident en sortant de chez soi est important pour les personnes aveugles et l'est encore plus pour les personnes les plus âgées. En plus d'avoir des conséquences médicales, ces accidents vécus par les personnes aveugles modifient leur confiance en eux et leurs habitudes de déplacement, diminuant encore plus leur participation. Se déplacer sans voir est ainsi une activité difficile à réaliser, qui sera décrite lors de la prochaine partie.

2. Analyse fonctionnelle de l'activité de déplacement du piéton aveugle

Le déplacement piéton peut être défini comme un mouvement, à travers un environnement (plus ou moins complexe) avec l'objectif d'atteindre un but. Pour atteindre ce but, le piéton a besoin de connaître sa position de départ ainsi que sa position d'arrivée. Il doit également être capable de s'orienter dans l'espace et de maintenir son orientation durant le déplacement. Il s'agit donc d'une activité qui regroupe des processus perceptifs, moteurs et cognitifs et que nous proposons de décomposer en deux principales tâches : la locomotion (gestion de l'environnement immédiat) et la navigation (gestion du trajet).

La modalité sensorielle la plus mobilisée durant l'activité de déplacement par les personnes qui ne présentent pas d'atteinte sensorielle est la vision. Ainsi, pour les personnes

aveugles, se déplacer nécessite la mise en place de compensations multiples. Dans cette partie, afin de mieux comprendre les effets de l'absence de la vision lors d'un déplacement piéton, les avantages que celle-ci procure pour le traitement des informations spatiales seront présentés. Ensuite, les principaux moyens mis en place et aides utilisées par les personnes aveugles pour pallier l'absence de vision et ainsi se déplacer seront exposés. De plus, la locomotion des personnes aveugles, ainsi que les processus cognitifs impliqués dans la navigation seront décrits. Enfin, nous verrons que pour les personnes aveugles, se déplacer induit un coût cognitif important.

2.1. Les avantages de la vision pour le déplacement

La vision, décrite comme étant « le sens spatial par excellence » (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997) est la modalité privilégiée pour le traitement de l'information spatiale, important pour le déplacement. En effet, par rapport aux autres modalités sensorielles, la vision permet une compréhension rapide et facile de l'agencement spatial de l'environnement, la perception d'un grand nombre d'objets et une modulation de l'attention efficace.

La compréhension de l'agencement spatial de l'environnement est réalisée de façon très rapide avec la vision. En effet, la taille du champ perceptif de la vision permet l'observation d'une large section de l'espace en un temps limité (Foulke, 1985). Les caractéristiques spatiales intrinsèques des objets et les relations spatiales qui les lient peuvent être appréhendées de façon simultanée (Gentaz & Hatwell, 2000). La vue permet également d'avoir une meilleure appréciation des angles et des distances et permet la localisation d'objets distants plus précise qu'avec l'audition (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997). De plus, les informations relatives à l'environnement qui sont situées en fovéa et en périphérie du champ visuel peuvent être traitées de façon simultanée (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997), réduisant la quantité d'information à garder en mémoire. Un stimulus peut être maintenu en vision périphérique pendant qu'un autre est traité de façon plus précise en fovéa. C'est ce caractère simultané qui semble conférer à la vision un avantage dans l'encodage de l'information spatiale. En effet, quand la perception visuelle est rendue séquentielle (via le placement de panneaux obstruant partiellement l'environnement), la performance de personnes voyantes à une tâche de construction de représentation spatiale diminue et se rapproche de celle de personnes aveugles (Ruotolo, Ruggiero, Vinciguerra, & Iachini, 2012).

De plus, la vision permet l'accès à un plus grand nombre d'items que les autres modalités perceptives. En effet, tous les objets n'émettent pas de son, et ne sont pas tous dans l'espace de préhension (Foulke, 1982), alors que la vision permet le traitement d'items

distants, sans nécessiter de contact physique entre les récepteurs sensoriels et les objets perçus (Foulke, 1985). La rapidité des mouvements oculaires permet en outre le traitement rapide et successif de nombreuses informations (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997).

Par ailleurs, l'information visuelle apporte de meilleures modulations attentionnelles que les autres informations sensorielles (Von Senden, 1960 cité in Thinus-Blanc & Gaunet) : elle peut être focalisée volontairement contrairement à la perception auditive (un objet doit émettre du son pour que nous puissions y porter attention auditivement) ; elle peut être sollicitée facilement, alors que la perception tactile l'est rarement (un objet doit être dans l'espace proche pour être perçu tactilement). Smith, Ratcliff, & Wolfgang (2004) ont montré les liens étroits entre attention et vision avec une tâche de jugement d'orientation de stimuli (présentés à des localisations indicées ou non). Les participants répondaient plus vite et de façon plus précise lorsque la localisation du stimulus à traiter était congruente avec celle d'un indice. L'orientation du regard vers une localisation de l'espace (induite par l'indiçage) oriente l'attention à cet endroit et les stimuli qui y sont présents sont mieux traités. Le traitement est moins efficace si le regard a été orienté à un autre endroit. Il est ainsi difficile de déplacer son regard sans déplacer son attention mais il reste toutefois possible de traiter plusieurs éléments d'une même scène visuelle en même temps.

Dans le contexte de la locomotion, la vision est utile à trois principales fonctions : le maintien de la stabilité posturale, la détection d'informations relatives à la traversabilité de l'espace et le guidage vers la destination (Gibson & Schumuckler, 1989). Ainsi, la vision joue un rôle prépondérant dans le traitement de l'information spatiale et dans le déplacement des piétons, à tel point que les informations issues des autres modalités ne sont généralement pas prises en compte par les personnes voyantes lorsqu'elles se déplacent (Foulke, 1985). Pourtant, les personnes aveugles peuvent se déplacer, parfois seules, et pour certaines d'entre elles dans des environnements inconnus et complexes. Elles utilisent des stratégies apprises en partie auprès des instructeurs de locomotion pour acquérir des informations autrement que visuellement, et des aides techniques qui seront présentées dans la prochaine partie.

2.2. Pallier l'absence de vision

a. L'apprentissage de la locomotion

Les personnes aveugles et malvoyantes apprennent pour la plupart à se déplacer auprès de professionnels appelés « instructeurs de locomotion » en France et « instructeurs en orientation et mobilité[4] » dans les pays anglo-saxons.

Historiquement, c'est après la Seconde Guerre Mondiale que cette discipline est apparue aux Etats-Unis et a ensuite été développée en Angleterre (Piriou, 1999). En France, c'est en 1967 que les premiers instructeurs de locomotion ont été formés, par les Américains de la Fondation H. Keller (Buissard, 2014). Actuellement, la formation des instructeurs de locomotion en France est dispensée par la Fédération des Aveugles de France (FAF). Accessible aux personnes ayant un diplôme d'ergothérapeute, de kinésithérapeute, de psychomotricien, d'infirmier, d'éducateur spécialisé, titulaires d'une licence STAPS (sciences et techniques des activités physiques et sportives), ou instituteurs spécialisés, cette formation dure huit mois.

Les instructeurs de locomotion interviennent dans des centres de rééducation, des services d'aide à l'intégration scolaire, des institutions spécialisées ou encore dans des associations. La prise en charge en locomotion permet de travailler sur les dimensions sensorielles (prise d'informations issues des modalités sensorielles autres que la vue et des résidus visuels s'il y en a), cognitives (interprétation des informations, construction de représentations de l'espace, concentration, mémoire) et affectives (anxiété, motivation) liées au déplacement (Buissard, 2014 ; Carrer, 2012). L'instructeur de locomotion prend en compte les besoins et possibilités de la personne aveugle avec pour objectif de favoriser son autonomie, son confort et sa sécurité lors des déplacements (Buissard, 2014).

Education pour les personnes aveugles précoces ou rééducation pour les personnes aveugles tardives, l'apprentissage de la locomotion diffère selon l'âge d'apparition de la cécité (Piriou, 1999). Pour la personne aveugle précoce, il est question d'apprendre à comprendre et à se déplacer dans un environnement urbain (et les codes qui le régissent) construit pour les personnes voyantes, tandis que la personne aveugle tardive doit apprendre à identifier à l'aide de ses autres sens les éléments de l'environnement qu'elle a visuellement connus (Piriou,

[4] *Orientation and Mobility instructors (O&M instructors)* en anglais

1999). Pour les personnes aveugles précoces, l'apprentissage de la locomotion est généralement réalisé pendant l'adolescence, en établissement scolaire spécialisé (Gaunet & Milliet, 2010).

Les instructeurs de locomotion apprennent aux personnes présentant une atteinte visuelle les techniques de locomotion, mais également à s'orienter. L'apprentissage des techniques de locomotion concernent principalement la gestion des obstacles et des dénivelés via l'apprentissage des techniques de canne et/ou d'un balayage visuel efficace pour les personnes qui ont suffisamment de potentiel visuel. L'orientation est améliorée via l'apprentissage de la prise d'informations, l'utilisation de points de repères ou encore la création de représentation mentale de l'espace. Les personnes aveugles apprennent ainsi à comprendre l'espace pour y cheminer. La prise en charge en locomotion suit une progression croissante. Après un entretien et une évaluation, l'apprentissage se réalise via des mises en situation, dans des environnements simples et connus (la maison, une rue), puis de plus en plus complexes voir inconnus (une traversée de carrefour, un trajet complet ; Piriou, 1999). Les instructeurs de locomotion forment également les personnes autonomes dans leurs déplacements à l'utilisation du chien-guide et d'autres aides technologiques telles que la canne électronique ou le GPS (*Global Positioning System* en anglais ; Géo-positionnement par Satellite en français) pour piétons (Buissard, 2014).

Il est également important de souligner que certaines personnes aveugles apprennent à se déplacer sans réaliser de formation en locomotion. Par exemple, dans une enquête réalisée en France par Gaunet & Milliet (2010) auprès de 76 personnes aveugles et malvoyantes, 67 % des personnes sondées ont déclaré avoir eu un enseignement en locomotion, alors que 33 % n'en ont pas eu. En outre, la durée de la formation peut être variable d'un individu à l'autre (de quelques séances ponctuelles à des séances hebdomadaires sur plusieurs années, notamment pour les personnes aveugles précoces qui ont été en école spécialisée).

Ainsi, l'enseignement de la locomotion, qui est principalement réalisé auprès d'un instructeur de locomotion (mais parfois acquis via la pratique, sans l'accompagnement d'un professionnel), permet l'acquisition de compétences relatives au traitement des informations issues des sens résiduels, aux techniques de locomotion, à la compréhension de l'espace et à la navigation.

b. Les informations issues des sens résiduels

Lors de leurs déplacements, les personnes aveugles s'appuient sur les informations qui leur parviennent via leurs sens résiduels. Les plus manifestes sont l'audition et le toucher, mais d'autres sens, moins communs pour les personnes voyantes, tels que l'olfaction, la proprioception, sont aussi mis à contribution.

L'audition

La perception auditive est primordiale pour les personnes aveugles, surtout en situation de déplacement. Avec un champ perceptif large, la modalité auditive informe à propos de la direction, de la distance et du mouvement de la source sonore (Foulke, 1985). L'analyse des bruits ambiants fournit des informations sur le lieu dans lequel la personne se trouve et lui procure des indices pour s'orienter. Par exemple, le bruit de la circulation des véhicules est utile pour la traversée de rue (Bentzen, Barlow, & Bond, 2004) et le flux sonore produit par les autres piétons indique la sortie des stations de métro. Le piéton aveugle se sert de sources sonores comme points de repères, utiles à l'orientation. La cécité ne semble pas entraîner une amélioration des seuils de perception auditive (Collignon, Renier, Bruyer, Tranduy, & Veraart, 2006), mais une meilleure utilisation des informations auditives perçues. Par exemple, les personnes aveugles précoces et tardives auraient des performances supérieures aux personnes voyantes pour la discrimination de localisation de sources sonores lointaines (Voss et al., 2004). Ces travaux confirment que l'utilisation efficiente d'indices sonores se développerait ainsi même chez les personnes qui perdent la vue tardivement.

En situation de déplacement, le piéton aveugle peut également produire lui-même des sons, dont les échos répercutés sur les murs et objets lui permettront d'acquérir de l'information relative à l'environnement et ainsi, par exemple, éviter certains obstacles et garder une trajectoire rectiligne. Ce phénomène, nommé écholocalisation, peut être induit par le frottement de la canne blanche sur le sol ou des claquements de langue ou de doigts (Arias, 1996). Déjà évoqué en 1749 par Diderot, la faculté à détecter les obstacles des personnes aveugles par le biais de l'écholocalisation a été étudiée expérimentalement pour la première fois dans les années 1940 (Supa, Cotzin, & Dallenbach, 1944). Les personnes aveugles développent des capacités d'écholocalisation importantes qui peuvent leur permettre d'acquérir des informations relatives à la position de l'objet perçu, sa distance, sa taille voire la matière qui le compose (Kolarik, Cirstea, Pardhan, & Moore, 2014) et de garder une trajectoire rectiligne, en avançant parallèlement à un mur par exemple (Strelow & Brabyn, 1982). Certains individus aveugles développent même des compétences d'écholocalisation exceptionnelles, leur permettant, par exemple, de faire du vélo tout terrain (Thaler, Arnott, &

Goodale, 2011). Une grande variabilité inter-individuelle concernant les capacités d'écholocalisation est observée chez les personnes aveugles, et, bien qu'elles soient corrélées à l'âge d'acquisition de la cécité (Teng, Puri, & Whitney, 2012), certaines personnes aveugles tardives peuvent développer des capacités d'écholocalisation particulièrement remarquables (Thaler et al., 2011). Quant aux personnes voyantes, elles n'exploitent pas cette capacité, mais peuvent la développer avec un entraînement, qui, par contre, ne leur permettra pas d'être aussi précises que les personnes aveugles (Kolarik et al., 2014).

Sans émettre de stimulations sonores, certaines personnes rapportent pouvoir sentir la présence d'obstacles, et être capables d'en estimer la distance et la forme. Ce phénomène, appelé « sens des masses », « vision faciale », ou « sens des obstacles » a beaucoup intrigué, jusqu'à ce que des auteurs montrent que cette capacité disparaît une fois les oreilles obstruées (Warren & Kocon, 1974), indiquant qu'il s'agirait en fait d'un phénomène d'écholocalisation. D'autres personnes aveugles déclarent ressentir tactilement, sur leur visage, la présence d'un obstacle à proximité. Cette perception serait également de l'écholocalisation, alliée à un phénomène de nature synesthésique (Arias, 1996).

Ainsi, l'audition est une source d'informations importante permettant aux personnes aveugles de se déplacer. En revanche, elle comporte des désavantages par rapport à la vision. Le traitement de l'information auditive est séquentiel (Foulke, 1985). De plus, les informations acquises auditivement sont moins précises que celles acquises visuellement. Par ailleurs, tous les objets n'émettent pas de son, et ceux qui en émettent ne le font pas à chaque instant. Ainsi, la trace d'un son qui a été émis ne demeure pas ; la personne aveugle ne peut donc pas y avoir accès de nouveau si elle n'y a pas été attentive ou n'a pas mémorisé l'information fournie par le son. Par ailleurs, un bruit ambiant trop élevé peut avoir un effet délétère sur la perception auditive. Par exemple, une étude a montré que des participants aveugles réalisaient des traversées de rues plus risquées lorsque l'ambiance sonore était élevée que lorsqu'elle était basse (Kim, Emerson, Naghshineh, & Myers, 2014). L'écholocalisation, perception auditive active, permet aux personnes aveugles d'obtenir, via l'audition, des informations relativement détaillées des objets de l'environnement, même si ces derniers n'émettent pas de son. Néanmoins, ces informations ne sont pas aussi précises que celles perçues visuellement par les personnes voyantes (Strelow & Brabyn, 1982).

Le toucher

Le toucher est un canal de prise d'information également primordial pour les personnes aveugles. La perception tactile est opérée par une déformation mécanique de la couche

superficielle de la peau due au contact avec l'objet (Hatwell, Streri, & Gentaz, 2000). C'est ainsi une modalité de contact, qui présente des récepteurs sur l'intégralité du corps. Le toucher donne accès, à l'exception de la couleur, aux mêmes propriétés que la vision : forme, taille, localisation, orientation, distance et texture (Hatwell et al., 2000). Néanmoins, les objets doivent être placés dans l'espace de préhension et de taille adaptée pour être perçus tactilement. Pour compenser la petite taille du champ perceptif tactile (limité à la zone de contact entre la peau et l'objet), des mouvements d'exploration de la main peuvent être réalisés ; il s'agit ainsi de toucher actif, nommé perception haptique, terme introduit par Révész en 1934 (Révész, 1934, 1950, cité in Hatwell et al., 2000). Durant le déplacement des personnes aveugles, le toucher intervient surtout au niveau du pied et via l'utilisation de la canne, qui constitue, pour la personne aveugle, un prolongement de la main. Ainsi perçues tactilement, les bandes d'éveil de vigilance signalent la présence d'un danger, le changement de texture du sol apporte des indices relatifs à l'architecture du lieu et les obstacles sont détectés. Pour les personnes aveugles accompagnées d'un chien-guide, le retour tactile au niveau du harnais peut informer des changements de vitesse et de trajectoire du chien, apportant des indices sur l'environnement. D'autres informations, plus anecdotiques, peuvent être perçues via le toucher, principalement au niveau du visage. Par exemple, les variations de pression d'air informent à propos de l'architecture d'un lieu (Gaunet & Briffault, 2001), ou la perception de la chaleur du soleil (par l'activation de thermorécepteurs cutanés) renseigne sur l'orientation de la personne (Foulke, 1985). Néanmoins, les personnes aveugles ne développeraient pas des seuils de détections tactiles plus bas que ceux des personnes voyantes (Collignon et al., 2006).

Ainsi, le toucher et le traitement haptique permettent d'avoir accès à des caractéristiques des objets similaires à celles fournies par la vision et apportent des informations importantes pour les personnes aveugles lorsqu'elles se déplacent. En revanche, le traitement haptique est morcelé, partiel et séquentiel, induisant une grande charge attentionnelle et en mémoire de travail (Révész, 1950). Par ailleurs, puisqu'il s'agit d'un sens de contact, le sens tactile a une faible portée : les objets doivent être dans l'espace de préhension, ou à portée de la canne pour être perçus tactilement.

La proprioception

La proprioception est la perception de la position de notre corps et de nos mouvements via le système vestibulaire (perception de l'équilibre et des accélérations de la tête via un organe barosensible situé dans l'oreille interne) et le système kinesthésique (étirements ou compressions des muscles, tendons et articulations perçus par l'activation de récepteurs

sensoriels internes). Ces deux systèmes permettent l'équilibre postural de tout individu, d'autant plus pour la personne aveugle qui ne perçoit pas visuellement son corps. Pour le piéton aveugle, la proprioception apporte de précieuses informations sur les changements d'inclinaison du sol (un trottoir bateau par exemple) et permet l'intégration des distances parcourues et de l'orientation de la personne (Gaunet & Briffault, 2001). Debout sans marcher, la stabilité posturale de participants aveugles précoces n'est pas différente de celle de participants voyants aux yeux fermés, mais elle est meilleure lorsqu'une tâche secondaire simultanée est réalisée (Melzer, Damry, Landau, & Yagev, 2011).

L'odorat

L'odorat, peu développé chez l'homme, peut fournir des informations utiles à la navigation de la personne aveugle. C'est une aide secondaire pour la personne aveugle, lui apportant des indices supplémentaires sur le trajet parcouru (Piriou, 1999). Moins précis que les autres sens, puisque les odeurs sont volatiles, il peut toutefois aider à l'identification de lieux tels qu'une bouche de métro, un jardin public, une pâtisserie ou encore un fleuriste. Les personnes aveugles identifieraient et discrimineraient mieux que les personnes voyantes les odeurs de la vie quotidienne (Cuevas, Plaza, Rombaux, Voldera, & Reniera, 2009). Elles auraient un meilleur accès à l'information sémantique liée à une odeur, en raison d'une plus grande utilisation de ce sens, mais ne développeraient pas une meilleure acuité olfactive (Ferdenzi, Holley, & Schaal, 2004).

Les résidus visuels

Enfin, des résidus visuels, telle qu'une perception lumineuse, peuvent apporter des indices précieux pour les personnes qui en présentent (Warren & Kocon, 1974). La lumière du soleil peut les aider à s'orienter dans la ville ou à garder une trajectoire rectiligne, et la lumière du jour, à trouver la sortie d'une station de métro.

Ainsi, bien qu'aucune d'entre elles ne semble aussi efficace que la vision pour le traitement de l'information spatiale, les autres modalités perceptuelles apportent aux piétons aveugles des informations utiles pour leurs déplacements. En revanche, malgré une utilisation soutenue de ces modalités sensorielles, les personnes aveugles ne développent pas une acuité sensorielle supérieure aux personnes voyantes d'âge équivalent (pas d'amélioration des seuils haptiques et auditifs, Collignon et al., 2006 ; ni de la sensibilité olfactive chez les personnes aveugles, Ferdenzi et al., 2004), contrairement à l'idée répandue. Néanmoins, l'utilisation intense et constante de ces modalités induit une orientation de l'attention plus

efficiente et une amélioration des procédures exploratoires haptiques et du traitement auditif et olfactif (Hatwell, 2003b).

c. Les aides techniques

Les aides à la locomotion : la canne blanche et le chien-guide

Pour se déplacer, les personnes aveugles s'appuient sur des aides à la mobilité dont les plus répandues sont la canne blanche et le chien-guide. En la tenant dans la paume de sa main dominante au niveau de la taille, la personne aveugle utilise sa canne en réalisant un balayage du sol de gauche à droite avec un mouvement du poignet. Elle permet de détecter tactilement les obstacles potentiels, mais également les trottoirs, escaliers, bandes d'éveil de vigilance et bandes de guidage et informe quant à la texture du sol. La zone de détection des obstacles est liée à l'amplitude du balayage (Piriou, 1999). Ses frottements sur le sol créent des réverbérations sonores qui peuvent permettre à la personne aveugle d'avoir des informations quant à la disposition spatiale du lieu (grâce à l'écholocalisation). En revanche, la canne ne permet pas de détecter les obstacles en hauteur tels que les branches d'arbres ou les rétroviseurs de véhicules (Piriou, 1999 ; Tuttle & Tuttle, 2004). La canne est également un moyen pour la personne aveugle de se signaler aux autres piétons qui sont ainsi plus attentifs (Omvig, 2002), permettant d'éviter certains bousculements et de solliciter de l'aide dans certaines situations.

Serino, Bassolino, Farnè, & Làdavas (2007) ont montré que l'utilisation quotidienne d'une canne étendait la représentation de l'espace péri-personnel des personnes aveugles. Les chercheurs ont présenté des stimuli tactiles de faible intensité (cibles) ou de forte intensité (distracteurs) sur l'index droit de huit participants aveugles (habitués à utiliser une canne depuis au moins plus d'un an) et seize participants voyants. Les participants tenaient passivement dans la main droite une canne, dans la moitié des conditions, et un manche de 14 cm dans l'autre moitié. En même temps, un son était diffusé soit au niveau de la main (espace proche) soit sur le sol à environ 125 cm (espace lointain, correspondant à l'espace situé à l'extrémité de la canne). Les participants devaient répondre verbalement le plus rapidement possible lorsque les stimuli tactiles cibles étaient présentés. Chez les participants voyants, les réponses aux stimuli cibles étaient plus rapides lorsque les sons présentés en même temps étaient diffusés dans l'espace proche, en conditions canne et manche. En revanche, juste après avoir été entraînés à utiliser une canne, les réponses des participants voyants aux stimuli cibles délivrés en même temps que les sons diffusés dans l'espace lointain étaient aussi rapides que lorsque les sons étaient diffusés dans l'espace proche. Néanmoins,

ces bénéfices apportés par l'entraînement disparaissaient un jour après. Pour les participants aveugles, les réponses étaient plus rapides en condition manche lorsque les sons associés aux stimulations tactiles étaient diffusés dans l'espace proche que dans l'espace lointain. En condition canne, elles étaient plus rapides lorsque les sons étaient diffusés dans l'espace lointain que dans l'espace proche. Ainsi, cette étude montre que l'utilisation à long terme de la canne améliore l'intégration multi-sensorielle des stimuli sonores et tactiles diffusés au niveau de la canne. Des renseignements supplémentaires, concernant la durée de la cécité et la durée de l'utilisation de la canne, seraient nécessaires pour comprendre le décours temporel de la mise en place de la réorganisation de la représentation de l'espace péri-personnel chez les personnes aveugles.

Le chien-guide, formé par un éducateur de Chien-guide d'Aveugle durant six mois, après avoir passé un an dans une famille d'accueil bénévole, est remis gratuitement à la personne aveugle après examen de sa demande et formation. Equipé d'un harnais tenu dans la main gauche de son maître, il l'assiste sur des parcours familiers et dans des lieux inconnus. Sur commande, il peut guider la personne qu'il accompagne vers certains lieux spécifiques (l'accès à une station de métro, une porte d'entrée, une chaise). Il sait également indiquer, en marquant un arrêt (perçu via le retour tactile du harnais), des escaliers ou un passage piéton. Il évite les obstacles, pour lui-même et pour la personne qu'il accompagne, même ceux en hauteur qui ne gênent pas son propre cheminement et également les trous dans le sol (en cas de travaux par exemple). Sur les parcours familiers, le chien-guide peut prendre en charge l'orientation de son maître (Gaunet & Milliet, 2010). Il apporte ainsi à la personne aveugle un sentiment de confort et de sécurité (Bonneau, 2000 ; Gaunet & Briffault, 2001 ; Gaunet & Milliet, 2010 ; Whitmarsh, 2005 ; Zabihaylo, Couturier, Termoz, & Prince, 2005).

Le degré de délégation que le maître accord à son chien-guide peut varier d'un individu à l'autre et d'un moment à l'autre. Zabihaylo et al. (2005) ont réalisé une analyse de la posture et de la marche de personnes utilisant un chien-guide dans différentes conditions de luminosité, et dans des environnements de niveaux de familiarité et de complexité variés. Les auteurs ont trouvé un effet de la durée de la pratique de déplacement avec un chien-guide sur l'aisance de déplacement (rigidité du corps, hésitations, modulations de la vitesse) et la confiance envers le chien-guide (attitudes d'interférence avec le harnais). De plus, les participants s'appuyaient davantage sur leur chien-guide (et moins sur leurs résidus visuels) dans les conditions les plus complexes (sans éclairage et avec des obstacles). Néanmoins, les résultats ne sont pas généralisables en raison de la taille de l'échantillon (quatre participants étudiés) et du fait que les participants avaient tous des résidus visuels (acuité visuelle entre 6/18 et 6/630).

Par rapport à la canne, le chien-guide semble avoir certains avantages. Les utilisateurs de chien-guide déclarent que l'animal leur apporte efficacité, confort et sécurité lors de leurs déplacements, et une relation affective et de confiance au quotidien (Gaunet & Milliet, 2010). En revanche, les avantages que procure le chien-guide par rapport à la canne blanche au niveau de l'efficacité du déplacement ont rarement été étudiés expérimentalement. Dans une étude, Clark-Carter, Heyes, & Howarth (1986b) ont montré que la vitesse de marche de trois participants aveugles était plus rapide lorsqu'ils étaient accompagnés d'un chien-guide que lorsqu'ils utilisaient une canne blanche. Les utilisateurs de chien-guide ont également une fréquence de déplacement en dehors du domicile plus importante que les utilisateurs de canne (Manduchi & Kurniawan, 2011). Une enquête menée en France auprès de 76 personnes a révélé que les personnes aveugles qui utilisent un chien-guide auraient plus tendance à avoir perdu la vue tardivement que précocement (Gaunet & Milliet, 2010).

L'aide au déplacement utilisée a également un effet sur la représentation que les personnes aveugles peuvent avoir d'elles-mêmes. La canne blanche peut être perçue par les personnes aveugles comme une marque de stigmatisation (Deshen & Deshen, 1988) ou au contraire un symbole d'indépendance (Omvig, 2002). Quant au chien-guide, il est principalement considéré comme favorisant les interactions sociales de la personne qu'il accompagne (Gaunet & Milliet, 2010 ; Miner, 2001 ; Whitmarsh, 2005), sauf dans certaines cultures, où le chien-guide peut être source de rejet social (Bohan & Tuck Wah James, 2015).

Les chiens-guides apportent aux personnes aveugles une assistance plus forte que la canne, mais leur disponibilité est limitée et le délai d'obtention parfois long, en raison d'un processus d'éducation long et coûteux. De plus, ce type d'aide au déplacement comporte tout de même quelques inconvénients, expliquant le fait que le chien-guide n'est pas l'aide souhaitée par toutes les personnes aveugles. En effet, être accompagné d'un chien-guide pour se déplacer implique des contraintes liées au fait d'avoir un animal de compagnie (responsabilités, coûteux en temps, hygiène), que toutes les personnes aveugles ne souhaitent pas subir (Gaunet & Milliet, 2010). Alors qu'il est un chien de travail lorsqu'il porte son harnais, une fois ce dernier retiré, le chien-guide devient un animal de compagnie dont il faut s'occuper. Par ailleurs, avoir recours à un chien-guide pour se déplacer nécessite d'avoir confiance en lui afin de pouvoir lui déléguer les aspects sécuritaires du déplacement, ce qui n'est pas facile pour tous les individus. De plus, pour certaines personnes aveugles, la canne blanche est une aide tout à faire satisfaisante pour leur assurer une autonomie dans leurs déplacements. Enfin, certains critères doivent être respectés pour se faire attribuer un chien-guide. Par exemple, la personne aveugle doit déjà maîtriser l'utilisation de la canne blanche, afin de pouvoir pallier une défaillance du chien ou pouvoir se déplacer si l'animal est malade.

L'utilisation de l'une ou l'autre de ces aides nous semble introduire des différences d'un point de vue cognitif. La canne blanche permet à l'individu aveugle de détecter les éléments avec lesquels elle entre en contact, alors que le chien-guide évite pour son maître les obstacles, avec une plus grande anticipation. Le chien-guide, contrairement à la canne blanche, peut aider la personne aveugle à s'orienter, notamment sur les parcours connus ou pour la recherche d'éléments de l'environnement précis (un escalier, une porte, un passage piéton). Ainsi, le maître délègue à son chien-guide une grande partie des dimensions sécuritaires du déplacement (gestion des obstacles, de la trajectoire), et une partie des dimensions liées à l'orientation (recherche des entrées de station de métro, les portes, escaliers). L'utilisation d'une canne par un piéton aveugle mobiliserait donc plus de ressources attentionnelles que l'utilisation d'un chien-guide (Gaunet & Briffault, 2001).

La canne blanche et le chien-guide sont les deux principales aides au déplacement utilisées par les personnes aveugles. Ces deux aides, qui diffèrent au niveau de l'assistance qu'elles apportent, peuvent être couplées à une aide technologique, dont les principaux types seront décrits dans la prochaine partie.

Les aides technologiques

Les premières technologies d'aide à la mobilité pour les personnes aveugles étaient des dispositifs qui leur étaient dédiés, souvent encombrants, coûteux et peu précis. L'essor des smartphones et l'expansion du développement des applications mobiles ouvrent de nombreuses perspectives.

Suite à l'invention des systèmes radar et sonar au cours de la Seconde Guerre Mondiale, de nombreuses recherches ont été menées sur la mise au point de systèmes permettant la détection d'obstacles par les personnes aveugles (Brabyn, 1982). Ces technologies, appelées cannes électroniques, permettent d'augmenter la zone de détection de la canne, en hauteur et/ou en longueur. Un capteur scanne l'environnement proche et informe l'utilisateur de la présence d'obstacle avec un signal sonore ou tactile. Les cannes électroniques sont encore utilisées aujourd'hui et les plus vendues actuellement sont le Tom Pouce et le Téléact. L'utilisation de ces technologies implique une bonne maitrise de la technique de canne blanche ainsi qu'une formation supplémentaire (Farcy et al., 2006).

La fin des années 1960 voit arriver l'émergence d'autres dispositifs, dits de substitution visuelle, dont le premier développé est le TVSS (pour *Tactile Vision Substitution System*), créé par Bach-Y-Rita, Collins, Saunders, White, & Scadden (1969). Ces technologies visent à convertir des informations visuelles pour apporter à l'individu aveugle des détails relatifs à

l'environnement proche. Le signal visuel est acquis via une caméra puis converti par le dispositif en information tactile ou auditive. Dans le cas de la substitution visuo-tactile, le dispositif diffuse l'information convertie via l'activation de picots contenus dans une matrice positionnée sur une partie du corps (le dos ou la langue par exemple). Pour la substitution visuo-auditive, les pixels de l'image sont convertis en informations sonores en fonction de leur position et intensité. La position verticale est codée en fréquence et la position horizontale est codée de façon temporelle. Plus le pixel est sombre, plus l'intensité du son sera élevée. Plutôt à visée expérimentale, les principales limites de ce type de technologies étaient la réduction de la résolution de l'image initiale, la difficulté d'interprétation de l'information perçue et le manque de portabilité du dispositif.

Plus tard apparaissent les premiers dispositifs d'aide à la navigation pour les personnes aveugles basés sur la technologie GPS. Le premier est le *Personal Guidance System*, proposé au début des années 1990 par l'équipe de Loomis (Loomis, Golledge, Klatzky, Speigle, & Tietz, 1994). Ce prototype comprenait un récepteur GPS, un ordinateur porté dans un sac à dos et un capteur d'orientation. Encombrants et apportant une précision limitée, ces premiers systèmes n'étaient pas utilisables dans des conditions réelles de déplacement.

En plus de ces limites de précision, le problème de l'esthétisme du dispositif (lié à son caractère encombrant donc non discret) est un frein pour son acceptabilité auprès des personnes aveugles (Giudice & Legge, 2008). Ainsi, mis à part la canne électronique, rares sont les technologies d'aide à la mobilité conçues avant les années 2000 utilisées hors des laboratoires de recherche.

Un autre type de dispositif, basé sur la labélisation de certains points d'intérêt de l'environnement (tels que les stations de métro, magasins, accès aux ascenseurs) via l'implantation de balises physiques a été mis au point à la fin des années 1990. Ces balises fonctionnent avec deux types de technologies : la technologie infrarouge (par exemple Talking signs, Crandall, Brabyn, Bentzen, & Myers, 1999 ; Marston & Golledge, 2003 et InfraVoice, Marin-Lamellet & Aymond, 2008) et la technologie radiofréquence (EO-guidage par exemple). Une télécommande active la balise et un message vocal est diffusé dans une oreillette, depuis la télécommande ou depuis la balise. Un désavantage majeur de ce type de technologie est le problème de réception de l'information diffusée selon le positionnement de l'utilisateur. Cette difficulté peut être contournée par l'ajout de surface de guidage tactile au sol permettant à l'individu d'être à un emplacement optimal pour la réception du message auditif, mais le traitement parallèle de l'information vocal et tactile nécessite un effort cognitif important (Marin-

Lamellet & Aymond, 2008). En outre, l'installation de telles balises a un coût important, et elles nécessitent une maintenance régulière afin d'assurer un fonctionnement permanent.

En France, les feux tricolores peuvent être équipés de balises sonores (obligation légale d'équiper les feux tricolores pour les aménagements neufs et rénovés depuis 1999, CERTU, 2006), déclenchées à distance via une télécommande par le piéton aveugle grâce à la technologie radiofréquence. La rue à traverser et la couleur du feu piéton sont ainsi indiquées auditivement. Dans certains carrefours complexes, ce type de dispositif a l'inconvénient que plusieurs balises peuvent être activées en même temps lorsque le piéton appuie sur sa télécommande, affectant la lisibilité de l'environnement. La télécommande active également des balises qui peuvent être installées sur des systèmes de transport (certains arrêts de bus, de tramway, certains bus).

Au cours des dernières années, un nombre croissant d'aides au déplacement sur smartphone a été développé. L'émergence des smartphones et leur utilisation importante par les personnes avec une atteinte visuelle permet le développement d'aides relativement abordables, légères, discrètes et toujours plus performantes. La précision de la localisation, qui reste encore limitée, est améliorée par le couplage de la technologie GPS et de l'utilisation de la centrale inertielle contenue dans la plupart des smartphones. En outre, le développement récent d'applications communautaires ouvre des perspectives très intéressantes. Des trajets peuvent être préparés à l'avance par les utilisateurs aveugles eux-mêmes, ou par des personnes voyantes, par le positionnement de balises virtuelles ; des informations relatives aux dangers potentiels (zones de travaux par exemple) peuvent être diffusées en temps réel à l'ensemble de la communauté (par exemple avec la récente application pour smartphone Wizigo).

Même si ces aides technologiques semblent être utiles pour apporter des informations manquantes à la personne aveugle, elles sont encore peu utilisées (Giudice & Legge, 2008 ; Loomis, Klatzky, & Giudice, 2012). A l'instar des systèmes d'aide à la navigation dans l'automobile, ces dispositifs posent la question de l'utilisation et de l'intégration des informations données. Pour être efficace, le volume d'informations fournies doit être suffisant. En revanche, une trop grannde quantité d'informations peut en alourdir le traitement et entrer en concurrence avec le déplacement. Il est ainsi nécessaire de trouver un juste milieu dans la quantité d'informations fournies par ces dispositifs, qui peut également être variable selon les individus et le contexte de déplacement. La façon dont l'information est diffusée doit également impacter le moins possible la tâche de déplacement. En outre, ces technologies impliquent un apprentissage qui est parfois long (Farcy et al., 2006 ; Giudice & Legge, 2008). Plusieurs

auteurs suggèrent que, lors de la conception de ce type de technologies, les personnes présentant une atteinte visuelle ainsi que les professionnels de la réadaptation devraient davantage être impliqués (Hakobyan, Lumsden, O'Sullivan, & Bartlett, 2013 ; Loomis, Klatzky, & Giudice, 2012) et l'évaluation des bénéfices apportés par ces aides devrait être scientifiquement menée (Giudice & Legge, 2008).

Plusieurs types d'aide technologique ont été développés pour assister les personnes aveugles dans leurs déplacements. Certaines d'entre elles aident les utilisateurs à éviter les obstacles (gestion de l'espace proche) et d'autres à s'orienter (gestion de l'espace lointain). L'utilisation de ces aides technologiques implique une bonne maîtrise des techniques de locomotion de base et induit un traitement cognitif supplémentaire. Ces technologies ne sont donc pas utilisables par toutes les personnes aveugles et nécessitent une phase d'apprentissage. En outre, elles ne dispensent pas de l'utilisation d'une canne blanche ou d'un chien-guide, mais peuvent leur être complémentaires.

Les aménagements urbains

L'environnement urbain peut comprendre des aménagements spécifiques aux personnes avec une atteinte visuelle qui les aident dans leurs déplacements. Les bandes d'éveil de vigilance sont des surfaces bosselées à intervalle régulier positionnées sur le sol pour alerter de la présence d'un danger sur le cheminement du piéton aveugle (AFNOR, 2010). Perceptibles à la canne et au pied et reconnues par le chien-guide, elles sont installées en haut des escaliers, avant les passages piétons et sur les quais des transports en commun sur rails (train, métro, tramway). Les bandes de guidage, rainurées, sont positionnées dans l'espace pour guider le piéton aveugle sur un trajet spécifique (AFNOR, 2015). Elles peuvent être utiles pour indiquer un trajet bien spécifique et facilement compréhensible pour le piéton aveugle (de l'entrée à l'accueil d'une gare) mais, pour le piéton aveugle qui se déplace dans un lieu inconnu, trouver la bande de guidage et savoir où elle mène ne sera pas toujours aisé.

Hormis les aménagements spécifiques, l'architecture de l'environnement en lui-même peut être facilitateur (ou à l'inverse être un frein) pour le piéton aveugle (Grange-Faivre et al., 2015). Par exemple, se déplacer dans certains environnements urbains, tels qu'une ruelle, est vécu avec plus de plaisir et moins d'anxiété par les individus aveugles que d'autres environnements, comme les places (Baltenneck, Portalier, Chapon, & Osiurak, 2012). Ces environnements les plus appréciés par les personnes aveugles sont ceux qui sont les plus favorables à la prise d'axe de la trajectoire et à son maintien. De plus, la régularité de l'arrangement spatial de l'architecture urbaine fournie des informations aux personnes

aveugles, lorsqu'elles se déplacent dans un environnement non familier. En effet, il peut y avoir des agencements spatiaux semblables dans différents espaces urbains (espaces stéréotypés ; Foulke, 1985, 1996). Les individus aveugles font ainsi des prédictions issues de généralisations d'espaces stéréotypés à propos des éléments spatiaux d'un environnement (Strelow, 1985). Ces prédictions ne leur permettent pas de se déplacer aussi efficacement que s'ils étaient dans un lieu connu, mais peuvent être toutefois utiles en l'absence d'information plus précise.

Les représentations symboliques : descriptions verbales et cartes tactiles

Les piétons aveugles peuvent également avoir accès à des informations liées à l'espace qui ne sont pas fournies par l'environnement, mais via des descriptions verbales ou des cartes tactiles. L'information verbale peut être acquise au moment de la préparation du trajet, pendant lequel la personne aveugle va demander à une connaissance (voyante ou aveugle) de lui décrire le trajet qu'elle aura à effectuer. Elle peut également être acquise en cours de route, si la personne aveugle demande des indications à un passant, car elle s'est perdue, ou parce que l'itinéraire prévu est impraticable (à cause de travaux par exemple) et doit être modifié. Bradley & Dunlop (2005) ont montré que le contenu de descriptions verbales d'itinéraires réalisés par des personnes voyantes était différent de celles produites par des personnes présentant une atteinte visuelle. Par exemple, seules les descriptions des personnes avec une atteinte visuelle comprenaient des informations relatives aux sens (le son des voitures, l'odeur de la boulangerie), au mouvement (l'ouverture d'une porte) et aux contacts sociaux (demander à quelqu'un). Les personnes avec une atteinte visuelle rapportaient moins de contenu textuel (nom des rues), mais plus d'informations descriptives. Elles permettaient à des participants avec atteinte visuelle (aveugles et malvoyants) de réaliser l'itinéraire plus rapidement et avec moins d'effort ressenti que lorsque les descriptions étaient produites par des personnes voyantes. L'information verbale donnée par les personnes voyantes n'est donc pas toujours la mieux adaptée car les éléments de l'environnement décrits (par exemple le nom des rues) ne sont pas assez adéquats pour permettre aux piétons aveugles de s'orienter.

Les personnes aveugles peuvent également acquérir de l'information spatiale au travers de l'exploration manuelle de cartes tactiles. Les cartes tactiles apportent une vue d'ensemble d'espaces larges (une ville, un pays) ou réduits (un immeuble, une salle) selon l'échelle choisie (Hatwell & Martinez-Sarocchi, 2000). Le niveau de détails peut également varier, une carte trop complète sera illisible et trop difficile à mémoriser tandis qu'une carte trop simplifiée n'apportera pas assez d'informations utiles (Hatwell & Martinez-Sarocchi, 2000).

Bien qu'elles permettent aux personnes aveugles d'avoir accès aux relations spatiales (estimation de distances et directions) entre différents éléments (rues, bâtiments) et de trouver un itinéraire entre deux points (Hatwell & Martinez-Sarocchi, 2000), les cartes tactiles présentent quelques limites (Brock, Oriola, Truillet, Jouffrais, & Picard, 2013). En effet, la mémoire du lecteur est rapidement surchargée à la fois par la quantité élevée d'informations contenues dans la carte et par la nature séquentielle du traitement haptique. De plus, l'utilisation de caractères braille dans les légendes limite l'accessibilité des cartes tactiles à un faible nombre de personnes (Brock et al., 2013) puisque seulement 15 % des personnes aveugles françaises lisent le Braille (C2RP, 2005). Néanmoins, le développement récent des cartes interactives permet de surmonter ces limites (Brock et al., 2013).

Espinosa, Ungar, Ochaita, Blades, & Spencer (1998) ont montré que l'apprentissage d'un itinéraire long et complexe par des personnes aveugles précoces est mieux réalisé via l'expérience directe de l'environnement alliée à l'utilisation d'une carte tactile que via l'expérience directe alliée à une description verbale ou l'expérience directe seule. Ces résultats suggèrent que les cartes tactiles fournissent des informations plus utiles aux personnes aveugles que les descriptions verbales. Cela doit cependant être nuancé par le fait que certaines descriptions verbales (par exemple celles faisant références aux modalités sensorielles) apportent une meilleure aide aux personnes aveugles que d'autres (Bradley & Dunlop, 2005). Quant aux cartes tactiles, leur niveau de détails et la taille de leur échelle peut les rendre trop simples pour fournir suffisamment d'informations permettant le déplacement du piéton aveugle ou au contraire trop complexes à explorer et à mémoriser.

En conclusion, les personnes aveugles utilisent des informations issues à la fois d'outils spécifiques (la canne blanche ou le chien-guide, une aide technologique), d'éléments de l'environnement ou via des supports symboliques tels que le langage ou une carte tactile, médiées par les modalités sensorielles dont elles disposent. Cela leur permet donc, avec plus ou moins de facilité, de se mouvoir et s'orienter dans l'espace, bien que le traitement des informations fournies et/ou leur compréhension puissent impliquer un effort cognitif important.

2.3. Locomotion du piéton aveugle

La vision a une importance prépondérante dans la locomotion humaine. Au cours du développement, elle joue un rôle dans la mise en place de la coordination motrice les premiers mois de la vie, puis dans l'apprentissage de la marche à quatre pattes, et enfin de la marche (Warren, 1974). En conséquence, notamment parce qu'il a moins de sollicitations à atteindre des objets non perçus visuellement, l'enfant aveugle a un retard dans le développement de sa

motricité et locomotion (Hatwell, 2003a), qui sera rattrapé si l'enfant ne présente pas d'autre atteinte associée. Chez l'adulte voyant, la trajectoire est naturellement guidée par la perception visuelle du but à atteindre ou de points de repère intermédiaires (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997). En l'absence de vision, les obstacles à éviter sont perçus plus tardivement et le guidage vers la destination est plus complexe. Ainsi, dans un premier temps, les études portant sur les caractéristiques de la marche des personnes aveugles adultes seront présentées puis les recherches menées sur leur capacité à garder un axe de trajectoire seront décrites.

La marche des personnes aveugles a déjà fait l'objet de plusieurs études. Par exemple, en 1985, Knutzen, Hamill, & Bates ont analysé avec une plateforme de force les caractéristiques ambulatoires de cinq participants aveugles (quatre précoces et un tardif) sans aide à la mobilité, cinq participants voyants et cinq participants voyants aux yeux bandés sur une distance de cinq mètres. Les forces de réaction au sol des trois groupes étaient similaires, excepté pour les forces de freinage et de propulsion qui étaient plus grandes pour les participants aveugles, suggérant une démarche plus saccadée. Dans une autre étude, Nakamura (1997) a comparé la marche de quinze participants aveugles précoces, quinze participants aveugles tardifs et quinze participants voyants sur une distance de 10 m, à leur vitesse de marche préférée. Les participants voyants marchaient plus rapidement et avaient des pas plus courts que les participants aveugles tardifs, qui eux-mêmes marchaient plus rapidement et avaient des pas plus courts que les participants aveugles précoces. La durée de la phase d'appui au sol était plus longue pour les participants aveugles précoces que les participants aveugles tardifs, et plus courte pour les participants voyants. De plus, les paramètres de marche des participants aveugles tardifs avaient tendance à approcher ceux des participants aveugles précoces à mesure que la durée de l'acquisition de la cécité était grande, suggérant que les personnes aveugles tardives adaptent leur démarche avec le temps. Cependant, les relations entre les paramètres de marche étaient constantes quel que soit le groupe considéré, suggérant que les trois groupes partageaient un pattern de marche similaire. Dans cette étude, il n'est pas indiqué si les participants aveugles étaient équipés ou non de leur aide à la locomotion habituelle. Si ce n'est pas le cas, la démarche plus prudente des participants aveugles peut également être liée à l'absence de cette aide, qui, en apportant une anticipation des obstacles, permet d'avoir une démarche plus sûre. D'autres auteurs ont montré que la vitesse, la longueur et la fréquence des pas de participants voyants étaient significativement inférieurs lorsqu'ils avaient les yeux bandés par rapport à lorsqu'ils n'avaient pas d'occlusion de la vision, alors même qu'ils marchaient de façon rectiligne dans un environnement sans obstacle (Hallemans, Ortibus, Meire, & Aerts, 2010). L'absence de vision, même transitoire et dans un environnement sécure, entraîne une adaptation de la démarche.

Mason, Legge, & Kallie (2005) ont, quant à eux, évalué la variabilité des pas de douze participants avec atteinte visuelle (cécité et malvoyance) et de six participants voyants marchant à une vitesse lente, rapide ou préférée sur une distance de 25 m. Parmi les participants avec atteinte visuelle, quatre utilisaient une canne blanche, quatre un chien-guide et quatre n'avaient aucune aide à la mobilité ; six participants étaient répartis dans un groupe jeune (24 à 32 ans) et six dans un groupe âgé (53 à 62 ans). La fréquence et la longueur des pas des participants voyants et des participants avec atteinte visuelle étaient peu variables pour les trois vitesses de marche et ne différaient pas significativement d'un groupe à l'autre, même lorsque la comparaison était faite entre les participants voyants et aveugles (retrait des participants malvoyants). Aucun effet de l'aide à la mobilité ni de l'âge n'a été trouvé pour les participants avec une atteinte visuelle, bien que la taille limitée des groupes puisse expliquer l'absence de significativité.

Ainsi, d'après les résultats de l'ensemble des études présentées, sur une courte distance, sur un cheminement rectiligne et sans obstacle, la marche des personnes aveugles semble être comparable à celle des personnes voyantes, tout en étant plus prudente et saccadée. Cependant, ces études étaient menées dans des environnements de laboratoire, où les participants marchaient de façon rectiligne, sur une courte distance, sans obstacle à éviter.

Afin de collecter des données sur la marche des personnes aveugles dans une situation plus réaliste, Clark-Carter, Heyes & Howarth ont analysé la marche de trois participants aveugles sur un itinéraire d'environ 100 mètres, en extérieur. Dans une première publication, les auteurs ont montré que la complexité de l'itinéraire avait un effet sur la vitesse des participants (Clark-Carter et al., 1986b). En effet, lorsque le parcours à réaliser était sur une allée rectiligne, sans obstacle et bordée d'une délimitation continue, les participants marchaient significativement plus rapidement que lorsque le parcours était sur une allée plus étroite, rectiligne, bordée d'une délimitation non continue, avec des obstacles à l'extérieur de l'allée. Les participants marchaient également significativement plus rapidement dans cette dernière condition que lorsque le parcours était sur une allée encore plus étroite, non rectiligne, avec des obstacles, une délimitation mal définie, et un franchissement de voie à réaliser. Dans une seconde publication (Clark-Carter, Heyes, & Howarth, 1987), les auteurs ont montré que lorsque l'itinéraire à réaliser était en ligne droite et sans obstacle, les participants avaient tendance (différences non significatives) à marcher plus lentement, avec des foulées plus petites et de plus longue durée quand ils marchaient en autonomie avec leur canne blanche que lorsqu'ils étaient accompagnés d'un guide voyant. Ainsi, la démarche des personnes

aveugles se modifie selon le contexte (l'environnement de déplacement ou le fait d'être accompagné).

La tendance à dévier d'une trajectoire censée être rectiligne est une des conséquences importantes de l'absence de la vision sur la marche. Ce phénomène est observé chez les personnes voyantes lorsqu'elles se déplacent dans la nuit noire ou dans une forêt par temps couvert (Souman, Frissen, Sreenivasa, & Ernst, 2008). Pour les personnes aveugles se déplaçant en milieu urbain, une déviation trop importante peut mener à une situation dangereuse. Par exemple, en traversant une rue à une intersection, une personne aveugle peut dévier et se retrouver au milieu du trafic de la rue perpendiculaire (Guth & LaDuke, 1994 ; Kallie, Schrater, & Legge, 2007). Il est difficile pour les personnes aveugles d'estimer si elles ont dévié de la trajectoire initiale ou non (Guth, 2007). Des informations auditives (le son d'une balise sonore ou le bruit du trafic automobile) ou tactiles (le maintien d'un contact physique avec la bordure du trottoir ou un mur via la canne blanche) peuvent permettre d'atténuer ce comportement (Guth, 2007 ; Guth & LaDuke, 1994).

La tendance à la déviation en l'absence de vision a été étudiée lors d'une expérimentation portant sur 164 participants aveugles et 30 participants voyants menée en 1967 (Cratty). Les participants aveugles étaient âgés de 8 à 86 ans (dont 51 étaient aveugles de naissance et le reste aveugles tardifs), présentaient ou non des résidus visuels, et se déplaçaient avec une canne blanche, un chien-guide ou un accompagnant humain. Tous les participants, avaient les yeux bandés et les oreilles obstruées, et devaient marcher sur un terrain d'environ 100 m par 130 m. Les participants voyants aux yeux bandés ont significativement plus dévié que les participants aveugles. Les participants aveugles de naissance déviaient significativement moins que les participants aveugles tardifs, et les participants aveugles depuis plus de dix ans déviaient significativement moins que ceux aveugles depuis une plus courte période de temps. Ainsi, l'expérience semble améliorer la capacité à garder une trajectoire rectiligne en l'absence de vision. De plus, les participants aveugles les plus âgés déviaient plus que les participants les plus jeunes (bien que l'âge seuil utilisé pour distinguer les participants âgés des jeunes n'ait pas été précisé par l'auteur). La tendance à dévier peut être ainsi expliquée par des facteurs personnels tels que l'âge ou le fait d'être aveugle précoce ou tardif. En revanche, aucune analyse de l'effet de l'aide à la mobilité habituelle n'a été décrite. Kallie et al. (2007) n'ont quant à eux pas trouvé de différence d'amplitude de déviation entre des participants aveugles et des participants voyants aux oreilles obstruées. Néanmoins, la taille limitée des échantillons (cinq personnes par groupe) et la faible distance parcourue par les participants (9 m) nuance cette absence de différence. De plus, tous les participants aveugles, testés sans aide au déplacement, utilisaient

habituellement un chien-guide, et n'étaient pas forcément "entraînés" à garder une trajectoire rectiligne, le chien-guide prenant en charge la gestion de la trajectoire. Guth & LaDuke (1995) ont quant à eux étudié la variabilité de la déviation de la trajectoire de participants aveugles. Ils ont montré qu'elle peut être à la fois intra-individuelle et inter-individuelle. En effet, parmi les quatre participants aveugles testés (deux aveugles précoces et deux tardifs) au travers de trois sessions de quinze essais de marche sur une distance de 25 m, un participant déviait systématiquement vers la droite, un autre vers la gauche et les deux autres indifféremment de l'un ou l'autre des côtés selon les essais, sans que ces tendances à dévier puissent être expliquées par des variables telles que l'âge d'acquisition de la cécité.

La consigne expérimentale donnée aux participants semble également avoir un impact sur l'amplitude de la déviation. Vuillerme, Nougier, & Camicioli (2002) ont montré qu'en marchant sur une distance de 15 m, des participants voyants aux yeux bandés déviaient moins lorsqu'ils étaient distraits par une autre tâche (réciter mentalement des noms) que lorsqu'ils marchaient sans instruction spécifique ; et qu'ils déviaient moins dans cette dernière condition que lorsqu'ils avaient pour consigne explicite de marcher en ligne droite. Ainsi, tenter de contrôler sa trajectoire en marchant sans information visuelle donne lieu à une déviation étonnamment plus importante chez les personnes voyantes.

Etant réalisées dans des situations non écologiques (pas d'indices sonore ou tactile sur lesquels s'appuyer, voire les oreilles des participants obstruées), ces études ne rendent pas compte de la déviation des personnes aveugles lors de leurs déplacements quotidiens. En effet, l'environnement urbain fournit habituellement de tels indices qui permettent de limiter la déviation (Guth, 2007). Ainsi, Wersényi & Répás (2012) ont testé l'effet de la présence d'indices sonores sur la déviation. Cent vingt participants voyants aux yeux bandés devaient marcher sur une distance de 40 m. La déviation était moins importante lorsqu'un son (un bruit blanc ou un son composé de clics) était diffusé du point d'arrivée que lorsqu'aucun indice perceptuel n'était disponible.

La marche des personnes aveugles, bien que plus prudente, est comparable à celle des personnes voyantes lors de déplacements sur une faible distance, dans des environnements sans stimulation. En revanche, dans des environnements plus écologiques, leur démarche est modifiée par des facteurs tels que la complexité du lieu. Quant à la déviation de trajectoire des personnes aveugles, elle a été montrée comme étant similaire à celle des personnes voyantes aux yeux bandés (Kallie et al., 2007), ou moins importante (Cratty, 1967). Ces divergences peuvent être expliquées par des différences d'ordre méthodologique (distances parcourues différentes, tailles d'échantillons parfois limitées, choix des

participants). En outre, l'amplitude de la déviation semble être liée à des facteurs individuels (l'âge, l'âge d'acquisition de la cécité) et des études menées auprès de personnes voyantes aux yeux bandés ont montré que des facteurs contextuels pouvaient également l'influencer (présence d'indices sonores, consigne expérimentale). En plus de ces activités liées à la locomotion (aspects moteurs de la marche, gestion des obstacles et de la trajectoire), se déplacer sans voir implique des mécanismes liés à la navigation, afin de suivre un itinéraire menant à un point d'arrivée. Dans la prochaine partie, la navigation du piéton aveugle sera décrite.

2.4. Navigation du piéton aveugle

La navigation piétonne est réalisée principalement dans un environnement urbain. Cet environnement est constitué de segments de chemin[5], qui sont connectés entre eux au niveau des intersections (Foulke, 1985). Les piétons avancent le long de segments de chemins et doivent prendre des décisions lorsqu'ils arrivent aux intersections. Les points de repère, placés sur les segments ou hors de ces segments, permettent au piéton de se localiser dans l'espace et la prise de décision lors de la navigation (Michon & Denis, 2001). Un **point de repère** peut être défini comme une caractéristique de l'espace qui se distingue des autres caractéristiques (objet, courbe, irrégularité de surface par exemple ; Foulke, 1985). Le point de repère peut être proche ou distant, et une caractéristique de l'espace devient un point de repère lorsque le piéton devient capable de se la rappeler. Pour s'orienter dans l'espace, le piéton doit connaître les relations des points de repères les uns par rapport aux autres et être capable de mettre à jour, au cours de son déplacement, sa position par rapport à ces points de repères. Autrement dit, le piéton s'appuie sur une représentation mentale de l'espace (ou représentation spatiale).

Une **représentation spatiale** est une schématisation interne de l'environnement externe, des objets qui le composent et de leurs relations spatiales les uns aux autres (Golledge, Jacobson, Kitchin, & Blades, 2000). Une représentation spatiale contient uniquement les informations pertinentes pour l'individu (les points de repère) alors que les informations non pertinentes y sont omises. Elle est ainsi par nature sélective. De plus, la représentation spatiale d'un environnement peut être distordue (distances et angles déformés par rapport à la réalité), menant à des erreurs de parcours. Cette déformation peut être corrigée en confrontant la représentation mentale et l'espace réel (points de repères encodés

[5] *Path* en anglais

en mémoire et points de repères perçus). Il y a deux principaux types de représentations spatiales, la représentation de type égocentrée (ou de type route) et la représentation de type allocentrée (appelée aussi carte mentale ou carte cognitive ; O'Keefe & Nadel, 1978).

La **représentation égocentrée** implique un cadre de référence centré sur le corps de l'individu. Elle est séquentielle, c'est-à-dire qu'elle contient la séquence de segments à suivre pour aller d'un point de départ à un point d'arrivée. La personne navigue dans l'espace en suivant de proche en proche, une série de points de repère mémorisés. Ce type de représentation est non flexible, puisque si le piéton oublie une étape, s'éloigne du chemin, ou si le chemin est bloqué, il ne peut atteindre le point d'arrivée.

La **représentation allocentrée** est une représentation de la structure globale de l'espace, centrée sur un objet ou l'environnement lui-même et est indépendante de la position de l'individu. Elle permet d'avoir accès aux propriétés topographiques de l'espace et de déterminer des directions de lieux qui sont en dehors du champ perceptif. Les relations spatiales entre différents points de l'espace peuvent être établies, même si ces lieux n'ont jamais été reliés physiquement. La représentation allocentrée est organisée hiérarchiquement (en différentes zones). Il s'agit d'une représentation très flexible, puisqu'elle permet au piéton de réorganiser son déplacement (contourner un obstacle, prendre un raccourci, changer sa destination en cours de route, etc.). Les représentations spatiales allocentrées sont plus longues et difficiles à mettre en place, mais une fois qu'elles le sont, elles permettent au piéton d'être plus performant pour naviguer (prendre un raccourci par exemple).

Ainsi, les représentations spatiales des individus peuvent être égocentrées ou allocentrées, mais également être mixtes, placées sur un continuum entre ces deux types de représentation. Lorsqu'un individu se déplace dans un environnement, différents facteurs vont agir sur le niveau de complexité de la représentation qu'il va construire. Le type de représentation spatiale peut dépendre du **but de l'individu**. Dans certains cas, pour aller ponctuellement dans un lieu spécifique, l'individu aura juste besoin de connaître l'itinéraire pour y parvenir. En revanche, lorsque le lieu va être fréquemment visité (par exemple dans le cas d'un emménagement dans un nouveau quartier), l'individu trouvera une utilité à construire une représentation plus élaborée (Rand, Creem-Regehr, & Thompson, 2015). Le **niveau de familiarité** avec le lieu est également crucial dans la précision de la représentation mentale construite. Le niveau de complexité des représentations spatiales que construit un individu dépendra également de ses habiletés spatiales, qui varient selon des **facteurs individuels** tels que l'âge, le genre, la présence de pathologie psychiatrique, des prédispositions

biologiques, mais également le niveau d'expérience de navigation (pour une revue, voir Wolbers & Hegarty, 2010).

Les représentations spatiales sont principalement acquises, enrichies et corrigées avec l'expérience directe de l'espace, mais peuvent également l'être à l'aide d'un support symbolique (une carte ou des indications verbales par exemple). L'expérience directe est réalisée principalement via la vision, et, dans une moindre mesure, via les autres sens. Ainsi, la question de la possibilité que les personnes aveugles peuvent avoir accès à des représentions mentales de l'espace complexes a beaucoup été débattue dans la littérature (Strelow, 1985).

Pour certains auteurs, la vision serait primordiale dans la mise en place des représentations spatiales complexes (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997). Les représentations spatiales des personnes aveugles seraient moins précises et fiables que celles des personnes voyantes (Foulke, 1996). Elles contiendraient moins d'informations puisque l'accès aux caractéristiques spatiales de l'environnement est limité (Strelow, 1985). Néanmoins, les autres modalités perceptives permettraient de construire des représentations spatiales en l'absence de vision chez les individus qui ont déjà fait l'expérience de traitements visuels au préalable (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997). Ainsi, la possibilité que les personnes aveugles précoces (ou congénitales) puissent obtenir des performances similaires aux personnes aveugles tardives ou aux personnes voyantes dans des tâches impliquant la construction d'une représentation spatiale allocentrée (carte cognitive) a également longuement été débattue (pour des revues, voir Cattaneo & Vecchi, 2011 ; Kitchin, Blades, & Golledge, 1997 ; Thinus-Blanc & Gaunet, 1997).

Pour s'orienter dans l'environnement, le piéton aveugle s'appuie fortement sur les points de repères en mémoire qui lui permettent de se localiser à travers l'espace dans lequel il se déplace (Foulke, 1996). Ainsi, il s'appuie sur plus de points de repère que le piéton voyant, la portée de ses systèmes de perception étant plus réduite que celle de la vision (Foulke, 1996). Pour certains auteurs, les personnes aveugles (même précoces) pourraient obtenir des performances similaires voire supérieures à celles de personnes voyantes aux yeux bandés dans des tâches impliquant la mise en place de représentations spatiales complexes (Passini & Proulx, 1988 ; Passini, Proulx, & Rainville, 1990 ; Schinazi, Thrash, & Chebat, 2016 ; Tinti, Adenzato, Tamietto, & Cornoldi, 2006).

Les divergences de résultats pourraient être liées aux décisions méthodologiques adoptées dans les différentes études (Kitchin & Jacobson, 1997 ; Schinazi et al., 2016 ; Strelow, 1985). Par exemple, une étude a mis en évidence que la capacité à construire une

représentation spatiale de type allocentré en l'absence de vision était en partie liée à l'échelle de l'espace considéré (Iachini, Ruggiero, & Ruotolo, 2014). Les auteurs ont comparé la performance de participants aveugles précoces et tardifs et participants voyants à une tâche impliquant un cadre de référence allocentré et égocentrique d'un espace à petite ou à grande échelle. Les participants aveugles précoces ont eu plus de difficultés que les voyants dans l'espace dit à grande échelle, particulièrement pour la tâche nécessitant un cadre de référence allocentré. Les participants aveugles tardifs ont éprouvé moins de difficultés que les participants aveugles précoces, suggérant que l'expérience de la modalité visuelle pour le traitement de l'information spatiale apporte un bénéfice pour le traitement de l'information spatiale perçue non visuellement. Ainsi, l'absence de vision affecte peu l'utilisation d'un cadre de référence égocentrique alors qu'elle affecte bien plus l'utilisation d'un cadre de référence allocentré. Cela est particulièrement vrai lorsque l'information spatiale est traitée à grande échelle, et pour les individus qui n'ont jamais traité d'information spatiale via la modalité visuelle. En revanche, il faut remarquer que l'espace dit « à grande échelle » de cette expérimentation était une surface de 4 m par 4 m. Il serait intéressant de savoir si le pattern de résultat serait similaire dans un espace à plus grande échelle, tel qu'un quartier, échelle dans laquelle les personnes aveugles autonomes dans leur déplacement naviguent quotidiennement.

De plus, d'autres auteurs proposent que ces différences observées entre les personnes aveugles et les personnes voyantes soient plutôt liées à la nature des tâches effectuées dans les expérimentations. Par exemple, Kitchin & Jacobson (1997) rapportent que la plupart des méthodes évaluant les connaissances spatiales des individus aveugles impliquent de juger de la qualité d'une représentation de la représentation mentale (par exemple avec un dessin, une maquette) plutôt que la représentation elle-même. Ces mêmes auteurs ajoutent que la connaissance spatiale (et son utilité concrète) serait mieux évaluée au travers de tâches de navigation dans un environnement complexe. Néanmoins, une performance de navigation pourrait être attribuée à la réussite de l'individu testée à trois niveaux, interdépendants les uns des autres : la précision avec laquelle les informations spatiales sont encodées via l'expérience sensorielle, la capacité à former une représentation spatiale de l'environnement, et la façon dont la représentation spatiale est utilisée pour guider la navigation (Wolbers & Hegarty, 2010). Elle est donc caractérisée par des séquences de comportements hautement intégrés, rendant son observation difficile (Foulke, 1985). Un autre problème d'ordre méthodologique est lié au fait de contraindre des personnes aveugles et des personnes voyantes à adopter des stratégies similaires pour comparer leurs représentations spatiales : par exemple lorsque les yeux des participants voyants sont bandés ou que les participants

aveugles réalisent une tâche visuelle (pointer une orientation ou dessiner par exemple ; Schinazi et al., 2016).

En plus de ces biais méthodologiques, une variabilité inter-individuelle au sein des personnes aveugles pourrait également expliquer les résultats divergents. Schmidt, Tinti, Fantino, Mammarella, & Cornoldi (2013), en cherchant à savoir si le fait d'être aveugle de naissance influençait la capacité à construire une représentation spatiale basée sur une description verbale de type égocentrée ou allocentrée, ont trouvé que les performances des aveugles étaient à la fois liées à leur niveau de mobilité et aux stratégies de mémorisation de l'information. En effet, la performance moyenne de l'ensemble des participants aveugles était moins bonne que celle des participants voyants. Quel que soit le groupe considéré, les participants qui ont déclaré avoir utilisé une stratégie d'imagerie mentale ont mieux réussi que ceux qui ont utilisé une stratégie de mémorisation séquentielle du texte, suggérant que la manière d'encoder l'information a une incidence sur la qualité de la représentation. Plus important encore, les participants voyants et les participants aveugles autonomes dans leurs déplacements avaient le plus de chance d'avoir des stratégies d'imagerie que les participants aveugles non autonomes. Ainsi, cette étude, bien que cohérente avec d'autres montrant des performances inférieures pour les personnes aveugles précoces à des tâches de représentation spatiales, permet de les nuancer. D'une part, les résultats suggèrent que ces moins bonnes performances des personnes aveugles précoces peuvent être expliquées par l'utilisation de moins bonnes stratégies de construction de représentation plutôt qu'à une incapacité à créer de telles représentations spatiales. D'autre part, ils mettent en évidence que certaines personnes aveugles de naissance peuvent avoir des performances comparables aux personnes voyantes. Ces personnes sont à la fois celles qui utilisent des stratégies similaires à celles des personnes voyantes pour construire leur représentation spatiale, et à la fois celles qui présentent une bonne autonomie dans leurs déplacements.

Ainsi, certaines études montrent que les personnes aveugles (en particulier précoces) échouent dans la réalisation de tâches spatiales alors que d'autres montrent que leurs performances sont similaires, voire supérieures à celles des personnes voyantes aux yeux bandés. Ces divergences peuvent être expliquées par des différences d'ordre méthodologique, ou par le fait que les personnes aveugles n'ont pas toutes les mêmes habiletés à construire des représentations spatiales complexes. Ainsi, les personnes aveugles peuvent parvenir à naviguer dans un environnement et à en construire une représentation mentale. Certaines personnes aveugles, même précoces, arrivent à construire des représentations spatiales efficaces, notamment si elles utilisent des stratégies similaires à

celles des personnes voyantes (Schmidt et al., 2013). En conséquence, le niveau de mobilité des participants aveugles est un facteur important à contrôler.

3. Se déplacer sans voir, un coût cognitif important

Comme cela a été décrit tout au long de cette partie II., se déplacer sans voir est plus complexe que lorsque la vision est disponible. Le nombre de points de repère perceptibles est bien plus limité (notamment les points de repère distants), l'environnement est perçu avec beaucoup moins de détails, et la prise et le traitement des informations non visuelles sont réalisés de façon séquentielle. Ainsi, en l'absence de vision, construire une représentation de l'espace est plus difficile et cette dernière est souvent moins précise.

Par ailleurs, en situation de déplacement, l'absence de vision réduit l'anticipation perceptive (Foulke, 1985) ou la « pré-vision » (Hatwell, 2003b). Alors que la personne aveugle doit entrer en contact physique via la canne avec la majorité des éléments de l'espace (ceux qui ne sont pas sonores) pour les percevoir, la vision permet la perception d'objets distants. Le piéton aveugle doit être attentif tout au long du parcours pour naviguer (détecter les points de repère nécessaires à son orientation) et rester en sécurité (réagir rapidement lorsqu'il perçoit un obstacle ou une marche descendante). La diminution de l'anticipation perceptible peut être en partie compensée par un grand appui sur l'anticipation cognitive qui correspond à une utilisation des représentations spatiales en mémoire (Foulke, 1985). Néanmoins, une anticipation cognitive efficace est possible uniquement lorsque le piéton a une bonne représentation du lieu dans lequel il se trouve et elle est inefficace pour traiter des obstacles imprévus (terrasses de café, vélos, poubelles sur le trottoir). C'est une compensation qui est seulement partielle, et coûteuse d'un point de vue cognitif.

L'activité de déplacement est un processus principalement automatisé lorsque la vision est présente, peu coûteuse cognitivement. En effet, les personnes voyantes pour la plupart ne réfléchissent pas à la manière dont elles évitent les obstacles, marchent de façon rectiligne et reconnaissent les points de repère (Giudice & Legge, 2008). Au contraire, les personnes aveugles ont consciemment appris à réalisent ces activités et les font de façon hautement contrôlée. Ainsi, l'activité de déplacement semble exiger une charge cognitive plus importante lorsqu'elle est réalisée en l'absence de vision.

La charge cognitive (ou charge mentale) renvoie à la quantité d'effort que doit fournir un individu pour réaliser une activité mentale, en analogie avec la charge et l'effort physique (Chanquoy, Tricot, & Sweller, 2007). Cette quantité d'effort cognitif dépend donc à la fois des exigences de la tâche mais également des ressources cognitives dont dispose l'individu au

moment où il réalise la tâche. Ainsi, les fluctuations de la charge cognitive peuvent être liées à plusieurs paramètres : la difficulté de la tâche, le niveau d'attention que mobilise la tâche, la mémoire (mémoire de travail et mémoire à long terme), le niveau d'expertise de l'individu par rapport à la tâche, les stratégies adoptées, ou encore l'effort qu'il fournit (lié à sa motivation et son niveau de fatigue). Plusieurs sources de charge mentale sont aussi d'origine non cognitive et peuvent avoir un effet sur la performance à la tâche : le stress, les émotions ou le niveau de vigilance (fluctuations chrono-biologiques). Avec une pratique prolongée, la réalisation d'une tâche donnée va impliquer une quantité d'effort de moins en moins importante. En effet, l'expertise entraîne une automatisation des processus, nécessitant moins de ressources attentionnelles (Schneider & Shiffrin, 1977). Les processus automatiques s'opposent ainsi aux processus contrôlés qui opèrent lors de la réalisation d'une tâche non apprise (Schneider & Shiffrin, 1977). Par rapport à un processus contrôlé, un processus automatique est plus rapide à exécuter, se réalise de façon non consciente, nécessite un effort cognitif faible et permet la réalisation d'autres traitements en parallèle. Un processus automatique est, par contre, irrépressible une fois amorcé et incontrôlable en cours d'exécution (Schneider & Shiffrin, 1977).

Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la charge cognitive d'une tâche et certaines d'entre elles ont déjà été utilisées pour appréhender l'activité de déplacement du piéton sans vision. Ces méthodes peuvent être regroupées en trois grandes catégories : les mesures subjectives, les mesures physiologiques et les mesures dites indirectes (Chanquoy et al., 2007).

L'évaluation subjective de la charge cognitive consiste à demander au participant de donner une valeur, placée sur une échelle, à la charge cognitive qu'il a éprouvée (ou qu'il éprouve) lors de la réalisation d'une tâche. Bien que ce type d'évaluation ne fournisse pas de mesure objective de la charge cognitive, son utilisation est néanmoins pertinente car l'individu semble être le mieux placé pour estimer lui-même l'effort que lui a coûté la réalisation de la tâche (par rapport à une autre ; Chanquoy et al., 2007). Plusieurs questionnaires subjectifs de mesure de la charge cognitive, qui prennent la forme d'échelle, ont été développés. Certains mesurent directement la charge mentale, avec une note attribuée lors de la réalisation d'une tâche donnée (par exemple l'échelle de Cooper-Harper ; Cooper & Harper, 1969, l'échelle de Bedfort ; Roscoe, 1987, la *Mental Effort Rating Scale* ; Paas & Van Merriënboer, 1993). D'autres questionnaires subjectifs mesurent l'ensemble de facteurs considérés comme ayant une influence sur la charge cognitive ; il s'agit dans ce cas d'échelles multidimentionnelles. Le NASA-TLX *(NASA Task Load Index* ; Hart & Staveland, 1988) est l'échelle subjective de mesure de la charge mentale la plus utilisée (Chanquoy et al., 2007). Cette échelle est

composée de six dimensions supposées représenter les facteurs les plus pertinents pour rendre compte de la charge mentale ressentie par une personne lorsqu'elle réalise une tâche. Trois de ces dimensions sont associées à la tâche (exigence mentale, exigence physique et pression temporelle), deux sont associées aux stratégies (performance et effort) et une au participant (frustration). Pour une tâche donnée, le participant doit attribuer un score sur une échelle désignant un niveau croissant d'intensité (de « faible » à « fort ») à chacune de ces dimensions. Ensuite, une procédure de comparaison permet de pondérer chaque dimension selon l'importance que lui attribue le participant dans la charge mentale induite par la tâche considérée. Cependant, cette procédure de pondération est coûteuse en temps et peut prêter à confusion chez les participants. Une version modifiée du NASA-TLX, le *Raw* TLX (RTLX), dans laquelle la pondération est éliminée, a été proposée et serait aussi sensible que l'échelle originale (Byers, Bittner, & Hill, 1989). Les différentes dimensions du NASA-TLX ont également fait l'objet de plusieurs modifications (Hart, 2006), afin que l'échelle, initialement conçue pour l'aéronautique, soit plus adaptée à d'autres domaines, tels que la conduite automobile, avec *The Driving Activity Load Index* (DALI ; Pauzié, 2008) ou la conduite de deux-roues avec *The Riding Activity Load Index* (RALI ; Pauzié, Gelau, & Aupetit, 2009). Par rapport à la version du NASA-TLX, l'auteure du DALI a retiré le facteur « exigence physique » puisqu'il n'est pas pertinent pour l'activité de conduite. Le facteur « exigence mentale », qui, dans la version originale englobe les opérations mentales et perceptives, a également été modifié. Ainsi, les six dimensions qui composent le DALI sont : l'effort d'attention, la demande visuelle, la demande auditive, la demande temporelle, l'interférence et le stress. D'autres échelles multidimensionnelles sont également utilisées, telles que la *Subjective Workload Assessment Technique* (SWAT ; Reid, Potter, & Bressler, 1989) composée de trois dimensions (la charge temporelle, l'effort mental et le stress psychologique) et la *Workload Profile* (Tsang & Velazquez, 1996) qui évalue huit dimensions (étape de traitement perceptif/central, étape de traitement de la réponse, code de traitement spatial, code de traitement verbal, entrée visuelle, entrée auditive, réponse manuelle, réponse vocale). La *Workload Profile* serait plus sensible et aurait une meilleure valeur diagnostique que la SWAT et le NASA-TLX (Chanquoy et al., 2007). En revanche, les huit dimensions semblent plus complexes à comprendre pour la personne interrogée, ce qui semble induire un risque que la réponse donnée ne corresponde pas tout à fait à la dimension censée être mesurée.

La charge cognitive impliquée par le déplacement piéton des personnes aveugles a déjà été mesurée avec une échelle subjective. Bradley & Dunlop (2005) ont utilisé le NASA-TLX après avoir demandé à huit participants malvoyants et aveugles (de naissance ou tardifs) de se déplacer, avec une canne ou un chien-guide, dans un environnement urbain, guidés par

des descriptions verbales enregistrées. Les participants ont rapporté avoir ressenti une plus grande exigence mentale et temporelle, un plus haut niveau d'effort et de frustration et une moins bonne performance lorsque les descriptions étaient produites par des personnes voyantes que lorsqu'elles étaient produites par des personnes avec une atteinte visuelle. La moyenne pondérée de la charge mentale était ainsi plus élevée lorsque les descriptions étaient enregistrées par des personnes voyantes, indiquant que réaliser l'itinéraire dans cette condition était plus coûteux cognitivement. C'est également dans cette condition que les participants mettaient plus de temps à réaliser la tâche de déplacement. En revanche, le choix de l'utilisation du NASA-TLX tel quel nous semble critiquable. En effet, les dimensions de la version originale ne semblent pas toutes appropriées à l'activité de déplacement sans vision, notamment la dimension « exigence mentale », qui implique les activités perceptuelles et mentales sans les différencier.

Les mesures physiologiques permettant de mesurer la charge cognitive sont le rythme cardiaque, l'activité électrodermale, la respiration, le diamètre pupillaire et l'imagerie cérébrale (Chanquoy et al., 2007). Le rythme cardiaque des personnes aveugles a déjà été mesuré en situation de déplacement à plusieurs reprises. Wycherley & Nicklin (1970) puis Peake & Leonard (1971) ont réalisé deux expérimentations dans lesquelles six participants aveugles et six participants voyants marchaient sur différents trajets de plus d'un kilomètre. Alors que la fréquence cardiaque des participants aveugles lorsqu'ils étaient accompagnés ne différait pas de celle des participants voyants (Peake & Leonard, 1971), elle était plus élevée pour les participants aveugles non accompagnés (Wycherley & Nicklin, 1970). Ces deux études ont révélé que l'apprentissage du trajet réduisait la fréquence cardiaque des participants aveugles. Peake & Leonard (1971) ont en outre montré que plus le trajet était complexe, plus la fréquence cardiaque des participants aveugles non accompagnés était élevée. Ainsi, la fréquence cardiaque des personnes aveugles est sensible au niveau de difficulté de la tâche de déplacement. En revanche, aucune distinction entre les personnes aveugles précoces et les personnes aveugles tardives n'a été faite dans les deux études (âge de la perte de vue non reporté), ni entre les personnes utilisant une canne blanche et celles utilisant un chien-guide (quatre utilisaient une canne blanche et deux un chien-guide dans l'étude de Wycherley & Nicklin, 1970). Il est important de souligner que dans ces deux études, la fréquence cardiaque était utilisée comme mesure de stress.

Massot, Baltenneck, Gehin, Dittmar, & McAdams (2012) ont mesuré l'activité électrodermale, pour rendre compte du niveau de stress subi par 27 participants aveugles (précoces et tardifs) lorsqu'ils se déplaçaient sur un parcours urbain de plus d'un kilomètre

avec leur canne blanche ou leur chien-guide. Les résultats ont montré que l'ambiance urbaine pouvait avoir un effet sur l'activité électrodermale.

Dans le cadre d'études pilotes, la conductance électrodermale alliée à l'électroencéphalographie (EEG, Mavros, Skroumpelou, & Smith, 2015), ou alliée à l'EEG et l'activité cardiaque (Saitis & Kalimeri, 2016) de participants avec une atteinte visuelle se déplaçant dans un environnement urbain ont été mesurées. Dans ces deux études, les paramètres physiologiques des participants variaient selon le contexte (par exemple augmentation lors des traversées de rue). Les auteurs suggèrent que ces outils sont prometteurs pour rendre compte de changements physiologiques induits par certaines situations de déplacement, mais ne précisent pas si ces variations physiologiques sont liées à des variations de niveau de charge cognitive, de stress ou d'un autre phénomène.

Le diamètre pupillaire et l'imagerie cérébrale (hors EEG) ne semblent pas avoir été utilisés en situation de déplacement avec des personnes aveugles, certainement en raison d'impossibilité méthodologique, la première n'étant pas adaptée à la population des personnes aveugles, la seconde à la situation de déplacement. Quant à la respiration, elle a été utilisée dans une étude pour montrer que l'effort physique (et non la charge cognitive) requis par la marche était plus important pour des adolescents aveugles que pour des adolescents voyants (Kobberling, Jankowski, & Leger, 1989).

Un élément à souligné est que les mesures de la fréquence cardiaque et de la réponse électrodermale réalisées auprès de personnes aveugles en situation de déplacement ont été utilisées afin de mesurer le stress. Or, bien que stress et charge cognitive soient en partie reliés (comme l'illustre le fait que le stress est souvent une dimension de la charge cognitive dans les mesures subjectives), ces deux termes ne renvoient pas au même phénomène. L'étude de la respiration a, quant à elle, été utilisée pour montrer que les aspects locomoteurs de la marche sont physiquement plus coûteux pour les adolescents aveugles que pour les adolescents voyants. Cela illustre le problème de la validité interne des mesures physiologiques. Elles sont en effet sensibles à une variété de facteurs tels que le stress, l'effort physique mais aussi les émotions (Chanquoy et al., 2007), qui peuvent tous varier (dépendamment ou indépendamment de la charge cognitive) dans une tâche de déplacement. En outre, ces méthodes nécessitent l'utilisation d'un équipement particulier et peuvent être invasives.

Mesurer indirectement la charge cognitive consiste à évaluer la charge de l'individu en observant sa performance (et plus précisément la variation de performance entre

différentes situations) lors de l'accomplissement d'une tâche. La mesure indirecte peut être réalisée soit au sein d'un paradigme de double tâche, soit sans double tâche.

Le paradigme de double tâche consiste en la réalisation de deux tâches en même temps. Réaliser simultanément les deux tâches modifie soit la performance à la tâche principale, soit à la tâche secondaire, soit aux deux, ou à aucune des deux tâches, selon le degré d'automatisation des tâches et la façon dont la répartition des ressources attentionnelles s'opère entre les deux tâches. Si l'individu a un niveau d'expertise élevé (acquis avec l'apprentissage) pour la réalisation de l'une des tâches, cette dernière sera réalisée de façon automatique et consommera peu de ressources attentionnelles. La performance aux deux tâches ne sera pas diminuée par la réalisation simultanée des deux tâches. Au contraire, si les tâches sont réalisées de façon contrôlée, la quantité de ressources attentionnelles nécessaire à leur accomplissement peut excéder la quantité dont dispose l'individu, et la performance à l'une des tâches ou aux deux sera atteinte, selon le niveau de surcharge. La performance aux deux tâches sera inégalement atteinte selon la manière dont sont réparties les ressources attentionnelles entre les deux tâches. La stratégie de répartition dépend de l'individu (motivation, sécurité) et/ou de la consigne qu'il a reçue. Le paradigme de double tâche a l'avantage d'être plus objectif que les questionnaires, et moins invasif et plus spécifique que les mesures physiologiques, qui sont plus sensibles aux émotions et à l'effort physique (Chanquoy et al., 2007).

Le paradigme de double tâche a beaucoup été utilisé pour mesurer le coût cognitif de l'activité de déplacement sans vision avec des participants voyants aux yeux bandés (Klatzky, Marston, Giudice, Golledge, & Loomis, 2006 ; Lajoie, Paquet, & Lafleur, 2013 ; Richer, Paquet, & Lajoie, 2014 ; Shingledecker, 1983) ou portant des lunettes de simulation de malvoyance (Rand et al., 2015). Ces études ont montré que se déplacer sans voir était une activité coûteuse, mais les résultats sont difficiles à interpréter puisque la cécité entraîne la mise en place de mécanismes compensatoires que les personnes voyantes ne peuvent acquérir simplement en ayant les yeux bandés. Ce type de paradigme a également été utilisé avec des personnes malvoyantes. Turano, Geruschat, & Stahl (1998) puis Geruschat & Turano (2007) ont ainsi montré que la performance à la tâche secondaire (répondre à des stimuli auditifs ou à des stimuli tactiles respectivement) était moins bonne pour les participants ayant une vision plus atteinte, et lorsque le déplacement était réalisé dans un environnement complexe. Ramsey, Blasch, Kita, & Johnson (1999) ont étudié la marche de participants malvoyants et aveugles (sans distinction entre les deux catégories) en condition de double tâche. Lorsque les participants devaient anticiper un dénivelé négatif simulé et réaliser une tâche secondaire (détection de stimuli auditifs) en marchant, la vélocité, la longueur de la fréquence des pas des

participants étaient diminuées, suggérant que la division de l'attention entraîne un ajustement de la marche. Shingledecker (1978) a montré que la performance à une tâche secondaire de détection de vibrations tactiles variait selon le niveau de connaissance du lieu pendant la marche sans vision. En effet, les participants qui réalisaient un déplacement sur un itinéraire inconnu avaient une performance à la tâche secondaire moins importante que ceux qui avaient déjà expérimenté l'itinéraire et que ceux qui le réalisaient pour la première fois mais qui obtenaient des informations verbales à propos de détails de l'environnement à un mètre. En outre, les performances à la tâche secondaire diminuaient à mesure que la complexité de la portion d'itinéraire traversée augmentait. Néanmoins, parce que les trois groupes de participants étaient composés de trois voyants aux yeux bandés et de deux participants aveugles, ces résultats sont difficilement généralisables. Malgré tout, le paradigme de double tâche semble approprié pour l'étude de la charge attentionnelle impliquée dans l'activité de déplacement sans vision. Il est en effet sensible à la complexité et au niveau de connaissance que la personne a de l'environnement dans lequel elle se déplace. La réalisation d'une tâche secondaire pendant l'activité de déplacement peut également avoir un effet sur la marche des personnes aveugles. En revanche, dans la majorité de ces études, ce sont des participants voyants aux yeux bandés ou malvoyants qui sont évalués. De plus, aucune étude basée sur un paradigme de double tâche ne semble avoir différencié des participants aveugles précoces de participants aveugles tardifs, alors que ces deux groupes ne partagent pas les mêmes habiletés spatiales (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997).

L'utilisation de mesures indirectes de charge cognitive sans double tâche consiste à observer des variations de performance entre différentes conditions d'une même activité (Chanquoy et al., 2007). Une variation de charge cognitive entraînerait ainsi une variation de performance. Dans le cadre de l'étude du déplacement des personnes aveugles, la variation de la vitesse de marche a été principalement étudiée.

Plusieurs études ont montré que la vitesse de marche, lors de tâche de déplacement, variait selon certains facteurs contextuels. Par exemple, la complexité de l'itinéraire (Haymes, Guest, Heyes, & Jonhson, 1996), l'aide à la mobilité utilisée (canne blanche ou chien-guide ; Clark-Carter et al., 1986b), le fait d'être accompagné ou non (Clark-Carter et al., 1987), et la longueur de l'anticipation perceptive fournie par une aide électronique détectant les obstacles (Clark-Carter, Heyes, & Howarth, 1986a) ont un effet sur la vitesse de marche. Ainsi, la variation de la vitesse de marche semble rendre compte de la variation de l'effort cognitif liée au contexte. Néanmoins, dans ces études, peu de participants aveugles étaient testés (trois participants ; Clark-Carter et al., 1986b), le groupe testé comportait à la fois des participants aveugles et des participants voyants aux yeux bandés (Clark-Carter et al., 1986a), ou le groupe

était principalement composé de personnes avec suffisamment de résidus visuels pour ne pas utiliser d'aide à la mobilité lors des déplacements quotidiens (seize des dix-huit participants dans l'étude de Haymes et al., 1996).

Chacune de ces méthodes de mesure de la charge cognitive comporte des limites (notamment au niveau de la sensibilité, de la spécificité et du pouvoir diagnostique) qui peuvent être atténuées via l'utilisation combinée de plusieurs mesures (Chanquoy et al., 2007).

Ainsi, en utilisant des méthodes de mesure de la charge cognitive différentes, plusieurs études ont montré que se déplacer sans voir était une activité cognitivement coûteuse. La majorité de ces études testaient parfois des participants voyants aux yeux bandés, des participants malvoyants, ou un nombre faible de participants aveugles, limitant la portée des résultats obtenus. Néanmoins, elles ont permis de montrer que la charge cognitive impliquée dans cette activité semblait varier selon le contexte de déplacement (la complexité de l'environnement, le niveau de connaissance de l'environnement, le fait d'être accompagné ou non). En revanche, peu d'études se sont intéressées aux niveaux de charge cognitive liés à des facteurs individuels, tels que l'âge de la personne, l'âge auquel elle a perdu la vue ou l'aide à la mobilité utilisée. Pourtant, comme cela a été indiqué à différentes reprises au cours de ce contexte théorique, ces facteurs peuvent influencer les processus mis en œuvre dans le déplacement sans voir. La réalisation fréquente de cette activité, qui implique une charge cognitive importante, sollicite fortement un ensemble de processus cognitifs, en particulier les mécanismes d'attention et de mémoire de travail, qui seront développés dans la prochaine partie.

III. L'attention et la mémoire de travail des personnes aveugles

Plusieurs auteurs ont suggéré que se déplacer sans voir impliquait une mobilisation de l'attention sélective, de l'inhibition attentionnelle, de l'attention soutenue, de l'attention divisée, de la flexibilité attentionnelle et de la mémoire de travail (Espinosa et al., 1998 ; Geruschat & Turano, 2007 ; Kujala, Lehtokoski, Alho, Kekoni, & Näätänen, 1997 ; Occelli, Spence, & Zampini, 2013). Dans un premier temps, ces processus cognitifs seront décrits, puis les résultats d'études relatives à ces processus menées auprès des personnes aveugles seront présentés. Enfin, les effets de l'âge sur ces processus seront exposés.

1. Les concepts d'attention et de mémoire de travail : rappels théoriques

L'attention est mobilisée dans toutes nos activités cognitives et dans de nombreuses activités quotidiennes (impliquant des processus perceptifs, moteurs et mentaux). C'est la définition de l'attention de William James (1890) qui est la plus souvent citée lorsque ce concept cognitif est évoqué : « *It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or train of thoughts. Focalisation, concentration, of consciousness are of its essence* ». Plusieurs notions importantes sont présentes dans cette définition, telles que la notion de sélection d'informations pertinentes parmi d'autres, celle de maintien de ces informations à la conscience et la notion d'efficience de traitement (« *in clear and vivid form* »). Ainsi, l'attention n'est pas un processus unitaire, mais plutôt un ensemble de processus cognitifs. Dans le cadre de ce travail, nous adopterons le modèle de Van Zomeren & Brouwer (1994) qui a l'avantage de regrouper l'ensemble des processus attentionnels autour de deux dimensions : l'intensité et la sélectivité dont le fonctionnement serait contrôlé par un système superviseur attentionnel (Van Zomeren & Brouwer, 1994 ; voir Figure 1). Ces deux dimensions sont des notions également évoquées par James (1980) dans sa définition de l'attention.

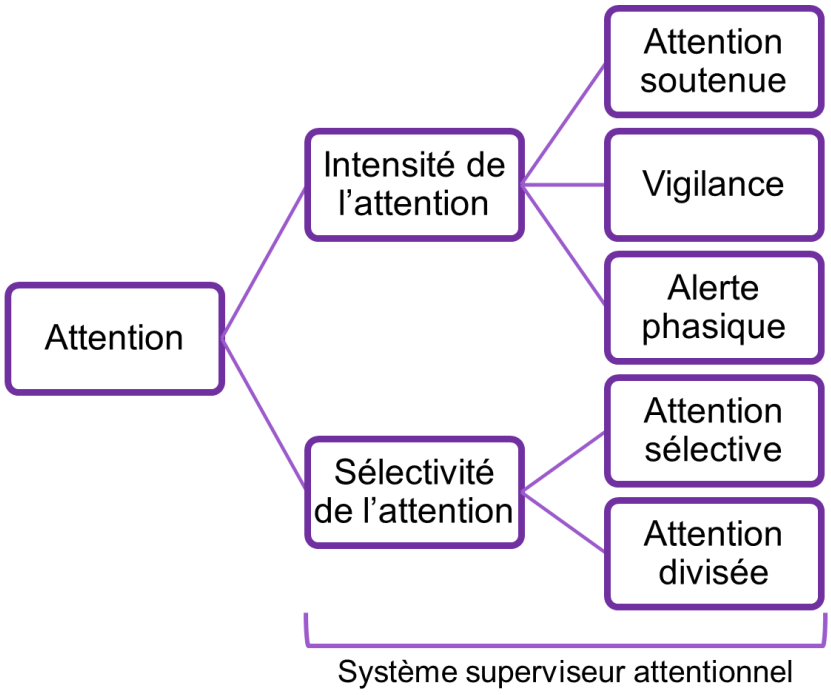

Figure 1. Modèle de l'attention (adapté d'après Van Zomeren & Brouwer, 1994)

L'intensité de l'attention consiste en un processus d'augmentation de l'activité perceptive, motrice et mentale afin de permettre un traitement efficace de l'information. Cette

dimension comprend l'attention soutenue, la vigilance et l'alerte phasique. L'attention soutenue et la vigilance renvoient à la capacité à maintenir un niveau d'efficacité suffisant et stable à la réalisation d'une tâche longue nécessitant un contrôle attentionnel continu. Ces deux processus se distinguent l'un de l'autre par la fréquence d'apparition des informations à traiter pour réaliser la tâche. L'attention soutenue est mobilisée lorsque les stimuli à traiter sont délivrés en un flux continu, alors que la vigilance est mobilisée lorsque la fréquence d'apparition des stimuli est très basse (lors d'une tâche monotone de surveillance ou de détection d'évènements rares).

Se déplacer sans voir nécessitant le traitement d'un flux d'informations continu, nous ne nous intéresserons pas à la vigilance dans le cadre de ce travail. Au contraire, **l'attention soutenue** nous apparaît massivement mobilisée par les personnes aveugles lorsqu'elles se déplacent. Le piéton aveugle doit traiter un grand nombre de stimuli tout au long de la réalisation d'un trajet dont la durée peut être longue. Ne pas percuter d'obstacle ou ne pas se perdre nécessite un effort attentionnel qui doit rester constant.

L'alerte phasique correspond à une augmentation soudaine, volontaire et transitoire de l'attention de l'individu à la suite d'un stimulus avertisseur. L'apparition de ce stimulus, caractérisé par sa soudaineté, son intensité, son contraste, son mouvement et/ou sa nouveauté, permet une optimisation de l'acuité perceptuelle et de la vitesse de traitement d'un stimulus cible consécutif (Posner & Rafal, 1987). Posner & Boies (1971) ont mis en évidence que la fenêtre temporelle la plus propice à une augmentation attentionnelle serait entre 500 et 1000 ms après le stimulus avertisseur. L'alerte phasique est un processus qui correspond ainsi à une préparation attentionnelle brève, et ne nous semble donc pas pertinente dans le cadre du déplacement du piéton aveugle, qui nécessite d'être prêt à réagir aux stimuli de l'environnement tout au long du parcours.

Ainsi, la dimension intensité de l'attention fait référence à une modulation de la quantité de ressources, permettant de faciliter la sélection attentionnelle, seconde dimension du modèle de Van Zomeren & Brouwer (Siéroff, 1992). La dimension de la sélectivité de l'attention du modèle (Van Zomeren & Brouwer, 1994) est la fonction qui opère un processus de sélection de l'information. Cette dimension de l'attention comprend l'attention sélective et l'attention divisée.

L'attention sélective (ou attention focalisée) est le processus mis en œuvre dans la sélection des informations pertinente à la tâche en cours. Toutes les informations présentes dans l'environnement à un moment donné ne peuvent pas être traitées par l'individu, car ce système a une capacité limitée (Broadbent, 1958). Le fonctionnement de l'attention est

semblable à celui d'un filtre. Pour certains auteurs, ce filtre interviendrait au niveau perceptif, afin d'éviter une surcharge du système cognitif liée au traitement de tous les stimuli de l'environnement (Broadbent, 1958 ; Treisman, 1960). Ce filtre précoce permettrait le traitement des stimuli pertinents par l'atténuation de ceux qui ne le sont pas. Pour d'autres auteurs, la sélection opérée par le filtre attentionnel serait tardive (Deutsch & Deutsch, 1963 ; Norman, 1968), après le traitement perceptif des stimuli accessibles. Enfin, un filtre flexible, qui serait précoce ou tardif selon le niveau de traitement de l'information à opérer, a été proposé (Treisman, 1960). Ainsi, l'attention sélective implique un double mécanisme : la focalisation sur les éléments pertinents et l'inhibition des autres.

L'attention sélective nous semble particulièrement impliquée dans le déplacement du piéton aveugle. En effet, l'environnement urbain apporte au piéton aveugle une multitude de stimulations sonores, tactiles, olfactives qu'il ne peut traiter intégralement. Ainsi, il doit sélectionner les informations pertinentes à la réalisation de son déplacement, lui permettant de garder l'axe et de détecter les obstacles et points de repère nécessaires à son orientation.

L'attention divisée consiste en l'exécution simultanée de plusieurs tâches, impliquant de répartir son attention entre ces tâches. Toutefois, un individu dispose d'une quantité limitée de ressources attentionnelles (Kahneman, 1973). La quantité de ressources disponibles à un moment donné est liée aux caractéristiques de l'individu, à son niveau d'éveil et à sa motivation. Réaliser simultanément deux tâches dont la demande attentionnelle excède la quantité de ressources attentionnelles disponible entraîne une diminution de la performance à l'une de ces tâches, ou aux deux, selon la quantité de ressources investies par l'individu dans chacune de ces deux tâches. Avec l'apprentissage, une tâche peut être réalisée de façon automatique, requérant une quantité de ressources attentionnelles moindre. Dans le cas où la réalisation de l'une des deux tâches est automatisée, les ressources attentionnelles de l'individu excèdent la demande attentionnelle requise par les deux tâches, et la performance aux deux tâches ne sera pas détériorée.

Se déplacer sans voir nécessitant la réalisation simultanée de tâches perceptives, motrices et mentales, nous présumons que **l'attention divisée** est mobilisée au cours de cette activité. En effet, le piéton aveugle traite des stimulations sonores et tactiles en provenance de sources différentes, manipule sa canne blanche ou gère son chien-guide, tout en marchant et en réfléchissant à l'itinéraire à suivre.

Diviser son attention pour traiter simultanément plusieurs informations n'est pas toujours possible, et dans ce cas, les individus sont contraints de déplacer successivement leur attention entre différentes sources d'informations (Lemaire & Bherer, 2005). La capacité

à passer rapidement d'une tâche à une autre, d'un mode de raisonnement à un autre, de déplacer rapidement son attention d'un type de stimulus à un autre est appelée flexibilité attentionnelle. La flexibilité est évaluée en comparant la performance obtenue à une tâche d'alternance entre deux tâches et celles obtenues lorsque les tâches sont réalisées de façon isolée (coût de flexibilité).

La flexibilité attentionnelle nous semble fortement impliquée dans l'activité de déplacement du piéton aveugle. Au cours de cette activité, le piéton aveugle doit régulièrement et rapidement déplacer son attention d'une modalité à l'autre, par exemple lorsqu'il porte attention aux sensations tactiles perçues via la canne et qu'un stimulus sonore informe de la présence d'un danger à proximité (une voiture, un escalier mécanique par exemple). Dans une telle situation, sa flexibilité attentionnelle est mobilisée afin de permettre à l'individu aveugle de traiter rapidement ces nouvelles informations et prendre les décisions lui permettant d'éviter ce danger.

La flexibilité est un mécanisme qui fait partie d'un ensemble de processus cognitifs nommés fonctions exécutives. Les fonctions exécutives permettent à l'individu d'adapter son comportement lorsqu'il fait face à une situation qui n'est pas automatisée. Miyake et al. (2000) se sont intéressés à trois fonctions exécutives de niveau bas, la flexibilité, l'inhibition (déjà évoquée lors de la description de l'attention sélective), et la mise à jour en mémoire de travail (qui va être décrite plus bas). Les travaux de Miyake et collaborateurs ont permis de montrer que ces trois composantes, impliquées dans la mise en œuvre de fonctions exécutives plus complexes (la planification, l'élaboration d'hypothèses et de stratégies, la pensée abstraite, le jugement, la résolution de problèmes) étaient à la fois indépendantes les unes des autres mais appartenant à une certaine unité (car corrélées les unes aux autres). Ces trois fonctions exécutives nous paraissent également impliquées lors du déplacement du piéton aveugle.

La mémoire de travail est impliquée dans la réalisation de nombreuses tâches cognitives, telles que les tâches de compréhension, de raisonnement et d'apprentissage. C'est un système responsable du maintien en mémoire des informations permettant leur manipulation, limité à la fois dans le temps et en quantité. Ce processus est à l'interface entre la perception, la mémoire à long terme et l'action. Le modèle de la mémoire de travail proposé par Baddeley & Hitch (1974) puis Baddeley (1986) est le plus influent et a servi de cadre théorique à un grand nombre de travaux (Maquestiaux, 2013). Selon ce modèle, plusieurs composants constituent la mémoire de travail : l'administrateur central, responsable de la manipulation des informations, qui sont stockées par ses deux systèmes esclaves, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial (Baddeley, 1986 ; voir Figure 2).

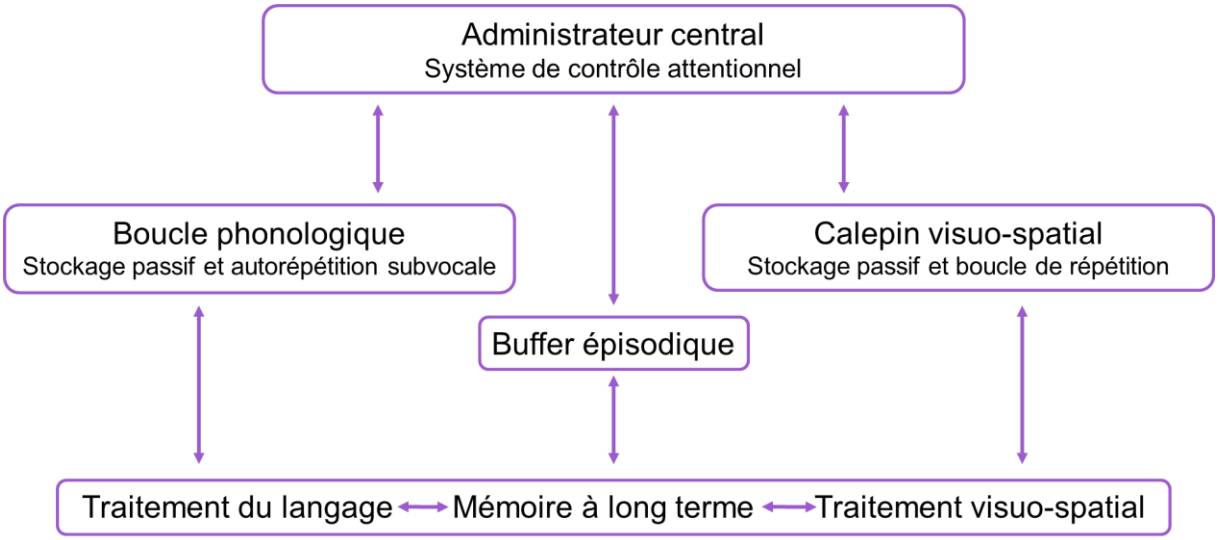

Figure 2. Modèle de mémoire de travail, d'après Baddeley (1986 ; 2000)

La boucle phonologique est impliquée dans le stockage temporel de l'information verbale (entendue ou lue). Elle est constituée de deux sous-systèmes, le stock phonologique et la boucle articulatoire. Le stock phonologique est une unité de stockage passive, permettant la conservation en mémoire du matériel verbal pendant deux secondes environ. La boucle articulatoire permet le maintien de l'information verbale dans le stock phonologique par une autorépétition sub-vocale (rafraîchissement de l'information). La capacité de la boucle phonologique est mesurable avec des tâches d'empan endroit.

Le calepin visuo-spatial est responsable du stockage temporaire de l'information visuo-spatiale. Il joue aussi un rôle dans la génération et la manipulation d'images mentales. Il serait également composé d'un espace passif de stockage et d'une boucle de répétition. Des tâches d'imagerie spatiale (par exemple la tâche des blocs de Corsi, 1972, ou celles des matrices de Brooks, 1967) permettent d'appréhender le calepin visuo-spatial.

La présence de (au moins) deux systèmes esclaves différents au sein de la mémoire de travail a été démontrée avec la méthode de double tâche. Par exemple, la suppression articulatoire (répétition d'un son non pertinent, tel que /ba/) entraîne une diminution de la performance à des tâches d'empans verbaux, en empêchant la répétition sub-vocale, mais ne donne pas lieu à une diminution de la performance à des tâches visuo-spatiales. Cela est également corroboré par l'observation de double dissociation (des patients avec une performance déficitaire dans les tâches impliquant la boucle phonologique mais pas dans celles impliquant le calepin visuo-spatial et d'autres patients présentant le profil inverse ; Baddeley, 1992).

L'administrateur central est un système attentionnel amodal qui coordonne les opérations effectuées par la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial, gère le passage des informations de ces systèmes en mémoire à long terme et sélectionne les actions à effectuer. Il gouverne le processus de mise à jour en actualisant les informations à mémoriser (rafraîchissement de l'information), en permettant de résister à une interférence externe (l'environnement) ou interne à l'individu (une pensée) et en coordonnant la réalisation de deux tâches simultanées (réaliser une tâche de manipulation tout en maintenant les informations à manipuler). Ainsi, l'administrateur central répartit les ressources attentionnelles entre les différents sous-systèmes de la mémoire de travail. L'attention a donc un rôle central dans le fonctionnement de la mémoire de travail.

L'administrateur central a un fonctionnement plus complexe à mettre en évidence que les autres sous-systèmes de mémoire de travail. Il peut être appréhendé avec l'approche de corrélation psychométrique, en étudiant, la manière dont certaines tâches de mémoire de travail (empans complexes ou envers) prédit la performance à des tâches cognitives plus complexes, telles que l'apprentissage complexe, le raisonnement et la compréhension (Baddeley, 1992 ; Daneman & Carpenter, 1980). Cette corrélation entre ces tâches de mémoire de travail et les tâches cognitives complexes n'est pas liée au niveau de capacité de stockage des informations (géré par les systèmes esclaves) mais plutôt à la capacité à utiliser l'attention pour maintenir l'information pertinente et inhiber l'information interférente, gérée par l'administrateur central (Engle, 2002 ; Kane & Engle, 2003). Des tâches d'empan envers ou complexe, de mise à jour (telle que la tâche de n-back), ou exécutives permettent d'appréhender l'administrateur central.

En 2000, Baddeley ajoute une quatrième composante à son modèle initial, le buffer épisodique (ou mémoire-tampon). Il s'agirait d'un système multimodal, à capacité limitée, contrôlé lui aussi par l'administrateur central. Son rôle serait de relier les informations en provenance des différentes modalités et de faire des liens entre celles présentes en mémoire de travail et celles stockées en mémoire à long terme. Il permet une modélisation multisensorielle de l'environnement en intégrant ces différentes informations et ainsi la création de représentations nouvelles.

Lors de ses déplacements, **la mémoire de travail** du piéton aveugle nous semble fortement mobilisée. En effet, naviguer sans voir implique le maintien d'informations séquentielles (auditives et tactiles) relatives à l'agencement spatial de l'environnement et leur manipulation pour la construction d'une représentation de l'espace. A mesure de la réalisation du parcours, le piéton aveugle doit également mettre à jour l'itinéraire restant à faire, il peut

être amené à faire le retour d'un itinéraire appris uniquement dans un sens, ou suivre un itinéraire sur description verbale.

En plus des fonctions attentionnelles et des trois fonctions exécutives à la base du modèle de Miyake et al. (2000), les fonctions exécutives de plus haut niveau sont manifestement mobilisées dans le déplacement des piétons aveugles telles que la planification, l'élaboration d'hypothèses et de stratégies, la pensée abstraire, le jugement, la résolution de problèmes. Ces dernières étant fortement sous-tendues par les processus attentionnels, la flexibilité, l'inhibition et la mémoire de travail, il nous a semblé pertinent de nous focaliser dans un premier temps sur le rôle de ces mécanismes.

L'attention sélective, l'attention soutenue, l'attention divisée, l'inhibition, la flexibilité et la mémoire de travail constituent un ensemble des processus qui inter-agissent les uns avec les autres et sont impliqués dans la majorité des activités quotidiennes. Ces processus nous paraissent fortement mobilisés au cours du déplacement des piétons aveugles. Cette mobilisation intense et quotidienne pourrait donner lieu à une amélioration de ces processus chez les personnes aveugles. La partie suivante synthétise les études menées sur l'attention et la mémoire de travail des personnes aveugles.

2. Capacités attentionnelles et de mémoire de travail des personnes aveugles

L'amélioration de la perception auditive et tactile a longtemps été considérée comme une conséquence de la cécité pour pallier l'absence de vision. Il a au contraire été montré que par rapport aux personnes voyantes, les personnes aveugles ne présenteraient pas d'amélioration de leur acuité sensorielle (Collignon et al., 2006 ; Ferdenzi et al., 2004), mais auraient un traitement plus efficace de l'information perçue (Hatwell, 2003b). En effet, les avantages sensoriels que les personnes aveugles ont sur les personnes voyantes ont été observés principalement pour le traitement sensoriel impliquant des processus de haut niveau tels que la reconnaissance de la parole (Hugdahl et al., 2004).

2.1. Attention

Dans deux études différentes, une même tâche de localisation de sons dans un environnement acoustique bruyant a été utilisée pour comparer la capacité à mobiliser l'attention spatiale auditive de participants voyants à celle de participants aveugles précoces (Röder et al., 1999) et de participants voyants à celle de participants aveugles tardifs (Fieger, Röder, Teder-Sälejärvi, Hillyard, & Neville, 2006). Dans ces deux études, la détection de sons

des participants aveugles (précoces ou tardifs) n'était pas significativement différente de celle des participants voyants lorsque les stimuli étaient présentés dans l'espace frontal, mais elle était significativement supérieure dans l'espace périphérique. Les participants aveugles détectaient aussi bien les sons de l'espace frontal et ceux de l'espace périphérique, alors que les participants voyants détectaient moins bien ceux de l'espace périphérique. Cette amélioration du traitement attentionnel de stimuli auditifs présentés dans l'espace périphérique a été corroborée dans une autre étude menée auprès de participants aveugles précoces et voyants (Lerens & Renier, 2014) et un effet similaire a été trouvé pour le traitement attentionnel de stimuli auditifs présentés dans l'espace postérieur (Després, Candas, & Dufour, 2005)

L'attention spatiale des personnes aveugles a également été appréhendée avec des tests impliquant des stimuli tactiles et auditifs. Kujala, Lehtokoski, et al. (1997) ont par exemple montré que des participants aveugles précoces étaient plus rapides que des participants voyants (immergés dans le noir ou non) dans une tâche impliquant la détection de stimuli auditifs diffusés dans l'oreille droite et de stimulations tactiles sur le majeur gauche parmi des stimuli auditifs diffusés dans les deux oreilles et des stimulations tactiles sur l'index et le majeur gauche. Collignon et al. (2006) puis Collignon & De Volder (2009) ont montré que des participants aveugles précoces répondaient plus rapidement (mais pas de façon plus précise) à des tâches d'attention sélective ou divisée composées de stimuli auditifs ou tactiles. Le nombre de fausses alarmes (réponse à un stimulus distracteur) entre les deux groupes ne différaient pas significativement, suggérant une capacité d'inhibition équivalente. Pour les deux tâches d'attention de l'étude de 2006, des stimuli auditifs étaient diffusés du côté droit ou du côté gauche des participants pendant que leur main droite ou gauche était tactilement stimulée (Collignon et al., 2006). Les participants devaient répondre verbalement lorsque le son était diffusé à droite pour la tâche d'attention sélective auditive et lorsque la main gauche était tactilement stimulée pour la tâche d'attention sélective tactile. Pour la tâche d'attention divisée, les participants devaient détecter une combinaison de stimuli (stimulation sonore à droite en même temps que stimulation tactile à gauche). Les tâches utilisées dans l'étude de Collignon & De Volder (2009) étaient similaires, sauf que les stimulations auditives et tactiles étaient diffusées de façon successive plutôt que simultanée. Dans ces deux études, les auteurs ont contrôlé le fait que les différences observées n'étaient pas liées à une meilleure perception sensorielle des participants aveugles en vérifiant qu'il y avait pas de différence de seuil de détection (auditifs et tactiles) entre les deux groupes et, en ajustant pour chaque participant l'intensité des stimuli (seuil d'intensité juste perceptible multiplié par un facteur 1,4 pour les stimuli auditifs et par un facteur 1,05 pour les stimuli tactiles). Les différences de performance observées n'étaient également pas liées à une vitesse de traitement différente

puisque les temps de réponse lors d'une tâche simple n'étaient pas significativement différentes entre les deux groupes.

Les avantages au niveau attentionnel des personnes aveugles sur les personnes voyantes ne semblent pas uniquement être présents pour le traitement spatial des stimuli, mais le seraient également au niveau temporel. Lors de la présentation successive de stimuli, attendre l'apparition d'un premier stimulus peut affecter le traitement du suivant si la fenêtre temporelle entre les deux stimuli est petite (Shapiro, Raymond, & Arnell, 1997). Ce phénomène, nommé « *blink* attentionnel », a beaucoup été étudié en modalité visuelle. Goddard, Isaak, Slawinski, & Brown (2004) ont constaté la présence d'un *blink* attentionnel en modalité auditive chez des participants voyants et chez des participants aveugles de naissance pour des intervalles de temps inter-stimuli de 90, 180 ou 270 ms, mais pas lorsqu'ils étaient supérieurs à 360 ms. Aucune différence de seuil de détection auditive temporelle n'a été mise en évidence entre les deux groupes. En revanche, ce *blink* attentionnel était significativement moins présent chez les participants aveugles quand les intervalles inter-stimuli étaient de 90 ms, et tendait à être moins présent lorsque les intervalles inter-stimuli étaient de 180 et 270 ms par rapport aux participants voyants. Ces résultats suggèrent que les personnes aveugles précoces auraient une meilleure habileté à traiter des séquences de stimuli auditifs présentés rapidement.

Ces améliorations attentionnelles observées chez les personnes aveugles seraient associées à une réorganisation au niveau cérébral. En effet, des études en imagerie à résonnance magnétique fonctionnelle (IRMf) et EEG impliquant des tâches d'attention auditives ou tactiles ont montré des activations au niveau du cortex occipital supérieur des personnes aveugles précoces (Garg, Schwartz, & Stevens, 2007 ; Liotti, Rider, & Woldorff, 1998 ; Van Velzen, Eardley, Forster, & Eimer, 2006 ; Weaver & Stevens, 2007) ou des personnes aveugles tardives (Fieger et al., 2006 ; Kujala, Alho, et al., 1997) par rapport aux personnes voyantes.

L'ensemble des études menées sur l'attention des personnes aveugles présentées dans ce travail sont reprises dans le Tableau 2. Il illustre le fait que les composantes de l'axe sélectivité de l'attention du modèle de Van Zomeren & Brouwer (1994) ont été étudiées à plusieurs reprises chez les personnes aveugles, mais principalement en impliquant le domaine spatial. L'axe intensité de l'attention ne semble en revanche pas avoir été appréhendé chez les personnes aveugles.

Tableau 2. Récapitulatif des études sur l'attention des personnes aveugles

Références	Processus étudié	Sujets	Tâche	Résultats principaux
Röder et al., 1999	Attention sélective spatiale	8 AP 8 PCV	Détecter l'apparition d'un stimulus sonore cible rare en provenance de l'espace frontal ou en provenance de l'espace périphérique, parmi des stimuli sonores distracteurs (fréquents et rares ; cibles et distracteurs diffèrent au niveau de la localisation et/ou de la fréquence sonore)	Taux de détection significativement supérieur pour AP dans l'espace périphérique ; pas de différence significative entre AP et PCV dans l'espace frontal
Fieger et al. 2006	Attention sélective spatiale	9 AT 9 PCV	Détecter l'apparition d'un stimulus sonore cible rare en provenance de l'espace frontal ou en provenance de l'espace périphérique, parmi des stimuli sonores distracteurs (fréquents et rares ; cibles et distracteurs diffèrent au niveau de la localisation et/ou de la fréquence sonore)	Taux de détection significativement supérieur pour AT dans l'espace périphérique ; pas de différence significative entre AT et PCV dans l'espace frontal
Lerens & Renier 2014	Attention sélective	12 AP 12 PCV	Détecter l'apparition d'un stimulus sonore cible parmi deux stimuli sonores distracteurs présentés frontalement et en périphérie	AP significativement plus rapides que PCV en périphérie ; pas de différence en frontal
Després et al. 2005	Orientation spatiale de l'attention	6 AP 11 PCV	Présentation d'indices auditifs vers lesquels les participants devaient orienter leur regard, suivi de stimuli auditifs cibles (localisations congruentes ou non avec l'indiçage) dans l'espace frontal ou postérieur. Les participants devaient juger de la hauteur du stimulus cible.	Effet similaire de l'indiçage chez les AP et PCV ; performance de jugement significativement supérieure pour AP dans l'espace postérieur ; pas de différence significative entre AP et PCV pour l'espace frontal
Kujala et al. 1997	Attention divisée spatiale	9 AP 18 PCV (9 dans le noir)	Détecter des stimuli auditifs et tactiles cibles parmi des stimuli auditifs et tactiles distracteurs (cibles et distracteurs diffèrent au niveau de la localisation)	AP significativement plus rapides que PCV pour les stimuli auditifs ; AP significativement plus rapides que PCV dans le noir (pas dans la lumière) pour les stimuli tactiles

Collignon et al. 2006	Attention sélective spatiale	8 AP 8 PCV	1/ Détecter des stimuli auditifs parmi des stimuli auditifs et tactiles distracteurs ; 2/ Détecter des stimuli tactiles parmi des stimuli auditifs et tactiles distracteurs (stimuli auditifs et tactiles diffusés simultanément)	1/ AP significativement plus rapides que PCV 2/ AP significativement plus rapides que PCV
	Attention divisée spatiale		Détecter une combinaison cible composée d'un stimulus auditif et d'un stimulus tactile (diffusés simultanément) parmi d'autres combinaisons	AP significativement plus rapides que PCV
Collignon et De Volder 2009	Attention sélective spatiale	8 AP 8 PCV	1/ Détecter des stimuli auditifs parmi des stimuli auditifs et tactiles distracteurs ; 2/ Détecter des stimuli tactiles parmi des stimuli auditifs et tactiles distracteurs (stimuli auditifs et tactiles diffusés successivement)	1/ AP significativement plus rapides que PCV 2/ AP significativement plus rapides que PCV
	Attention divisée spatiale		Détecter une combinaison cible composée d'un stimulus auditif et d'un stimulus tactile (diffusés successivement) parmi d'autres combinaisons (cibles et distracteurs diffèrent au niveau de la localisation)	AP significativement plus rapides que PCV
Goddard et al. 2004		4 AP 6 PCV	Juger de l'intensité d'un stimulus cible et du stimulus suivant diffusé 90, 180, 270 ou 360 ms après	Pas de différence significative entre les pourcentages de réponses correctes de AP et PCV pour l'intervalle de 360 ms ; différence tend à être significative pour 180 et 170 ms ; différence significative pour 360 ms

AP : participants aveugles précoces, AT : participants aveugles tardifs, PCV : participants contrôles voyants

Ainsi, les capacités d'attention sélective et d'attention divisée des personnes aveugles précoces semblent être supérieures à celle des personnes voyantes, tout du moins dans des tâches impliquant un traitement spatial. Les personnes aveugles tardives semblent elles aussi bénéficier de capacités d'attention sélective et divisée améliorées par rapport aux personnes voyantes. Néanmoins, les capacités attentionnelles des personnes aveugles précoces et celles des personnes aveugles tardives ne semblent pas avoir été comparées. En outre, d'autres processus attentionnels, tels que l'attention soutenue, l'inhibition attentionnelle et la flexibilité ne semblent pas avoir été appréhendés chez les personnes aveugles. La mémoire de travail, processus cognitif impliqué dans la manipulation de l'information, est également fortement mobilisée par les personnes aveugles, et son étude auprès de ces personnes sera décrite dans la prochaine partie.

2.2. Mémoire de travail

La mémoire de travail des personnes aveugles est fortement mobilisée lors de la construction, la manipulation et la réorganisation des représentations mentales (Cattaneo & Vecchi, 2011). Pourtant, à partir d'une représentation mentale construite via l'expérience tactile d'un agencement spatial, les personnes aveugles obtiennent des performances inférieures à celles de personnes voyantes aux yeux bandés dans des tâches impliquant une manipulation mentale complexe d'éléments de la représentation (Cornoldi, Bertuccelli, Rocchi, & Sbrana, 1993 ; Cornoldi, Cortesi, & Preti, 1991 ; Vecchi, Monticellai, & Cornoldi, 1995 ; Vecchi, Tinti, & Cornoldi, 2004). Vanlierde & Wanet-Defalque (2004) ont réalisé une étude dans laquelle des participants aveugles précoces, tardifs et voyants devaient, à l'aide d'indications verbales, noircir mentalement les carrés d'une matrice de 6 X 6 imaginée, et ensuite effectuer des jugements relatifs au pattern obtenu. Bien que la performance des trois groupes fût similaire, les participants ont déclaré *a posteriori* avoir utilisé deux stratégies différentes. Les participants aveugles tardifs et voyants se sont appuyés sur une stratégie visuo-spatiale (génération d'une image mentale du motif formé par les carrés noircis) tandis que les participants aveugles précoces ont utilisé une stratégie basée sur la localisation en coordonnées des carrés noircis, sans représentation globale. Cette étude souligne le fait que des stratégies différentes peuvent être utilisées. Ainsi, bien que mobilisant le calepin visuo-spatial de la mémoire de travail, les tâches de manipulation mentale de représentations ne semblent pas être les plus appropriées pour évaluer la mémoire de travail des personnes aveugles.

Bliss, Kujala, & Hämäläinen (2004) ont comparé les performances de participants aveugles précoces, tardifs et voyants à différentes tâches de n-back (conditions de 0 à 3-back), évaluant l'administrateur central de la mémoire de travail (Kane, Conwal, Miura, & Colflesh,

2007). Les participants aveugles étaient testés avec deux tâches haptiques, l'une comprenant des lettres en relief et l'autre des caractères en braille. Les participants voyants étaient testés au moyen de la tâche haptique comprenant les lettres en reliefs et d'une tâche visuelle avec des lettres présentées sur un écran d'ordinateur. Pour la tâche impliquant les lettres en relief, la performance obtenue par les participants aveugles précoces ne différait pas significativement de celle des participants aveugles tardifs. Les participants aveugles précoces ont eu tendance (mais non statistiquement significatif) à obtenir une meilleure performance que les participants aveugles tardifs à la tâche impliquant les caractères en braille. L'âge seuil utilisé pour différencier les participants aveugles précoces des tardifs était celui du début de l'apprentissage de la lecture de l'alphabet. Les participants aveugles (précoces et tardifs considérés dans un même groupe) ont eu de meilleures performances que les participants voyants à la tâche haptique impliquant les lettres en relief. La performance obtenue par les participants voyants à la tâche visuelle était meilleure que celles des participants à la tâche comprenant les lettres en relief, mais ne différait pas significativement de celle obtenue par les participants aveugles dans la tâche impliquant des caractères en braille. Ainsi, ces résultats ne montrent pas de manière indiscutable une meilleure performance d'un des groupes étudiés mais ouvrent des pistes différentes. La performance aux tâches de n-back de cette étude semble en partie liée à la familiarité que les participants ont avec le matériel utilisé. Dans une autre recherche, Ruggiero & Iachini (2010) ont adapté tactilement la tâche des blocs de Corsi (1972) pour évaluer la mémoire de travail spatiale haptique (la version originale évalue l'empan de la mémoire de travail visuo-spatiale) de participants aveugles de naissance, aveugles tardifs et voyants aux yeux bandés. Tandis que l'empan envers des trois groupes ne différait pas significativement, l'empan endroit des participants aveugles tardifs était significativement supérieur à celui des participants voyants alors que celui des participants aveugles précoces était intermédiaire (mais pas significativement différent de ceux des deux autres groupes). Là encore, la plus faible performance des participants voyants peut être expliquée par une relative non familiarité pour le traitement des informations haptiques. Ainsi, les expérimentations de Bliss et collaborateurs (2004) et de Ruggiero & Iachini (2010) illustrent la nécessité d'utiliser un matériel identique et autant familier aux personnes aveugles qu'aux personnes voyantes pour s'affranchir de l'effet de l'expérience sur la performance. Dormal, Crollen, Baumans, Lepore, & Colligno (2016) ont tout récemment montré que des participants aveugles précoces obtenaient des performances supérieures à celles de participants aveugles tardifs et voyants à une tâche d'empan complexe (encodage d'une séquence de lettre perçue auditivement suivi d'une tâche de détection de hauteur de sons puis rappel de la séquence de lettre encodée). Les résultats n'ont pas mis en évidence de différences significative entre les participants

aveugles tardifs et les participants voyants pour cette tâche évaluant l'administrateur central de la mémoire de travail.

Cohen, Voss, Lepore, & Scherzer (2010) ont, quant à eux, étudié la nature de la mémoire de travail tactile des personnes aveugles au travers de deux expérimentations. Dans la première, des participants aveugles complets de naissance ont réalisé une tâche de rappel sériel (empan endroit) de caractères en braille avec et sans suppression articulatoire (consistant à répéter la syllabe /bla/ pendant la présentation des stimuli). Des participants voyants ont réalisé la même tâche avec des consonnes présentées visuellement. La suppression articulatoire réalisée par les participants aveugles dans la tâche tactile a des effets délétères comparables à ceux de la suppression articulatoire réalisée par les participants voyants dans la tâche visuelle. La mémoire à court terme pour les stimuli en braille tactiles des personnes aveugles est ainsi équivalente à la mémoire à court terme visuelle des personnes voyantes. Dans la deuxième expérimentation, des participants aveugles précoces ont réalisé une tâche de reconnaissance de séquences de caractères en brailles et en même temps une tâche arithmétique (verbale) ou une tâche de déplacement mental de blocks (spatiale). La performance à la tâche de reconnaissance était plus affectée lorsqu'elle était réalisée en même temps que la tâche spatiale, qu'en même temps que la tâche verbale. La composante tactile de la mémoire de travail des personnes aveugles serait ainsi de nature spatiale. Cohen, Scherzer, Viau, Voss, & Lepore (2011) ont ainsi proposé d'ajouter un sous-système tactilo-spatial au modèle de la mémoire de travail de Baddeley et Hitch afin de rendre compte du traitement des informations tactiles dans la lecture du braille.

Enfin, certaines études se sont intéressées à la mémoire de travail des enfants aveugles et montrent des résultats divergents (Hull & Mason, 1995 ; Swanson & Luxenberg, 2009 ; Withagen, Kappers, Vervloed, Knoors, & Verhoeven, 2013) mais ne seront pas développés ici étant donné que la mémoire de travail se développe jusqu'au cours de l'adolescence (Roy, Le Gall, Roulin, & Fournet, 2013).

L'ensemble des études menées sur la mémoire de travail des personnes aveugles décrites dans cette partie sont récapitulées dans le

Tableau 3.

Ainsi, les études conduites sur la mémoire de travail des personnes aveugles apportent des résultats parfois contradictoires ou difficiles à interpréter en raison de choix méthodologiques. Certaines des études sur la mémoire de travail des adultes aveugles impliquent la mise en place de représentations spatiales, tâche parfois difficile pour ces individus, comme décrit dans la partie II. 2.4 (page 44). D'autres se sont focalisées sur la modalité tactile, modalité peu familière pour les personnes voyantes, rendant la comparaison entre les deux populations difficile à interpréter. Dans certains cas, les participants aveugles sont évalués sur un matériel particulier (des caractères en braille) et les participants voyants sur un autre (des lettres en relief). En outre, les participants aveugles sont souvent testés tactilement avec des caractères en braille, technique qui n'est pourtant pas maîtrisée par tous (C2RP, 2005). Il est ainsi difficile de conclure en une amélioration des capacités de mémoire de travail chez les personnes aveugles, même si l'ensemble des études sur la question semble tendre vers cette possibilité, particulièrement pour les personnes aveugles précoces. Quant à l'inhibition et la flexibilité attentionnelle, évoquées dans la partie III. 1., elles ne semblent pas avoir été spécifiquement appréhendées auprès des personnes aveugles.

Tableau 3. Récapitulatif des études sur la mémoire de travail des personnes aveugles

Références	Processus étudié	Partici-pants	Tâche	Résultats principaux
Bliss et al. (2004)	MDT (AC)	13 AP 8 AT 16 PCV	Tâches de n-back : 1/ tactile avec des lettres en relief pour AP, AT et PCV ; 2/ tactile avec des caractères braille pour AP et AT ; 3/ visuelle pour PCV	Pas de différence significative entrer AP et AT. Participants aveugles (AP + AT) significativement plus performants que PCV pour la tâche 1/ Performance PCV tâche 3/ significativement supérieure à performance des participants aveugles (AP + AT) tâche 2/, mais pas significativement différente à la des participants aveugles (AP + AT) tâche 3/
Ruggiero et Iachini (2010)	MDT tactilo-spatiale	15 AP 16 AT 31 PCV	Adaptation tactile de la tâche des blocs de Corsi 1/ empan endroit et 2/ empan envers	1/ pas de différence significative entre les 3 groupes. 2/ AT significativement supérieurs à PCV, pas de différence significative entre AP et les autres groupes
Dormal et al. (2016)	MDT (AC)	10 AP 12 AT 12 PCV	Tâche d'empan complexe	AP significativement supérieurs à AT et PCV, pas de différence significative entre AP et AT
Cohen et al. (2010)	MDT tactilo-spatiale	1/ 15 AP 12 PCV 2/ 20 AP	1/ tâche d'empan endroit tactile avec suppression articulatoire simultanée pour AP, même tâche en modalité visuelle pour PCV. 2/ tâche de reconnaisse de stimuli braille et tâche verbale ou spatiale simultanées	1/ effet de la suppression articulatoire sur la performance à la tâche d'empan non significativement différent pour AP et PCV. 2/ Performance à la tâche de reconnaissance significativement inférieure lorsque réalisée en même temps que la tâche spatiale, que la tâche verbale

MDT : mémoire de travail, AC : administrateur central, AP : participants aveugles précoces, AT : participants aveugles tardifs, PCV : participants contrôles voyants

3. Vieillissement, déclin cognitif et déficience visuelle

Le vieillissement normal entraîne une légère baisse des performances cognitives des individus, qui restent cependant équivalentes à celles des personnes du même âge et du même niveau d'éducation. Ce déclin cognitif est un processus lent et progressif résultant de modifications cérébrales, au niveau anatomique (perte neuronale et diminution de l'arborisation dendritique) et physiologique (détérioration de la communication neuronale liée à des modifications neurochimique) liées à l'âge (Lemaire & Bherer, 2005).

Le vieillissement cognitif étant lié à des facteurs biologiques et environnementaux, il affecte différemment les individus. Le niveau d'éducation et la profession exercée, le style de vie (statut marital, environnement intellectuel après 60 ans) et le niveau de santé sont des facteurs explicatifs des différences inter-individuelles du déclin cognitif lié à l'âge (Lemaire & Bherer, 2005). Un style de vie impliquant des activités stimulantes permet la constitution d'une réserve cognitive qui apporte une protection contre le déclin cognitif lié à l'âge et retarde l'apparition de certaines pathologies cognitives (Stern, 2013). Ces différences entre les individus font que l'âge chronobiologique n'est pas entièrement corrélé au vieillissement cognitif. Toutefois, les capacités cognitives commencent à décliner aux alentours des 60 ans et les changements cognitifs majeurs apparaissent généralement après 70 ans (Lemaire & Bherer, 2005).

Le déclin cognitif lié à l'âge ne touche pas toutes les composantes cognitives de la même façon. Certains processus, impliqués dans la résolution de problèmes et le raisonnement, déclinent, tandis que d'autres mobilisant les connaissances générales et les fonctions instrumentales (mémoire sémantique, mémoire procédurale, capacités verbales, gnosiques, et praxiques) sont relativement épargnées par le vieillissement cognitif (Anstey & Low, 2004). Dans la suite de cette partie, nous nous intéresserons spécifiquement aux effets du vieillissement sur les processus cognitifs présentés dans la partie III. 1. (page 57), et qui nous paraissent fortement impliqués dans le déplacement des piétons aveugles.

L'avancée en âge entraîne un déclin des capacités d'attention sélective (Lemaire & Bherer, 2005). Les personnes âgées ont en effet plus de difficultés à focaliser leur attention sur les éléments pertinents de l'environnement et à inhiber les autres. Néanmoins, certaines conditions expérimentales atténuent l'effet délétère de l'âge sur l'attention sélective (Adam, Van der Linden, & Collette, 2002), telles que l'indiçage physique de la localisation du stimulus à traiter, diminuant la nécessité d'inhiber les stimuli non pertinents (Madden & Plude, 1993).

Même si la majorité des études démontre la présence d'effets délétères du vieillissement sur l'attention soutenue (Lemaire & Bherer, 2005), la question reste débattue. Certains auteurs constatent que la diminution de la performance au cours de la réalisation d'une tâche d'attention (effet de fatigabilité) est similaire chez les personnes âgées et jeunes (Berardi, Raja Parasuraman, James, 2001). Dans une revue de la littérature sur la question, Staub, Doignon-Camus, Després, & Bonnefond (2013) mettent en évidence le fait que cette absence de consensus dépendrait principalement de l'approche expérimentale choisie. Par exemple, Mouloua & Parasuraman (1995) n'ont pas montré d'effet de l'âge dans une tâche d'identification de cible visuelle d'une durée de 30 min lorsque la fréquence des stimulations était faible (toutes les 4 secondes) et avec une faible incertitude quant à la localisation spatiale des stimuli (les stimuli étaient toujours délivrés au centre d'un écran). En revanche, avec une fréquence d'occurrence des stimuli élevée (toutes les 1,5 secondes) et une forte incertitude spatiale (les stimuli étaient délivrés aléatoirement dans l'un des quatre angles d'un écran), la performance des participants âgés se dégradait plus rapidement que celle des participants jeunes. Ainsi, les effets du vieillissement sur les capacités d'attention soutenue sont présents, notamment lorsque la tâche est particulièrement complexe.

Avec l'âge, la capacité à diviser son attention entre deux traitements en parallèle devient moins efficace (Lemaire & Bherer, 2005), bien que cela ne soit pas systématiquement observé (Collette & Salmon, 2014 ; Somberg & Salthouse, 1982). L'attention divisée des personnes âgées est perturbée principalement lorsque les tâches sont complexes (Adam et al., 2002 ; Collette & Salmon, 2014), ou lorsque le rythme de coordination des deux tâches est rapide et imposé (de Ribaupierre & Ludwig, 2003). Ainsi, le réservoir de ressources attentionnelles se réduirait au cours de l'avancée en âge, et ne serait plus suffisant pour réaliser simultanément des tâches complexes, nécessitant une quantité de ressources importante.

Les capacités de flexibilité déclinent également avec l'âge (Collette & Salmon, 2014 ; Lemaire & Bherer, 2005), les participants âgés montrant des coûts de flexibilité plus importants que les participants jeunes (Gamboz, Borella, & Brandimonte, 2009 ; Wasylyshyn, Verhaeghen, & Sliwinski, 2011). En revanche, la difficulté de flexibilité rencontrée par les participants âgés est plus ou moins importante selon certains paramètres de la tâche utilisée, comme le niveau d'entraînement à la tâche (Cepeda, Kramer, & Gonzalez de Sather, 2001), la prévisibilité de l'alternance (Kray, Li, & Lindenberger, 2002) et le temps accordé à la préparation de l'alternance (Cepeda et al., 2001). Ainsi, les effets du vieillissement sur les capacités de flexibilité sont moins marqués lorsque la tâche exige moins de ressources cognitives.

Avec l'âge, un déclin de la mémoire de travail est également observé (Lemaire & Bherer, 2005). Une atteinte au niveau de l'administrateur central au cours du vieillissement a été mise en évidence dans de nombreuses études (Collette & Salmon, 2014 ; Salthouse & Babcock, 1991 ; Van der Linden, Beerten, & Pesenti, 1998). Certains auteurs montrent que l'âge a un effet délétère sur le fonctionnement de la boucle phonologique (Kynette, Kemper, Norman, & Cheung, 1990 ; Park et al., 2002 ; Verhaeghen, Marcoen, & Goossens, 1993) tandis que d'autres ne trouvent pas d'effet de l'âge (Fisk & Warr, 1996 ; Gilhooly, Wynn, Phillips, Logie, & Sala, 2002). Concernant le calepin visuo-spatial, appréhendé à l'aide du test des blocs de Corsi (1972), la majorité des études menées montrent un effet de l'âge (Beigneux, Plaie, & Isingrini, 2008 ; Jenkins, Myerson, Joerding, & Hale, 2000 ; Park et al., 2002). Ainsi, l'ensemble des composants de la mémoire de travail semble atteint par le vieillissement cognitif.

Deux théories explicatives ont été proposées pour interpréter le déclin de ces processus cognitifs : les approches analytiques et les approches globales (Adam et al., 2002). Selon les approches analytiques, le fonctionnement cognitif de l'individu est scindé en un ensemble de processus cognitifs, qui peuvent être affectés (pas toujours de la même façon) par le vieillissement. Ainsi, le vieillissement a un effet spécifique sur chacun de ces processus. Selon les approches globales, l'affaiblissement de la performance à des tâches cognitives des personnes âgées serait expliqué par le déclin d'un nombre restreint de facteurs généraux. Le déclin de ces facteurs, tels que la vitesse de traitement ou les fonctions sensori-motrices, impliqués dans la quasi-totalité des tâches, serait à l'origine du vieillissement cognitif (Adam et al., 2002). Le déclin cognitif lié à l'âge pourrait en effet être sous-tendu par une réduction de la vitesse de traitement de l'information médiée par deux mécanismes : le mécanisme du temps limité et le mécanisme de la simultanéité (Salthouse, 1996). Lorsque le traitement est lent, les opérations cognitives nécessaires à la réalisation d'une tâche ne peuvent pas être réalisées entièrement (limite de temps) et l'information issue des premiers traitements cognitifs n'est plus disponible lorsque les traitements ultérieurs sont terminés (Salthouse, 1996). D'autres auteurs postulent la présence d'une relation entre les performances cognitives des personnes âgées et les fonctions sensorielles (vision, audition) et motrices (Baltes & Lindenberger, 1997 ; Li & Lindenberger, 2002 ; Lindenberger & Baltes, 1994 ; Wahl & Heyl, 2003). L'inhibition et les ressources de la mémoire de travail ont également été suggérées comme facteurs généraux (Adam et al., 2002).

Marquié & Isingrini, 2001 reportent les différents mécanismes liés à l'expérience des individus qui lui permettent de contrecarrer ou tout du moins d'atténuer certains de ces changements cognitifs liés à l'âge :

- la préservation des fonctions cognitives via leur sollicitation quotidienne (au contraire, une sous-mobilisation des processus entraînerait un déclin cognitif lié à l'âge plus important) ;
- la compilation, qui renvoie à la notion d'automatisation avec la pratique de la réalisation de l'activité, les processus automatiques nécessitant la mobilisation de moins de ressources cognitives que lorsque des processus contrôlés sont impliqués ;
- l'accommodation, qui fait référence aux adaptations comportementales mises en œuvre par l'individu pour atténuer les conséquences de déclins cognitifs sur la vie quotidienne (éviter certaines situations, consacrer plus de temps pour réaliser une activité) ;
- le biais de réponse, via la favorisation de la précision de la réponse à la vitesse (stratégie de prise de décision se traduisant pas un comportement plus prudent, vérificatif et conservateur) ;
- la compensation, reposant sur la mise en jeu d'autres composantes cognitives non atteintes par le vieillissement ;
- la remédiation, qui consiste en la répétition d'exercices de difficulté croissante, se focalisant sur les processus cognitifs identifiés comme altérés ou sur l'utilisation de stratégies de substitution. Ce dernier mécanisme est donc une intervention extérieure à l'individu mettant en œuvre les autres mécanismes d'adaptation cognitive.

Comme suggéré par la théorie explicative globale selon laquelle le vieillissement cognitif serait lié à un déclin sensoriel (Baltes & Lindenberger, 1997 ; Li & Lindenberger, 2002 ; Lindenberger & Baltes, 1994 ; Wahl & Heyl, 2003), les personnes présentant une atteinte visuelle liée à l'âge semblent montrer un déclin cognitif important. Plusieurs études ont mis en évidence que les personnes présentant une atteinte visuelle liée à l'âge avaient tendance à subir un déclin cognitif lié à l'âge plus important que les personnes du même âge sans trouble visuel (Bertone, Wittich, Watanabe, Overbury, & Faubert, 2005 ; Elyashiv, Shabtai, & Belkin, 2014 ; Rozzini et al., 2014 ; Wahl & Heyl, 2003). Ce lien entre fonctions cognitives et fonctions sensorielles serait bien plus important pour les personnes âgées que pour les personnes d'âge moyen (Salthouse, Hancock, Meinz, & Hambrick, 1996).

Ces corrélations observées entre le déclin cognitif et le déclin sensoriel peuvent être expliquées par la présence d'un mécanisme commun de détérioration neuronale, c'est l'hypothèse de la cause commune (Salthouse et al., 1996). Une explication alternative a été proposée, l'hypothèse en cascade : l'atteinte sensorielle entraînerait une diminution de la quantité de stimulations cognitives, ce qui affecterait la performance cognitive (Birren, 1964).

Pour ce qui est des personnes aveugles vieillissantes au sens de la définition de Azéma & Martinez (2005 ; voir page 12), leur cognition ne semble pas avoir été étudiée. D'un côté, il est possible qu'elles présentent un déclin cognitif lié à l'âge plus important que les personnes voyantes. En effet, elles ont tendance à avoir une santé moins bonne (Jones et al., 2010) et un désengagement social au cours de l'avancée en âge plus précoce (Bachar & Shanan, 1997), facteurs modulant l'apparition du déclin cognitif lié à l'âge (Lemaire & Bherer, 2005). D'un autre côté, des études rapportent que les personnes aveugles (non âgées) compensent l'absence de vision par une amélioration de certains processus cognitifs (revoir partie III. 2. page 63). Cela suggère que les personnes aveugles possèdent une solide réserve cognitive, qui pourrait les aider à lutter contre le déclin cognitif lié à l'âge (Stern, 2013).

La question du déclin cognitif lié à l'âge des personnes aveugles est importante car les ressources cognitives semblent particulièrement cruciales pour le maintien de l'autonomie au cours du vieillissement pour les personnes qui ont une atteinte visuelle (Heyl & Wahl, 2012). En effet, les ressources cognitives expliquent 31 % de la variance du fonctionnement quotidien des personnes âgées avec une atteinte visuelle contre 9 % de cette variance pour les personnes âgées qui n'en ont pas (Heyl & Wahl, 2012). Les personnes avec une atteinte visuelle âgées semblent ainsi s'appuyer plus fortement sur leurs ressources cognitives.

Ainsi, l'attention sélective, l'attention soutenue, l'attention divisée, la mémoire de travail, l'inhibition et la flexibilité déclinent avec l'avancée en âge. Cela est particulièrement observé dans la réalisation de tâches complexes, nécessitant un maximum de ressources. Ces processus semblent particulièrement importants pour le déplacement des personnes aveugles. Leur sollicitation, importante au cours des déplacements piétons des personnes aveugles, pourrait entraîner une amélioration de la capacité de ces processus. Pourtant, tous ces mécanismes n'ont pas été étudiés chez les personnes aveugles. De plus, ces mécanismes n'ont jamais été appréhendés auprès des personnes aveugles vieillissantes, alors que le vieillissement s'accompagne d'un déclin cognitif, particulièrement présent chez les personnes avec une atteinte visuelle liée à l'âge.

CHAPITRE 2 : PROBLEMATIQUE, OBJECTIFS DE LA RECHERCHE ET HYPOTHESES

I. Problématique

Ce travail de thèse porte sur la population des personnes aveugles et plus particulièrement sur les processus cognitifs qu'elles mettent en œuvre lorsqu'elles se déplacent. Etre mobile, pour les personnes aveugles, est un facteur d'autonomie et de qualité de vie. Pourtant, toutes les personnes aveugles ne font pas face aux mêmes difficultés pour se déplacer. Certaines personnes aveugles ne sortent pas seules de chez elles alors que d'autres se déplacent sans aide humaine, que ce soit de temps en temps et uniquement sur des trajets bien connus ou tous les jours, y compris dans des lieux inconnus et complexes.

Avec l'objectif d'améliorer la mobilité de ces personnes, un nombre croissant de technologies d'aides à la mobilité s'est développé. Elles visent à diminuer l'effort cognitif lié au déplacement (en augmentant l'anticipation perceptive notamment), mais ne sont pas beaucoup utilisées. En effet, traiter les informations fournies par ces dispositifs nécessite un effort cognitif supplémentaire, qui peut être variable selon la manière dont les informations sont délivrées et selon les capacités de l'utilisateur. Ces technologies sont adressées aux personnes aveugles déjà indépendantes (d'une aide humaine) dans leur déplacement (Farcy et al., 2006), et semblent plutôt convenir à des personnes qui ont des capacités cognitives relativement élevées. Une des premières étapes pour améliorer la mobilité de l'ensemble de la population des personnes aveugles serait de mieux comprendre comment les processus cognitifs des personnes qui se déplacent sont mis en œuvre pendant cette activité.

Le déplacement piéton est une activité qui est réalisée de façon quasi-automatique lorsque la vision est disponible. Au contraire, lorsqu'elle est réalisée sans voir, cette activité est complexe d'un point de vue cognitif et hautement contrôlée. Cette activité implique de traiter et manipuler un grand nombre d'informations pour gérer les obstacles, garder l'axe de la trajectoire, construire une représentation mentale de l'environnement, se repérer dans cet environnement et faire des choix relatifs à l'itinéraire prévu.

Au regard de l'état de l'art présenté dans le premier chapitre, les processus cognitifs suivants nous semblent particulièrement pertinents pour l'activité de déplacement des personnes aveugles : l'attention sélective, l'attention soutenue, l'attention divisée, l'inhibition, la flexibilité et la mémoire de travail. Leur rôle dans le déplacement des piétons aveugles a été suggéré (Espinosa et al., 1998 ; Geruschat & Turano, 2007 ; Kujala, Lehtokoski, et al., 1997 ; Occelli et al., 2013), mais peu étudié.

Ainsi, par leur sollicitation massive dans la réalisation de déplacements sans voir, ces processus cognitifs pourraient être améliorés chez les personnes aveugles qui se déplacent

en autonomie. Certains de ces processus, tels que l'attention sélective et l'attention divisée (notamment spatiale) et la mémoire de travail ont été étudiés chez les personnes aveugles. Plusieurs études ont en effet montré que les personnes aveugles précoces avaient des capacités d'attention sélective et divisée pour le traitement spatial supérieures aux personnes voyantes (Collignon & De Volder, 2009 ; Collignon et al., 2006 ; Després et al., 2005 ; Kujala, Lehtokoski, et al., 1997 ; Lerens & Renier, 2014 ; Röder et al., 1999). Une supériorité pour les personnes aveugles tardives par rapport aux personnes voyantes au niveau de l'attention spatiale a également été mise en évidence dans une étude (Fieger et al., 2006). Les résultats des études menées sur la mémoire de travail des personnes aveugles sont plus difficiles à interpréter, voire contradictoires, en raison de l'utilisation de tâches différentes entre participants voyants et aveugles, ou de tâches ayant un niveau de difficulté différent pour ces deux populations. Néanmoins, les résultats de l'ensemble des études menées semblent converger vers une amélioration de la mémoire de travail des personnes aveugles précoces (Bliss et al., 2004 ; Dormal et al., 2016 ; Hull & Mason, 1995 ; Swanson & Luxenberg, 2009). Concernant les personnes aveugles tardives, les résultats des quelques études menées sont plus contradictoires. Des auteurs sont en faveur d'une amélioration de la mémoire de travail des personnes aveugles tardives par rapport aux personnes voyantes (Bliss et al., 2004 ; Ruggiero & Iachini, 2010) tandis que d'autres ne trouvent pas de différence (Dormal et al., 2016 ; Hull & Mason, 1995). Enfin, aucune étude ne semble avoir été menée sur l'attention soutenue, l'inhibition et la flexibilité des personnes aveugles. En outre, l'amélioration de l'ensemble de ces capacités cognitives pourrait être modulée par des facteurs individuels, tels que le caractère précoce ou tardif de la cécité, l'âge, l'aide à la locomotion utilisée ou le niveau d'expertise de déplacement.

En effet, la cécité peut avoir des effets différents sur le fonctionnement cognitif selon l'âge auquel elle a été acquise (Hatwell, 2003b). Les stratégies d'imagerie spatiale des personnes aveugles précoces et des personnes aveugles tardives sont par exemple différentes (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997 ; Vanlierde & Wanet-Defalque, 2004). Avoir expérimenté la perception de l'agencement de l'espace via la vision semble faciliter le traitement de l'information spatiale. Construire des représentations spatiales en l'absence de vision serait ainsi moins coûteux d'un point de vue cognitif pour les personnes aveugles tardives que pour les personnes aveugles précoces, pouvant moduler l'amplitude de l'amélioration cognitive. Pourtant, les processus attentionnels des personnes aveugles précoces et ceux des personnes aveugles tardives ne semblent pas avoir été comparés. Pour la mémoire de travail, certaines études montrent que les personnes aveugles précoces ont des capacités supérieures à celles des personnes aveugles tardives (Dormal et al., 2016 ; Hull

& Mason, 1995) alors que d'autres ne révèlent aucune différence (Bliss et al., 2004 ; Ruggiero & Iachini, 2010).

L'âge est un facteur également important à prendre en compte en raison du déclin cognitif qui apparaît au cours du vieillissement. Ce déclin se traduit par une diminution des capacités d'attention et de mémoire de travail. Associé à un déclin sensori-moteur, il s'accompagne de difficultés rencontrées dans les situations de déplacement chez les piétons voyants vieillissants (Tournier et al., 2016). Chez les personnes présentant une atteinte visuelle (aveugles et malvoyantes), une diminution de la fréquence des déplacements et une augmentation du nombre d'accidents sont également observées (Douglas et al., 2011 ; Mac Cobb, 2013 ; Manduchi & Kurniawan, 2011). Alors que les effets du vieillissement sur les capacités cognitives et l'activité de déplacement des personnes avec une atteinte visuelle sont bien documentés (Bertone et al., 2005 ; Elyashiv et al., 2014 ; Rozzini et al., 2014 ; Wahl & Heyl, 2003), le déclin cognitif des personnes aveugles vieillissantes ne semble pas avoir été appréhendé.

La compensation cognitive mise en place chez les personnes aveugles pourrait également être modulée par l'aide à la mobilité utilisée. En effet, l'activité de déplacement semble plus coûteuse cognitivement pour les personnes aveugles qui utilisent une canne blanche que pour celles qui sont accompagnées d'un chien-guide. Le chien-guide, en plus d'éviter les obstacles pour son maître, prend en partie en charge la navigation sur les parcours connus et peut orienter sur demande son maître vers des éléments spécifiques (passage piéton, entrée de station de métro, escaliers, porte) lors des déplacements non connus. La canne blanche est utile à l'individu aveugle pour détecter les éléments, mais uniquement ceux avec lesquels elle entre en contact. Ainsi, les obstacles sont évités avec une plus grande anticipation par le chien-guide que par la canne. Les aspects sécuritaires du déplacement et une partie des aspects de navigation sont pris en charge par le chien-guide alors que l'utilisateur de canne gère lui-même l'intégralité de ces dimensions. L'attention serait ainsi plus fortement mobilisée avec l'utilisation d'une canne blanche qu'avec un chien-guide (Gaunet & Briffault, 2001). Néanmoins, aucune étude ne semble avoir comparé l'effet de l'utilisation de l'une ou l'autre de ces aides sur le fonctionnement cognitif des personnes aveugles.

Un autre élément qui peut être lié à l'importance de la compensation cognitive est le niveau d'expertise de déplacement de l'individu. Certains éléments peuvent être indicatifs de ce niveau d'expertise, tels que la capacité à se déplacer dans des environnements non connus, le fait de réaliser des déplacements avec une grande fréquence, dans des environnements variés ou encore la capacité à réaliser une tâche secondaire pendant le déplacement

(téléphoner, écouter de la musique). Ce facteur du niveau d'expertise ne semble pas non plus avoir été appréhendé dans les études s'intéressant à la cognition des personnes aveugles.

Ainsi, contrairement à l'étude des représentations mentales des personnes aveugles qui a fait l'objet d'un grand nombre de publications (parfois avec des résultats contrastés), relativement peu d'études ont été menées sur l'attention des personnes aveugles, en dehors du domaine spatial. La difficulté à tester ces processus cognitifs sans la modalité visuelle pourrait expliquer cette insuffisance. En effet, les tests neuropsychologiques pouvant être adressés sans la modalité visuelle sont rares et souffrent de l'absence de normes appropriées à la population des personnes aveugles (Hill-Briggs, Dial, Morere, & Joyce, 2007).

II. Objectifs et hypothèses générales

L'inventaire de la littérature réalisé nous conduit aux objectifs de recherche généraux suivants :

- Le premier objectif est d'appréhender un ensemble de mécanismes cognitifs trop peu étudié dans la population des personnes aveugles et leur rôle dans la réalisation sécurisée et efficiente de leur déplacement, en prenant en compte certains facteurs individuels (notamment l'antériorité de la cécité, l'âge, l'aide à la mobilité utilisée),
- Le second objectif est de proposer des pistes pour améliorer la mobilité des personnes aveugles.

Afin de répondre à ces objectifs principaux, nous avons conduit deux expérimentations, la première de type évaluation neuropsychologique et la seconde en situation de déplacement piéton, dans un environnement contrôlé.

La première expérimentation (étude 1) avait pour objectif principal d'évaluer un ensemble de processus cognitifs chez des personnes aveugles autonomes dans leurs déplacements. Ces processus, l'attention sélective, l'inhibition, l'attention soutenue, l'attention divisée, la flexibilité et la mémoire de travail, ont été choisis à partir du corpus de travaux présentés dans les parties précédentes et car ils nous semblent fortement mobilisés dans le déplacement sans voir. L'objectif secondaire de cette expérimentation était d'examiner si des facteurs individuels avaient un effet sur la performance d'attention et de mémoire de travail des personnes aveugles, tels que l'âge, le caractère précoce ou tardif de la cécité, l'aide à la locomotion utilisée.

Cette étude a fait l'objet d'une publication dans la revue *Acta Psychologica* et un second article a été accepté pour publication dans la revue *Disability and Rehabilitation.*

L'objectif principal de la seconde expérimentation (étude 2) était d'appréhender la charge cognitive induite dans la marche des personnes aveugles à l'aide d'un paradigme de double tâche. Les objectifs secondaires étaient de mesurer les variations de charge mentale dans des conditions de différentes difficultés (présence d'obstacles ou non, réalisation d'une tâche secondaire) et selon différents facteurs individuels (l'âge, le caractère précoce ou tardif de la cécité, l'aide à la mobilité utilisée).

L'expérimentation 2 a été déclinée en deux études, la première (expérimentation 2.a) portant sur des personnes aveugles utilisant une canne blanche pour se déplacer, et la seconde (expérimentation 2.b) portant sur des personnes aveugles utilisant un chien-guide pour se déplacer.

Les hypothèses générales testées dans l'expérimentation 2.a étaient les suivantes :

- La charge mentale des participants devrait varier selon la difficulté de la tâche de déplacement,
- La charge mentale induite par la tâche de déplacement des participants aveugles précoces devrait être inférieure à celle des participants aveugles tardifs,
- La charge mentale induite par la tâche de déplacement des participants de moins de 60 ans devrait être inférieure à celle des participants âgés de 60 ans et plus,

L'hypothèse générale testée dans l'expérimentation 2.b était que cette charge cognitive serait moins importante pour les personnes utilisant un chien-guide (testées dans cette étude) que pour celles utilisant une canne blanche (testées dans l'étude 2.a).

Enfin, afin de répondre à un dernier objectif principal, les résultats obtenus à l'expérimentation 2.a ont été mis en relation avec ceux obtenus dans l'expérimentation 1. L'objectif était de mettre en évidence les liens entre performance de déplacement et performance d'attention.

L'hypothèse générale testée était que la performance de déplacement des participants aveugles à l'expérimentation 2.a serait en relation à celle obtenue dans l'expérimentation 1.

CHAPITRE 3 : PARTIE EXPERIMENTALE

I. Etude 1 : Evaluation des capacités attentionnelles et de la mémoire de travail des personnes aveugles

1. Introduction

Le recensement de la littérature nous a conduit à nous intéresser aux capacités d'attention sélective, d'attention soutenue, d'attention divisée, de flexibilité attentionnelle, d'inhibition et de mémoire de travail des personnes aveugles, qui semblent fortement mobilisées pour pallier l'absence de vision, en particulier au cours des déplacements piétons. En effet, bien que certains de ces processus aient été étudiés chez les personnes aveugles et se sont révélés comme étant améliorés par rapport aux personnes voyantes (Bliss et al., 2004 ; Collignon & De Volder, 2009 ; Collignon et al., 2006 ; Kujala, Lehtokoski, et al., 1997 ; Lerens & Renier, 2014 ; Ruggiero & Iachini, 2010), d'autres, notamment l'attention soutenue, la flexibilité et l'inhibition n'ont pas été appréhendés. De plus, les effets de facteurs inter-individuels, tels que l'âge d'acquisition de la cécité, sur l'ensemble de ces processus cognitifs n'ont pas toujours été explorés.

En outre, contrairement aux cas des personnes présentant une atteinte visuelle liée à l'âge, dont le déclin cognitif lié à l'âge est particulièrement marqué, et a fait l'objet d'un nombre considérable d'études (Bertone, Wittich, Watanabe, Overbury, & Faubert, 2005 ; Elyashiv, Shabtai, & Belkin, 2014 ; Rozzini et al., 2014 ; Wahl & Heyl, 2003), les effets du vieillissement sur le fonctionnement cognitif des personnes aveugles ne semblent pas avoir été considérés.

Le nombre limité de tests neuropsychologiques adaptés aux personnes présentant une atteinte visuelle exprimé par les cliniciens peut être une des raisons à l'origine de l'absence de considération globale de l'ensemble de ces processus chez les personnes aveugles (Bylsma & Doninger, 2004 ; Hill-Briggs et al., 2007).

Cette expérimentation avait donc comme premier objectif d'étudier si les personnes aveugles ont des capacités d'attention sélective, d'attention soutenue, d'attention divisée, de flexibilité, d'inhibition attentionnelle et de mémoire de travail supérieures aux personnes voyantes. Le deuxième objectif était d'appréhender les effets du vieillissement sur ces composantes cognitives des personnes aveugles, et d'observer si elles manifestent des effets comparables à ceux constatés chez les personnes voyantes au cours du vieillissement. Le troisième objectif était d'examiner si d'autres facteurs individuels sociodémographiques, liés à la cécité (tels que l'âge d'acquisition de la cécité, la présence de perception lumineuse) ou à la mobilité (tels que l'aide à la mobilité utilisée, l'aisance de déplacement), pouvaient impacter

ces processus cognitifs chez les personnes aveugles. Pour répondre à ces objectifs, une batterie de tests neuropsychologiques (pour la majorité conçus pour l'étude) a été soumise à des participants aveugles et voyants.

Les hypothèses testées étaient les suivantes :

- Les participants aveugles devraient obtenir de meilleures performances que les participants voyants aux yeux bandés aux tests évaluant l'attention sélective, l'inhibition, l'attention soutenue, l'attention divisée, la flexibilité et la mémoire de travail,
- Les participants aveugles et voyants de moins de 60 ans devraient obtenir de meilleures performances que les participants plus jeunes,

Au sein des participants aveugles :

- Les participants de moins de 60 ans devraient obtenir de meilleures performances que les participants âgés de 60 ans et plus,
- Ceux qui sont aveugles précoces devraient obtenir de meilleures performances que ceux qui sont aveugles tardifs,
- Les participants utilisant une canne pour se déplacer devraient obtenir de meilleures performances que les participants accompagnés d'un chien-guide,
- Les participants présentant le plus d'aisance pour se déplacer devraient obtenir de meilleures performances que les participants ayant moins d'aisance à se déplacer.

D'autres facteurs ont été testées, sans hypothèse *a priori* :

- Le sexe des participants,
- La durée de la scolarité,
- Le fait d'être en emploi,
- Le fait de présenter des résidus visuels.

2. Méthode

2.1. Participants

Soixante-quatre personnes aveugles et quarante-deux personnes voyantes ont participé à cette étude. Parmi les personnes aveugles, quarante-deux (vingt-cinq femmes) étaient âgées de moins de 60 ans (groupe aveugle jeune ; M = 39,0 ans, ET = 10,4) et vingt-et-une personnes (neuf femmes) de plus de 60 ans (groupe aveugle âgé ; M = 64,9 ans, ET = 4,8). Vingt-quatre participants voyants (dont quinze femmes) étaient âgés de moins de 60 ans (groupe voyant jeune ; M = 31,4 ans, ET = 8,2) et dix-huit (neuf femmes) de plus de 60

ans (groupe voyant âgé ; M = 68,1 ans, ET = 7,3). La répartition des participants a été réalisée selon un dispositif quasi-expérimental puisqu'aucun processus de pré-sélection aléatoire n'a été réalisé étant donné la population étudiée, difficile à recruter.

Dans le groupe aveugle jeune, vingt-et-un participants étaient aveugles précoces (un participant est devenu aveugle à l'âge d'un an, un participant à deux ans, deux participants à trois ans et les autres à la naissance) et vingt-et-un étaient aveugles tardifs (devenus aveugles entre cinq et cinquante-deux ans ; M = 24,5 ans, ET = 13,7). Dans le groupe aveugle âgé, deux participants étaient aveugles précoces (un participant est devenu aveugle à un an, l'autre est devenu aveugle à trois ans) et dix-neuf étaient aveugles tardifs (devenus aveugles entre dix et soixante ans ; M = 34,2 ans, ET = 14,1). Les caractéristiques sociodémographiques de l'ensemble des participants et certaines caractéristiques liées à la cécité des participants aveugles sont présentées dans le Tableau 4.

Tableau 4. Caractéristiques sociodémographiques, visuelles et de mobilité des groupes ; effectifs ou moyennes (écart-types)

	Participants aveugles jeunes (n = 42)	Participants aveugles âgés (n = 21)	Participants voyants jeunes (n = 24)	Participants voyants âgés (n = 18)
Age (années)	39,0 (10,4)	64,9 (4,8)	31,4 (8,2)	68,1 (7,3)
Nombre de femmes	24	9	15	9
Latéralité manuelle	2 gauchers 7 ambidextres	1 gaucher 3 ambidextres	3 gauchers	2 gauchers
Durée d'étude (ans)	13,7 (3,3)	12,2 (3,4)	14,9 (2,2)	10,8 (3,1)
Durée cécité (ans)	26,5 (14,5)	33,7 (16,1)		
Participants avec résidu visuel	22	9		
Utilisateur de canne	31	13		

La cécité des participants était de cause variée, et certains d'entre eux ont été malvoyants avant de devenir aveugles (dix-huit individus du groupe aveugle jeune et dix-huit individus du groupe aveugle âgé). Ils étaient aveugles complets ou avaient une perception lumineuse (pour trente d'entre eux). Les critères d'exclusion communs à tous les participants

étaient de présenter une autre atteinte sensorielle[6] ou une atteinte neurologique, et le critère d'inclusion pour les participants aveugles était d'être autonome pour se déplacer (déplacements autonomes au moins deux fois par semaine). Les participants ont signé un formulaire de consentement et l'expérimentation a été approuvée par le comité d'éthique de l'IFSTTAR.

2.2. Matériel et méthode

L'expérimentation avait lieu soit au domicile des participants, dans une salle prêtée par une association (Association Valentin Hauÿ de Lyon, Association Valentin Hauÿ de Grenoble, Association Valentin Hauÿ de Marseille et Fédération des Aveugles et Handicapés Visuels de France) ou dans les locaux de l'IFSTTAR de Bron, dans une pièce calme. La durée de l'expérimentation était de 90 à 120 minutes. Les différentes composantes cognitives des participants étaient évaluées soit à l'aide de tests standardisés, soit avec des tests conçus pour l'étude.

a. Les tests conçus pour l'étude

Toutes les tâches décrites ci-dessous ont été programmées avec le logiciel SuperLab Pro (version 2.0.4). La programmation des tests a été réalisée sur un ordinateur portable Dell Latitude D620, la présentation des stimuli et l'enregistrement des réponses et temps de réponse ont été réalisés sur un ordinateur portable HP EliteBook 8470p.

Pour la tâche de n-back, les tâches d'attention sélective, soutenue et divisée, les participants devaient répondre en appuyant le plus rapidement possible sur la barre espace du clavier de l'ordinateur portable placé face à eux avec l'index de leur main dominante. Les réponses données 200 ms après le début d'apparition du stimulus cible et avant le stimulus suivant étaient classées comme réponses correctes ; celles données après l'occurrence du stimulus suivant le stimulus cible étaient enregistrées comme réponses hors délai ; celles données à n'importe quel autre moment étaient considérées comme fausses alarmes.

La tâche de n-back permet de mesurer la mémoire de travail, en particulier les processus de mise à jour (Kane et al., 2007). Dans la version utilisée dans cette étude, des consonnes étaient présentées successivement, avec un intervalle inter stimuli de 1500 ms.

[6] Un participant aveugle de plus de 60 ans a été recruté et il s'est révélé au cours de la passation qu'il présentait des troubles auditifs importants ; la passation a été interrompue et le participant exclu.

Pour chaque condition, soixante stimuli étaient présentés, dont dix stimuli cibles. Il y avait quatre conditions (0-back, 1-back, 2-back et 3-back) qui différaient au niveau de la difficulté. Dans la condition 0-back, une condition contrôle, les participants devaient répondre à chaque fois qu'une consonne cible (la consonne C) était présentée. Dans la condition 1-back, les participants devaient répondre quand une consonne présentée était la même que celle présentée juste avant. Dans la condition 2-back, une réponse était attendue lorsqu'une consonne était identique à celle présentée deux consonnes plus tôt. Dans la condition 3-back, les participants devaient répondre lorsqu'ils entendaient une consonne identique à celle présentée trois consonnes plus tôt. Les variables dépendantes étaient, pour chaque condition, le nombre de réponses correctes, le temps de réponse moyen, le nombre de réponses hors délai et le nombre de fausses alarmes.

La tâche du Plus-Minus est un test permettant d'évaluer la flexibilité attentionnelle. Dans la version originale (Spector & Biederman, 1976), trois listes de trente nombres à deux chiffres sont présentées sur une feuille de papier. Pour la première liste, les participants doivent ajouter mentalement trois à chaque nombre et écrire la réponse. Pour la seconde liste, les participants doivent soustraire trois à chaque nombre et écrire la réponse. Pour la troisième liste, les participants doivent alterner entre additionner trois et soustraire trois aux nombres présentés et écrire la réponse. Chaque liste doit être complétée aussi rapidement et précisément que possible. Le coût de la flexibilité entre les deux opérations est calculé en faisant la différence entre le temps mis pour faire la troisième liste et la moyenne des temps mis pour faire les deux premières listes. Pour cette étude, cette tâche a été **adaptée en modalité auditive**. Pour chaque liste, les mêmes nombres que ceux de la version originale étaient auditivement diffusés par l'ordinateur. Quand un nombre était présenté, les participants devaient réaliser l'opération appropriée et donner la réponse verbalement. Ensuite, l'expérimentateur appuyait sur la barre espace, et le nombre suivant était présenté. En même temps, l'expérimentateur notait les erreurs et enregistrait le temps mis pour compléter chaque liste avec un chronomètre. Le coût de la flexibilité était calculé de la même façon que dans la version originale, et il correspond à la variable dépendante.

La tâche d'attention sélective utilisée dans cette étude comportait des consonnes (stimuli cible) et des chiffres (distracteurs) qui étaient présentés dans un ordre aléatoire à intervalle aléatoire de 1000, 1500 ou 2000 ms. Les participants devaient presser le plus rapidement possible la barre espace à chaque fois qu'ils entendaient une consonne. Cent vingt stimuli étaient présentés, dont un tiers était des stimuli cibles et deux tiers des distracteurs. La tâche durait trois minutes. Les variables dépendantes mesurées étaient le nombre de

réponses correctes, le temps de réponse moyen, le nombre de réponses hors délai et le nombre de fausses alarmes.

La tâche d'attention soutenue utilisée était similaire à la tâche d'attention sélective décrite précédemment, mais 360 stimuli étaient présentés durant neuf minutes. Les variables dépendantes étaient le nombre de réponses correctes, le temps de réponse moyen, le nombre de réponses hors délai et le nombre de fausses alarmes. Afin de rendre compte des variations de l'attention au cours du temps, les performances des participants ont été enregistrées en trois parties (les trois premières minutes du test, les trois suivantes et les trois dernières minutes) séparément.

La tâche d'attention divisée était composée de deux sous-tâches réalisées simultanément. Les participants devaient réaliser une tâche identique à la tâche d'attention sélective (tâche principale), et devaient en même temps compter à voix haute le nombre d'occurrence d'un chiffre (le chiffre six, présenté huit fois ; tâche secondaire). Les variables dépendantes étaient le nombre de réponses correctes, le temps de réponse moyen, le nombre de réponses hors délai et le nombre de fausses alarmes. La comparaison des performances à la tâche principale et celles obtenues dans la tâche d'attention sélective permet de rendre compte de l'effet de la division de l'attention.

La tâche de temps de réponse simple utilisée dans cette étude comportait un stimulus auditif (le son d'ordinateur « Windows XP Son par défaut ») qui était présenté à vingt reprises avec un intervalle inter stimulus aléatoire, compris entre 500 et 2000 ms. Les participants devaient presser le plus rapidement possible la barre espace à chaque fois qu'ils l'entendaient et la variable dépendante mesurée était le temps de réponse moyen.

b. Les tests standardisés

L'échelle verbale de la WAIS-R (Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised ; Wechsler, 1955 ; 1981) a été utilisée pour évaluer le fonctionnement intellectuel des participants. Cette échelle comprend les sous-tests Information, Mémoire des chiffres, Vocabulaire, Arithmétique, Compréhension et Similitudes. Bien qu'elle ne permette d'évaluer que le quotient intellectuel (QI) verbal, cette échelle est la seule disponible en français pour appréhender le fonctionnement intellectuel des personnes avec une atteinte visuelle adultes. Price, Mount, & Coles (1987) considèrent que l'échelle est appropriée à l'évaluation de personnes aveugles et qu'elle produit un QI verbal corrélé à 0,95 avec le QI de l'échelle totale. La variable dépendante était le score obtenu à la partie verbale de l'échelle.

Le test de Hayling (Burgess & Shallice, 1997), composé de deux conditions, a été utilisé pour évaluer la capacité d'inhibition. Dans chaque condition, quinze phrases, auxquelles il manquait le dernier mot, étaient présentées oralement par l'expérimentateur. Les participants devaient, dans la condition contrôle, compléter les phrases oralement le plus rapidement possible avec le mot qui convient le mieux, alors que dans l'autre condition (interférence), ils devaient les compléter avec des mots qui rendaient les phrases absurdes, c'est-à-dire inhiber leurs réponses automatiques. Pour chaque essai, le temps de latence (durée entre le dernier mot prononcé par l'expérimentateur et la réponse du participant) était mesuré par l'expérimentateur avec un chronomètre. Les variables dépendantes étaient le nombre de réponses correctes, le temps total non corrigé (la somme des temps de latence de la condition inhibition, en secondes) et le temps total corrigé (la somme des temps de latence corrigés ; temps de latence ramenés à 30 secondes pour les réponses non correctes, en seconde) de la condition inhibition.

Le sous-test Mémoire des chiffres de la WAIS-R (Wechsler, 1955 ; 1981) constitue également une des mesures de la mémoire de travail utilisée dans cette étude. Il est composé de deux conditions appelées Empan endroit et Empan envers. Des séquences de chiffres étaient présentées aux participants, qui devaient les répéter dans le même ordre pour la condition Empan endroit, et dans l'ordre inverse pour la condition Empan envers. La longueur des séquences initiales était de deux chiffres, et augmentait graduellement d'un chiffre tous les deux essais, jusqu'à ce que les participants échouent à deux essais consécutifs et composés d'un même nombre de chiffres. Les variables dépendantes étaient le nombre maximum de chiffres correctement répétés dans la condition Empan endroit, le nombre maximum de chiffres correctement répétés dans la condition Empan envers, la note brute (correspondant au nombre de réponses correctes dans les deux conditions) et la note standard âge (pondération de la note brute selon l'âge du participant).

c. Questionnaire d'habitudes de déplacement

Un questionnaire spécifique à l'étude a été réalisé. Certaines questions relatives aux déplacements étaient posées aux participants. Elles portaient sur la fréquence de déplacement, le fait de se déplacer seul dans des lieux non connus, d'écouter de la musique en marchant, de téléphoner en marchant et d'avoir déjà été victime d'un accident en tant que piéton aveugle.

A partir de ces questions, un score d'aisance de déplacement subjectif a été construit, prenant en compte chacune des réponses à ces questions, sauf le fait d'avoir été victime d'un accident. Cette dernière dimension ne nous semble pas être sur le même plan, puisqu'une

personne aveugle peut être victime d'un accident sans que ses compétences en mobilité, son aisance, soient mises en cause. Pour chaque question, selon la réponse donnée, un nombre de points était attribué :

- La fréquence de déplacement
    - moins de cinq fois par semaine : 1 point
    - plus de cinq fois par semaine : 2 points
- Les déplacements dans des lieux non connus
    - non : 0 point
    - moins d'une fois par mois : 1 point
    - plus d'une fois par mois : 2 points
- Ecouter de la musique
    - non : 0 point
    - oui, uniquement sur certains trajets et/ou rarement : 1 point
    - oui, fréquemment, sur tout type de trajet : 2 points
- Téléphoner en marchant
    - non : 0 point
    - oui, uniquement sur certains trajets et/ou rarement : 1 point
    - oui, fréquemment, sur tout type de trajet : 2 points

Le score d'aisance de déplacement subjectif correspond à la somme des points obtenus dans les quatre questions (de 1 à 8 points).

3. Résultats

Les résultats de cette expérimentation sont présentés en deux parties. Dans un premier temps, les performances de l'ensemble des participants ont été analysées afin de mesurer les effets de la cécité et de l'âge pour l'ensemble des variables. Dans un second temps, seules les performances des participants aveugles ont été prises en compte et analysées afin d'appréhender l'effet de facteurs inter-individuels sur la performance des personnes aveugles à l'ensemble des tests réalisés.

Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SPSS (IBM SPSS Statistics 22.0). Les performances des participants ont été analysées statistiquement avec des analyses de variance (ANOVA) à mesures répétées ou avec des tests T de Student (unilatéraux ou bilatéraux selon le facteur étudié). Pour les ANOVAs à mesures répétées, lorsque l'hypothèse de sphéricité n'était pas vérifiée, la correction de la trace de Pillai était utilisée (correction la moins sensible à la violation de l'hypothèse de sphéricité ; Howell, 2012).

Basé sur les valeurs de *F* significatives, le test de Bonferroni a été utilisé pour les analyses post-hoc. Pour les tests T de Student, lorsque l'homogénéité des variances (mesurée avec le test de Levene) n'était pas respectée, la valeur de *p* calculée pour les variances non homogènes était utilisée. Le niveau de significativité utilisé pour tous les tests statistiques était fixé à $p \leq .05$.

3.1. Comparaison des participants aveugles et voyants : effets de la cécité et effets de l'âge

Les performances (nombre de réponses correctes et, pour certains tests, temps de réponse, nombre de réponses hors délai et fausses alarmes) des participants ont été analysées statistiquement avec des ANOVAs à deux facteurs inter-individuel : le statut visuel (à deux modalités : aveugle et voyant) et l'âge (à deux modalités : moins de 60 ans et plus de 60 ans). Pour analyser les performances obtenues au test d'attention divisée et les variables Empan endroit et Empan envers du sous-test Mémoire des chiffres, des ANOVAs à mesures répétées à deux facteurs inter-individuels (statut visuel et âge) et un facteur intra-individuel à deux modalités (conditions) ont été réalisées. Pour les performances obtenues au test d'attention soutenue, des ANOVAs à mesures répétées à deux facteurs inter-individuels (statut visuel et âge) et un facteur intra-individuel à trois modalités (parties du test : partie 1, partie 2 et partie 3) ont été réalisées. Pour les performances obtenues à la tâche de n-back, des ANOVAs à mesures répétées à deux facteurs inter-individuels (statut visuel et âge) et un facteur intra-individuel à quatre modalités (les quatre conditions) ont été réalisées. Pour chaque variable dépendante, les moyennes et écart-types de chacun des groupes figurent dans le Tableau 5.

a. Test d'attention sélective

L'ANOVA réalisée sur le nombre de réponses correctes obtenues à la tâche d'attention sélective a montré un effet significatif du statut visuel ($F(1, 101) = 5{,}168$, $p = .025$) et de l'âge ($F(1, 101) = 13{,}765$, $p = .000$), mais pas d'interaction significative entre les deux effets principaux ($F(1, 101) = 0{,}383$, $p = .537$).

L'ANOVA réalisée sur les temps de réponse à la tâche a révélé un effet significatif du statut visuel ($F(1, 101) = 4{,}840$, $p = .030$), et de l'âge ($F(1, 101) = 28{,}615$, $p = .000$) mais pas d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 101) = 0{,}063$, $p = .802$).

L'ANOVA réalisée sur le nombre de réponses hors délai a montré un effet significatif du statut visuel ($F(1, 101) = 4{,}809$, $p = .031$), mais pas d'effet significatif de l'âge

(F(1, 101) = 3,366, p = .070), ni d'interaction entre le statut visuel et l'âge (F(1, 101) = 1,531, p = .219).

L'ANOVA réalisée sur le nombre de fausses alarmes n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel (F(1, 101) = 2,161, p = .145), ni de l'âge (F(1, 101) = 2,610, p = .109), ni d'interaction entre le statut visuel et l'âge (F(1, 101) = 0,001, p = .982).

Les résultats montrent que les participants aveugles ont significativement donné plus de réponses correctes, eu des temps de réponse plus courts et moins de réponses hors délai que les participants voyants au test d'attention sélective. Par rapport aux participants plus âgés, les participants jeunes ont significativement donné plus de réponses correctes et été plus rapides.

a. Test d'attention soutenue

L'ANOVA réalisée sur le nombre de réponses correctes obtenues à la tâche d'attention soutenue a montré un effet significatif du statut visuel (F(1, 100) = 8,434, p = .005), mais pas d'effet significatif de l'âge (F(1, 100) = 3,252, p = .074), ni d'interaction entre le statut visuel et l'âge (F(1, 100) = 0,383, p = .475).

L'ANOVA réalisée sur les temps de réponse a révélé un effet significatif du statut visuel (F(1, 100) = 6,843, p = .010), et de l'âge (F(1, 100) = 20,318, p = .000), mais pas d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge (F(1, 100) = 0,012, p = .912).

L'ANOVA réalisée sur le nombre de réponses hors délai a montré un effet significatif du statut visuel (F(1, 100) = 9,211, p = .003) mais pas d'effet significatif de l'âge (F(1, 100) = 0,737, p = .393) ni d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge (F(1, 100) = 0,696, p = .406).

L'ANOVA réalisée sur le nombre de fausses alarmes n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel (F(1, 100) = 2,161, p = .119), mais un effet significatif de l'âge a été trouvé (F(1, 100) = 4,817, p = .030). Aucune interaction entre le statut visuel et l'âge n'a été mise en évidence (F(1, 100) = 0,204, p = .652).

Les performances à la tâche d'attention soutenue ont été décomposées et analysées en trois parties pour déterminer s'il y a eu une variation de la performance des participants au cours du temps. L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de réponses correctes a montré un effet principal du statut visuel significatif (F(1, 100) = 8,380, p = .005), mais pas d'effet principal de l'âge (F(1, 100) = 3,416, p = .068), ni de la partie de la tâche (F(2, 100) = 2,103, p = .125). Une interaction significative entre le statut visuel et la partie de

la tâche (F(2, 100) = 3,264, p = .040) a été mise en évidence. Aucune interaction entre le statut visuel et l'âge n'a été révélé (F(1, 100) = 0,541, p = .464), ni entre l'âge et la partie de la tâche (F(2, 100) = 1,793, p = .169), ni entre le statut visuel, l'âge, et la partie de la tâche (F(2, 100) = 2,404, p = .093).

Tableau 5. Moyennes (écart-types) pour chaque variable pour chaque groupe (TR : temps de réponse, HD : réponses hors délai, FA : fausses alarmes)

Test	Variable	Groupe aveugle jeune	Groupe aveugle âgé	Groupe voyant jeune	Groupe voyant âgé
Test d'attention sélective	Score (/40)	38,4 (1,8)	35,7 (4,6)	36,6 (3,2)	34,6 (4,1)
	TR (ms)	700,0 (66,0)	771,4 (63,8)	731,3 (65,3)	796,2 (51,0)
	HD	1,0 (0,6)	1,4 (1,1)	0,7 (1,3)	1,1 (1,7)
	FA	0,3 (1,2)	1,0 (1,2)	1,1 (0,9)	1,2 (0,6)
Test d'attention soutenue	Score (/120)	115,0 (4,8)	111,5 (14,2)	109,5 (10,6)	107,5 (10,8)
	TR (ms)	702,0 (68,4)	761,6 (74,2)	735,3 (68,4)	798,5 (57,1)
	HD	1,7 (1,7)	2,8 (3,4)	1,8 (3,8)	2,4 (2,5)
	FA	1,0 (1,8)	2,0 (2,8)	3,2 (1,3)	3,2 (1,7)
	Score partie 1 (/40)	38,4 (2,4)	37,2 (4,6)	37,5 (2,9)	36,0 (3,7)
	Score partie 2 (/40)	38,9 (1,7)	36,9 (4,5)	36,1 (4,0)	35,4 (4,3)
	Score partie 3 (/40)	38,7 (1,9)	37,3 (5,6)	35,9 (4,5)	38,2 (3,5)
	TR partie 1 (ms)	704,7 (69,9)	767,8 (80,2)	724,3 (58,0)	798,7 (63,1)
	TR partie 2 (ms)	701,6 (67,4)	763,6 (71,1)	743,5 (75,0)	803,8 (51,6)
	TR partie 3 (ms)	700,6 (73,9)	752,6 (70,6)	741,0 (83,3)	798,4 (68,0)
	HD partie 1	0,3 (0,6)	0,9 (1,7)	0,6 (1,1)	1,0 (1,2)
	HD partie 2	0,2 (0,6)	0,6 (0,9)	1,2 (1,4)	1,0 (1,0)
	HD partie 3	0,4 (0,9)	0,6 (1,2)	1,4 (1,9)	1,2 (1,0)
	FA partie 1	0,6 (0,8)	0,9 (1,1)	0,5 (0,5)	0,8 (0,8)
	FA partie 2	0,4 (0,6)	0,8 (0,9)	0,5 (0,7)	0,8 (0,8
	FA partie 3	0,5 (0,9)	1,1 (1,6)	0,7 (0,8)	0,7 (0,8)
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	33,9 (6,9)	31,6 (6,4)	30,5 (5,7)	28,1 (5,2)
	TR tâche principale (ms)	765,3 (72,9)	837,9 (76,0)	845,7 (83,3)	891,5 (68,0)
	HD tâche principale	0,3 (1,5)	1,0 (1,9)	1,1 (1,9)	1,2 (1,0)
	FA tâche principale	1,0 (1,0)	1,4 (1,2)	0,7 (1,6)	1,1 (1,3)
	Score tâche secondaire(/8)	7,1 (1,0)	7,2 (1,7)	7,4 (1,0)	6,9 (1,0)
Test de n-back	Score en 0-back (/10)	10,0 (0,2)	10,0 (0,0)	10,0 (0,2)	9,9 (0,2)
	Score en 1-back (/10)	9,9 (0,4)	9,8 (0,4)	10,0 (0,2)	9,5 (1,0)
	Score en 2-back (/10)	8,8 (1,8)	6,7 (2,8)	8,2 (1,8)	7,0 (2,2)

	Score en 3-back (/10)	5,3 (1,8)	4,3 (1,8)	5,3 (1,4)	3,8 (1,9)
	TR en 0-back (ms)	544,5 (77,7)	617,1 (89,9)	591,0 (137,7)	654,4 (116,2)
	TR en 1-back (ms)	598,1 (88,1)	670,1 (92,1)	642,3 (101,0)	733,8 (73,7)
	TR en 2-back (ms)	741,7 (141,4)	863,8 (273,6)	842,4 (131,5)	1012,8 (193,2)
	TR en 3-back (ms)	919,7 (214,5)	982,4 (252,2)	1018,1 (135,6)	1038,7 (233,2)
	HD en 0-back	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,2)	0,0 (0,0)
	HD en 1-back	0,0 (0,2)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)	0,0 (0,0)
	HD en 2-back	0,0 (0,2)	0,3 (0,8)	0,3 (0,6)	0,7 (0,8)
	HD en 3-back	0,3 (0,6)	0,5 (0,7)	0,4 (0,5)	0,7 (1,4)
	FA en 0-back	0,4 (0,7)	0,8 (0,9)	0,4 (0,7)	0,8 (1,5)
	FA en 1-back	0,5 (0,7)	0,7 (0,9)	0,5 (1,0)	0,8 (1,5)
	FA en 2-back	0,5 (0,7)	0,6 (0,7)	0,6 (1,1)	0,8 (1,5)
	FA en 3-back	1,9 (1,6)	1,7 (1,3)	2,6 (2,0)	3,3 (2,0)
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	6,8 (1,7)	6,2 (1,4)	6,8 (1,1)	6,6 (1,1)
	Empan envers	5,7 (1,3)	5,0 (1,5)	5,0 (1,2)	4,4 (0,9)
	Note brute	18,8 (4,8)	16,6 (4,6)	17,3 (3,0)	15,6 (2,8)
	Note standard âge	14,10 (3,3)	13,2 (3,7)	12,9 (2,1)	13,6 (2,2)
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité		8,2 (11,9)	7,5 (9,9)	8,1 (11,7)	10,3 (19,5)
Tâche de Hayling	Score (/15)	10,8 (2,4)	9,7 (3,1)	10,5 (2,2)	8,8 (2,0)
	Temps total non corrigé (s)	65,0 (27,9)	63,8 (25,1)	62,8 (23,8)	61,7 (17,9)
	Temps total corrigé (s)	167,3 (64,2)	203,0 (83,2)	177,5 (61,0)	230,7 (52,3)
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		108,1 (16,2)	106,2 (13,8)	105,7 (10,3)	105,6 (7,5)
Tâche de temps de réponse simple (ms)		295,3 (78,9)	361,1 (55,2)	275,7 (70,7)	440,6 (132,2)

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur les temps de réponse a révélé un effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 20{,}516$, $p = .000$) et de l'âge ($F(1, 100) = 7{,}201$, $p = .009$), mais pas d'effet significatif de la partie de la tâche ($F(2, 100) = 1{,}262$, $p = .285$). L'analyse n'a pas montré d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}035$, $p = .853$), mais une interaction significative entre le statut visuel et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 4{,}165$, $p = .017$). Aucune interaction significative entre l'âge et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 2{,}173$, $p = .117$) ni entre le statut visuel, l'âge et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 0{,}463$, $p = .630$).

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de réponses hors délai a montré un effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 9{,}135$, $p = .003$), mais pas de l'âge ($F(1, 100) = 1{,}013$, $p = .317$), ni de la partie de la tâche ($F(2, 100) = 1{,}762$, $p = .174$). Une interaction significative entre le statut visuel et la partie de la tâche a été trouvée

($F(2, 100) = 3{,}704$, $p = .026$), mais pas d'interaction entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}965$, $p = .328$), ni entre l'âge et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 2{,}711$, $p = .069$), ni entre le statut visuel, l'âge et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 0{,}378$, $p = .540$).

Concernant le nombre de fausses alarmes, l'ANOVA à mesures répétées n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 0{,}118$, $p = .732$), mais un effet significatif de l'âge ($F(1, 100) = 5{,}361$, $p = .023$). Aucun effet de la partie de la tâche n'a été révélé ($F(2, 100) = 0{,}161$, $p = .851$). Aucune interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}328$, $p = .568$), ni entre le statut visuel et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 0{,}514$, $p = .599$), ni entre l'âge et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 0{,}002$, $p = .998$), ni entre le statut visuel, l'âge et la partie de la tâche ($F(2, 100) = 1{,}063$, $p = .348$) n'a été trouvée.

Pour résumer, au test d'attention soutenue, les participants aveugles ont significativement donné plus de réponses correctes, eu des temps de réponse plus courts et fait moins de réponses hors délai que les participants voyants. Par rapport aux participants plus âgés, les participants jeunes ont significativement été plus rapides et ont moins fait de fausses alarmes. De plus, aucun effet significatif de la partie de la tâche n'a été trouvé, mais des interactions significatives entre le statut visuel et la partie de la tâche ont été mises en évidence, suggérant que la performance ne variait pas significativement au cours du temps pour l'ensemble des participants, mais que c'était le cas pour certains d'entre eux.

b. Test d'attention divisée

Les performances obtenues à la tâche principale de la tâche d'attention divisée ont été comparées aux performances obtenues à la tâche d'attention sélective. L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de réponses correctes a montré un effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 8{,}755$, $p = .004$), de l'âge ($F(1, 100) = 8{,}050$, $p = .006$) et de la condition ($F(1, 100) = 99{,}415$, $p = .000$). En revanche, aucune interaction entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}046$, $p = .831$), ni entre le statut visuel et la condition ($F(1, 100) = 3{,}626$, $p = .060$), ni entre l'âge et la condition ($F(1, 100) = 0{,}000$, $p = .987$), ni entre le statut visuel, l'âge et la condition ($F(1, 100) = 0{,}168$, $p = .683$) n'a été trouvée.

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur les temps de réponse a révélé un effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 12{,}819$, $p = .001$), de l'âge ($F(1, 100) = 22{,}975$, $p = .000$) et de la condition ($F(1, 100) = 188{,}928$, $p = .000$). L'analyse n'a pas montré d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}401$, $p = .528$), mais une interaction significative entre le statut visuel et la condition ($F(1, 100) = 9{,}699$, $p = .002$) a été révélée.

Aucune interaction significative n'a été trouvée entre l'âge et la condition (F(1, 100) = 0,552, p = .459) ni entre le statut visuel, l'âge et la condition (F(1, 100) = 0,638, p = .426).

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de réponses hors délai a montré un effet significatif du statut visuel (F(1, 100) = 14,000, p = .000) et un effet significatif de la condition (F(1, 100) = 53,442, p = .000), mais pas d'effet de l'âge (F(1, 100) = 2,973, p = .088). Une interaction significative entre le statut visuel et la condition a été trouvée (F(1, 100) = 12,259, p = .016), mais pas d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge (F(1, 100) = 2,973, p = .088), ni entre l'âge et la condition (F(1, 100) = 0,047, p = .829), ni entre le statut visuel, l'âge et la condition (F(1, 100) = 0,783, p = .378).

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de fausses alarmes n'a pas montré d'effet principal du statut visuel (F(1, 100) = 0,648, p = .423), ni de l'âge (F(1, 100) = 1,551, p = .216), ni de la condition (F(1, 100) = 0,264, p = .608). Aucune interaction significative n'a été trouvée entre le statut visuel et l'âge (F(1, 100) = 0,354, p = .553), ni entre le statut visuel et la condition (F(1, 100) = 0,960, p = .330), ni entre l'âge et la condition (F(1, 100) = 0,960, p = .330), ni entre le statut visuel, l'âge et la condition (F(1, 100) = 0,264, p = .608).

L'ANOVA réalisée sur le nombre de réponses correctes à la tâche secondaire n'a pas montré d'effet du statut visuel (F(1, 101) = 0,584, p = .447), ni de l'âge (F(1, 101) = 0,001, p = .978) ni d'interaction entre le statut visuel et l'âge (F(1, 101) = 0,415, p = .521).

Ainsi, au test d'attention divisée, les participants aveugles ont significativement donné plus de réponses correctes, eu des temps de réponse plus courts et fait moins de réponses hors délai que les participants voyants. Par rapport aux participants plus âgés, les participants jeunes ont significativement donné plus de réponses correctes et ont été plus rapides.

c. Tâche de n-back

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de réponses correctes obtenues à la tâche de n-back n'a pas révélé d'effet du statut visuel (F(1, 100) = 0,542, p = .463), mais un effet significatif de l'âge (F(1, 100) = 20,621, p = .000), et de la condition (F(3, 100) = 285,596, p = .000) ont été trouvés. Les analyses post-hoc ont montré des différences significatives entre le nombre de réponses correctes obtenues dans la condition 0-back et celles obtenues dans les conditions 1-back (p = .007), 2-back (p = .000) et 3-back (p = .000), et entre le nombre de réponses correctes obtenues dans la condition 1-back et celles obtenues dans les conditions 2-back (p = .000) et 3-back (p = .000) et entre le nombre de réponses correctes obtenues dans les conditions 2-back et 3-back (p = .000). Aucune

interaction significative entre le statut visuel et l'âge n'a été montrée ($F(1, 100) = 0{,}001$, $p = .971$), ni entre le statut visuel et la condition ($F(3, 100) = 0{,}175$, $p = .913$), mais une interaction significative entre l'âge et la condition a été trouvée ($F(3, 100) = 6{,}919$, $p = .000$). L'analyse n'a pas montré d'interaction entre le statut visuel, l'âge et la condition ($F(3, 100) = 1{,}643$, $p = .184$).

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur les temps de réponse a montré un effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 10{,}733$, $p = .001$), de l'âge ($F(1, 100) = 13{,}811$, $p = .000$) et de la condition ($F(3, 100) = 144{,}723$, $p = .000$). Les analyses post-hoc ont révélé des différences significatives entre les temps de réponse à la condition 0-back et ceux obtenus dans les conditions 1-back ($p = .000$), 2-back ($p = .000$) et 3-back ($p = .000$), et entre les temps de réponse à la condition 1-back et ceux obtenus dans les conditions 2-back ($p = .000$) et 3-back ($p = .000$) et entre les temps de réponse obtenus dans les conditions 2-back et 3-back ($p = .000$). Aucune interaction entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}008$, $p = .930$), entre le statut visuel et la condition ($F(3, 100) = 1{,}977$, $p = .122$), entre l'âge et la condition ($F(3, 100) = 2{,}356$, $p = .077$), et entre le statut visuel, l'âge et la condition ($F(3, 100) = 0{,}490$, $p = .690$) n'a été mise en évidence.

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de réponses hors délai n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 3{,}872$, $p = .052$), mais un effet significatif de l'âge ($F(1, 100) = 7{,}122$, $p = .009$) et de la condition ($F(3, 100) = 21{,}239$, $p = .000$) ont été trouvés. Les analyses post-hoc ont révélé des différences significatives entre la condition 0-back et les conditions 2-back ($p = .000$) et 3 back ($p = .000$), entre la condition 1-back et les conditions 2-back ($p = .000$) et 3 back ($p = .000$). En revanche, aucune différence n'a été trouvée entre les conditions 0-back et 1-back ($p = 1.000$) et entre les conditions 2-back et 3-back ($p = .883$). Une interaction significative entre la condition et le statut visuel ($F(3, 100) = 3{,}059$, $p = .032$) et entre la condition et l'âge ($F(3, 100) = 4{,}158$, $p = .008$) a été montrée. Néanmoins, aucune interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}289$, $p = .592$), ni entre le statut visuel, l'âge et la condition ($F(3, 100) = 0{,}580$, $p = .630$) n'a été trouvée.

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur le nombre de fausses alarmes ne montre pas d'effet significatif de l'âge ($F(1, 100) = 1{,}733$, $p = .191$), mais un effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 3{,}933$, $p = .050$) et de la condition ($F(3, 100) = 37{,}782$, $p = .000$) ont été révélés. Les analyses post-hoc ont révélé des différences significatives entre les conditions 0-back et 3-back ($p = .000$), entre les conditions 1-back et 3-back ($p = .000$) et entre les conditions 2-back et 3-back ($p = .000$). Aucune différence significative n'a été trouvée entre la

condition 0-back et les conditions 1-back (p = 1.000) et 2-back (p = 1.000) et entre les conditions 1-back et 2-back (p = 1.000). Une interaction significative entre le statut visuel et la condition (F(3, 100) = 3,479, p = .019) a été trouvée, mais aucune interaction entre le statut visuel et l'âge (F(1, 100) = 0,643, p = .424), entre l'âge et la condition (F(3, 100) = 0,837, p = .476), entre le statut visuel, l'âge et la condition (F(3, 100) = 0,522, p = .668) n'a été trouvée.

Pour résumer, au test de n-back, les participants aveugles ont été significativement plus rapides que les participants voyants et ils ont donné moins de fausses alarmes. Les participants jeunes ont significativement donné plus de réponses correctes, ont été plus rapides, ont donné moins de réponses hors délai que les participants plus âgés.

d. Sous-test Mémoire des chiffres

L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur l'empan endroit et l'empan envers n'a pas révélé d'effet significatif du statut visuel (F(1, 101) = 0,808, p = .371), mais un effet significatif de l'âge (F(1, 101) = 5,271, p = .024), et de la condition (F(1, 101) = 160,533, p = .000) ont été trouvés. Une interaction significative entre le statut visuel et la condition (F(1, 101) = 9,546, p = .003) a été trouvée. Aucune interaction significative n'a été montrée entre le statut visuel et l'âge (F(1, 101) = 0,248, p = .660) entre l'âge et condition (F(1, 101) = 0,248, p = .306), et entre le statut visuel, l'âge et la condition (F(1, 101) = 0,418, p = .519).

L'ANOVA réalisée sur la note brute obtenue au sous-test Mémoire des chiffres n'a pas montré d'effet du statut visuel (F(1, 101) = 2,117, p = .149), mais un effet de l'âge a été trouvé (F(1, 101) = 5,551, p = .020). Aucune interaction entre le statut visuel et l'âge n'a été mise en évidence (F(1, 101) = 0,102, p = .750).

L'ANOVA réalisée sur la note standard âge n'a pas révélé d'effet significatif du statut visuel (F(1, 101) = 0,482, p = .489), ni de l'âge (F(1, 101) = 0,010, p = .921), ni d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge (F(1, 101) = 1,704, p = .195).

Au sous-test Mémoire des chiffres, les participants aveugles n'ont pas obtenu d'empan, de note brute ou de note standard âge significativement différents de ceux des participants voyants. En revanche, les participants jeunes ont obtenu des empans significativement plus longs et une note brute significativement plus grande que les participants plus âgés.

e. Tâche du plus-minus auditive

L'ANOVA réalisée sur le coût de flexibilité obtenu à la tâche du plus-minus auditive n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel (F(1, 100) = 0,248, p = .620), ni de l'âge

($F(1, 100) = 0{,}080$, $p = .777$), ni d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}284$, $p = .695$).

f. Tâche de Hayling

L'ANOVA réalisée sur les score obtenus à la tâche de Hayling a révélé un effet significatif de l'âge ($F(1, 100) = 7{,}831$, $p = .006$), mais n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 1{,}582$, $p = .211$), ni d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}365$, $p = .547$).

L'ANOVA réalisée sur le temps total non corrigé n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 0{,}132$, $p = .717$), ni de l'âge ($F(1, 100) = 0{,}076$, $p = .783$), ni d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}002$, $p = .961$).

L'ANOVA réalisée sur le temps total corrigé n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel ($F(1, 100) = 1{,}934$, $p = .167$), mais un effet significatif de l'âge ($F(1, 100) = 10{,}600$, $p = .002$). Aucune interaction significative n'a été trouvée entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 100) = 0{,}405$, $p = .524$).

Ainsi, aucune différence significative n'a été révélée entre les participants aveugles et les participants voyants concernant les variables de la tâche de Hayling. En revanche, les participants jeunes ont obtenu un score significativement plus grand et un temps total corrigé significativement plus court que les participants âgés.

a. L'échelle verbale de la WAIS-R

L'ANOVA réalisée sur le score obtenu à l'échelle verbale de la WAIS-R n'a pas montré d'effet significatif du statut visuel ($F(1, 101) = 0{,}297$, $p = .587$), ni de l'âge ($F(1, 101) = 0{,}137$, $p = .712$), ni d'interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 101) = 0{,}099$, $p = .754$).

b. La tâche de temps de réponse simple

L'ANOVA réalisée sur les temps de réponse simple n'a pas montré d'effet du statut visuel ($F(1, 99) = 2{,}891$, $p = .092$), mais un effet significatif de l'âge ($F(1, 99) = 42{,}995$, $p = .000$) et une interaction significative entre le statut visuel et l'âge ($F(1, 99) = 7{,}898$, $p = .006$).

Pour chaque variable étudiée, les effets de l'âge et du statut visuels qui se sont révélés significatifs sont récapitulés dans le Tableau 6.

Tableau 6. Récapitulatif des effets inter-individuels significatifs

Test	Variable	Effets de du statut visuel	Effets de l'âge
Test d'attention sélective	Score	*	***
	TR	*	***
	HD	*	
	FA		
Test d'attention soutenue	Score	**	
	TR	*	***
	HD	**	
	FA		*
Test d'attention divisée	Score tâche principale	**	**
	TR tâche principale	**	***
	HD la tâche principale	***	
	FA tâche principale		
	Score tâche secondaire		
Test de n-back	Score		***
	TR	**	***
	HD		**
	FA	*	
Sous-test Mémoire des chiffres	Empans		*
	Note brute		*
	Note standard âge		
Tâche du plus minus	Coût de flexibilité		
Tâche de Hayling	Score		**
	Temps total non corrigé		
	Temps total corrigé		**
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R			
Tâche de temps de réponse simple			***

*TR : temps de réponse, HD : hors délai, FA : fausse alarme, ***p< .001, **p< .01, *p≤ .05*

3.2. Participants aveugles : effets des facteurs inter-individuels

Des ANOVAs ou tests T de Student ont été réalisés sur les performances de l'ensemble des participants aveugles (sauf dans certains cas, qui seront précisés) avec différentes variables inter-individuelles testées indépendamment (car le nombre de variables indépendantes à tester était trop important par rapport à la taille de l'échantillon pour qu'elles

puissent être analysées ensembles). Ces variables inter-individuelles étaient relatives à des facteurs sociodémographiques (l'âge, le sexe, le nombre d'années de scolarité, le fait d'être en emploi), à des facteurs liés à la cécité (l'âge d'acquisition de la cécité, la présence de résidus visuels) et à des facteurs liés aux déplacements (l'aide à la mobilité principale utilisée, l'aisance de déplacement subjective). Seuls les résultats des analyses statistiques pour lesquelles un effet significatif de la variable inter-individuelle a été trouvé seront présentés ici, mais l'ensemble des résultats des analyses statistiques est disponible en annexe.

a. Facteurs sociodémographiques

- Effet de l'âge

Pour l'ensemble des variables dépendantes, les performances des participants du groupe aveugle jeune (âgés de moins de 60 ans) et celles des participants du groupe aveugle âgé (60 ans et plus) ont été comparées statistiquement à l'aide de tests T de Student unilatéraux (avec l'hypothèse que les performances du groupe jeune devraient être meilleures que celles du groupe âgé) ou d'ANOVAs à mesures répétées (les moyennes, écart-types et résultats des tests statistiques pour l'ensemble des variables sont présentées en Annexe 1).

A **la tâche d'attention sélective**, les participants du groupe aveugle jeune ont donné significativement plus de réponses correctes (M = 38,4) que les participants du groupe aveugle âgé (M = 35,7 ; $t(61) = 3{,}066$, $p = .003$). Les temps de réponse du groupe aveugle jeune étaient également significativement plus courts (M = 700,0) que ceux des participants du groupe aveugle âgé (M = 771,4 ; $t(61) = 4{,}212$, $p = .000$). Les participants les plus jeunes ont également donné significativement moins de réponses hors délais (M = 0,3) que les participants du groupe aveugle âgé (M = 1,0 ; $t(61) = 2{,}764$, $p = .005$).

Concernant **la tâche d'attention soutenue**, le nombre de réponses correctes des participants du groupe aveugle jeune était de 116,0 en moyenne, il était de 111,5 pour les participants du groupe aveugle âgé. Cette différence s'est révélée significative ($t(60) = 2{,}349$, $p = .035$). Les participants du groupe aveugle jeune ont répondu en 702,0 ms en moyenne et ceux du groupe aveugle âgé en 762 ms. Cette différence est également significative ($t(60) = 3{,}305$, $p = .001$).

A **la tâche d'attention divisée**, les participants du groupe aveugle jeune ont obtenu à la tâche principale en moyenne 33,9 réponses correctes contre 31,6 pour les plus âgés. Lorsque ces scores ont été statistiquement comparés à ceux obtenus à la tâche d'attention sélective, l'ANOVA à mesures répétées a révélé un effet significatif de l'âge ($F(1, 61) = 5{,}426$, $p = .023$), et de la condition ($F(1, 61) = 34{,}636$, $p = .000$), mais pas d'interaction significative

entre l'âge et la condition (F(1, 61) = 0,097, p = .757). Les temps de réponse des participants du groupe aveugle jeune à la tâche principale étaient de 765,3 ms en moyenne contre 837 ms pour les participants plus âgés. Lorsque ces temps de réponse ont été statistiquement comparés à ceux obtenus à la tâche d'attention sélective, l'ANOVA à mesures répétées a révélé un effet significatif de l'âge (F(1, 61) = 17,970, p = .000), un effet significatif de la condition (F(1, 61) = 121,337, p = .000), mais pas d'interaction significative entre l'âge et la condition (F(1, 61) = 0,003, p = .954).

Les nombres de réponses correctes et temps de réponse obtenus par les deux groupes dans les quatre conditions de **la tâche de n-back** sont présentés dans le Tableau 7. Concernant le nombre de réponses correctes, un effet significatif de l'âge (F(1, 183) = 10,219, p = .002) et de la condition (F(3, 183) = 163,480, p = .000) a été montré par l'ANOVA à mesures répétées. Les analyses post-hoc ont révélé que le nombre de réponses correctes obtenues dans la condition 0-back était significativement supérieur à celui obtenu dans les conditions 1-back (p = .024), 2-back (p = .000) et 3-back (p = .000), que celui obtenu en condition 1-back était significativement supérieur à ceux obtenus dans les conditions 2-back (p = .000) et 3-back (p = .000), et que celui obtenu dans la condition 2-back était significativement supérieur à celui obtenu en 3-back (p = .000). Une interaction significative entre l'âge et la condition a également été révélée (F(3, 183) = 4,270, p = .009). L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur les temps de réponse a montré un effet significatif de l'âge (F(1, 183) = 6,526, p = .013) et de la condition (F(3, 183) = 71,585, p = .000). Les analyses post-hoc ont mis en évidence que les temps de réponse obtenus dans la condition 0-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus dans les conditions 1-back (p = .000), 2-back (p = .000) et 3-back (p = .000), que ceux obtenus en condition 1-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus dans les conditions 2-back (p = .000) et 3-back (p = .000), et ceux obtenus dans la condition 2-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus en 3-back (p = .000). Aucune interaction significative entre l'âge et la condition n'a été révélée (F(3, 183) = 0,580, p = .631).

La note brute moyenne obtenue **au sous-test Mémoire des chiffres** était de 18,8 pour les participants du groupe aveugle jeune, elle était de 16,6 pour ceux du groupe aveugle âgé. Cette différence s'est révélée significative (t(61) = 1,783, p = .040).

Une différence significative a été trouvée entre le temps total corrigé à **la tâche de Hayling** des participants du groupe aveugle jeune (M = 167,3 ms) et celui des participants plus âgés (M = 203,0 ms ; t(61) = 1,893, p = .032).

Tableau 7. Moyennes (écart-types) des réponses correctes et temps de réponse selon l'âge des participants

	Participants aveugles de moins de 60 ans (n = 42)	Participants aveugles de plus de 60 ans (n = 21)
Score en 0-back (/10)	10,0 (0.2)	10,0 (0,0)
Score en 1-back (/10)	9,9 (0,4)	9,8 (0,4)
Score en 2-back (/10)	8,8 (1,8)	6,7 (2,9)
Score en 3-back (/10)	5,3 (1,8)	4,3 (1,8)
TR en 0-back (ms)	542,8 (77,7)	622,2 (72,6)
TR en 1-back (ms)	598,1 (88,1)	679,4 (90,8)
TR en 2-back (ms)	740,5 (141,4)	889,2 (279,3)
TR en 3-back (ms)	913,2 (214,5)	982,4 (259,8)

TR : temps de réponse, ms : millisecondes

Concernant **la tâche de temps de réponse simple**, les participants du groupe aveugle jeune ont été significativement plus rapides que ceux du groupe aveugle âgé ($t(60) = 3,418$, $p = .001$), avec des temps de réponse moyens de 295,3 ms contre 361,2 respectivement.

- Effet du sexe

Aucune analyse statistique (ANOVA à mesures répétées ou test T de Student bilatéral) n'a montré d'effet du facteur inter-individuel sexe sur les variables dépendantes étudiées (les moyennes, écart-types et résultats des tests statistiques pour l'ensemble de ces variables sont présentées en Annexe 2).

- Effet du nombre d'années de scolarité

Le nombre d'années de scolarité des participants était compris entre 7 et 20 ans et sa distribution est décrite dans la Figure 3. Les participants ont été regroupés en trois classes selon la durée de leur scolarité : jusqu'à douze ans de scolarité, correspondant au baccalauréat (vingt-six participants), entre treize et quinze ans de scolarité, correspondant à un niveau bac + 3 (vingt participants) et plus de seize ans de scolarité, correspondant à un niveau bac + 5 (dix-sept participants).

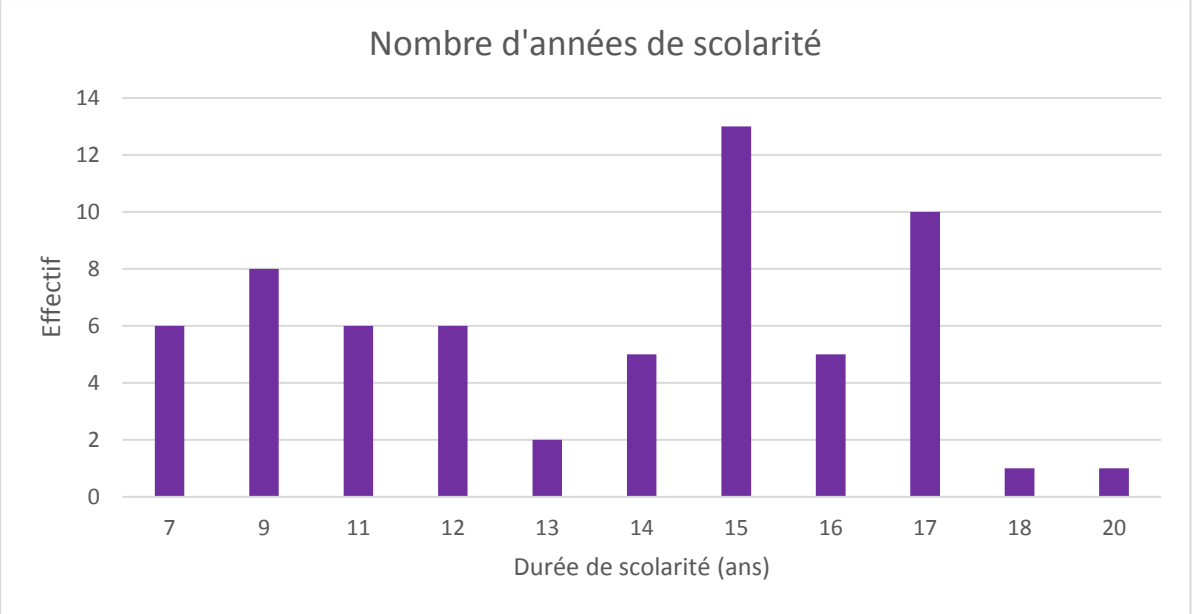

Figure 3. Durée de scolarité des participants

Le Tableau 8 décrit les performances des participants à **la tâche de Hayling** selon la durée de leur scolarité. L'ANOVA réalisée sur le nombre de réponses correctes a révélé un effet significatif de la durée de scolarité ($F(2, 60) = 5{,}085$, $p = .009$). Les analyses post-hoc ont montré que les participants avec une durée de scolarité inférieure ou égale à douze ans ont obtenu un nombre de réponses correctes significativement inférieur aux participants dont la durée de scolarité était comprise entre treize et quinze ans ($p = .013$). En revanche, aucune différence significative n'a été trouvée entre les participants avec une durée de scolarité supérieure à quinze ans et ceux dont la durée était inférieure à treize ans ($p = .079$) ou comprise entre treize et quinze ans ($p = 1.000$). L'ANOVA réalisée sur le temps total non corrigé a montré un effet significatif de la durée de scolarité ($F(2, 60) = 3{,}734$, $p = .030$). Les analyses post-hoc n'ont pas révélé de différence significative entre les participants avec une durée de scolarité inférieure ou égale à douze ans et ceux dont la durée était comprise entre treize et quinze ans ($p = .671$), ou ceux dont la durée était supérieure à quinze ans ($p = .277$), mais les participants dont la durée de scolarité était comprise entre treize et quinze ans ont obtenu un temps total non corrigé significativement inférieur à ceux dont la durée était supérieure à quinze ans ($p = .025$). L'ANOVA réalisée sur le temps total corrigé a montré un effet significatif de la durée de scolarité ($F(2, 60) = 4{,}490$, $p = .015$). Les analyses post-hoc ont révélé que les participants avec une durée de scolarité inférieure ou égale à douze ans ont obtenu un temps total corrigé significativement supérieur à ceux dont la durée était comprise entre treize et quinze ans ($p = .012$). Aucune différence significative n'a été trouvée entre les participants avec une durée de scolarité inférieure ou égale à douze ans et ceux dont la durée

était supérieure à quinze ans (p = .615), ni entre ces derniers et ceux dont la durée était comprise entre treize et quinze ans (p = .424).

Tableau 8. Moyennes (écart-types) des variables de la tâche de Hayling selon la durée de scolarité des participants

	Scolarité inférieure ou égale à 12 ans	Scolarité entre 13 et 15 ans	Scolarité de 16 ans et plus
Nombre de réponses correctes	9,3 (2,8)	11,5 (1,9)	11,1 (2,7)
Temps total non corrigé (s)	63,7 (26,9)	54,3 (20,6)	77,5 (29,4)
Temps total corrigé (s)	205,9 (78,6)	145,0 (52,8)	178,6 (67,4)

s : secondes

Concernant **l'échelle verbale de la WAIS-R**, le score moyen des participants ayant une durée de scolarité inférieure ou égale à douze ans était de 98,5, celui des participants dont la durée de scolarité était compris entre treize et quinze ans était de 113,5 et celui des participants avec une durée de scolarité de plus de seize ans était de 113,9. L'ANOVA a montré un effet significatif de la durée de la scolarité (F(2, 60) = 9,472, p = .000). Les analyses post-hoc ont révélé que les participants avec une durée de scolarité inférieure ou égale à douze ans ont obtenu un score inférieur aux participants dont la durée était comprise entre treize et quinze ans (p = .001), et à ceux dont la durée était supérieure à quinze ans (p = .002). En revanche, aucune différence significative n'a été trouvée entre les participants avec une durée de scolarité comprise entre treize et quinze ans et ceux dont la durée était supérieure à quinze (p = 1.000).

- Effet de l'emploi

Le facteur emploi a été testé sur les performances des participants aveugles jeunes uniquement car les participants aveugles âgés étaient tous retraités sauf un individu qui travaillait encore. Parmi les quarante-deux participants aveugles jeunes, vingt-et-un avaient une activité professionnelle. Aucune analyse statistique (ANOVA à mesures répétées ou test T de Student bilatéral) n'a montré d'effet du facteur inter-individuel emploi sur les variables dépendantes étudiées (les moyennes, écart-types et résultats des tests statistiques pour l'ensemble des variables sont présentées en Annexe 3)

b. Facteurs liés à la cécité

- Effet de l'âge d'acquisition de la cécité

Le facteur âge d'acquisition de la cécité a été testé sur les performances des participants aveugles jeunes uniquement car la répartition des groupes n'était pas appropriée à une analyse de tous les participants (seulement deux participants âgés étaient aveugles précoces ; les moyennes, écart-types et résultats des tests statistiques pour l'ensemble des variables sont présentées en Annexe 4).

Des effets significatifs de l'âge d'acquisition de la cécité ont été trouvés pour certaines des variables dépendantes du **sous-test Mémoire des chiffres**. Les participants aveugles précoces ont obtenu un empan endroit moyen de 7,5 chiffres et un empan envers moyen de 6,2 ; l'empan endroit moyen des participants aveugles tardifs était de 6,2 et leur empan envers était de 5,1. L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur les empans a montré un effet significatif de l'âge d'acquisition de la cécité ($F(1, 40) = 9{,}564$, $p = .004$) et de la condition ($F(1, 40) = 33{,}882$, $p = .000$). Aucune interaction significative entre l'âge d'acquisition de la cécité et la condition n'a été trouvée ($F(1,40) = 0{,}235$, $p = .630$). La note brute moyenne obtenue par les participants aveugles précoces était significativement supérieure à celles des participants aveugles tardifs (M = 21,1 contre M = 16,5 respectivement ; $t(40) = 3{,}553$, $p = .001$). La note standard âge moyenne des participants aveugles précoces était significativement supérieure à celles des participants aveugles tardifs (M = de 15,7 contre M = 12,2 respectivement ; $t(40) = 3{,}504$, $p = .001$).

Le nombre de réponses correctes moyen obtenu à **la tâche de Hayling** par les participants aveugles précoces était de 11,7, contre 10,0 pour les participants aveugles tardifs, la différence s'est révélée significative ($t(40) = 2{,}353$, $p = .024$).

- Effet de la présence de résidus visuels

Aucune analyse statistique (ANOVA à mesures répétées ou test T de Student bilatéral) n'a montré d'effet du facteur inter-individuel présence de résidus visuels sur les variables dépendantes étudiées (les moyennes, écart-types et résultats des tests statistiques pour l'ensemble des variables sont présentées en Annexe 5).

c. Facteurs liés à la mobilité

- Effet de l'aide à la mobilité utilisée

Les moyennes, écart-types et résultats des tests statistiques pour l'ensemble des variables sont présentées Annexe 6.

Concernant **le sous-test Mémoire des chiffres**, les participants utilisant une canne blanche ont obtenu une note standard âge moyenne de 14,4, et celle des participants utilisant un chien-guide était de 12,4. La différence est significative ($t(61) = 2{,}276$, $p = .026$).

Le score obtenu à **l'échelle verbale de la WAIS-R** des participants utilisant une canne blanche était de 110,1, celui des participants utilisant un chien-guide était de 101,3. La différence est significative ($t(61) = 2{,}130$, $p = .037$).

- Effets de l'aisance de déplacement

La répartition des réponses données par les participants à chaque question relative aux déplacements est décrite dans le Tableau 9.

Tableau 9. Effectifs des réponses aux questions d'habitudes de déplacements

	Réponses	Effectifs
Fréquence de déplacement	Moins de cinq fois par semaine	7
	Plus de cinq fois par semaine	56
Déplacements dans des lieux non connus	Non	12
	Moins d'une fois par mois (occasionnellement)	30
	Plus d'une fois par mois (fréquemment)	21
Ecoute de musique	Non	48
	Oui, uniquement sur certains trajets et/ou rarement	6
	Oui, fréquemment, sur tout type de trajet	9
Téléphone	Non	31
	Oui, uniquement sur certains trajets et/ou rarement	21
	Oui, fréquemment, sur tout type de trajet	11
A été victime d'un accident piéton	Oui	25
	Non	38

Les sept participants qui ont déclaré se déplacer moins de cinq fois par semaine avaient 48,6 ans en moyenne, contre 47,5 pour les cinquante-six individus qui ont déclaré se déplacer

plus. Parmi les premiers, quatre étaient des femmes, quatre étaient aveugles précoces et un seul individu se déplaçait à l'aide d'un chien-guide. Un seul d'entre eux a déclaré ne jamais se déplacer dans des lieux non connus et les six autres ont déclaré le faire occasionnellement. Quatre d'entre eux ont déjà été victime d'un accident piéton.

Les participants qui ont déclaré ne jamais se déplacer seuls dans des lieux non connus avaient en moyenne 58,6 ans, ceux qui ont déclaré s'y rendre occasionnellement avaient en moyenne 49,5 ans et ceux qui ont déclaré le faire fréquemment avaient en moyenne 38,7 ans, la différence d'âge s'est révélée significative ($F(2, 60) = 8{,}742$, $p = .000$). Les analyses post-hoc ont montré que l'âge des premiers ne différait pas significativement de l'âge des seconds ($p = .162$) mais différait significativement de celui des troisièmes ($p = .000$), et l'âge des seconds différait également significativement de celui des troisièmes ($p = .021$). Parmi les douze participants qui ont déclaré ne jamais se déplacer dans des lieux non connus, sept étaient des hommes, deux étaient aveugles précoces et sept utilisaient une canne blanche comme aide au déplacement principale. Quinze des trente participants qui ont déclaré se rendre seul occasionnellement dans des lieux non connus étaient des hommes, huit étaient aveugles précoces et vingt-et-un d'entre eux utilisaient une canne blanche. Parmi les vingt-et-un individus qui se déplacent fréquemment dans des lieux non connus, sept étaient des hommes, treize étaient aveugles précoces et seize utilisaient une canne blanche. Le nombre d'individus à exprimer avoir été victime d'un accident piéton était de quatre parmi les participants qui ont déclaré ne jamais se déplacer seuls dans des lieux non connus, il était de quinze pour ceux qui ont déclaré s'y rendre occasionnellement et de six pour ceux qui ont déclaré le faire fréquemment.

Parmi les quinze personnes qui ont déclaré écouter de la musique en marchant, treize déclaraient également téléphoner en marchant. Les trente-quatre personnes qui ont déclaré se mettre occasionnellement ou fréquemment en situation de double tâche pendant la marche (c'est-à-dire qui ont déclaré téléphoner et/ou écouter de la musique en marchant) avaient en moyenne 40,7 ans, alors que les vingt-neuf participants qui ont déclaré ne pas écouter de la musique et ne pas téléphoner en marchant étaient âgés de 55,7 ans en moyenne. Cette différence est significative ($t(61) = 4{,}457$, $p = .000$). Parmi les participants qui ont déclaré se mettre en situation de double tâche pendant la marche, seize étaient des hommes, dix-huit étaient aveugles précoces et vingt-cinq utilisaient une canne blanche comme aide à la mobilité principale. Treize des personnes qui ont déclaré ne pas se mettre en situation de double tâche pendant la marche étaient des hommes, cinq étaient aveugles précoces et dix-neuf utilisaient une canne blanche.

Les vingt-cinq participants qui ont déclaré avoir été victime d'un accident piéton avaient en moyenne 52,1 ans, et les trente-huit qui ont déclaré ne jamais avoir subi d'accident piéton avaient 44,6 ans. Cette différence tend à être significative ($t(61) = 1,958$, $p = .055$). Parmi ceux qui en ont été victimes, onze étaient des hommes, huit étaient aveugles précoces et seize utilisaient une canne blanche. Parmi ceux qui ont déclaré ne jamais avoir été victimes d'accident, dix-huit étaient des hommes, quinze étaient aveugles précoces et vingt-huit utilisaient une canne blanche. Le score d'aisance obtenu par les participants qui ont été victimes d'un accident (M = 4,1) ne différait pas significativement de ceux qui n'en ont pas eu (M = 4,2 ; $t(61) = 232$, $p = .409$).

Comme illustré sur la Figure 4, décrivant les effectifs pour chaque note obtenue au score d'aisance de déplacement subjective, les participants ont obtenu des notes comprises entre 2 et 8 (M = 4,1, ET = 1,8, médiane = 4).

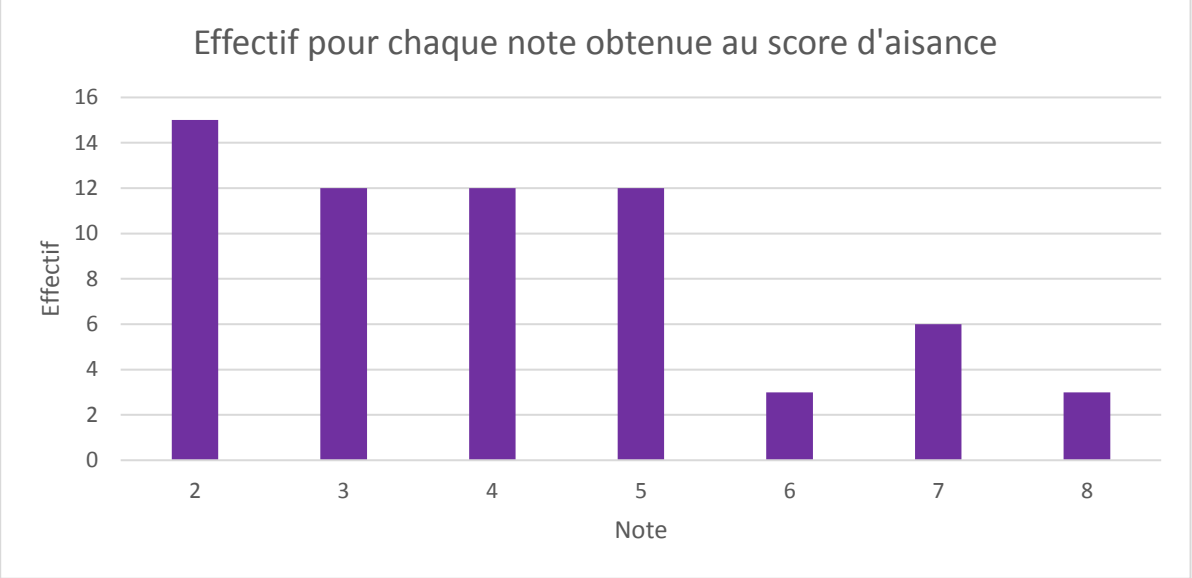

Figure 4. Notes obtenues au score d'aisance de déplacement subjective

Les participants ont été regroupés en deux classes : le groupe aisance inférieure, comprenant ceux qui ont obtenu une note inférieure ou égale à 4 (trente-neuf participants) et le groupe aisance supérieure, comprenant les participants ayant obtenu une note supérieure à 4 (vingt-quatre participants). Dans le groupe aisance inférieure, dix-neuf participants étaient des femmes, onze étaient aveugles précoces et vingt-sept utilisaient une canne pour se déplacer. Les participants de ce groupe étaient âgés de 53,3 ans en moyenne (ET = 13,3) et avaient une durée de scolarité moyenne de 12,7 ans (ET = 3,5). Le groupe aisance supérieure était composé de dix femmes et onze personnes aveugles précoces. Dix-sept participants de

ce groupe utilisaient une canne pour se déplacer. Ils étaient âgés de 38,3 ans en moyenne (ET = 13,6) et avaient une durée de scolarité moyenne de 14,0 ans (ET = 3,1).

Une différence d'âge significative a été révélée entre les participants du groupe aisance inférieure et ceux du groupe aisance supérieure ($t(61) = 4{,}303$, $p = .000$). Comme les groupes aisance de déplacement inférieure et aisance de déplacement supérieure n'étaient pas équivalents en termes d'âge (dix-huit participants âgés de plus de 60 ans dans le groupe aisance de déplacement inférieure et trois dans le groupe aisance de déplacement supérieure), il n'a pas été possible de réaliser des ANOVAs avec deux facteurs inter-individuels (âge et aisance de déplacement).

Afin de s'affranchir des effets de l'âge dans les deux groupes d'aisance de déplacement, deux sous-échantillons ont été construits, composés chacun de treize participants de moins de 60 ans appariés pour le sexe et l'âge. La composition des groupes en termes de sexe et d'âge est décrite dans le Tableau 10. Les participants du groupe aisance inférieure ainsi constitué étaient âgés en moyenne de 38,2 ans (ET = 8,5, médiane : 40) contre 38,5 ans (ET = 8,8, médiane : 40) pour les participants du groupe aisance supérieure.

Tableau 10. Sexe et âge des participants appariés

Sexe	Groupe aisance inférieure âge (ans)	Groupe aisance supérieure âge (ans)
Femme	24	23
Homme	27	28
Femme	30	30
Femme	31	33
Femme	33	33
Femme	38	35
Femme	40	42
Homme	42	40
Femme	44	44
Homme	44	45
Homme	46	46
Homme	47	49
Homme	51	52

Les moyennes, écart-types et résultats des tests statistiques pour l'ensemble des variables sont présentées Annexe 7.

Les temps de réponse à **la tâche d'attention sélective** étaient de 714,8 ms pour les personnes appartenant au groupe aisance de déplacement inférieure, et de 659,5 ms pour les personnes appartenant au groupe aisance de déplacement supérieure. Cette différence est significative ($t(24) = 2{,}755$, $p = .006$).

Concernant **la tâche d'attention soutenue**, les participants du groupe aisance inférieure ont obtenu 115,0 réponses correctes en moyenne, et les participants du groupe aisance supérieure 118,5. Cette différence est significative ($t(23) = 2{,}537$, $p = .009$). Les participants du groupe aisance inférieure ont répondu en moyenne en 729,1 ms tandis que les participants du groupe aisance supérieure ont obtenu des temps de réponse moyens de 648,6 ms. Cette différence s'est également révélée significative ($t(23) = 4{,}350$, $p = .000$). Les participants du groupe aisance inférieure ont donné en moyenne 1,6 réponse hors délai alors que les participants du groupe aisance supérieure en ont donné 0,3 en moyenne. Cette différence est significative ($t(23) = 1{,}780$, $p = .044$).

A la tâche principale de **la tâche d'attention divisée**, les participants du groupe aisance inférieure ont répondu en moyenne en 774,7 ms tandis que les temps de réponse des participants du groupe aisance supérieure étaient de 725,2 ms. Lorsque ces scores ont été statistiquement comparés à ceux obtenu à la tâche d'attention sélective, l'ANOVA à mesures répétées a révélé un effet significatif de l'aisance de déplacement ($F(1, 24) = 5{,}647$, $p = .026$) et de la condition ($F(1, 24) = 61{,}294$, $p = .000$). En revanche, aucune interaction significative entre l'aisance de déplacement et la condition n'a été trouvée ($F(1, 24) = 0{,}102$, $p = .752$).

Les temps de réponse obtenus par les deux groupes dans les quatre conditions de **la tâche de n-back** sont présentés dans le Tableau 11. L'ANOVA à mesures répétées réalisée sur les temps de réponse a révélé un effet significatif de l'aisance de déplacement ($F(1, 24) = 9{,}821$, $p = .005$) et de la condition ($F(3, 69) = 31{,}912$, $p = .000$). Les analyses post-hoc ont montré que les temps de réponse obtenus dans la condition 0-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus dans les conditions 1-back ($p = .001$), 2-back ($p = .000$) et 3-back ($p = .000$), ceux obtenus en condition 1-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus dans les conditions 2-back ($p = .000$) et 3-back ($p = .000$), et ceux obtenus dans la condition 2-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus en 3-back ($p = .001$). En revanche, aucune interaction significative entre l'aisance de déplacement et la condition n'a été trouvée ($F(3, 69) = 1{,}054$, $p = .390$).

Les participants du groupe aisance inférieure ont obtenu un score moyen de 103,3 à **l'échelle verbale de la WAIS-R** alors que celui des participants du groupe aisance supérieure était de 114,1 en moyenne, et cette différence est significative ($t(24) = 1{,}709$, $p = ,050$).

Tableau 11. Moyennes (écart-types) des réponses correctes et temps de réponse selon le groupe (aisance inférieure / aisance supérieure)

	Groupe aisance inférieure (n = 12)	Groupe aisance supérieure (n = 12)
TR 0-back (ms)	569,3 (57,0)	482,6 (45,5)
TR 1-back (ms)	615,0 (58,9)	548,3 (66,8)
TR 2-back (ms)	753,4 (125,7)	649,7 (85,4)
TR 3-back (ms)	950,1 (177,3)	788,0 (239,1)

TR : temps de réponse, ms : millisecondes

Ainsi, chez les participants aveugles, certains facteurs inter-individuels ont été révélés comme ayant un effet sur certaines des variables des tests cognitifs alors que pour d'autres, tels que le sexe, le fait d'être en emploi ou d'avoir des résidus visuels, aucun effet significatif n'a été révélé par les tests statistiques. Le Tableau 12 récapitule, pour chaque variable étudiée, les effets inter-individuels significatifs.

Tableau 12. Récapitulatif des effets inter-individuels significatifs

Test	Variable	Groupe âge [a]	Sexe [a]	Durée de scolarité [a]	Emploi [b]	Age d'acquisition de la cécité [b]	Présence de résidu visuel [a]	Aide à la mobilité principale [a]	Aisance de déplacement subjectif [c]
Test d'attention sélective	RC	**							
	TR (ms)	***							**
	HD	**							
	FA								
Test d'attention soutenue	RC	*							**
	TR (ms)	**							***
	HD								*
	FA								
Test d'attention divisée	RC tâche principale	*							
	TR tâche principale. (ms)	***							**
	HD tâche principale								
	FA tâche principale								
	RC tâche secondaire								
Test de n-back	RC	**							
	TR (ms)	*							**
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan					**			
	Note brute	*				**			
	Note stand. âge					**		*	
Test du plus minus	Coût de flexibilité								
Tâche de Hayling	RC			**		*			
	Temps total non corrigé (s)			*					
	Temps total corrigé (s)	*		*					
Score à l'échelle verbale de la WAIS				***				*	*
Tâche de temps de réponse simples		**							

*RC : réponses correctes, TR : temps de réponse, HD : réponses hors délai, FA : fausses alarmes, ms : millisecondes, s : secondes ; ***p< .001, **p< .01, *p< .05 ; analyses réalisées sur : a l'ensemble des participants aveugles, b les participants aveugles jeunes, c des participants appariés*

4. Discussion

L'objectif principal de cette expérimentation était d'appréhender les capacités d'attention sélective, d'attention soutenue, d'attention divisée, de flexibilité attentionnelle, d'inhibition et de mémoire de travail de participants aveugles, en comparant leurs performances à une batterie de tests conçue pour l'étude à celles de participants voyants. L'objectif secondaire était de considérer les effets du vieillissement sur ces processus cognitifs des personnes aveugles. Le troisième objectif était d'examiner si des facteurs inter-individuels modulaient la performance des participants aveugles.

Dans une première partie, les résultats concernant les comparaisons des performances des participants aveugles et voyants seront discutés. Dans une seconde partie, se seront les résultats relatifs aux effets de l'âge, et ceux concernant les autres facteurs inter-individuels sur la performance des participants aveugles qui seront discutés.

4.1. Des capacités cognitives améliorées chez les personnes aveugles

Dans **le test d'attention sélective**, les participants aveugles ont obtenu de meilleures performances que les participants voyants : ils ont significativement eu plus de réponses correctes, des temps de réponse significativement plus courts et un nombre de réponses hors délai significativement inférieur. Ces résultats sont en accords avec ceux de plusieurs études de la littérature, dans lesquelles des participants aveugles précoces (Collignon & De Volder, 2009 ; Collignon et al., 2006 ; Després et al., 2005 ; Lerens & Renier, 2014 ; Röder et al., 1999), ou tardifs (Fieger et al., 2006) avaient obtenu des performances supérieures à celles de participants voyants. Dans ces études, les différences significatives observées entre participants aveugles et participants voyants l'étaient uniquement au niveau des temps de réponse (Collignon & De Volder, 2009 ; Collignon et al., 2006 ; Lerens & Renier, 2014) ou du nombre de réponses correctes (Després et al., 2005 ; Fieger et al., 2006 ; Röder et al., 1999), alors que les performances des participants aveugles et voyants de cette étude différaient significativement au niveau des temps de réponse et des réponses correctes, suggérant une meilleure sensibilité du test d'attention sélective utilisé dans notre étude. Cela peut également être expliqué par la taille des échantillons testés. En effet, le nombre maximum de participants aveugles testés dans les études précédemment citées était de douze, alors que soixante-quatre personnes aveugles ont réalisé notre étude. De plus, à la différence de la présente expérimentation, les paradigmes utilisés dans ces études impliquaient un traitement spatial de l'information. Les tests utilisés dans ces études antérieures impliquaient de juger de la

localisation de stimuli alors que le test que nous avons proposé nécessitait un jugement quant à la catégorisation (lettre ou chiffres) des stimuli. Il est possible que les différences au niveau de l'attention sélective entre les personnes aveugles et les personnes voyantes soient plus prononcées en dehors du traitement spatial.

Dans **le test d'attention soutenue**, de meilleures performances ont été observées pour les participants aveugles par rapport aux participants voyants. Les participants aveugles ont obtenu significativement plus de réponses correctes, des temps de réponse significativement plus courts et un nombre de réponses hors délai significativement inférieur. Lorsque la tâche a été analysée en trois parties, pour rendre compte de la fluctuation de l'attention au cours du temps, aucun effet de la partie n'a été révélé, quelle que soit la variable dépendante considérée, indiquant que la performance moyenne de l'ensemble des participants ne variait pas au cours du temps. En revanche, pour le nombre de réponses correctes, les temps de réponse et le nombre de réponses hors délai, des interactions significatives entre le statut visuel et la partie de la tâche ont été mises en évidence, suggérant que la partie de la tâche avait tout de même un effet chez l'un des groupes. L'observation des différences de moyennes des scores entre les différentes parties pour chacun des groupes révèle que les participants aveugles (différence de 0,5 point pour les participants aveugles de moins de 60 ans et de 0,4 point pour les participants aveugles de plus de 60 ans) semblent plus constants d'une partie à l'autre que les participants voyants (différence de 1,6 point pour les participants voyants de moins de 60 ans et de 2,8 points pour les participants voyants de plus de 60 ans). Cela est confirmé par un effet du statut visuel significatif pour le nombre de réponses correctes. La fluctuation de la performance est ainsi plus importante pour les participants voyants que pour les participants aveugles, même si l'absence d'effet principal de la partie significatif limite la force de cette hypothèse. Cette étude semble être la première à avoir appréhendé l'attention soutenue des personnes aveugles et à avoir montré qu'elles avaient des capacités plus importantes que les personnes voyantes à maintenir leur attention sur une durée prolongée. En situation de déplacement, il est indispensable pour les personnes aveugles de maintenir leur attention de façon de prolongée, en premier lieu pour leur sécurité (une faute d'inattention peut entraîner un choc ou un chute) mais également pour ne pas qu'elles se perdent.

Dans **le test d'attention divisée**, les participants aveugles ont obtenu significativement plus de réponses correctes, des temps de réponse significativement plus courts et un nombre de réponses hors délai significativement inférieur par rapport aux participants voyants. En outre, des interactions significatives ont été révélées entre le statut visuel et la condition (tâche principale seule et en même temps que tâche secondaire) pour les temps de réponse et le

nombre de réponses hors délai, indiquant que la division de l'attention a eu plus d'effet délétères sur la performance des participants voyants que sur celle des participants aveugles. Ces résultats sont en accord avec ceux d'études antérieures de la littérature (Collignon & De Volder, 2009 ; Collignon et al., 2006 ; Kujala, Lehtokoski, et al., 1997) dans lesquelles des participants aveugles précoces ont obtenu des temps de réponse plus courts que des participants voyants dans des tâches d'attention divisée impliquant un traitement spatial.

Pour appréhender la **mémoire de travail**, une tâche de n-back auditive ainsi que le sous-test Mémoire des chiffres de la WAIS-R (Wechsler, 1955 ; 1981) ont été utilisés. A **la tâche de n-back**, un effet significatif de la condition a été révélé pour toutes les variables dépendantes étudiées, témoignant de la difficulté croissante des conditions. Un effet du statut visuel a été mis en évidence pour les temps de réponse, indiquant que les participants aveugles ont été plus rapides que les participants voyants. L'étude de Bliss et al. (2004), impliquant également une tâche de n-back, n'a pas donné lieu à des résultats aussi manifestes puisque les participants aveugles et voyants étaient testés soit avec du matériel présentant une familiarité différente pour les deux groupes (lettres en reliefs), soit avec un matériel différent (stimuli composés de caractères en braille pour les participants aveugles et stimuli visuels pour les participants voyants) limitant l'interprétation des résultats obtenus. Concernant **le sous-test Mémoire des Chiffres**, aucun effet du statut visuel n'a été trouvé pour aucune des variables dépendantes étudiées. Néanmoins, un effet plafond est apparu pour les participants aveugles. En effet, certains d'entre eux n'ont pas échoué à l'un ou aux deux derniers items (onze pour l'empan endroit et six pour l'empan envers), ils auraient pu continuer et potentiellement obtenir un score moyen supérieur, alors que pour les participants voyant, cela n'est arrivé qu'une fois (pour l'empan endroit). En outre, une interaction significative entre le statut visuel et l'ordre de l'empan a été révélée et indique que les différences entre la taille de l'empan endroit et celle de l'empan envers sont plus importantes pour les participants voyants que pour les participants aveugles. Cela suggère, même si cela ne peut pas être confirmé en raison de l'absence d'effet principal du statut visuel, que les participants aveugles ont moins eu de difficultés pour la réalisation de l'empan envers que les participants voyants. Cela serait cohérent avec les résultats de Dormal et al. (2016) et Ruggiero & Iachini (2010). Dans leur tâche d'empan tactilo-spatial (adaptation tactile de la tâche des blocs de Corsi), Ruggiero & Iachini (2010) n'avaient, comme dans la présente étude, pas trouvé de différence significative entre des participants aveugles précoces, aveugles tardifs ou voyants pour l'empan endroit. En revanche, pour l'empan envers, une différence significative avait été mise en évidence entre les participants aveugles tardifs et les participants voyants (alors que la performance des participants aveugles précoces était intermédiaire à celles des deux groupes,

sans toutefois différer significativement de celle de l'un ou de l'autre groupe). Au contraire, la tâche d'empan complexe proposée par Dormal et al. (2016) a révélé une performance significativement supérieure des participants aveugles précoces sur les participants aveugles tardifs et voyants. Ainsi, les résultats de notre étude indiquent une supériorité de la mémoire de travail des personnes aveugles (précoces et tardives) par rapport aux personnes voyantes, en particulier au niveau de l'administrateur central.

En ce qui concerne la **flexibilité**, testée dans cette étude à l'aide d'une adaptation de **la tâche du plus-minus en modalité auditive**, aucune différence significative entre les participants aveugles et les participants voyants n'a été mise en évidence. Étant donné qu'aucune autre étude ne semble avoir appréhendé la flexibilité des personnes aveugles, permettant de contredire ou corroborer notre résultat, il semble difficile de conclure que cette absence de différence significative soit due à une absence de différence de capacités de flexibilité entre les personnes aveugles et les personnes voyantes. Il est possible que le test du plus-minus ne soit pas assez sensible pour détecter une différence entre des populations qui ne présentent pas de troubles cognitifs spécifiques. Cette hypothèse semble être également confirmée par les autres analyses statistiques menées dans cette étude : aucun effet significatif de variables inter-individuelles (même l'âge, alors que la flexibilité décline au cours du vieillissement ; Collette & Salmon, 2014) n'a été trouvée sur le coût de flexibilité à la tâche. Ce manque de sensibilité peut être lié au caractère prévisible de l'alternance entre les additions et les soustractions. En effet, les tâches de flexibilité dont l'alternance est prévisible sont moins sensibles à l'effet de l'âge que celles dont l'alternance n'est pas prévisible (Kray, Li, & Lindenberger, 2002). Ainsi, bien que la flexibilité des personnes aveugles doive être évaluée à l'aide d'une autre tâche, plus complexe, pour compléter ces résultats, cette étude a l'avantage d'être à notre connaissance la première tentative de mesure de ce processus chez cette population.

Concernant l'**inhibition**, aucune différence significative n'a été révélée entre les personnes aveugles et les personnes voyantes au niveau des variables dépendantes au **test de Hayling**. Cette absence de différence pourrait être liée au choix du test qui n'est peut-être pas assez spécifique. En effet, il est probable que la performance à ce test soit liée à l'étendue de vocabulaire des individus, comme le suggère l'effet significatif du niveau de scolarité qui a été trouvé lorsque les performances des participants aveugles ont été analysées séparément. Une autre façon d'appréhender l'inhibition est d'observer le nombre de fausses alarmes obtenues dans les autres tâches. Dans les trois tests d'attention, aucune différence significative au niveau du nombre de fausses alarmes faites par les participants aveugles et voyants n'a été observée. Ce résultat est similaire à ceux obtenus pour les tâches d'attention

sélective et divisée des études de Collignon et al. (2006 ; 2009). En revanche, dans la tâche de n-back, un effet significatif du statut visuel sur le nombre de fausses alarmes et une interaction significative entre statut visuel et la condition ont été trouvés, indiquant que le nombre de fausses alarmes était significativement plus important pour les participants voyants que pour les participants aveugles, en particulier dans les conditions les plus difficiles. Cela suggère qu'il y a une différence au niveau de l'inhibition entre les personnes aveugles et les personnes voyantes mais qui ne peut être mise en évidence qu'avec des tâches de complexité importante.

En conclusion, notre étude a permis de montrer que les personnes aveugles (précoces et tardives) ont des capacités d'attention sélective, soutenue et divisée (en dehors du domaine spatial) et des capacités de mémoire de travail (notamment au niveau de l'administrateur central) supérieures aux personnes voyantes en l'absence d'amélioration des temps de réponse simples ou de différences au niveau du fonctionnement intellectuel (mesuré avec l'échelle verbale de la WAIS-R). En revanche, aucune différence n'a été révélée entre les personnes aveugles et les personnes voyantes pour les capacités de flexibilité et d'inhibition. Cette expérimentation consolide et complète les résultats obtenus dans des études antérieures en proposant une évaluation systématique d'un ensemble de processus cognitifs.

4.2. Des effets de facteurs inter-individuels sur les capacités cognitives des personnes aveugles

L'âge des participants s'est révélé avoir un effet significatif sur le temps de réponse et le nombre de réponses correctes des participants aveugles aux tests d'attention sélective, d'attention soutenue, d'attention divisée et de n-back. Les participants aveugles de moins de 60 ans ont également obtenu une note brute au sous-test Mémoire des chiffres ainsi qu'un score et un temps total corrigé à la tâche de Hayling significativement supérieurs à ceux des participants aveugles de plus de 60 ans.

Un effet significatif de l'âge a été trouvé sur les temps de réponse simples, que les performances des participants soient étudiées seules ou avec celles des participants voyants. L'interaction significative entre le statut visuel et l'âge pour les temps de réponse simples indique que les effets de l'âge sur le ralentissement de la vitesse de traitement sont moins importants chez les personnes aveugles que chez les personnes voyantes. Néanmoins, la différence entre les jeunes et les plus âgés au niveau de la vitesse de traitement n'est pas la seule explication des différences pour les tâches d'attention sélective, soutenue, divisée et la

tâche de n-back puisque des différences sont également observées au niveau des réponses correctes.

L'absence d'interaction significative entre les effets du statut visuel et les effets de l'âge pour les variables évaluant l'attention sélective, l'attention soutenue, l'attention divisée et la mémoire de travail semble indiquer que la trajectoire du déclin cognitif lié à l'âge est similaire pour les personnes aveugles et les personnes voyantes. Ainsi, chez les personnes aveugles, le vieillissement semble avoir un effet sur les capacités d'attention (sélective, soutenue et divisée), de mémoire de travail et d'inhibition, ainsi que sur la vitesse de traitement, et ce, en l'absence de différences significatives au niveau du fonctionnement intellectuel (mesuré avec l'échelle verbale de la WAIS-R).

Mis à part l'âge, peu d'effet des facteurs sociodémographiques sur les performances des personnes aveugles n'ont été trouvés. De façon non surprenante, aucun effet significatif du **sexe** n'a été révélé sur aucune des variables dépendantes étudiées. De plus, aucun effet significatif du **fait d'être en emploi** n'a été trouvé.

Concernant **la durée de scolarité**, elle s'est révélée avoir un effet significatif sur les trois variables de la tâche de Hayling et sur le score obtenu à l'échelle verbale de la WAIS-R. Ce résultat n'est pas surprenant, étant donné que la performance à un certain nombre de sous-tests de la WAIS-R ainsi que le vocabulaire (important dans la tâche de Hayling) sont fortement influencés par le niveau d'éducation (Feyereisen & Hupet, 2015).

Peu d'effet des facteurs liés à la cécité ont été mis en évidence. Par exemple, aucun effet de la présence de **résidu visuel** n'a été montré. Concernant **l'âge d'acquisition de la cécité**, des différences significatives ont été révélées au niveau du sous-test Mémoire des chiffres. Les participants aveugles précoces ont obtenu des performances significativement supérieures à celles des participants aveugles tardifs au niveau des empans et des notes brutes et standard âge. Ruggiero & Iachini (2010) n'avaient pas trouvé de différences significatives entre leurs participants aveugles précoces et leurs participants aveugles tardifs pour l'empan endroit, mais avaient montré que des participants aveugles tardifs avaient un empan envers supérieur à celui de participants aveugles précoces. Leurs résultats sont contraires à ceux obtenus dans la présente étude, mais la nature des tâches utilisées (tactilo-spatiale pour Ruggiero & Iachini, verbale pour la présente étude) peut être une explication à ces divergences. Au contraire, Dormal et al. (2016), ont montré que des participants aveugles précoces obtenaient des performances supérieures à des participants aveugles tardifs à une tâche d'empan complexe, confortant nos résultats. Bien que leur tâche soit différente de la tâche d'empan envers utilisée dans notre étude, elle est supposée évaluer la même

composante de la mémoire de travail (l'administrateur central) et utilise un matériel similaire (verbal). En revanche, l'absence de différence significative entre les participants aveugles précoces et tardifs à la tâche de n-back pose question. En effet, ce test est présumé évaluer lui aussi l'administrateur central de la mémoire de travail, et Schmiedek, Hildebrandt, Lövdén, Wilhelm, & Lindenberger (2009) ont montré que les tâches de mise à jour (telles que les tâches de n-back) et les tâches d'empan partageaient des mécanismes communs (corrélation à .96). Tout comme nous, Bliss et al. (2004) n'ont pas mis en évidence de différence significative entre participants aveugles précoces et participants aveugles tardifs dans leurs tâches de n-back (tactile). Ainsi, il semble probable que les tâches d'empan envers ou complexes et les tâches de n-back n'évaluent pas exactement le même processus cognitif. Contrairement à l'empan envers qui nécessite la manipulation d'information pendant une durée relativement courte, la tâche de n-back implique une mise à jour continue de l'information présentée. La mise à jour et la manipulation d'information, bien que deux mécanismes sous-tendus par l'administrateur central, ne sont pas des processus identiques.

Concernant **l'aide à la mobilité utilisée**, les participants utilisant un chien-guide ont obtenu une note standard âge au sous-test Mémoire des chiffres et un score à l'échelle verbale de la WAIS-R significativement inférieurs aux participants utilisant une canne blanche. Ces différences ne sont pas liées à une différence d'âge (M = 48,3, ET = 14,9 pour les utilisateurs de canne, M = 46,1, ET = 16,2 pour ceux accompagnés d'un chien), ni à une différence de durée de scolarité (M = 13,2, ET = 3,6 pour les utilisateurs de canne, M = 13,2, ET = 3,0 pour ceux accompagnés d'un chien).

L'aisance de déplacement telle que nous avons choisi de la mesurer s'est révélée fortement liée à l'âge : les plus âgés étant les plus susceptibles d'être moins aisés à se déplacer. En revanche, comme parmi les participants de moins de 60 ans, des individus étaient situés dans les deux groupes d'aisance de déplacement (haute ou basse), un appariement au niveau de l'âge et du sexe de ces participants a été opéré. Les participants du groupe aisance de déplacement supérieure ont obtenu des performances significativement supérieures à celles des participants du groupe aisance inférieure pour les tests d'attention sélective (temps de réponse), d'attention soutenue (nombre de réponses correctes et temps de réponse), d'attention divisée (temps de réponse), de n-back (temps de réponse) et pour le score de l'échelle verbale de la WAIS-R. Cela souligne les liens étroits entre le déplacement sans voir et les processus cognitifs étudiés, que nous avions suggérés.

Ainsi, les facteurs inter-individuels qui se sont révélés avoir le plus d'effet sur les capacités cognitives des participants sont l'âge et le niveau d'aisance de déplacement.

4.3. Apports et limites de l'étude

Cette étude a permis de montrer que les personnes aveugles (précoces et tardives) ont des capacités d'attention sélective, soutenue et divisée (en dehors du domaine spatial) et des capacités de mémoire de travail (notamment au niveau de l'administrateur central) supérieures aux personnes voyantes en l'absence d'amélioration des temps de réponse simple ou de différences au niveau du fonctionnement intellectuel (mesuré avec l'échelle verbale de la WAIS-R). Nous nous sommes également intéressés à de nombreuses variables inter-individuelles dont l'âge et l'aisance de déplacement qui se sont révélées avoir des effets significatifs sur plusieurs variables dépendantes. A notre connaissance, aucune autre étude ne s'est intéressée au vieillissement cognitif des personnes aveugles. Cette étude semble être également la première à étudier l'effet de l'aisance de déplacement (subjective) des personnes aveugles sur leurs capacités d'attention et de mémoire de travail. Elle a permis de mettre en évidence un effet significatif de l'aisance de déplacement des personnes aveugles sur leurs performances cognitives. Néanmoins, elle ne permet pas de déterminer si c'est le fait de se déplacer plus souvent et dans des contextes plus complexes (par exemple se mettre en situation de double tâche en téléphonant en marchant ou fréquenter des lieux non connus) qui a un effet sur les capacités cognitives ou bien si le fait d'avoir des capacités cognitives plus développées permet aux personnes de se déplacer plus et dans des contextes plus complexes.

Concernant les tests conçus pour l'étude, la présence d'effets inter-individuels indique qu'ils ont une bonne sensibilité. De plus, l'utilisation d'un matériel familier pour les participants aveugles et voyants permet une comparaison cohérente entre ces deux populations. Néanmoins, certaines améliorations méthodologiques peuvent être envisagées.

Tout d'abord, le peu de différences significatives observées, même pour le facteur inter-individuel âge, aux tâches du Plus-Minus et de Hayling suggèrent qu'elles ne sont peut-être pas assez sensibles. Des études complémentaires, utilisant d'autres tests tels qu'une tâche de go/no-go auditive pour évaluer l'inhibition mériteraient d'être menées. En effet, la tâche de go/no-go mesure la capacité à réfréner une réponse initiée suite à la présentation d'un stimulus. Elle semble ainsi impliquer, par rapport à la tâche de Hayling, une inhibition plus importante, et permettrait ainsi de potentiellement mettre en évidence des différences significatives entre les différents groupes comparés. En outre, la tâche de go/no-go n'implique pas l'activation de réponses lexicales, et nous semble donc ainsi moins liée au niveau d'éducation.

De plus, pour le test d'attention soutenue, l'absence d'effet de la partie de la tâche (qui aurait rendu compte d'une fluctuation de la performance au cours du temps) peut suggérer que la durée du test de 9 min était trop courte pour entraîner une diminution significative de l'attention au court du temps. En effet, cette durée est inférieure au test d'attention soutenue proposé dans la batterie de Tests d'évaluation de l'attention (TEA ; Zimmerman & Fimm, 1994) qui dure 15 min mais reste supérieure à celle de 6 min du test d'attention soutenue proposé dans la batterie de tests of Everyday Attention (TEA ; Robertson, Ward, Ridgeway, Nimmo-Smith, & McAnespie, 1991). Une étude complémentaire, comprenant une tâche d'attention soutenue plus longue, de 15 min par exemple, serait nécessaire.

En outre, il est important de garder à l'esprit que les participants aveugles testés dans cette étude étaient tous autonomes pour se déplacer. Nous pouvons donc considérer que nos participants ont un niveau cognitif relativement haut. Il serait intéressant d'étudier les processus cognitifs appréhendés ici auprès de personnes aveugles qui ne se déplacent pas de façon autonome et pour lesquelles nous pourrions nous attendre à des performances inférieures à celles observées dans cette étude.

De plus, les participants âgés testés étaient relativement jeunes (moins de 70 ans en moyenne), alors que le déclin cognitif normal se manifeste principalement autour de 70 ans. Néanmoins, étant donné qu'il est décrit dans la littérature que le déclin cognitif lié à l'âge des personnes avec une atteinte visuelle liée à l'âge se révélait précocement (Bertone et al., 2005 ; Elyashiv et al., 2014 ; Rozzini et al., 2014 ; Wahl & Heyl, 2003), il nous a semblé nécessaire de recruter des participants aveugles dès 60 ans. Le recrutement de participants plus âgés permettrait d'examiner si les différences que nous avons observées entre les personnes âgées aveugles et les personnes voyantes dans cette étude s'atténuent ou au contraire s'accroissent dans le grand âge. Néanmoins, le recrutement de participants aveugles plus âgés et autonomes nous semble particulière difficile à réaliser.

Enfin, puisque les capacités appréhendées nous apparaissent fortement mises en œuvre dans le déplacement sans vision, et que l'aisance de déplacement subjective des participants nous est apparue comme reliées à leurs performances cognitives, il nous paraît intéressant d'appréhender la mobilisation de l'attention des personnes aveugles au cours de leurs déplacements.

II. Etude 2.a : La charge cognitive de la marche des personnes aveugles

1. Introduction

Se déplacer sans voir est une activité qui semble coûteuse d'un point de vue cognitif. La charge cognitive impliquée dans le déplacement des piétons avec un atteinte visuelle a déjà été étudiée via l'analyse des variations des paramètres de la marche (vitesse, longueur et fréquence des pas), l'observation de la performance obtenue à une tâche secondaire réalisée simultanément, ou encore l'utilisation d'une échelle de mesure subjective de la charge mentale. En revanche, dans la majorité de ces études, ce sont des participants voyants aux yeux bandés (Klatzky, Marston, Giudice, Golledge, & Loomis, 2006 ; Lajoie, Paquet, & Lafleur, 2013 ; Richer, Paquet, & Lajoie, 2014 ; Shingledecker, 1983), malvoyants (Geruschat & Turano, 2007 ; Ramsey, Blasch, Kita, & Johnson, 1999 ; Turano, Geruschat, & Stahl, 1998), ou un faible nombre de participants aveugles par groupe qui étaient testés (trois participants, Clark-Carter, Heyes, & Howarth, 1987 ; Shingledecker, 1978). Par ailleurs, l'effet de facteurs inter-individuels (tels que l'âge, l'âge d'acquisition de la cécité, l'aisance de déplacement ou les capacités d'attention) sur cette charge cognitive n'a jamais été étudié. L'objectif principal de cette expérimentation était d'appréhender la charge cognitive induite dans la marche des personnes aveugles à l'aide d'un paradigme de double tâche en observant les variations de charge mentale entre des conditions de difficultés différentes et selon certains facteurs inter-individuels.

Les hypothèses générales testées dans cette expérimentation étaient les suivantes :

1/ La performance de marche (durée de l'essai, vitesse, fréquence et longueur des pas, déviation latérale de la trajectoire, gestion des obstacles) devrait varier selon la présence de la tâche secondaire et sa difficulté,

2/ La performance à la tâche secondaire des participants devrait varier selon la difficulté de la tâche de déplacement,

3/ Les réponses à l'évaluation subjective de la charge mentale des participants devraient varier selon la difficulté de la condition,

4/ La performance à la tâche secondaire, à la tâche principale, et les réponses à l'évaluation subjective de la charge mentale des participants devraient varier selon certains facteurs individuels :

- Les participants de moins de 60 ans devraient obtenir de meilleures performances que les participants âgés de 60 ans et plus,
- Les participants aveugles précoces devraient obtenir de meilleures performances que les participants aveugles tardifs,
- Les participants présentant le plus d'aisance pour se déplacer devraient obtenir de meilleures performances que les participants ayant moins d'aisance à se déplacer,
- Les participants présentant les capacités attentionnelles importantes (telles que mesurées dans l'étude 1) devraient obtenir de meilleures performances que les participants avec des capacités attentionnelles moins importantes.

Sans hypothèse *a posteriori*, le facteur sexe a également été testé.

2. Méthode

2.1. Participants

Vingt-cinq personnes aveugles ont participé à cette expérimentation, âgées de 19 à 81 ans (M = 51,6 ans, ET = 14,9 ans), dont huit femmes. Parmi ces participants, huit étaient aveugles précoces, dont cinq nés aveugles, un devenu aveugle à l'âge d'un an, un à l'âge de deux ans, et un autre à l'âge de trois ans. Un participant aveugle précoce présentait des résidus visuels. La durée moyenne de la cécité de ces participants aveugles précoces était de 39 ans (ET = 10,4). Les dix-sept participants aveugles tardifs sont devenus aveugles entre 10 et 61 ans (M = 36,1 ans, ET = 16,3), avec une durée moyenne de cécité de 20,9 ans (ET = 14,5 ans). Parmi eux, treize personnes étaient malvoyantes avant de devenir aveugles (dont neuf malvoyantes de naissance). Neuf participants aveugles tardifs avaient des résidus visuels. Parmi l'ensemble des participants à cette étude 2b, vingt-trois ont participé à l'étude 1. Dans le

Tableau 13 sont décrites les caractéristiques des participants.

Cette étude a été réalisée selon un dispositif quasi-expérimental puisqu'aucun processus de pré-sélection aléatoire n'a été réalisé étant donné la population étudiée. L'objectif était de recruter d'une part, des personnes aveugles précoces et tardives et d'autre part, des personnes aveugles âgés de moins de 60 ans et d'autres de plus de 60 ans (avec idéalement une proportion égale de personnes aveugles précoces parmi les personnes aveugles de moins de 60 ans et parmi celles de plus de 60 ans). Des difficultés de recrutement n'ont pas permis de répondre à cet objectif, l'intégralité des participants âgés de plus de 60

ans étaient aveugles tardifs. Les participants ont signé un formulaire de consentement et l'expérimentation a été approuvée par le comité d'éthique de l'IFSTTAR.

Tableau 13. Caractéristiques sociodémographiques, de l'atteinte visuelle et latéralité manuelle des participants

Age	Sexe	Lat. man.	Nombre d'années d'étude	Groupe cécité	Age cécité	Durée cécité	Malvoyant avant	Résidus visuels	Durée utilisation canne
49	H	D	14	AT	37	12	non	oui	11
63	H	D	17	AT	10	53	oui	non	50
19	H	A	15	AP	0	19	-	non	9
39	F	D	17	AT	16	23	oui	oui	12
35	F	D	15	AP	0	35	-	non	25
58	H	D	15	AT	50	8	oui	oui	27
64	H	D	8	AT	45	19	oui	oui	20
43	H	D	17	AT	33	10	oui	oui	10
43	H	D	15	AP	3	40	-	non	33
44	F	D	17	AT	14	30	oui	non	30
25	H	D	15	AT	13	12	oui	non	15
47	H	A	11	AP	0	47	-	oui	34
68	F	D	15	AT	38	30	non	non	30
44	F	D	7	AP	0	44	-	non	32
72	F	D	9	AT	28	44	oui	non	44
55	H	D	17	AT	53	2	oui	oui	5
81	H	D	12	AT	61	20	oui		20
65	F	D	7	AT	32	33	non	non	33
62	H	A	17	AT	42	20	oui	oui	30
50	H	A	17	AP	0	50	-	non	12
33	H	D	9	AP	1	32	-	non	14
50	H	G	14	AP	2	48	-	oui	35
65	H	D	12	AT	60	5	oui	oui	7
55	F	D	17	AT	52	3	oui	oui	3
62	H	D	14	AT	30	32	non	non	31

Lat. man. : latéralité manuelle ; H : homme, F : femme, D : droitier, G : gaucher, A : ambidextre, AT : aveugle tardif, AP : aveugle précoce

2.2. Matériel

Les deux tâches secondaires, décrites plus bas, ont été programmées avec le logiciel OpenSesame (version 0.27.4 ; Mathôt, Schreij, & Theeuwes, 2012). La programmation de ces tâches a été réalisée sur un ordinateur portable HP EliteBook 8470p laptop. La présentation des stimuli et l'enregistrement des réponses ont été réalisés sur une tablette tactile Samsung Galaxy Tab 2 7.0 GT-P3110 avec l'application OpenSesame Runtime pour Android (version 2.9.7). La tablette était tenue par l'expérimentateur et sa sortie audio reliée à un émetteur radio haute-fréquence. Un récepteur sur la même bande de fréquence, sur lequel était branché une oreillette, permettait de transmettre les stimuli aux participants. Une souris bague sans fil était placée sur l'index de la main non dominante des participants sur laquelle ils devaient appuyer avec leur pouce pour répondre à la tâche secondaire.

Les sessions de marche étaient filmées avec une caméra (GoPro Hero3+ Black Edition) fixée sur le buste des participants avec un harnais, offrant un point de vue sur les pieds et la canne blanche des participants. Une caméra (JVC GY-HM 750E) était également placée à 15 m de la fin de l'itinéraire et à 6,5 m de haut avec un point de vue de l'ensemble de l'itinéraire (les deux points de vue sont présentés Figure 5). Un second récepteur radio haute-fréquence était branché à l'entrée audio de cette caméra de façon à ce que les stimuli de la tâche secondaire entendus par les participants soient enregistrés sur la vidéo.

Durant les essais, un son, la ritournelle utilisée comme signal sonore pour les traversées piétonnes en France, était diffusé depuis la fin du parcours, afin de guider la trajectoire des participants.

Figure 5. Capture écran de l'enregistrement vidéo. A gauche, vue depuis la caméra placée en fin d'itinéraire, à droite, vue depuis la caméra placée sur le harnais porté par le participant.

Plusieurs bandes de scotches étaient collées au sol afin de permettre une analyse *a posteriori* de la trajectoire des participants. Une bande centrale (blanche sur la Figure 5) était placée du point de départ au point d'arrivée, matérialisant la trajectoire rectiligne idéale. A droite de cette bande, parallèlement, deux bandes étaient placées (bande latérale droite 1 et bande latérale droite 2), également à 50 cm les unes des autres. A gauche de la bande centrale, deux autres parallèles étaient placées (bande latérale gauche 1 et bande latérale gauche 2), à 50 cm les unes des autres. Ainsi, pour les essais sans obstacle, la déviation par rapport à une trajectoire idéale parfaitement rectiligne pouvait être quantifiée ultérieurement grâce à l'enregistrement vidéo. Le point de départ ainsi que le point d'arrivé étaient matérialisés à l'aide de bandes podotactiles fixées au sol. Cinq obstacles de formes et tailles différentes composés de cartons lestés étaient placés sur l'itinéraire dans les deux conditions avec obstacles. Ils étaient déplacés entre ces conditions afin d'éviter un effet d'apprentissage.

Pour chaque essai, les paramètres de marche (vitesse, fréquence et longueur des pas) des participants ont été enregistrés à l'aide d'un dispositif nommé HemiGait, développé par Li, Supiot, Roche, Pradon, & Pradel (2016). Ce dispositif est composé de deux télémètres, chacun fixé sur le côté interne de chaque talon du participant, de deux unités de mesure inertielles, positionnées sur chaque coup de pied et d'une unité de contrôle tenue par l'expérimentateur (voir Figure 6). Les données étaient synchronisées et enregistrées à 100 Hz puis traitées avec des algorithmes développés sous Matlab (version 2015b) utilisant la distance relative entre les pieds et le pattern de marche. L'enregistrement réalisé par l'HemiGait et les deux vidéos étaient synchronisés *a posteriori* grâce à des algorithmes prenant en compte les marquages temporels et un système de LEDs allumé ponctuellement au début de l'enregistrement de l'HemiGait et filmé par les caméras.

Figure 6. Dispositif HemiGait installé sur un participant

Afin d'obtenir une évaluation subjective de la charge attentionnelle des participants induite dans les différentes conditions, une adaptation du NASA-TLX (Hart & Staveland, 1988) a été mise au point pour cette étude, puisque l'activité de marche de la personne aveugle est très éloignée du domaine de l'aéronautique. Ainsi, certaines des dimensions ont été modifiées afin d'être mieux adaptées aux tâches de cette étude. La demande mentale proposée dans la version originale, qui décrit à la fois les activités perceptuelles et mentales, a été décomposée en « **effort auditif** », « **effort tactile** » et « **effort d'attention** ». En effet, il semble pertinent dans le contexte de cette expérimentation sur la marche des personnes aveugles de distinguer les activités perceptuelles de l'effort d'attention. Les facteurs « **effort physique** », « **performance** » et « **exigence temporelle** » ont été conservés, puisqu'ils nous semblaient appropriés à l'activité de marche sans la vue. Enfin, la dimension « frustration » du NASA-TLX, qui regroupe les notions d'insécurité, de découragement, d'irritation, de stress et d'ennui a été remplacée par la dimension « **niveau de stress** ».

Tableau 14. Description des dimensions de l'échelle subjective

Dimensions	Descriptions
Effort auditif	Comment estimez-vous, sur une échelle de 0 à 5, l'effort auditif que cela vous a demandé pour réaliser la tâche ?
Effort tactile	Comment estimez-vous, sur une échelle de 0 à 5, l'effort tactile (via vos mains, votre canne, vos pieds) que cela vous a demandé pour réaliser la tâche ?
Effort physique	Comment estimez-vous, sur une échelle de 0 à 5, l'effort physique (par exemple, marcher, appuyer) que cela vous a demandé pour réaliser la tâche ?
Exigence temporelle	Comment estimez-vous, sur une échelle de 0 à 5, la pression temporelle que vous avez ressentie, à cause du rythme ou de l'allure de la tâche ?

Performance	Quelle réussite vous attribuez-vous, sur une échelle de 0 à 5, en ce qui concerne votre réussite à la tâche ? Dans quelle mesure êtes-vous satisfait(e) de votre performance dans l'accomplissement de cette tâche ?
Effort d'attention	Comment estimez-vous, sur une échelle de 0 à 5, l'effort d'attention ou de concentration (par exemple penser, décider, choisir) requis par la tâche ?
Niveau de stress	Comment estimez-vous, sur une échelle de 0 à 5, le niveau de stress que vous avez subi, ressenti au cours de la tâche ?

De plus, l'échelle proposée a été adaptée en version auditive, avec une clarification des termes utilisés et des exemples concrets concernant la tâche pour être sûr qu'elle soit compréhensive par nos participants. Une des caractéristiques de la version papier est que les participants notent les différentes dimensions sur une même feuille de papier. Ainsi, ils peuvent comparer les notations accordées à chaque dimension et les adapter les unes aux autres si nécessaire. Pour permettre aux participants de cette étude d'effectuer les notations des différentes dimensions les unes par rapport aux autres, la procédure suivante a été adoptée : l'expérimentateur demandait aux participants de faire leur estimation, facteur après facteur. Une fois que tous les facteurs avaient été notés, l'expérimentateur énonçait chaque facteur et sa note attribuée, et demandait aux participants de confirmer ou modifier si nécessaire. Dans le Tableau 14 figurent les dimensions de l'adaptation proposée ainsi que leur description présentée aux participants.

Enfin, le même questionnaire d'habitudes de déplacement utilisé lors de l'étude 1 a été proposé aux participants (pour rappel voir page 92).

2.3. Conditions

a. Essais de marche

Après un essai d'habituation, les participants ont réalisé cinq essais de marche, durant lesquels ils devaient marcher de façon rectiligne sur une distance de 40 mètres, en direction de la ritournelle, à leur vitesse de marche habituelle, avec leur canne blanche tenue dans leur main habituelle.

Parmi ces cinq essais de marche, un était réalisé en condition simple tâche, et quatre essais étaient réalisés en situation de double tâche (marche et tâche secondaire). Un essai en simple tâche (STSO) et deux essais en condition double tâche (essai double tâche 1 sans obstacle, DT1SO, et essai double tâche 2 sans obstacle, DT2SO) étaient réalisés sans obstacle. Les deux conditions en double tâche différaient par le niveau de difficulté de la tâche

secondaire réalisée pendant la marche. Dans les deux autres essais en condition double tâche (essai double tâche 1 avec obstacles, DT1AO, et essai double tâche 2 avec obstacles, DT2AO), qui différaient également au niveau de la difficulté de la tâche secondaire, cinq obstacles étaient positionnés sur l'itinéraire. Entre ces deux essais, la position des obstacles était modifiée. Pour l'ensemble des essais, les participants étaient informés qu'un ou plusieurs obstacles pouvaient être placés sur le parcours.

b. Tâches secondaires

Deux tâches secondaires auditives étaient présentées aux participants à plusieurs reprises. Elles étaient chacune présentées seules une fois avant les essais de marche et une fois après les essais de marche, et pendant les quatre essais en condition double tâche (DT1SO, DT2SO, DT1AO et DT2AO). La ritournelle était diffusée pendant la réalisation de ces tâches. Avant le premier essai, un essai d'entraînement de 18 secondes (6 stimuli) était présenté aux participants afin qu'ils s'habituent à appuyer sur le bouton réponse de la souris bague sans fil placée dans leur main non dominante et permettant également un ajustement du niveau sonore.

Dans la première tâche secondaire (TS1), qui était une tâche de temps de réponse simple, un stimulus auditif (le chiffre 1) était présenté plusieurs fois avec des intervalles inter-stimuli aléatoires compris entre 2500 et 3500 ms. Les participants devaient répondre à chaque stimulus en pressant le bouton réponse de la souris bague.

Dans la deuxième tâche secondaire (TS2), une tâche de temps de réponse à choix, deux stimuli auditifs différents (le chiffre 1 et la lettre D) étaient présentés aléatoirement avec des intervalles inter-stimuli aléatoires compris entre 2500 et 3500 ms. Les participants devaient répondre en pressant le bouton réponse lorsqu'ils entendaient le chiffre 1, et ne pas répondre lorsqu'ils entendaient la lettre D.

Lorsqu'elles étaient réalisées seules, les tâches secondaires duraient 90 secondes (soit 30 stimuli présentés). Lorsqu'elles étaient réalisées en même temps que la marche (dans les conditions DT1SO, DT2SO, DT1AO et DT2AO), les tâches secondaires avaient pour durée le temps que les participants mettaient pour marcher du point de départ au point d'arrivée.

2.4. Procédure

L'expérimentation a eu lieu dans un hangar et durait entre 90 et 120 min par participant. A leur arrivée, un formulaire de consentement éclairé était lu aux participants (une version Braille était également disponible sur demande) et signée par les participants. Ils répondaient

ensuite à un questionnaire relatif à leurs caractéristiques démographiques, déficience visuelle et habitudes de déplacement. Puis l'expérimentateur équipait les participants avec l'HemiGait, la caméra GoPro, le récepteur radio haute-fréquence relié à l'oreillette ainsi que la souris sans fil. L'expérimentateur accompagnait enfin les participants sur une partie de l'itinéraire afin qu'ils soient familiarisés avec certains éléments du parcours. Les participants avaient à cet instant l'occasion de sentir (via les mains et/ou la canne blanche) un des obstacles utilisés dans l'expérimentation.

Les participants réalisaient les deux tâches secondaires en condition simple tâche (debout sans marcher), l'essai d'habituation à la marche, puis les cinq essais de marche et de nouveau les deux tâches secondaires en condition simple tâche. Après chaque essai (de marche et de tâche secondaire), le questionnaire d'évaluation subjective de la charge attentionnelle était administré aux participants. Entre les essais, des pauses étaient proposées. Concernant l'ordre des essais de marche, l'essai en condition DT1SO était toujours suivi de celui en condition DT2SO, et l'essai en condition DT1AO était toujours suivi de celui en condition DT2AO et les participants étaient répartis dans les quatre ordres de contrebalancement suivants :

- STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO, DT2AO
- DT1SO, DT2SO, STSO, DT1AO, DT2AO
- DT1AO, DT2AO, STSO, DT1SO, DT2SO
- DT1AO, DT2AO, DT1SO, DT2SO, STSO

A la fin de la passation, les participants donnaient une estimation du pourcentage de priorité qu'ils avaient accordée à la marche pendant les conditions en double tâche et ils étaient encouragés à exprimer ce qu'ils avaient pensé de l'expérimentation.

2.5. Mesures et Indices de performance

a. Performances de marche

Grâce à l'enregistrement vidéo des essais, les comportements des participants pendant les essais de marche ont pu être codés *a posteriori* à l'aide d'un logiciel développé au Lescot, dénommé BIND et fonctionnant sous Matlab (voir Figure 7). Les évènements codés étaient :

- Le début de l'essai (moment où le premier pas était posé) et sa fin (le moment où la canne entrait en contact avec la bande podotactile d'arrivée) ;
- Les arrêts des participants ;
- Les contacts entre les obstacles et la canne ou le corps des participants ;

- La trajectoire latérale des participants (règles de codage présentées plus bas).

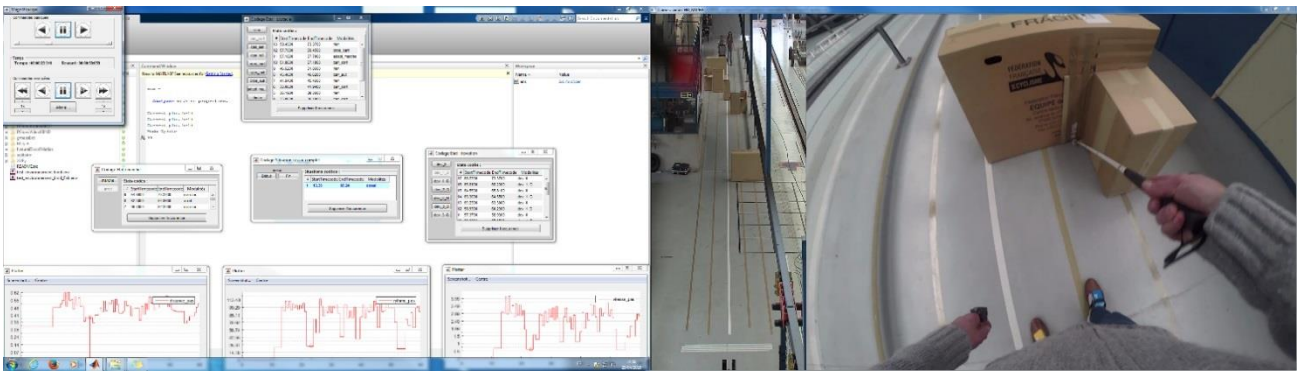

Figure 7. Capture écran du protocole de codage. A gauche, fenêtres de codage de l'activité de marche et d'affichage des paramètres de marche, pendant la lecture de la vidéo (à droite).

Durée de l'essai

La durée de chaque essai, **le nombre d'arrêts** et **la durée cumulée des arrêts** ont été reportés. Pour chaque essai, un **indice de marche productive**[7] (IMP ; Dodds, Carter, & Howarth, 1983 ; Shingledecker, 1978) a pu être calculé. L'indice de marche productive, exprimé en pourcentage, correspond au rapport entre le temps passé à marcher et le temps mis pour réaliser l'essai et est calculé selon la formule suivante :

IMP = (durée de l'essai - durée cumulée des arrêts) / durée de l'essai * 100)

Paramètres de marche

Pour chaque essai, **la vitesse moyenne des pas**, **la fréquence moyenne des pas** et **la longueur moyenne des pas** ont été enregistrées à l'aide de l'HemiGait. A partir de ces données, pour chaque essai et chaque participant, un **coefficient de variation** (CV ; Mason et al., 2005 ; Wuehr et al., 2013) a été calculé pour rendre compte de la variabilité de la marche selon la formule suivante :

CV (%) = écart-type / moyenne * 100.

[7] *productive walking index* en anglais dans la littérature

Gestion des obstacles

Pour chaque essai en condition avec obstacles, les obstacles détectés avec la canne et ceux touchés avec le corps ont été codés. Pour chaque obstacle rencontré (détecté avec la canne et/ou touché avec le corps), une note de gestion d'obstacle a été attribuée :

- si le participant a détecté l'obstacle avec sa canne et ne l'a pas touché avec son corps, 5 points étaient attribués,
- si le participant a détecté l'obstacle avec sa canne, a modifié sa locomotion (ralentissement et/ou modification de sa trajectoire) mais a tout de même touché l'obstacle avec son corps, 3 points étaient attribués,
- si le participant a détecté l'obstacle avec sa canne, n'a pas modifié sa locomotion (pas de ralentissement ni de modification de sa trajectoire) et a touché l'obstacle avec son corps, 1 point étaient attribué,
- si le participant a touché avec son corps un obstacle qu'il n'a pas détecté avec sa canne, aucun point n'était attribué.

Pour chaque essai en condition avec obstacles, le nombre d'obstacles rencontrés (détectés avec la canne et/ou touchés avec le corps) a été reporté.

Un indice de gestion des obstacles a été calculé en moyennant l'ensemble des notes de gestion d'obstacles. Une moyenne proche de 5 indique que le participant a eu une bonne gestion des obstacles tandis qu'une moyenne proche de 0 signifie que le participant n'a pas bien géré les obstacles.

Pendant les essais en condition avec obstacles les situations pendant lesquelles les participants géraient les obstacles (appelées situations obstacles) ont été codées. Elles débutaient lorsque le participant rencontrait un obstacle (détecté avec la canne ou touché avec le corps) et prenaient fin lorsque l'obstacle était dépassé. Les autres moments de l'essai ont été codés comme situations hors obstacle. Ainsi, au sein d'un essais avec obstacles, les paramètres de marche et les performances à la tâche secondaire ont pu être analysés selon si un obstacle était géré ou non.

Gestion de la trajectoire

Pour chaque essai, la trajectoire des participants a été décomposée en plusieurs états, codés selon les règles de décisions suivantes :

- lorsque les pieds des participants étaient placés de part et d'autre de la bande centrale, ou que l'un des deux pieds était positionné sur cette bande centrale, la trajectoire des

participants était considérée comme ne déviant pas (codé état dev_0 pour déviation 0, aucune déviation),

- lorsque les pieds des participants étaient placés entre la bande centrale et une des bandes latérales 1 (droite ou gauche) ou tant qu'un des pieds était placé sur une des bandes latérales 1, la trajectoire des participants était considérée comme déviant faiblement (codé état dev_1_D ou dev_1_G pour déviation à droite de niveau 1 ou déviation à gauche de niveau 1),
- lorsque les pieds des participants étaient placés entre une des bandes latérales 1 et une des bandes latérales 2 ou tant qu'un des pieds était placé sur une des bandes latérales 2, la trajectoire des participants était considérée comme déviant moyennement (codé état dev_2_D ou dev_2_G pour déviation à droite de niveau 2 ou déviation à gauche de niveau 2),
- lorsque les pieds des participants étaient placés à droite de la bande latérale droite 3 ou à gauche de la bande latérale gauche 3, la trajectoire des participants était considérée comme déviant fortement (codé état dev_3_D ou dev_3_G pour déviation à droite de niveau 3 ou déviation à gauche de niveau 3).

Un indice de déviation de la trajectoire a été défini afin de rendre compte du niveau de linéarité de la trajectoire des participants.

Pour chaque essai, le temps cumulé passé dans chaque niveau de déviation a été mesuré, et pour chaque niveau de déviation, la proportion de temps passé dedans a été calculée en divisant le temps cumulé passé par la durée de l'essai. L'indice de trajectoire a été calculé en multipliant pour chaque niveau de déviation la proportion de temps passé par son coefficient attribué :

- dev_0 : coefficient 5,
- dev_1_D et dev_1_G : coefficient 3,
- dev_2_D et dev_2_G : coefficient 1
- dev_3_D et dev_3_G : coefficient est 0.

La formule de l'indice de déviation de la trajectoire est la suivante :

proportion de temps dans dev_0 * 5 + (proportion de temps dans dev_1_G + proportion de temps dans dev_1_G) * 3 + (proportion de temps dans dev_2_G + proportion de temps dans dev_2_G) * 1 + (proportion de temps dans dev_3_G + proportion de temps dans dev_3_G) * 0.

Ainsi, pour un essai donné, un indice de déviation de la trajectoire égal à 5 indiquait que le participant avait réalisé une trajectoire rectiligne durant tout l'essai, tandis qu'un indice

de déviation de la trajectoire proche de 0 indiquait que le participant avait fortement dévié durant tout l'essai.

Plusieurs variables relatives à la trajectoire des participants ont été reportées : l'indice de trajectoire, le niveau de déviation à la fin de l'essai, le pourcentage de temps passé en déviation 0, le pourcentage de temps passé en déviations 0 et 1 cumulés, ainsi que le pourcentage de temps passé en déviation 3.

b. Performance à la tâche secondaire

Pour chaque essai durant laquelle la tâche secondaire était réalisée, **le pourcentage de réponses correctes** et **le temps de réponse moyen** ont été enregistrés.

Grâce à l'enregistrement des stimuli audio sur la vidéo, des algorithmes de détection des pics du signal auditif ont permis de rendre compte de la localisation temporelle des stimuli. Ainsi, pour les deux conditions avec obstacles, les stimuli étaient labélisés selon s'il avait été diffusés pendant les situations obstacles ou pendant les situations hors obstacle.

c. Interférence de la double tâche

Afin de rendre compte des effets de la réalisation de la double tâche sur la performance à tâche principale de marche et sur la performance à la tâche secondaire sur la performance un indice, nommé *Dual Task Effect* (DTE ; effet de la double tâche) et proposée par Plummer & Eskes (2015) a été utilisé. Comme suggéré par Plummer & Eskes (2015), l'effet de la réalisation de deux tâches simultanées sur la performance a été quantifié grâce à l'utilisation de la formule suivante :

DTE (%) = (performance en double tâche – performance en tâche simple) / performance en tâche simple * 100

Pour les temps de réponse et les durées des essais, variables dont la valeur la plus grande indique la performance la plus basse, la formule suivante a été utilisée :

DTE (%) = - (performance en double tâche – performance en tâche simple) / performance en tâche simple * 100

Un DTE négatif indique que la performance est détériorée en condition double tâche par rapport à la condition simple tâche (coût de la division de l'attention).

d. Evaluation subjective de la charge mentale

Après chaque essai, les participants attribuaient une note de 0 à 5 pour chaque dimension proposée (effort auditif, effort tactile, effort physique, exigence temporelle, performance, effort d'attention, niveau de stress). La moyenne brute (moyenne des notes à chaque dimension, avec un inversement des notes pour la dimension performance) a été calculée pour chaque essai.

L'ensemble des variables étudiées dans cette étude sont présentées Tableau 15.

Tableau 15. Récapitulatif des variables dépendantes étudiées et conditions comparées

	Variables dépendantes	Conditions comparées
Marche	Durée de l'essai Durée cumulée des arrêts Indice de marche productive	STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO, DT2AO
	Vitesse de marche (brute + coefficient de variation) Fréquence des pas (brute + coefficient de variation) Longueur des pas (brute + coefficient de variation)	STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO, DT2AO
	Vitesse de marche (brute + coefficient de variation) Fréquence des pas (brute + coefficient de variation) Longueur des pas (brute + coefficient de variation)	Situations obstacles et Situations sans obstacle au sein des conditions DT1AO et DT2AO
Déviation de la trajectoire	Indice de déviation Pourcentage de temps en déviation 0 Pourcentage de temps en déviations 0 et 1 Pourcentage de temps en déviation 3	STSO, DT1SO, DT2SO
	Déviation à l'arrivée	STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO, DT2AO
Gestion des obstacles	Nombre d'obstacles rencontrés Indice de gestion d'obstacles	DT1AO et DT2AO
Tâche secondaire	Temps de réponse Pourcentage de réponses correctes	ST1, DT1SO et DT1AO ST2, DT2SO et DT2AO
	Temps de réponse Pourcentage de réponses correctes	Situations obstacles et Situations sans obstacle au sein des conditions DT1AO et DT2AO
Interférence de la double tâche	DTE marche (durée des essais)	DT1SO, DT1AO, DT2SO et DT2AO
	DTE tâche secondaire (temps de réponse)	DT1SO, DT1AO, DT2SO et DT2AO
Evaluation subjective de la charge mentale	Chaque dimension (effort auditif, effort tactile, effort physique, exigence temporelle, performance, effort d'attention, niveau de stress) et moyenne brute	ST1, ST2, STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO, DT2AO

DTE : dual task effect, STSO : simple tâche sans obstacle, DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles

3. Résultats

Dans un premier temps, pour chaque variable dépendante, des analyses de variances (ANOVA) à mesures répétées ont été effectuées sur l'ensemble des participants pour rendre compte des effets des variables indépendantes intra-individuelles, sauf pour les variables relatives à la gestion des obstacles, qui ont été analysées au moyen de tests de classement de Wilcoxon. Pour les ANOVAs à mesures répétées, lorsque l'hypothèse de sphéricité n'était pas vérifiée, la correction de la Trace de Pillai était utilisée (correction la plus sensible à la violation de l'hypothèse de sphéricité ; Howell, 2012). Basé sur les valeurs de *F* significatives, le test de Bonferroni a été utilisé pour les analyses post-hoc.

Dans un second temps, les effets de facteurs inter-individuels tels que le groupe d'âge (moins de 60 ans / plus de 60 ans), le sexe, l'antériorité de la cécité (avant ou après 3 ans), l'aisance de déplacement rapporté et la performance attentionnelle ont été analysés. Ces facteurs inter-individuels ont été analysés avec des tests T de Student (unilatéraux ou bilatéraux selon le facteur étudié) pour échantillons indépendants lorsque les groupes d'échantillons suivaient la loi normale (normalité testée au moyen du test de Shapiro-Wilk) et avec des tests non paramétriques de Mann-Whitney lorsque la normalité n'était pas respectée.

Le niveau de significativité utilisé pour tous les tests statistiques était fixé à $p \leq .05$.

En raison de dysfonctionnements ponctuels des dispositifs utilisés pendant l'expérimentation, certaines données n'ont pas pu être enregistrées. Ainsi, toutes les analyses n'ont pas été réalisées sur l'ensemble des participants. Pour chaque variable, lorsque l'analyse ne porte pas sur l'ensemble des vingt-cinq participants, le nombre de participants testés est précisé dans les tableaux présentant les moyennes.

Pour les temps de réponse à la tâche secondaire et la durée de l'essai, les performances à plus de 2,5 écart-types de la moyenne ont été remplacées par la valeur correspondant à la moyenne + 2,5 écart-types.

3.1. Performance de marche

a. Durée de l'essai et arrêts

Des ANOVAs à mesures répétées avec une variable intra-individuelle condition de marche (à cinq modalités : STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO et DT2AO) ont été réalisées sur la durée de l'essai, la durée cumulée des arrêts et l'indice de marche productive (voir page

134 pour la formule). Les moyennes (écart-types) concernant ces variables sont présentées Tableau 16.

Tableau 16. Moyennes (écart-types) pour les variables de marche relatives à la durée de l'essai pour chaque condition

	STSO[1]	DT1SO[2]	DT2SO[3]	DT1AO[4]	DT2AO[5]
Durée de l'essai (s) [a]	43,7 (10,5)	45,9 (13,7)	44,2 (12.4)	54,8 (19,0)	56,6 (16,3)
Durée cumulée des arrêts (s)	0, 2 (0,5)	0,4 (1,3)	0,4 (1,6)	1,7 (1,8)	1,1 (1,3)
IMP (%) [a]	99,7 (0,8)	99,3 (1,6)	99,2 (2,6)	96,9 (3,2)	98,1 (2,1)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles, a : n = 23 ; s : secondes, IMP : Indice de marche productive

L'ANOVA réalisée sur la durée de l'essai a révélé un effet significatif de la condition ($F(4,88) = 19,588$, $p = .000$). Les analyses post-hoc ont mis en évidence que les participants ont été significativement plus rapides pour réaliser l'essai en condition STSO que celui en condition DT1AO ($p = .000$) et DT2AO ($p = .000$) ; ils ont également été plus rapides pour réaliser l'essai en condition DT1SO que ceux en DT1AO ($p = .000$) et DT2AO ($p = .000$) ; et plus rapides pour réaliser l'essai en condition DT2SO que ceux en conditions DT1AO ($p = .000$) et DT2AO ($p = .000$). En revanche, aucune différence significative n'a été révélée entre les essais en conditions STSO et DT1SO ($p = .486$), STSO et DT2SO ($p = 1.000$), DT1SO et DT2SO ($p = .486$), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO ($p = 1.000$).

L'ANOVA réalisée sur la durée cumulée des arrêts a montré un effet significatif de la condition ($F(4,96) = 4,832$, $p = .003$). Les analyses post-hoc indiquent que les participants se sont arrêtés significativement moins longtemps dans la condition STSO que dans les conditions DT1AO ($p = .001$) et DT2AO ($p = .022$), et dans la condition DT1SO que dans la condition DT1AO ($p = .012$). Aucune différence significative n'a été révélée entre la condition STSO et les conditions DT1SO ($p = 1.000$) et DT2SO ($p = 1.000$), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT1AO ($p = 1.000$) et DT2AO ($p = 0.570$), ni entre la condition DT1AO et les conditions DT2SO ($p = 0.241$) et DT2AO ($p = 0.971$) ni entre les conditions DT2SO et DT2AO ($p = 0.573$).

L'ANOVA réalisée sur l'indice de marche productive a mis en évidence un effet significatif de la condition ($F(4,96) = 5,384$, $p = .004$). Les analyses post-hoc montrent que ce pourcentage est significativement plus élevé dans la condition STSO que dans les conditions DT1AO ($p = .003$) et DT2AO ($p = .021$) et dans la condition DT1SO que dans la condition

DT2SO (p = .022). Aucune différence significative n'a été révélée entre la condition STSO et les conditions DT1SO (p = 1.000) et DT2SO (p = 1.000), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = 0.299), ni entre la condition DT1AO et les conditions DT2SO (p = 0.241) et DT2AO (p = 0.971), ni entre les conditions DT2SO et DT2AO (p = 0.484).

Des ANOVAS à mesures répétées à trois modalités (les essais sans obstacle : STSO, DT1SO et DT2SO) ont également été réalisées sur ces variables. Elles n'ont pas montré d'effet significatif de la condition pour la durée de l'essai (F(2, 46) = 1,840, p = .170), ni pour la durée cumulée des arrêts (F(2, 48) = 1,473, p = .250), ni pour l'indice de marche productive (F(2, 48) = 1,429, p = .260).

b. Paramètres de marche

Des ANOVAs à mesures répétées avec une variable intra-individuelle condition de marche (à cinq modalités : STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO et DT2AO) ont été réalisées sur la vitesse, la fréquence et la longueur des pas enregistrées avec l'HemiGait ainsi que sur les coefficients de variations (voir page 135 pour la formule) de ces variables. Les moyennes (et écarts-types) obtenus pour ces variables par les participants dans chaque essai sont présentées dans le Tableau 17.

Tableau 17. Moyennes (écart-types) des vitesses, fréquences, et longueurs des pas et coefficients de variation

	STSO[1]	DT1SO[2]	DT2SO[3]	DT1AO[4]	DT2AO[5]
Vitesse des pas (m/s) [a]	0,89 (0,20)	0,88 (0,22)	0,87 (0,20)	0,79 (0,19)	0,76 (0,17)
CV vitesse (%) [a]	19,8 (8,4)	20,9 (8,9)	21,3 (9,4)	28,9 (6,1)	28,8 (6,7)
Fréquence des pas (/min) [a]	96,03 (8,6)	95,89 (10,1)	95,91 (10,7)	92,20 (9,8)	92,39 (10,4)
CV fréquence (%) [a]	12,0 (3,5)	12,7 (4,2)	13,1 (4,7)	17,6 (4,0)	17,6 (2,7)
Longueur des pas (m) [a]	0,55 (0,11)	0,55 (0,11)	0,54 (0,10)	0,50 (0,9)	0,49 (0,8)
CV longueur (%) [a]	14,3 (6,2)	15,6 (7,4)	14,9 (7,5)	20,9 (4,4)	21,6 (5,9)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles, a : n = 18 ; CV : coefficient de variation

L'ANOVA réalisée sur la vitesse moyenne des pas a révélé un effet significatif de la condition (F(4, 68) = 68,437, p = .000). Les analyses post-hoc ont montré que la vitesse des pas dans la condition STSO ne différait pas significativement de celles en condition DT1SO (p = 1.000) et DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieure à celles dans les conditions DT1AO (p = .002) et DT2AO (p = .000). La vitesse des pas dans la condition DT1SO ne différait pas significativement de celle en condition DT2SO (p = 1.000) mais était

significativement supérieure aux vitesses des pas dans les conditions DT1AO (p = .004) et DT2AO (p = .000). Celle en condition DT2SO était significativement supérieure aux vitesses des pas dans les conditions DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .007), et les vitesses en conditions DT1AO et DT2AO ne différaient pas significativement l'une de l'autre (p = 1.000).

L'ANOVA réalisée sur la fréquence moyenne des pas a montré un effet significatif de la condition (F(4, 68) = 6,476, p = .000). Les analyses post-hoc ont montré que la fréquence des pas dans la condition STSO ne différait pas significativement de celles en condition DT1SO (p = 1.000), DT2SO (p = 1.000) et DT2AO (p = .053) mais était significativement supérieure aux fréquences des pas dans la condition DT1AO (p = .006). La fréquence des pas dans la condition DT1SO ne différait pas significativement de celle en conditions DT2SO (p = 1.000) et DT2AO (p = .052) mais était significativement supérieure à la fréquence des pas dans la condition DT1AO (p = .026). Celle en condition DT2SO ne différait pas significativement des fréquences des pas dans les conditions DT1AO (p = .098) et DT2AO (p = .271), et les fréquences en conditions DT1AO et DT2AO ne différaient pas significativement l'une de l'autre (p = 1.000).

L'ANOVA réalisée sur la longueur moyenne des pas a montré un effet significatif de la condition (F(4, 68) = 16,926, p = .000). Les analyses post-hoc ont révélé que la longueur des pas dans la condition STSO ne différait pas significativement de celles en conditions DT1SO (p = 1.000) et DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieure aux longueurs des pas dans les conditions DT1AO (p = .002) et DT2AO (p = .000). La longueur des pas dans la condition DT1SO ne différait pas significativement de celle en condition DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieure aux longueurs des pas dans les conditions DT1AO (p = .002) et DT2AO (p = .001). Celle en condition DT2SO était significativement supérieure aux longueurs des pas dans les conditions DT1AO (p = .023) et DT2AO (p = .004), et les longueurs en conditions DT1AO et DT2AO ne différaient pas significativement l'une de l'autre (p = .693).

L'ANOVA réalisée sur le coefficient de variation de la vitesse des pas a révélé un effet significatif de la condition (F(4, 68) = 79,270, p = .000). Les analyses post-hoc ont montré que le CV de la vitesse des pas dans la condition STSO ne différait pas significativement de ceux en conditions DT1SO (p = 1.000) et DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieur aux CV de la vitesse des pas dans les conditions DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .000). Le CV de la vitesse des pas dans la condition DT1SO ne différait pas significativement de celui en condition DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieur aux CV de la vitesse des pas dans les conditions DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .000). Celui en condition DT2SO

était significativement supérieur aux CV de la vitesse des pas dans les conditions DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .000), et le CV de la vitesse en conditions DT1AO et DT2AO ne différaient pas significativement l'un de l'autre (p = 1.000).

L'ANOVA réalisée sur le coefficient de variation de la fréquence des pas a révélé un effet significatif de la condition (F(4, 68) = 12,702, p = .000). Les analyses post-hoc ont montré que le CV de la fréquence des pas dans la condition STSO ne différait pas significativement de ceux en conditions DT1SO (p = 1.000) et DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieur aux CV de la fréquence des pas dans les conditions DT1AO (p = .004) et DT2AO (p = .000). Le CV de la fréquence des pas dans la condition DT1SO ne différait pas significativement de celui en condition DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieur aux CV de la fréquence des pas dans les conditions DT1AO (p = .013) et DT2AO (p = .002). Celui en condition DT2SO ne différait pas significativement de celui en condition DT1AO (p = .060) mais était significativement supérieur au CV de la fréquence des pas dans la condition DT2AO (p = .007), et le CV de la fréquence en conditions DT1AO et DT2AO ne différaient pas significativement l'un de l'autre (p = 1.000).

L'ANOVA réalisée sur le coefficient de variation de la longueur des pas a montré un effet significatif de la condition (F(4, 68) = 19,263, p = .000). Les analyses post-hoc ont montré que le CV de la longueur des pas dans la condition STSO ne différait pas significativement de ceux en conditions DT1SO (p = 1.000) et DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieur aux CV de la longueur des pas dans les conditions DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .000). Le CV de la longueur des pas dans la condition DT1SO ne différait pas significativement de celui en condition DT2SO (p = 1.000) mais était significativement supérieur aux CV de la longueur des pas dans les conditions DT1AO (p = .011) et DT2AO (p = .008). Celui en condition DT2SO était significativement supérieur aux CV de la longueur des pas dans les conditions DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .001), et les le CV de la longueur en conditions DT1AO et DT2AO ne différaient pas significativement l'un de l'autre (p = 1.000).

Lorsque les 3 conditions sans obstacle ont été statistiquement comparées, aucune ANOVA n'a révélé d'effet de la condition sur la vitesse moyenne des pas (F(2, 34) = 0,478, p = .324), sur la fréquence des pas (F(2, 34) = 0,012, p = .988), sur la distance des pas (F(2, 34) = 0,876, p = .435), ni sur le CV de la vitesse des pas (F(2, 34) = 0,791, p = .462), sur le CV de la fréquence des pas (F(2, 34) = 0,641, p = .533), ou sur le CV de la distance des pas (F(2, 34) = 1,029, p = .368).

Pour les deux conditions avec obstacles (DT1AO et DT2AO), les paramètres de marche (vitesse, fréquence et longueur des pas) des participants lorsqu'ils étaient en situation

obstacles et ceux lorsqu'ils étaient hors des situations obstacle sont présentés dans le Tableau 18. Des ANOVAs à mesures répétées avec les deux variables intra-individuelles tâche (à deux modalités : DT1AO et DT2AO) et gestion d'obstacle (à deux modalités : dans la situation obstacles et hors de la situation obstacle) ont été réalisées sur les vitesses, fréquences et longueurs des pas des participants et sur les CV de la vitesse, fréquence et longueur des pas.

Tableau 18. Moyennes (écart-types) des vitesses, fréquences, longueurs des pas hors et et dans les situations obstacles

	Situation hors obstacle		Situation obstacle	
	DT1AO[1]	DT2AO[2]	DT1AO[1]	DT2AO[2]
Vitesse des pas (m/sec) [a]	0,84 (0,21)	0,81 (0,19)	0,63 (0,15)	0,62 (0,16)
Fréquence des pas (/min) [a]	94,0 (10,6)	93,3 (10,0)	87,0 (9,1)	90,0 (12,2)
Longueur des pas (m) [a]	0,53 (0,10)	0,51 (0,09)	0,44 (0,08)	0,41 (0,07)

1 : double tâche 1 avec obstacles, 2 : double tâche 2 avec obstacles, a : n = 18

L'ANOVA réalisée sur la vitesse des pas a révélé un effet significatif de la situation obstacles ($F(1, 17) = 7,758$, $p = .013$), mais pas d'effet significatif de la tâche secondaire ($F(1, 17) = 7,758$, $p = .100$), ni d'interaction significative entre la situation obstacles et la tâche secondaire ($F(1, 17) = 0.779$, $p = .390$).

L'ANOVA réalisée sur la fréquence des pas a montré un effet significatif de situation obstacles ($F(1, 17) = 24,076$, $p = .000$), mais pas d'effet significatif de la tâche secondaire ($F(1, 17) = 1,198$, $p = .289$), ni d'interaction significative entre la situation obstacles et la tâche secondaire ($F(1, 17) = 6,508$, $p = .021$).

L'ANOVA réalisée sur la longueur des pas a montré un effet significatif de la situation obstacles ($F(1, 17) = 95,958$, $p = .000$), et de la tâche secondaire ($F(1, 17) = 4,542$, $p = .048$), mais pas d'interaction significative entre la situation obstacles et la tâche secondaire ($F(1, 17) = 0,572$, $p = .460$).

Dans ces mêmes conditions, pendant la situation hors obstacle, la vitesse moyenne des pas, la fréquence des pas et la longueur des pas avant le premier obstacle ont été comparées à, respectivement, la vitesse des pas, la fréquence des pas et la longueur des pas en situation hors obstacle après le dernier obstacle avec des ANOVAs à mesures répétées avec deux variables intra-individuelles : tâche (à deux modalités : DT1AO et DT2AO) et moment de la situation hors obstacle (à deux modalités : avant le premier obstacle et après ;Tableau 19).

Tableau 19. Moyennes (écart-types) des vitesses, fréquences et longueurs des pas en situation hors obstacle avant le premier obstacle et après le dernier obstacle

	Situation hors obstacle avant le premier obstacle		Situation hors obstacle après le dernier obstacle	
	DT1AO[1]	DT2AO[2]	DT1AO[1]	DT2AO[2]
Vitesse des pas (m/sec) [a]	0,85 (0,21)	0,76 (0,21)	0,84 (0,14)	0,83 (0,21)
Fréquence des pas (/min) [a]	93,56 (10,5)	92,11 (11,2)	93,83 (8,5)	93,52 (11,3)
Longueur des pas (m) [a]	0,54 (0,11)	0,49 (0,10)	0,53 (0,08)	0,52 (0,10)

1 : double tâche 1 avec obstacles, 2 : double tâche 2 avec obstacle, a : n = 18

L'ANOVA réalisée sur la vitesse des pas n'a pas révélé d'effet significatif du moment de la situation obstacles ($F(1, 17) = 1,277$, $p = .274$), mais un effet significatif de la tâche secondaire a été trouvé ($F(1, 17) = 12,046$, $p = .003$), ainsi qu'une interaction significative entre le moment de la situation obstacles et la tâche secondaire ($F(1, 17) = 7,147$, $p = .016$).

L'ANOVA réalisée sur la fréquence des pas n'a pas révélé d'effet significatif du moment de la situation obstacles ($F(1, 17) = 0,453$, $p = 510$), ni de la tâche secondaire ($F(1, 17) = 1,088$, $p = .312$), ni d'interaction significative entre le moment de la situation obstacles et la tâche secondaire ($F(1, 17) = 0,818$, $p = .378$).

L'ANOVA réalisée sur la longueur des pas a montré un effet significatif du moment de la situation obstacles ($F(1, 17) = 1,080$, $p = .313$), mais pas d'effet significatif de la tâche secondaire ($F(1, 17) = 10,734$, $p = .004$), ni d'interaction significative entre le moment de la situation obstacles et la tâche secondaire ($F(1, 17) = 9,519$, $p = .007$).

c. Gestion des obstacles

Le test de classement de Wilcoxon ne montre pas de différence significative entre la note obtenue par les participants à l'indice de gestion d'obstacles en condition DT1AO (M = 4,7, ET = 0,4) et celle obtenue en condition DT2AO (M = 4,7, ET = 0,4 ; $Z = 0,094$, $p = .925$). Par ailleurs, le nombre d'obstacles rencontrés par les participants en condition DT1AO (M = 4,4, ET = 1,4) ne diffère pas significativement du nombre d'obstacles rencontrés en DT2AO (M = 4,3, ET = 1,4 ; $Z = 0,369$, $p = .712$).

d. Gestion de la trajectoire

Des ANOVAs à mesures répétées avec la variable intra-individuelle condition de marche (à trois modalités : STSO, DT1SO, DT2SO ; les conditions sans obstacle) ont été réalisées sur l'indice de déviation, mais également sur le pourcentage de temps passé en

déviation 0, le pourcentage de temps passé en déviations 0 et 1 cumulés, ainsi que le pourcentage de temps passé en déviation 3. Une ANOVA à mesures répétées avec une variable intra-individuelle condition de marche (à cinq modalités : STSO, DT1SO, DT1AO, DT2SO, DT2AO) a été réalisée sur la déviation à l'arrivée. Pour chaque essai, les moyennes (et écart-types) relatives à ces variables de gestion de la trajectoire sont décrits dans le Tableau 20.

Tableau 20. Moyennes (écart-types) pour les variables relatives à la déviation

	STSO[1]	DT1SO[2]	DT2SO[3]	DT1AO[4]	DT2AO[5]
Indice de déviation	3,1 (0,5)	2,9 (0,6)	3,1 (0,7)		
Pourcentage de déviation 0	26,7 (11,0)	24,4 (12,6)	30,3 (19,9)		
Pourcentage de déviation 0 et 1	78,0 (17,9)	71,6 (17,0)	78,7 (18,1)		
Pourcentage de déviation 3	3,1 (5,9)	5,7 (12,8)	3,7 (9,4)		
Déviation à l'arrivée	0,6 (0,9)	0,6 (0,9)	0,4 (0,6)	0,9 (0,8)	0,9 (0,8)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles

Aucune ANOVA n'a révélé d'effet significatif de la condition sur l'indice de déviation obtenu par les participants ($F(2, 48) = 1{,}892$, $p = .163$), ni sur le pourcentage de temps passé en déviation 0 ($F(2, 48) = 0{,}941$, $p = .405$), ni sur le pourcentage de temps passé en déviation 0 et 1 ($F(2, 48) = 1{,}902$, $p = .160$), ni sur le pourcentage de temps passé en déviation 3 ($F(2, 48) = 1{,}174$, $p = .327$). L'ANOVA réalisée sur la déviation à l'arrivée n'a révélé aucun effet de la condition ($F(4, 96) = 0{,}984$, $p = .420$).

3.2. Performance à la tâche secondaire

Des ANOVAs à mesures répétées avec les deux variables intra-individuelles marche (à trois modalités : ne marche pas, marche, marche avec obstacles) et tâche secondaire (à deux modalités : tâche 1 et tâche 2) ont été réalisées sur les pourcentages de réponses correctes et les temps de réponse des participants obtenus dans les conditions impliquant les deux tâches secondaires. Les performances des participants à la tâche secondaire pour chaque condition sont reportées dans le Tableau 21.

L'ANOVA réalisée sur les pourcentages de réponses correctes des participants a révélé un effet significatif de la marche ($F(2, 46) = 10{,}802$, $p = .001$), mais pas d'effet significatif de la tâche secondaire ($F(1, 46) = 2{,}789$, $p = .108$), ni d'interaction significative entre la marche et la tâche secondaire ($F(2, 46) = 0{,}858$, $p = .431$). Les analyses post-hoc montrent que le pourcentage de réponses correctes était significativement plus grand dans les

conditions sans marcher que dans les conditions en marchant avec des obstacles (p = .000), mais ne différait significativement pas entre les conditions réalisées sans marcher et en marchant (p = .117) et en marchant et en marchant avec des obstacles (p = 1.000).

Tableau 21. Moyennes (écart-types) des temps de réponse et pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire

	ST1[1]	DT1SO[2]	DT1AO[3]
Pourcentage de réponses correctes % [a]	98,9 (2,3)	96,8 (6,6)	94,7 (7,5)
Temps de réponse (ms) [b]	445,7 (69,9)	590,9 (146,2)	681,5 (166,9)
	ST2[4]	DT2SO[5]	DT2AO[6]
Pourcentage de réponses correctes % [a]	97,4 (3,4)	93,5 (10,2)	93,9 (5,5)
Temps de réponse (ms) [b]	613,6 (99,4)	694,0 (191,4)	756,3 (156,6)

1 : tâche secondaire 1 simple tâche, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 1 avec obstacles, 4 : tâche secondaire 2 simple tâche, 5 : double tâche 2 sans obstacle, 6 : double tâche 2 avec obstacles, a : n = 24, b : n = 23.

L'ANOVA réalisée sur les temps de réponse des participants a mis en évidence un effet significatif de la marche (F(2, 44) = 42.384, p = .000), un effet significatif de la tâche secondaire (F(1, 44) = 44.419, p = .000) et une interaction significative entre la marche et la tâche secondaire (F(2, 44) = 3.224, p = .049). Les analyses post-hoc montrent que les temps de réponse étaient significativement plus courts lorsque les tâches secondaires étaient réalisées sans marcher qu'en marchant (p = .000), et qu'en marchant avec des obstacles, (p = .000) et qu'ils étaient plus courts lorsque les tâches secondaires étaient réalisées en marchant qu'en marchant avec des obstacles (p = .001). Les temps de réponse étaient également significativement plus courts lors de la réalisation de la tâche secondaire 1 que lors de celle de la tâche secondaire 2 (p = .001).

Pour les deux conditions avec obstacles (DT1AO et DT2AO), les réponses aux stimuli diffusés lorsque les participants étaient en situation obstacles et celles aux stimuli diffusés lorsque les participants étaient hors des situations obstacle ont été étudiées séparément et sont présentés dans le Tableau 22. Des ANOVAs à mesures répétées avec les deux variables intra-individuelles tâche (à deux modalités : DT1AO et DT2AO) et situation obstacles (à deux modalités : dans la situation et hors de la situation) ont été réalisées sur les pourcentages de réponses correctes et les temps de réponse des participants.

L'ANOVA réalisée sur les pourcentages de réponses correctes a montré un effet significatif de la situation obstacles (F(1, 22) = 5,027, p = .035), mais pas d'effet de la tâche

secondaire (F(1, 22) = 1,084, p = .309) ni d'effet d'interaction entre la situation obstacles et la tâche secondaire (F(1, 22) = 0,008, p = .932).

L'ANOVA réalisée sur les temps de réponse a révélé un effet significatif de la situation obstacles (F(1, 21) = 28,233, p = .000), mais pas d'effet de la tâche secondaire (F(1, 21) = 2,152, p = .157) ni d'effet d'interaction entre la situation obstacles et la tâche secondaire (F(1, 21) = 1,447, p = .242).

Tableau 22. Moyennes (écart-types) des temps de réponse et pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire hors et dans les situations obstacles

	Situation hors obstacle		Situation obstacles	
	DT1AO[1]	DT2AO[2]	DT1AO[1]	DT2AO[2]
Pourcentage de réponses correctes [a]	96,9 (6,0)	95,0 (5,6)	93,5 (8,8)	89,8 (14,4)
Temps de réponse (ms) [b]	609,9 (139,2)	719,6 (162,3)	849,2 (329,6)	871,7 (243,7)

1 : double tâche 1 avec obstacles, 2 : double tâche 2 avec obstacles, a : n = 23, b : n = 22

3.3. Interférence de la double tâche

a. Interférence de la tâche cognitive sur la marche

L'effet de la double tâche (DTE[8]) a été calculé pour la durée de l'essai mesurée dans les conditions de marche en double tâche. Les moyennes (et écart-types) de ces DTE figurent dans le Tableau 23.

Tableau 23. Moyennes (écart-types) des DTE de la marche

DTE	DT1SO[1]	DT2SO[2]	DT1AO[3]	DT2AO[4]
Durée de l'essai % [a]	-4,2 (9.9)	-1,7 (8,9)	-25,7 (16,4)	-30,0 (19,1)

1 : double tâche 1 sans obstacle, 2 : double tâche 2 sans obstacle, 3 : double tâche 1 avec obstacles, 4 : double tâche 2 avec obstacle, a : n = 23

[8] DTE (%) = (performance en double tâche – performance en tâche simple) / performance en tâche simple * 100

Des ANOVA à mesures répétées avec les facteurs obstacles (deux modalités : sans obstacle et avec obstacles) et tâche secondaire (deux modalités : tâche secondaire 1 et tâche secondaire 2) sur les DTE calculés sur la variable de marche durée de l'essai ont été réalisées.

L'ANOVA réalisée sur les DTE de la durée de l'essai a montré un effet de la présence d'obstacles ($F(1, 23) = 90{,}064$, $p = .000$). En revanche, aucun effet significatif de la tâche ($F(1, 23) = 0{,}319$, $p = .578$), ni d'interaction significative entre les facteurs obstacles et tâche ($F(1, 23) = 3.771$, $p = .065$) n'a été montré.

b. Interférence de la marche sur la tâche cognitive

L'effet de la double tâche (DTE) a été calculé pour les pourcentages de réponses correctes et temps de réponse obtenus à la tâche secondaire 1 et à la tâche secondaire 2 lorsqu'elles étaient réalisées en condition avec obstacles et en condition sans obstacle. Les moyennes (et écart-types) de ces DTE figurent dans le Tableau 24.

Tableau 24. Moyennes (écart-types) des DTE de la tâche secondaire

DTE	DT1SO[1]	DT2SO[2]	DT1AO[3]	DT2AO[4]
Pourcentage de réponses correctes % [a]	-2,1 (6,7)	-4,0 (9,3)	-4,5 (6,9)	-3,7 (5,5)
Temps de réponse % [b]	-32,6 (23,4)	-12,6 (20,7)	-53,7 (32,6)	-24,1 (21,4)

1 : double tâche 1 sans obstacle, 2 : double tâche 2 sans obstacle, 3 : double tâche 1 avec obstacles, 4 : double tâche 2 avec obstacle, a : n = 24, b : n = 23

Des ANOVA à mesures répétées (2 tâches secondaires x 2 présence d'obstacles) sur les DTE calculés sur la base des pourcentages de réponses correctes et les temps de réponse ont été réalisées.

Un effet significatif de la présence d'obstacles sur les DTE des pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire a été révélé par l'ANOVA : la marche a un effet plus important sur le pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire dans les conditions avec obstacles que dans les conditions sans obstacle ($F(1, 22) = 10{,}802$, $p = .001$). En revanche, aucun effet significatif de la tâche ($F(1, 22) = 2{,}789$, $p = .108$) ni d'interaction significative ($F(1, 22) = 0{,}858$, $p = .431$) n'ont été trouvés.

L'ANOVA réalisée sur les DTE des temps de réponse à la tâche secondaire a montré un effet de la présence d'obstacles ($F(1, 22) = 22{,}424$, $p = .000$) : la marche a un effet plus important sur la vitesse de réponse à la tâche secondaire dans les conditions avec obstacles que dans les conditions sans obstacle. L'analyse montre également un effet de la tâche ($F(1, 22) = 25{,}741$, $p = .000$) : la marche a un effet plus important sur la vitesse de réponse à

la tâche secondaire 1 que sur la tâche secondaire 2. Aucun effet d'interaction n'a été mis en évidence par l'analyse ($F(1, 22) = 1{,}280$, $p = .270$).

3.4. Evaluation subjective de la charge mentale

Pour chaque essai de marche, les réponses au questionnaire d'évaluation subjective de la charge mentale des participants recueillies ainsi que la moyenne brute calculée sur l'ensemble des dimensions sont présentées dans le Tableau 25. Des ANOVAs à mesures répétées avec le facteur intra-individuel condition (à cinq modalités : STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO et DT2AO) ont été réalisées sur chaque dimension de l'évaluation subjective ainsi que sur la moyenne brute des dimensions.

Tableau 25. Moyennes (écart-types) des réponses des participants à l'évaluation subjective de la charge mentale

	STSO[1]	DT1SO[2]	DT2SO[3]	DT1AO[4]	DT2AO[5]
Effort auditif	1,0 (1,2)	1,6 (1,3)	1,6 (1,4)	1,6 (1,3)	2.0 (1,5)
Effort tactile	1,04 (1,1)	1,2 (1,1)	1,3 (1,1)	1,8 (1,3)	1,7 (1,2)
Effort physique	1,0 (1,1)	1,0 (1,1)	1,1 (1,2)	1,3 (1,3)	1,2 (1,2)
Exigence temporelle	1,0 (1,2)	1,5 (1,3)	1,7 (1,1)	1,8 (1,1)	2,1 (1,3)
Performance	4,2 (0,8)	3,9 (0,8)	3,6 (0,9)	3,3 (0,9)	3,3 (1,0)
Effort d'attention	1,9 (1,6)	2,6 (1,2)	2,8 (1,4)	3,0 (1,2)	3,3 (1,2)
Niveau de stress	1,3 (1,5)	1,6 (1,5)	1,6 (1,6)	1,6 (1,4)	1,8 (1,4)
Moyenne brute	1,2 (0,9)	1,5 (0,9)	1,6 (1,0)	1,9 (1,0)	2,0 (1,0)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort auditif a montré un effet significatif de la condition ($F(4, 96) = 5{,}104$, $p = .005$). Les analyses post-hoc ont mis en évidence que l'effort auditif déclaré par les participants était significativement moins important dans la condition STSO que dans les conditions DT2SO ($p = .006$) et DT2AO ($p = .001$) et moins important dans la condition DT1SO que dans la condition DT2AO ($p = .049$). En revanche, aucune différence significative n'a été montrée entre la condition STSO et les conditions DT1SO ($p = .101$) et DT1AO ($p = .062$), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO ($p = 1.000$) et DT1AO ($p = 1.000$), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO ($p = 1.000$) et DT2AO ($p = .084$), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO ($p = .258$).

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort tactile a révélé un effet significatif de la condition ($F(4, 96) = 4{,}303$, $p = .011$). Les analyses post-hoc ont montré que l'effort tactile déclaré par les participants était significativement moins importante dans la condition STSO

que dans les conditions DT1AO (p = .008) et DT2AO (p = .011), et était significativement moins important dans la condition DT1SO que dans les conditions DT1AO (p = .014) et DT2AO (p = .025). En revanche, aucune différence significative n'a été mise en évidence entre la condition STSO et les conditions DT1SO (p = 1.000) et DT2SO (p = .162), ni entre les conditions DT1SO et DT2SO (p = 1.000), entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = .162) et DT2AO (p = 1.000), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = 1.000).

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort physique n'a pas montré d'effet significatif de la condition (F(4, 96) = 1,850, p = .157).

L'ANOVA réalisée sur la dimension exigence temporelle a mis en évidence un effet significatif de la condition (F(4, 96) = 6,877, p = .001). Les analyses post-hoc ont révélé que l'exigence temporelle déclarée par les participants était significativement moins importante dans la condition STSO que dans les conditions DT2SO (p = .003), DT1AO (p = .001) et DT2AO (p = .000), et moins importante dans la condition DT1SO que dans la condition DT2AO (p = .045). Aucune différence significative n'a été montrée entre les conditions STSO et DT1SO (p = .065), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO (p = 1.000) et DT1AO (p = 1.000), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = .093), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = .500).

L'ANOVA réalisée sur la dimension performance a montré un effet significatif de la condition (F(4, 96) = 9,213, p = .000). Les analyses post-hoc ont révélé que la performance que les participants ont estimé avoir eu était significativement plus importante dans la condition STSO que dans les conditions DT2SO (p = .013), DT1AO (p = .001) et DT2AO (p = .000) et significativement plus importante dans la condition DT1SO que dans les conditions DT1AO (p = .006) et DT2AO (p = .001). Pas de différence significative n'a été trouvée au niveau de la performance déclarée entre les conditions STSO et DT1SO (p = .084), DT1SO et DT2SO (p = 1.000), entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = .727) et DT2AO (p = 1.000), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = 1.000).

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort d'attention a mis en évidence un effet significatif de la condition (F(4, 96) = 9,149, p = .000). Les analyses post-hoc révèlent que l'effort d'attention déclaré par les participants était significativement moins important dans la condition STSO que dans les conditions DT2SO (p = .007), DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .000) et significativement moins important dans la condition DT1SO que dans la condition DT2AO (p = .005). En revanche, aucune différence significative n'a été révélée entre les conditions STSO et DT1SO (p = .053), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO

(p = 1.000) et DT1AO (p = .569), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = .247) ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = .293).

L'ANOVA réalisée sur la dimension niveau de stress n'a pas montré d'effet significatif de la condition (F(4, 96) = 1,800, p = .167).

L'ANOVA réalisée sur la moyenne brute des sept dimensions a révélé un effet significatif de la condition (F(4, 96) = 25,973, p = .000). Les analyses post-hoc ont montré que la moyenne brute était significativement moins importante dans la condition STSO que dans les conditions DT1SO (p = .001), DT2SO (p = .000), DT1AO (p = .000) et DT2AO (p = .000), dans la condition DT1SO que dans les conditions DT1AO (p = .016) et DT2AO (p = .001) et dans la condition DT2SO que dans la condition DT2AO (p = .024). En revanche, aucune différence significative n'a été trouvée entre les conditions DT1SO et DT2SO (p = 1.000), DT2SO et DT1AO (p = .515), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = 1.000).

3.5. Effet de facteurs inter-individuels

Pour la majorité des variables dépendantes, l'effet des facteurs inter-individuels âge, sexe, antériorité de la cécité, aisance de déplacement et capacités attentionnelles (mesurées dans l'étude 1) a été testé avec des tests T de Student pour échantillons indépendants ou des tests non paramétriques de Mann-Whitney. Les tests T de Student réalisés étaient bilatéraux pour les variables âge (avec l'hypothèse que les performances des participants de moins de 60 ans seraient différentes de celles des participants de plus de 60 ans), sexe, antériorité de la cécité (avec l'hypothèse que les performances des participants aveugles précoces seraient différentes de celles des participants aveugles tardifs) et unilatéraux pour les variables aisance de déplacement (avec l'hypothèse que les performances des participants avec une aisance supérieure seraient supérieures à celles des participants avec une aisance inférieure) et capacités attentionnelles (avec l'hypothèse que les performances des participants avec des capacités attentionnelles supérieures seraient supérieures à celles des participants avec des capacités attentionnelles inférieures ; la façon dont ont été distinguées les capacités attentionnelles supérieures des capacités attentionnelles inférieure sera détaillée dans la partie 3.5 e. page 160). Dans cette partie sont présentés les résultats pour lesquels le test s'est révélé significatif, mais les résultats de l'ensemble des tests réalisés sur ces variables sont disponibles en Annexes.

a. Effet de l'âge

Seize participants étaient âgés de moins de 60 ans (M = 43,1 ans, ET = 10,8), dont huit étaient aveugles précoces et cinq étaient des femmes. Ils avaient une durée moyenne de scolarité de 14,5 ans (ET = 3,0). Neuf participants étaient âgés de plus de 60 ans (M = 66,9 ans, ET = 6,2), tous aveugles tardifs et dont trois étaient des femmes. Ils avaient une durée moyenne de scolarité de 12,1 ans (ET = 4,1). Pour chaque variable, les moyennes (écart-types) des deux groupes et les résultats des analyses statistiques réalisés sont présentés Annexe 8.

- Performance de marche

L'analyse réalisée sur la déviation de la trajectoire à l'arrivée dans la condition DT1AO a montré que celle des participants de moins de 60 ans (M = 1,3, ET = 0,9) était significativement différente de celle des participants de plus de 60 ans (M = 0,4, ET = 0,5 ; U = 65,5, p = .037).

Une différence significative a été trouvée entre la vitesse des pas des participants de moins de 60 ans (M = 0,14 m/s, ET = 0,5) et celles des participants de plus de 60 ans (M = 0,20 m/s, ET = 0,6) en situation obstacles de la condition DT2AO (U = 17,0, p = .043).

- Performance à la tâche secondaire

L'analyse réalisée sur les temps de réponse à la tâche secondaire 1 réalisée en condition simple tâche a montré une différence significative entre les participants de moins de 60 ans (M = 430,2 ms, ET = 74,8) et les participants de plus de 60 ans (M = 467,0 ms, ET = 48,5 ; U = 34,0, p = .032). Les temps de réponse à la tâche secondaire 2 réalisée en condition simple tâche des participants de moins de 60 ans (M = 589,3 ms, ET = 102,5) sont significativement différents de ceux des participants de plus de 60 ans (M = 649,6 ms, ET = 71,6 ; U = 35.0, p = .037).

Afin de situer les participants de plus de 60 ans qui ont participé à cette expérimentation par rapport à l'ensemble des participants de plus de 60 ans qui ont participé à l'étude 1, leurs performances aux trois tâches d'attention ont été comparées à celles des autres participants de plus de 60 ans. Les tests statistiques n'ont pas révélé de différence significative entre les participants de plus de 60 ans qui ont réalisé cette expérimentation et ceux de plus de 60 ans qui ont participé à l'étude 1 au niveau du nombre de réponses correctes aux tâches d'attention sélective (U = 52,5, p = .917), d'attention soutenue (U = 42,5, p = .422) et d'attention divisée (t(19) = 210, p = .836), ni au niveau des temps de réponse à la tâche d'attention sélective

(*t*(19) = 596, *p* = .559), d'attention soutenue (*t*(19) = 628, *p* = .538) et d'attention divisée (*t*(19) = 710, *p* = .486) de l'étude 1.

b. Effet du sexe

Parmi les vingt-cinq participants, huit étaient des femmes dont deux étaient aveugles précoces. Les femmes participantes étaient âgées en moyenne de 52,8 ans (ET = 14,2) et avait une durée de scolarité de moyenne de 12,8 ans (ET = 5,0). Les dix-sept hommes étaient âgés en moyenne de 51,1 ans (ET = 15,6) et avait une durée de scolarité de moyenne de 14,1 ans (ET = 2,8). Six hommes étaient aveugles précoces.

Pour chaque variable, les moyennes (écart-types) des deux groupes et les résultats des analyses statistiques réalisées sont présentés Annexe 9.

- Performance de marche

Une différence significative a été révélée entre la durée de l'essai DT2SO des femmes (M = 53,3 s, ET = 15,5) et celle des hommes (M = 42,3 s, ET = 10.5 ; *U* = 34,0, *p* = .049).

Les vitesses de pas des femmes se sont révélées significativement plus petites dans les conditions STSO (*t*(16) = 2,544, *p* = .022), DT2SO (*t*(16) = 2,494, *p* = .024), DT1AO (*t*(16) = 2,759, *p* = .014) et DT2AO (*t*(16) = 2,717, *p* = .015) que celles des hommes. Les femmes ont également eu des pas significativement plus courts dans les conditions STSO (*t*(16) = 2,663, *p* = .017), DT1SO (*t*(16) = 2,403, *p* = .029), et DT2SO (*t*(16) = 3,096, *p* = .007).

Dans les conditions avec obstacles, les femmes ont eu des vitesses de pas significativement plus lentes en situation hors obstacle (*t*(16) = 2,653, *p* = .017 pour DT1AO ; *t*(16) = 2,590, *p* = .020 pour DT2AO) ainsi que en situation obstacles (*t*(16) = 2,772, *p* = .014 pour DT1AO ; *t*(16) = 2,760, *p* = .014 pour DT2AO) que les hommes.

- Performance à la tâche secondaire

Les temps de réponse à la tâche secondaire en condition DT2SO des femmes (M = 802,0 ms, ET = 199,8) se sont révélés significativement différents de ceux des hommes (M = 636,3 ms, ET = 165,5 ; *U* = 22,0, *p* = .013). Les temps de réponse à la tâche secondaire en situation hors obstacle dans la condition DT1AO des femmes (M = 685,1 ms, ET = 164,7) se sont révélés significativement différents de ceux des hommes (M = 563,4 ms, ET = 103,0 ; *t*(21) = 2,190, *p* = .040).

- Interférence de la double tâche

Concernant le DTE du pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire en condition DT1SO, une différence significative a été trouvée entre les femmes (M = -7,2 %, ET = 9.8) et les hommes (M = 0,3 %, ET = 2,4 ; *U* = 25,5, *p* = .011).

c. Effet de l'antériorité de la cécité

L'effet de l'antériorité de la cécité des participants a été étudié uniquement chez les seize participants de moins de 60 ans, étant donné que les participants de plus de 60 ans étaient tous aveugles tardifs. Les huit participants aveugles précoces étaient âgés de 40,1 ans en moyenne (ET = 10,6) et avaient une durée de scolarité moyenne de 12,9 ans (ET = 3,5). Deux d'entre eux étaient des femmes. Les huit participants aveugles tardifs étaient âgés de 46,0 ans en moyenne (ET = 10,8), avaient une durée de scolarité moyenne de 16,1 ans (ET = 1,2) et trois d'entre eux étaient des femmes.

Pour chaque variable, les moyennes (écart-types) des deux groupes et les résultats des analyses statistiques réalisées sont présentées Annexe 10.

Aucune différence significative n'a été révélée entre les participants aveugles précoces et les participants aveugles tardifs pour les variables relatives à la performance de marche, à la performance à la tâche secondaire, ni à l'interférence de la double tâche.

En revanche, concernant l'évaluation subjective de la charge mentale, une différence significative a été trouvée entre la moyenne brute dans la condition DT1SO des participants aveugles précoces (M = 1,1, ET = 0,9) et celle des participants aveugles tardifs (M = 2,0, ET = 0,2 ; $t(14) = 2{,}796$, $p = .024$). Une différence significative a également été mise en évidence entre la moyenne brute dans la condition DT2SO des participants aveugles précoces (M = 1,4, ET = 1,1) et celle des participants aveugles tardifs (M = 2,3, ET = 0,5 ; $t(14) = 2, 153$, $p = .049$).

d. Effets de l'aisance de déplacement

L'aisance de déplacement des participants a été estimée selon les réponses aux mêmes questions relatives aux habitudes de déplacement utilisées dans l'étude 1 (page 92), et sont reprises dans le Tableau 26 qui comprend également les effectifs obtenus pour chaque réponse.

Comme l'illustre la Figure 8 présentant les fréquences des effectifs pour chaque note obtenue au score d'aisance de déplacement subjectif, les participants ont obtenu des notes comprises entre 1 et 8 (M = 4,0, ET = 1,7 ; médiane = 4). Etant donné la répartition des notes, les participants ont été regroupés en deux classes qui diffèrent de celles utilisées dans l'étude

précédente afin d'obtenir deux groupes avec des effectifs comparables en raison de la petite taille de l'échantillon. Le groupe aisance inférieure comprend les participants qui ont obtenu une note inférieure ou égale à 3 (douze participants) et le groupe aisance supérieure comprend les participants ayant obtenu une note supérieure à 3 (treize participants).

Tableau 26. Effectifs des participants selon la réponse aux questions relatives aux habitudes de déplacement

	Réponses	Effectifs
Fréquence de déplacement	Moins de cinq fois par semaine	5
	Plus de cinq fois par semaine	20
Déplacements dans des lieux non connus	Non	3
	Moins d'une fois par mois (occasionnellement)	9
	Plus d'une fois par mois (fréquemment)	13
Ecoute de musique	Non	20
	Oui, uniquement sur certains trajets et/ou rarement	4
	Oui, fréquemment, sur tout type de trajet	1
Téléphone	Non	10
	Oui, uniquement sur certains trajets et/ou rarement	12
	Oui, fréquemment, sur tout type de trajet	3

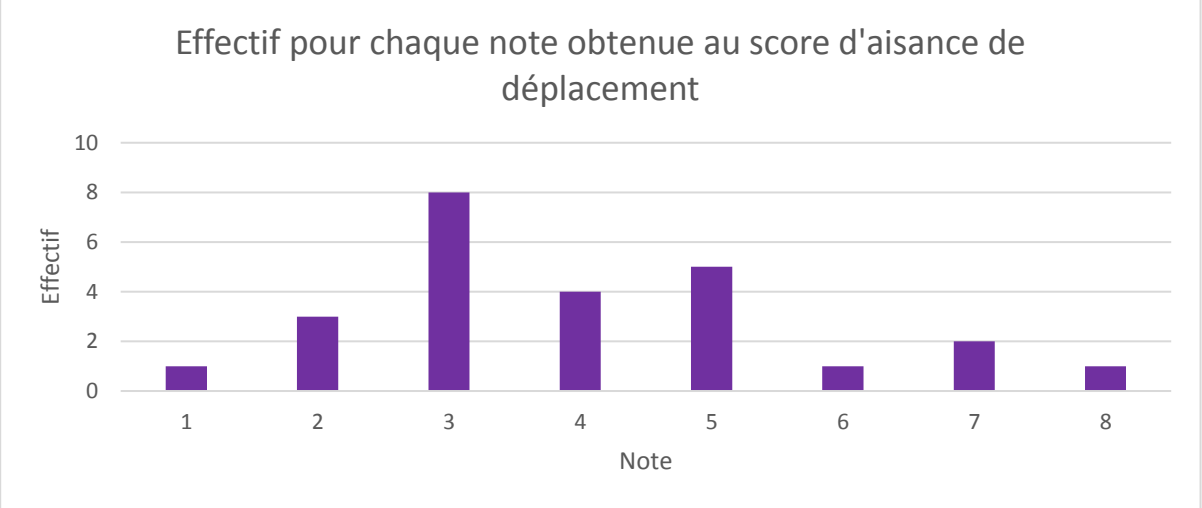

Figure 8. Effectifs des notes obtenues au score d'aisance

Le groupe aisance supérieure était composé de trois femmes et quatre personnes étaient aveugles précoces. Ils étaient âgés de 45,2 ans en moyenne (ET = 15,2) et avaient une durée de scolarité moyenne de 14,0 ans (ET = 3,1). Dans le groupe aisance inférieure,

cinq participants étaient des femmes, quatre étaient aveugles précoce. Les participants de ce groupe étaient âgés de 58,6 ans en moyenne (ET = 11,5) et avaient une durée de scolarité moyenne de 12,7 ans (ET = 3,5). Pour chaque variable, les moyennes (écart-types) des deux groupes et les résultats des analyses statistiques réalisées sont présentés Annexe 11.

- Performance de marche

La durée de l'essai en condition DT2SO des participants du groupe aisance supérieure (M = 40,2 s, ET = 6,1) et celle des participants du groupe aisance inférieure (M = 51,9 s, ET = 15,9) se sont révélées significativement différentes ($t(23) = 2,454$, $p = .011$). La durée de l'essai en condition DT1AO des participants du groupe aisance supérieure (M = 49,1 s, ET = 7,3) et celle des participants du groupe aisance inférieure (M = 63,1 s, ET = 20,1) se sont révélées significativement différentes ($t(23) = 2,337$, $p = .015$). La durée de l'essai en condition DT2AO des participants du groupe aisance supérieure (M = 50,6 s, ET = 9,0) et celle des participants du groupe aisance inférieure (M = 64,2 s, ET = 19,1) se sont également révélées significativement différentes ($t(23) = 2,293$, $p = .016$).

Les participants du groupe aisance supérieure ont eu des vitesses de pas significativement plus rapides que les participants du groupe aisance inférieure dans les conditions DT1SO ($t(16) = 1,910$, $p = .080$), DT2SO ($t(16) = 2,831$, $p = .006$), DT1AO ($t(16) = 2,388$, $p = .015$) et DT2AO ($t(16) = 2,045$, $p = .029$). Les pas du groupe aisance supérieure ont également été significativement plus lents dans les conditions DT1SO ($t(16) = 2,132$, $p = .025$), DT2SO ($t(16) = 3,023$, $p = .004$), DT1AO ($t(16) = 2,487$, $p = .012$), et DT2AO ($t(16) = 2,076$, $p = .027$). Dans les conditions avec obstacles, les participants du groupe aisance supérieure ont eu des vitesses de pas significativement plus rapides hors des situations obstacles ($t(16) = 2,357$, $p = .016$ pour DT1AO ; $t(16) = 2,034$, $p = .030$ pour DT2AO) ainsi que pendant les situations obstacles ($t(16) = 2,424$, $p = .014$ pour DT1AO ; $t(16) = 2,004$, $p = .032$ pour DT2AO) que les participants du groupe aisance inférieure.

- Performance à la tâche secondaire

Les temps de réponse à la tâche secondaire 1 réalisée en condition tâche simple des participants du groupe aisance supérieure (M = 412,1 ms, ET = 39,4) et ceux des participants du groupe aisance inférieure (M = 477,4 ms, ET = 77,0) se sont révélés significativement différents ($U = 35,0$, $p = .019$). Les temps de réponse à la tâche secondaire 2 réalisée en condition tâche simple des participants du groupe aisance supérieure (M = 553,7 ms, ET = 67,3) et ceux des participants du groupe aisance inférieure (M = 673,0 ms, ET = 83,5) se sont révélés significativement différents ($t(23) = 1,152$, $p = .001$). Les temps de réponse à la

tâche secondaire 2 réalisée en condition DT2SO des participants du groupe aisance supérieure (M = 596,7 ms, ET = 66,0) et ceux des participants du groupe aisance inférieure (M = 783,6 ms, ET = 225,8) se sont révélés significativement différents ($t(23) = 2.751$, $p = .009$).

- Interférence de la double tâche

Le DTE de la durée de l'essai en condition DT2SO des participants du groupe aisance supérieure (M = 1,4, ET = 7,4) et celui des participants du groupe aisance inférieure (M = -8.6, ET = 14,7) se sont révélés significativement différents ($t(23) = 2,170$, p = .021).

e. Effet des capacités attentionnelles

Vingt-trois participants à cette expérimentation ont également réalisé la batterie de tests présentée dans l'étude 1 de ce travail de thèse. Les participants qui ont obtenu les meilleures performances à la tâche d'attention sélective, à la tâche d'attention soutenue et à la tâche d'attention divisée (c'est-à-dire ceux situés au-dessus de la médiane pour les temps de réponse et le nombre de réponses correctes pour chacun des trois tests) ont été classés dans un groupe nommé attention supérieure (n = 9) tandis que les autres ont été classés dans un groupe nommé attention inférieure (n = 13).

Les participants du groupe attention supérieure étaient âgés de 42,2 ans en moyenne (ET = 13,0) et avaient une durée moyenne de scolarité de 14,4 ans (ET = 2,8). Quatre d'entre eux étaient des femmes. Les participants du groupe attention inférieure étaient âgés de 58,7 ans en moyenne (ET = 14,2) et avaient une durée moyenne de scolarité de 12,5 ans (ET = 4,1). Quatre d'entre eux étaient des femmes. Pour chaque variable, les moyennes (écart-types) des deux groupes et les résultats des analyses statistiques réalisées sont présentés Annexe 12.

- Performance de marche

Une différence significative entre la déviation de la trajectoire à l'arrivée en condition DT1SO obtenue par les participants du groupe attention supérieure (M = 0,9, ET = 0,8) et par ceux du groupe attention inférieure (M = 1,5, ET = 0,9 ; $t(21) = 1,783$, $p = .045$) a été mise en évidence.

- Performance à la tâche secondaire

Les temps de réponse à la tâche secondaire 1 réalisée en condition simple tâche des participants du groupe attention supérieure (M = 397,1 ms, ET = 32,6) et ceux des participants

du groupe attention inférieure (M = 472,8 ms, ET = 75,8) se sont révélés significativement différents ($t(21) = 2,809$, $p = .006$). Les temps de réponse à la tâche secondaire 2 réalisée en condition simple tâche des participants du groupe attention supérieure (M = 551,8 ms, ET = 79,4) et ceux des participants du groupe attention inférieure (M = 649,0 ms, ET = 94,6) se sont révélés significativement différents ($t(21) = 2, 553, p = .010$). Les temps de réponse à la tâche secondaire 1 réalisée en condition DT1SO des participants du groupe attention supérieure (M = 548,3 ms, ET = 74,9) et ceux des participants du groupe attention inférieure (M = 666,7 ms, ET = 185,6) se sont révélés significativement différents ($t(21) = 2,070$, $p = .027$). Les temps de réponse à la tâche secondaire 2 réalisée en condition DT2AO des participants du groupe attention supérieure (M = 711,7 ms, ET = 90,5) et ceux des participants du groupe attention inférieure (M = 830,1 ms, ET = 212,9) se sont révélés significativement différents ($t(21) = 1,786$, $p = .046$). Les pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire 2 réalisée en condition DT2AO des participants du groupe attention supérieure (M = 97,0 %, ET = 3,7) et ceux des participants du groupe attention inférieure (M = 92,0 %, ET = 5,4) se sont révélés significativement différents ($U = 27,5$, $p = .036$).

Concernant les performances à la tâche secondaire réalisée dans les conditions avec obstacles, une différence significative été trouvée entre les temps de réponse des participants du groupe attention supérieure en situation obstacles (M = 779,4 ms, ET = 121,1) et ceux du groupe attention inférieure dans la même situation (M = 946,8 ms, ET = 280,8 ; $t(19) = 1,884$, $p = .038$) de la condition DT2AO. Les pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire des participants du groupe attention supérieure en situation hors obstacle dans la condition DT2AO (M = 97,6 %, ET = 4,8) et ceux des participants du groupe attention inférieure (M = 92,6 %, ET = 5,4) étaient significativement différents ($U = 29,5$, $p = .043$).

- Interférence de la double tâche

Une différence significative a été trouvée au niveau du DTE de la durée de l'essai en condition DT1AO entre les participants du groupe attention supérieure (M = -18,4, ET = 15,2) et de celui des participants du groupe attention inférieure (M = -30,5, ET = 15,7 ; $t(20) = 1,778$, $p = .046$). Le DTE des pourcentages de réponses correctes en condition DT2AO des participants du groupe attention supérieure (M = -0,7, ET = 4,3) et celui des participants du groupe attention inférieure (M = -5,4, ET = 5,6) se sont révélés comme étant significativement différents ($t(20) = 2,116$, $p = .024$).

Dans le Tableau 27 sont récapitulées les variables pour lesquelles des effets inter-individuels significatifs ont été mis en évidence.

Tableau 27. Récapitulatif des effets inter-individuels significatifs

Variables		Groupe âge [a]	Sexe [a]	Groupe Attention	Age acquisition de la cécité [b]	Aisance de déplacement [c]
Durée essais	STSO					
	DT1SO					
	DT2SO		*			*
	DT1AO					*
	DT2AO					*
Vitesse des pas	STSO		*			
	DT1SO					*
	DT2SO		*			**
	DT1AO		*			*
	DT2AO		*			*
	DT1AO hors obstacle		*			*
	DT2AO hors obstacle		*			*
	DT1AO situation obstacle					*
	DT2AO situation obstacle					
Fréquence des pas	STSO					
	DT1SO					
	DT2SO					
	DT1AO					
	DT2AO					
Longueur des pas	STSO		*			
	DT1SO		*			*
	DT2SO		**			**
	DT1AO		*			*
	DT2AO		*			*
Déviation de la trajectoire	Indice de déviation STSO					
	Indice de déviation DT1SO					
	Indice de déviation DT2SO					
	Déviation à l'arrivée STSO					
	Déviation à l'arrivée DT1SO			*		
	Déviation à l'arrivée DT2SO					
	Déviation à l'arrivée DT1AO	*				
	Déviation à l'arrivée DT2AO					

Variables		Groupe âge [a]	Sexe [a]	Groupe Attention	Age acquisition de la cécité [b]	Aisance de déplacement [c]
Indice de gestion des obstacles	DT1AO					
	DT2AO					
Temps de réponse à la tâche secondaire	TS1	*		**		*
	TS2	*		**		**
	DT1SO			*		
	DT2SO		*			**
	DT1AO					
	DT2AO			*		
Pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire	TS1					
	TS2					
	DT1SO					
	DT2SO					
	DT1AO					
	DT2AO			*		
Temps de réponse à la tâche secondaire	DT1AO hors obstacle		*			
	DT2AO hors obstacle					
	DT1AO situation obstacle					
	DT2AO situation obstacle			*		
Pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire	DT1AO hors obstacle					
	DT2AO hors obstacle			*		
	DT1AO situation obstacles					
	DT2AO situation obstacles					
DTE durée essai	DT1SO					
	DT2SO					*
	DT1AO					
	DT2AO					
DTE temps de réponse tâche secondaire	DT1SO					
	DT2SO					
	DT1AO					
	DT2AO					
DTE réponses correctes tâche secondaire	DT1SO		*			
	DT2SO					
	DT1AO					

Variables		Groupe âge [a]	Sexe [a]	Groupe Attention	Age acquisition de la cécité [b]	Aisance de déplacement [c]
	DT2AO			*	*	
Evaluation subjective de la charge mentale (moyenne brute)	STSO					
	DT1SO				*	
	DT2SO				*	
	DT1AO					
	DT2AO					

*TS1 : tâche secondaire 1, TS2 : tâche secondaire 2, STSO : simple tâche sans obstacle, DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles ; ***p< .001, **p< .01, *p< .05*

4. Discussion

L'objectif principal de cette expérimentation était d'évaluer la charge cognitive induite par la marche des personnes aveugles et d'étudier si certains facteurs inter-individuels avaient des effets sur cette charge cognitive. Dans une première partie, les résultats concernant l'ensemble des participants seront discutés. Dans une seconde partie, les résultats relatifs aux effets de l'âge, et aux effets des autres facteurs inter-individuels sur la performance des participants aveugles seront commentés. Enfin, dans une dernière partie, les apports de cette étude et certaines limites seront présentés.

4.1. Effets de la double tâche

- Performance de marche et effet de la tâche secondaire

Les analyses relatives à la rapidité de la marche des participants ont révélé des différences significatives entre les essais de marche sans obstacle et ceux avec obstacles, aussi bien pour la durée de l'essai que pour la vitesse des pas. La vitesse des pas des participants de cette étude en condition simple tâche sans obstacle (M = 0,89 m/s, ET = 0,20) était relativement plus faible que celle des participants de l'étude de Hallemans et al. (2010 ; M = 1,09, ET = 0,25), mais proche de celle de Nakamura (1997 ; M = 0,86 m/s, ET = 0,09). Dans ces deux études et dans la condition simple tâche sans obstacle de notre étude, les participants marchaient dans un espace sans obstacle. En revanche, à la différence de l'étude d'Hallemans et al., il était indiqué aux participants de notre étude que des obstacles pouvaient être présents sur l'itinéraire (dans le but de maintenir leur attention sur la marche), ce qui a pu

entraîner chez eux une démarche plus prudente que celle des participants d'Hallemans et al. De plus, leurs participants avaient réalisé cinq essais d'habituation alors que ceux de la présente étude n'en ont fait qu'un seul. Pour l'étude de Nakamura (1997), aucune précision n'est fournie concernant l'information donnée aux participants à propos de l'absence d'obstacle, ni sur la réalisation d'une quelconque période d'habituation avant la réalisation des essais.

L'utilisation du coefficient de variation pour rendre compte de la variabilité de la marche ne s'est pas révélée plus pertinente que les paramètres de marche bruts : lorsqu'une différence significative était mise en évidence pour les paramètres de marche bruts (en l'occurrence lorsque les essais sans obstacle étaient comparés aux essais avec obstacles), une différence significative était trouvée pour le coefficient de variation. Cela semble indiquer que la vitesse de marche variait significativement plus lorsqu'elle était moins importante (en raison de la présence d'obstacles). La confrontation de nos coefficients de variation de la longueur (pour les conditions sans obstacle, au maximum M = 13,1 %, ET = 4,7) et de la fréquence des pas (pour les conditions sans obstacle, au maximum M = 15,6 %, ET = 7,4) avec ceux obtenus par les dix-huit participants (dont six étaient voyants et douze malvoyants ou aveugles) de Mason et al. (2005 ; au maximum, longueur des pas : M = 2,7 % ; fréquence des pas : M = 2,4 %) semble indiquer que la variabilité de la marche de nos participants était particulièrement élevée. Néanmoins, le protocole de Mason et al. imposait aux participants de marcher à une cadence rythmée par un métronome, ce qui peut être la raison d'une variation si faible.

L'absence de différence significative entre la condition tâche simple sans obstacle et les deux conditions en double tâche sans obstacle pour la durée de l'essai et la vitesse des pas, ainsi que pour celles relatives à la gestion de la trajectoire, indique que la réalisation de la tâche secondaire n'a pas eu d'effet sur la marche des participants. Cela se traduit également par des DTE (effets de la tâche secondaire) de la durée de l'essai relativement faibles (-4,2 % en DT1SO et -1,5 % en DT2SO).

Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux de Ramsey, Blasch, Kita, & Johnson (1999), qui ont montré que les paramètres de marche (vitesse, longueur et fréquence des pas) de participants malvoyants et aveugles étaient significativement inférieurs lorsqu'ils réalisaient une tâche secondaire en marchant, que lorsqu'ils marchaient sans effectuer de tâche secondaire. Néanmoins, bien que la tâche secondaire utilisée (détection par un appui sur une touche de stimuli auditifs) semble comparable à celle de la présente étude, aucune information n'est donnée concernant le type de stimuli diffusés ni la fréquence des stimuli. Il est possible que la tâche secondaire de Ramsey et al. soit plus coûteuse et entraîne donc une adaptation

de la démarche. Ces divergences peuvent être également expliquées par le niveau de priorisation accordée à la marche par les participants des deux études. Dans la présente étude, aucune consigne relative à la priorisation n'avait été donnée aux participants, afin qu'ils puissent avoir une adaptation à la réalisation des tâches simultanées qui se rapproche le plus de leur comportement habituel. En revanche, à l'issue de l'expérimentation, les participants étaient interrogés sur le pourcentage de priorité donné à la marche (pour information, M = 56,2 %, ET = 15,6). Concernant l'étude de Ramsey et al., aucune information relative à cette priorisation n'a été fournie.

Concernant l'indice de gestion des obstacles, l'absence de condition en simple tâche avec obstacles ne permet pas de rendre compte de l'effet de la réalisation de la tâche secondaire sur la gestion des obstacles. Néanmoins, la présence d'un effet plafond pour une majorité de participants (sur vingt-cinq participants : seize en condition DT1AO et dix-sept en condition DT2AO) indique que les obstacles ont bien été gérés, même avec la tâche secondaire simultanée. Il est envisageable qu'avec un nombre d'obstacle plus important, cet effet plafond aurait été atténué. Néanmoins, en raison d'une absence de référence dans la littérature concernant la fréquence d'obstacles rencontrés par les personnes aveugles au cours de leurs déplacements, c'est arbitrairement que le nombre de cinq obstacles placés a été choisi.

Malgré une bonne gestion des obstacles (mesurée avec l'indice de gestion d'obstacle), la présence d'obstacles a eu, sans surprise, un effet significatif sur la performance de marche (durée de l'essai, vitesse des pas). Cela est observable lorsque la comparaison avec et sans obstacle est faite à l'échelle de l'essai, mais également à une échelle plus précise (pour la vitesse des pas), au sein des conditions avec obstacles (lorsque les situations avec obstacles et les situations hors obstacle sont comparées). L'ampleur de la DTE de la durée de la marche dans les conditions avec obstacles (-27,7 en DT1AO et -30,0 en DT2AO) semble ainsi plus liée à la présence des obstacles qu'à l'effet de la tâche secondaire, puisque la vitesse des participants est significativement plus faible dans les situations obstacles que dans les situations hors obstacles.

Quant à la trajectoire, elle ne semble pas atteinte par la réalisation de la tâche secondaire en simultané (pas de différence significative pour les variables relatives à la tâche sans obstacle), ni par la présence d'obstacles (la déviation à l'arrivée ne diffère pas significativement entre les essais sans obstacle et les essais avec obstacles). Ainsi, l'augmentation de la charge mentale pendant la marche ne semble pas avoir d'effet sur la trajectoire lorsqu'une source sonore informe de la localisation du point d'arrivée.

Ainsi, l'ensemble de ces résultats révèle que la marche des participants n'a pas été perturbée par la réalisation de la tâche secondaire. Cela indique que les participants avaient des capacités à partager leur attention suffisamment importante pour que la tâche secondaire n'ait pas d'effet délétère sur leur marche.

- Performance à la tâche secondaire et effet de la marche

Concernant la performance (pourcentage et/ou temps de réponse) à la tâche secondaire, elle était réduite par la marche comparativement à lorsqu'elle est réalisée sans marcher. Elle était d'autant plus réduite lorsque des obstacles étaient présents sur l'itinéraire, ce qui est observé à l'échelle de l'essai (lorsque les essais sans obstacle et ceux avec obstacles sont comparés), mais également de façon plus précise au sein des essais avec obstacles (lorsque les situations hors obstacle et ceux avec obstacles sont comparées). Ces résultats sont en accord avec deux études menées auprès de participants atteints de malvoyance pour qui la performance à une tâche secondaire réalisée pendant la marche diminuait lorsque l'environnement de déplacement devenait complexe (Geruschat & Turano, 2007 ; Turano et al., 1998).

Lorsque les performances aux deux tâches secondaires étaient comparées, un effet significatif de la tâche a été trouvé (pour les temps de réponse), indiquant que la tâche secondaire 2 était plus difficile que la tâche secondaire 1. Néanmoins, les DTE des temps de réponse de la tâche secondaire 2 étaient significativement moins importants que ceux de la tâche secondaire 1, indiquant que la marche a eu un effet plus important sur la tâche secondaire 1, pourtant la plus facile, que sur la tâche secondaire 2. Deux hypothèses peuvent expliquer ce résultat surprenant. Tout d'abord, il est possible que l'ordre des conditions (la tâche secondaire 1 était toujours réalisée avant la tâche secondaire 2, et les deux tâches avec obstacles étaient toujours réalisées l'une après l'autre) ait entraîné une habituation des participants dans la réalisation d'une tâche secondaire en marchant. Cet ordre des conditions a également pu leur permettre de deviner la présence d'obstacles dans la tâche secondaire 2 avec obstacles et ainsi éveiller d'autant plus leur attention. Enfin, il est possible qu'en raison de la difficulté supérieure de la tâche secondaire 2, les participants aient été plus attentifs pour la réaliser. Cela met en avant une limite à l'utilisation du paradigme de double tâche : une différence de performance entre une tâche simple et une tâche en condition double tâche peut être liée à une variation de la charge cognitive, mais elle peut aussi être liée au niveau d'engagement du participant dans la tâche (Chanquoy et al., 2007).

Ces résultats indiquent que la marche sans voir ne repose pas sur des processus automatiques, puisqu'elle a un effet délétère sur la performance à la tâche secondaire.

- Evaluation de la charge mentale subjective

Les différences significatives observées ont émergé principalement lors de la comparaison entre les conditions sans obstacle et ceux avec obstacles pour les dimensions effort auditif, effort tactile, performance, effort d'attention et pour la moyenne brute. Aucune différence entre les essais n'a été trouvée pour les dimensions stress et effort physique. Enfin, c'est seulement pour la moyenne brute que des différences entre la condition en simple tâche et chacune des conditions en double tâche sans obstacle ont émergées. Ainsi, c'est principalement la présence d'obstacles qui a eu un effet sur la majorité des dimensions étudiées.

Pour résumer, la réalisation d'une tâche secondaire simultanée, de difficulté variable, n'a pas eu d'effet significatif sur la performance de marche, ce qui ne nous permet pas de valider notre première hypothèse, mais indique que les participants testés ont des capacités à partager leur attention relativement élevées. En revanche, notre seconde hypothèse est validée, puisque la performance à la tâche secondaire s'est retrouvée diminuée lorsqu'elle était réalisée en marchant, d'autant plus si des obstacles étaient présents. De plus, même si la performance à la tâche principale (marcher) n'a pas été dégradée par la réalisation de la tâche secondaire, des différences significatives ont émergé au niveau de la moyenne brute de l'évaluation subjective entre l'essai en condition simple tâche sans obstacle et ceux en double tâche sans obstacle. Les participants ont ainsi estimé que marcher en réalisant les tâches secondaires était plus coûteux que seulement marcher. Notre troisième hypothèse est ainsi validée.

4.2. Effets de facteurs inter-individuels

- Effet de l'âge

Globalement, peu de différences entre les participants de moins de 60 ans et ceux de plus de 60 ans ont été trouvées. Les participants les plus âgés n'ont pas été significativement inférieurs aux participants de moins de 60 ans pour aucune des variables concernant la tâche de marche. Concernant la performance à la tâche secondaire, les participants de plus de 60 ans ont obtenu des performances inférieures à ceux de moins de 60 pour les deux tâches uniquement lorsqu'elles étaient réalisées sans marcher (ST1 et ST2). Ces résultats, bien que surprenants, restent cohérents avec ceux de l'étude de Geruschat & Turano (2007) dans laquelle l'âge des participants malvoyants (compris entre 24 à 84 ans) ne ressortait pas significativement prédicteur de la performance à la tâche secondaire. Ainsi, la performance à la tâche principale et à la tâche secondaire des participants âgés de plus de 60 ans n'était pas

inférieure à celles des plus jeunes. Le partage de l'attention lors de la réalisation simultanée des deux tâches ne semble donc pas touché par l'âge. Nous nous sommes assuré que les participants de plus de 60 ans de cette étude n'avaient pas des capacités attentionnelles (mesurées dans l'étude 1) significativement supérieures à celles des autres participants aveugles âgés de l'étude. Une voie à explorer pour expliquer cette absence de différence serait la priorisation que les participants ont donné aux deux tâches (marche et tâche secondaire) lorsqu'elles étaient réalisées simultanément en fonction de l'âge. Le pourcentage de priorité que les participants de moins de 60 ans ont déclaré à la fin de l'expérimentation avoir donné à la marche (M = 55,9, ET = 15,2) ne différait pas significativement de celui fourni par les participants de plus de 60 ans (M = 56,7, ET = 17,3 ; $t(23) = 0{,}110$, $p = .914$). Ce pourcentage, subjectif, ne nous permet donc pas d'appuyer cette hypothèse. Une autre interprétation de cette absence de différence serait que les participants âgés aient acquis une expertise de déplacement en raison d'une plus longue durée de la cécité qui atténuerai les effets de l'âge. Néanmoins, cette hypothèse n'est pas vérifiée étant donné la différence de durée de cécité de seulement 2,5 ans (M = 28,4 ans, ET = 14,4 pour les participants de plus de 60 ans ; M = 25,9 ans, ET = 16,9 pour les plus jeunes). Une autre possibilité serait que les tâches (de marche et/ou secondaire) proposées aient été trop simples ou trop courtes pour susciter des différences significatives entre les participants les plus jeunes et les plus âgés. En effet, les capacités à diviser l'attention des personnes âgées seraient diminuées par rapport au plus jeunes essentiellement lors de la réalisation de tâches complexes (Adam et al., 2002 ; Collette & Salmon, 2014). Les deux tâches secondaires utilisées dans cette étude sont plus simples que la tâche d'attention sélective proposée dans la première étude de ce travail de thèse et pour laquelle un effet de l'âge a été trouvé. Elles diffèrent au niveau de la fréquence de présentation des stimuli (entre 2500 et 3500 ms dans cette étude et entre 1000 ms et 2000 ms dans l'étude précédente), de la durée (moins de 1 min moyenne contre 3 min respectivement), et du traitement à opérer (un stimulus cible présenté pour la tâche secondaire 1, un stimulus cible et un stimulus distracteur pour la tâche secondaire 2 de la présente étude contre plusieurs stimuli cibles et plusieurs stimuli distracteur dans l'étude précédente). L'absence d'effet de l'âge est peut-être également reliée à l'âge relativement jeune des participants âgés (67 ans en moyenne). En effet, chez les personnes voyantes, les études montrant un effet de la réalisation d'une tâche secondaire en marchant testaient généralement des individus de plus de 70 ans, voir de plus de 80 ans (Beauchet & Berrut, 2006).

- Effet du sexe

Concernant la marche, les femmes ont fait des pas significativement plus petits, plus lents et à une plus petite fréquence, ce qui s'est traduit par des durées des essais significativement plus longues que celles des hommes. Une telle différence entre la longueur et la fréquence de pas d'hommes et de femmes aveugles avait été trouvée dans une étude antérieure (Mason et al., 2005). Des facteurs morphologiques expliqueraient vraisemblablement ces résultats, même si cette hypothèse ne peut pas être vérifiée car la taille et le poids de nos participants n'ont pas été relevés.

- Effet de l'âge d'acquisition de la cécité

Aucune différence n'a été révélée entre les participants aveugles précoces et les participants aveugles tardifs (de moins de 60 ans) au niveau de la performance à la tâche principale et à la tâche secondaire. Cette absence de différence peut être liée au fait que ces participants aveugles tardifs étaient aveugles depuis une durée relativement longue (M = 12,5, ET = 9,6 ans), ajouté au fait que parmi eux, six ont eu une atteinte visuelle progressive (c'est-à-dire qu'ils étaient malvoyants avant d'être aveugles) dont cinq depuis la naissance. En effet, les personnes aveugles tardives s'appuieraient sur leur expérience visuelle durant une période de quelques années (Cattaneo & Vecchi, 2011). Il est probable qu'elles adoptent ensuite un fonctionnement similaire à celui des personnes aveugles précoces, d'autant plus pour les personnes qui subissent une atteinte visuelle progressive. Avec un plus grand échantillon, nous aurions pu étudier la performance de participants aveugles tardifs en fonction de la durée de cécité et du fait d'avoir été malvoyants avant d'être aveugle.

En revanche, une différence significative au niveau de la charge cognitive subjective a été trouvée dans deux conditions (DT1SO et DT2SO) : la moyenne brute des participants aveugles précoces était significativement inférieure à celle des participants aveugles tardifs. Ainsi, même si cela ne se traduit pas par des différences de performances, les participants aveugles tardifs ont estimé ressentir une charge cognitive plus importante que les participants aveugles précoces lorsqu'ils marchaient en réalisant une tâche secondaire.

- Effet de l'aisance de déplacement

L'aisance de déplacement s'est révélée avoir un effet significatif sur la durée des essais dans trois conditions (DT2SO, DT1AO et DT2AO) et sur la vitesse des pas dans les quatre conditions en double tâche. Puisqu'aucune différence n'a été trouvée entre les personnes du groupe aisance supérieure et celles du groupe aisance inférieure lorsque les tâches secondaires étaient réalisées sans marcher, et que la DTE de la durée des essais des

participants du groupe aisance inférieure était significativement inférieure dans une condition (DT2SO), c'est donc bien le fait de réaliser la tâche secondaire en marchant qui a eu un effet sur la marche des personnes du groupe aisance inférieure. Cela est cohérent avec les travaux de Turano, Massof, & Quigley (2002) dans lesquels une corrélation a été trouvée entre les compétences de mobilité perçues de personnes avec une atteinte visuelle et leur vitesse de marche. Au niveau de la tâche secondaire, les participants du groupe aisance supérieure ont obtenu des performances significativement supérieures pour les tâches secondaires 1 et 2 réalisées sans marcher et dans une condition de marche (DT2SO). Dans une étude portant sur la construction de représentation spatiale, un effet des capacités de déplacement sur les performances de participants aveugles avait également été trouvé (Schmidt et al., 2013).

Ainsi, bien que des différences n'aient pas émergé pour toutes les variables étudiées, il semblerait que les participants du groupe aisance supérieure aient plus de facilités à réaliser une tâche secondaire en marchant. Cela n'est pas surprenant puisque deux des questions permettant la construction du score d'aisance de déplacement sont relatives au fait de se mettre en situation de double tâche au cours des déplacements réels (écouter de la musique et téléphoner en marchant). Le protocole mis en place dans cette étude permet ainsi de bien discriminer les participants selon leurs compétences (auto-rapportées) de déplacement.

- Effet des capacités attentionnelles

Lorsque les participants étaient regroupés selon leurs capacités attentionnelles, les seules différences significatives observées au niveau de la tâche principale concernaient la déviation à l'arrivée dans une condition (DT1SO) et la DTE de la durée d'une condition (DT1AO). Au niveau des tâches secondaires, les participants du groupe attention supérieure ont obtenu de meilleures performances aux deux tâches secondaires réalisées sans marcher et dans deux essais de marche (DT1SO et DT2AO). Au sein de l'une de ces taches (DT2AO), c'est pendant la gestion des obstacles (situation obstacles) que les participants du groupe attention supérieure ont été significativement plus performants que les participants du groupe attention inférieure. Ainsi, la charge cognitive impliquée dans le déplacement des piétons aveugles semble moins importante pour ceux qui ont des capacités d'attention supérieures.

En résumé, certains facteurs inter-individuels se sont révélés pertinents pour expliquer la performance des participants aux tâches principales et secondaires, tels que l'aisance de déplacement subjective et les capacités attentionnelles des participants. Quant au sexe, il a principalement un effet sur les paramètres de marche, résultat qui n'est pas surprenant. En revanche, l'âge et l'âge d'acquisition de la cécité sont deux facteurs inter-individuels qui ne se sont étonnamment pas révélés significatifs. Cette absence de résultats reste toutefois à

prendre avec précaution étant donné la taille des échantillons testés statistiquement petite, mais relativement élevé par rapport aux études similaires précédemment menées.

4.3. Apports et limites de l'étude

Cette expérimentation semble être la première à s'être intéressée à la charge cognitive impliquée dans le déplacement de piétons aveugles avec un nombre de participants aveugle relativement important, contrairement aux études déjà menées sur la question impliquant des participants voyants aux yeux bandés (Klatzky, Marston, Giudice, Golledge, & Loomis, 2006 ; Lajoie, Paquet, & Lafleur, 2013 ; Richer, Paquet, & Lajoie, 2014 ; Shingledecker, 1983), malvoyants (Geruschat & Turano, 2007 ; Ramsey, Blasch, Kita, & Johnson, 1999 ; Turano, Geruschat, & Stahl, 1998) ou peu de participants aveugles (Clark-Carter, Heyes, & Howarth, 1987 ; Shingledecker, 1978). Un des apports principaux du paradigme expérimental utilisé était l'utilisation combinée de plusieurs méthodes permettant de rendre compte de la charge cognitive impliquée par le déplacement sans voir : une analyse des paramètres de la marche, l'observation des performances obtenues à une tâche secondaire simultanée ainsi qu'une évaluation de la charge mentale subjective. En plus des paramètres de marche, la performance à la tâche de déplacement a été caractérisée à l'aide de différents indicateurs (durée des essais, déviation, gestion des obstacles), ce qui a été possible grâce à l'enregistrement vidéo des essais et à leur codage vidéo *a posteriori*. Ce codage a permis en outre une analyse plus fine des paramètres de marche et de la performance à la tâche secondaire en rendant compte de l'effet spécifique de la gestion des obstacles. Enfin, des analyses ont été réalisées pour rendre compte de l'effet de facteurs inter-individuels sur les performances, permettant d'étudier les effets de certaines caractéristiques peu appréhendées dans la littérature (l'âge, l'âge d'acquisition de la cécité, l'aisance de déplacement subjective) ou qui n'apparaissent pas avoir déjà été pris en compte (les capacités attentionnelles).

Par rapport aux déplacements réels réalisés par les personnes aveugles, la tâche de déplacement réalisée dans notre étude est relativement simple, comme l'ont précisé sept participants à la fin de l'étude (alors que deux autres ont estimé que la difficulté de l'expérimentation était similaire à celle de leurs déplacements habituels et qu'un participant a trouvé qu'elle nécessitait beaucoup de concentration). En effet, la distance parcourue pendant chaque essai était courte (40 mètres) par rapport à un déplacement réel, bien que plus longue que dans la majorité des études analysant les paramètres de marche de personnes aveugles (5 mètres, Knutzen, Hamill, & Bates, 1985 ; 10 mètres, Nakamura, 1997 ; 25 mètres, Mason, Legge, & Kallie, 2005). De plus, la tâche n'impliquait pas de notion de navigation. En outre, contrairement à ce que nous craignions lors de la mise en place du protocole (en raison de

l'utilisation d'un indice sonore pour guider les participants et de stimuli sonores dans la tâche secondaire), la quantité de stimulation sensorielle était relativement basse, comme en ont témoigné certains participants à la fin de l'expérimentation : trois suggéraient d'ajouter des bruits urbains pour rendre la tâche plus écologique et un remarquait que le sol du hangar dans lequel l'étude avait eu lieu était parfaitement lisse comparativement à l'irrégularité du sol urbain. Enfin, trois participants ont précisé que le fait d'être en milieu protégé avait considérablement réduit leur stress par rapport à un déplacement réel, limitant la difficulté ressentie, comme en témoigne d'ailleurs l'absence d'effet des conditions sur la dimension stress de l'évaluation de la charge mentale subjective. En outre, le stress et les émotions ressenties lors de la réalisation d'une tâche ont un effet sur la charge cognitive de cette tâche (Chanquoy et al., 2007). Ainsi, il est possible que dans un environnement plus écologique, les effets mutuels des deux tâches aient été plus marqués.

Le dispositif HemiGait a permis le recueil de précieuses informations relatives à la marche. Néanmoins, la présence d'un faux-contact épisodique au niveau des deux télémètres a entraîné l'absence de données pour sept participants (nous espérons toutefois récupérer des données en utilisant les informations enregistrées par les unités de mesure inertielles). En outre, pour certains participants dont les chevilles étaient proches lorsqu'ils marchaient, il est arrivé que les boitiers fixés sur la face l'interne de chaque pied entrent en collision, et se détachent, nécessitant de recommencer l'essai. Ce désagrément ne devrait plus être présent dans les prochaines études utilisant l'HemiGait, puisqu'une nouvelle version plus compacte a été mise au point.

Lors de la conception de la tâche secondaire, notre choix s'est tourné vers la modalité auditive malgré la présence concurrente d'un indice sonore pour guider les participants pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la question de la concurrence entre les informations de même modalité se serait également posée si la tâche secondaire avait été tactile, étant donné la quantité d'informations tactiles perçues via la canne par les personnes aveugles. D'autre part, la perception de multiples informations auditives est usuelle dans les déplacements réels des personnes aveugles, et enfin, cela était techniquement plus facile à mettre en place.

Les pourcentages de réponses correctes obtenus dans les deux tâches secondaires par les participants étaient relativement hauts (M = 93,5 % au minimum), indiquant que les deux tâches secondaires n'étaient pas trop difficiles. Cependant, la présence d'un effet de la marche sur les performances à la tâche secondaire révèle qu'elles n'étaient pas réalisées de façon automatique. En outre, l'absence de différence significative entre les pourcentages de réponses correctes de la tâche secondaire 1 et ceux de la tâche secondaire 2 peut être liée à

la modalité de réponse à la tâche secondaire 2 plutôt qu'en une absence de différence de performance. En effet, pour la tâche secondaire 2, une non réponse à un stimulus était considérée comme une réponse non correcte si le stimulus était un 1, mais considérée comme une réponse correcte s'il s'agissait d'un D. Ainsi, dans le cas où le participant n'était plus attentif à la tâche secondaire (car son attention était focalisée sur un obstacle à gérer par exemple) au point de ne pas traiter le stimulus présenté, son absence de réponse aurait été comptabilisé comme une réponse non correcte si le stimulus était un 1, mais comme une réponse correcte s'il s'agissait d'un D. Une façon de contourner ce problème aurait été de concevoir une tâche de temps de réponse à choix impliquant deux réponses, une pour chaque stimulus. Cela avait été envisagé mais la réalisation de la tâche en marchant impliquait le recueil des réponses sur un dispositif sans fil, compatible avec la tablette et le logiciel utilsés. Le logiciel pouvait être configuré de telle sorte qu'un clic gauche sur la souris-bague était considéré comme une réponse, en revanche, un clic droit entraînait l'arrêt de l'application.

Pour guider la trajectoire des participants, nous avons décidé d'utiliser la ritournelle utilisée aux feux piétons car il s'agit d'un son que les personnes aveugles ont l'habitude de traiter lors de leurs déplacements. Ce choix, permettant d'éviter une phase d'habituation qui aurait été nécessaire avec un autre son, est discutable car 1) la longueur des passages piétons en ville est bien inférieure à la distance parcourue lors des essais de l'expérimentation, 2) la ritournelle diffusée aux passages piétons n'a pas vocation à guider la trajectoire des personnes aveugles mais sert à informer de la couleur du feu piéton. Néanmoins, lors d'une expérimentation menée hors du cadre de ce travail de thèse (Grange-Faivre et al., 2015, données non publiées), nous avons observé que des personnes aveugles utilisaient la ritournelle pour se guider lors de la traversée de voie. Cette décision a par ailleurs été discutée par quatre participants : pour trois d'entre eux, le son de la ritournelle n'était pas assez directif pour guider précisément leur trajectoire ; un autre participant a déclaré que la diffusion en continu de la ritournelle pendant les essais était fatigante.

Enfin, la question du biais de recrutement, inhérente à toutes les études en psychologie expérimentale et particulièrement dans celles impliquant des personnes avec une atteinte visuelle, se pose d'autant plus dans cette étude, puisque tous les participants ont accepté de se déplacer jusqu'aux locaux de l'IFSTTAR de Bron, excentrés de Lyon et accessible uniquement en tramway et bus. Plusieurs participants de l'étude 1 contactés n'ont en effet pas accepté de participer à cette étude en raison de sa localisation. Il est ainsi important de garder à l'esprit que les résultats de cette étude concernent des personnes aveugles performantes dans leurs déplacements, avec ainsi un niveau relativement élevé de capacités à se déplacer en autonomie et par conséquent un niveau relativement élevé de capacité cognitives.

III. Etude complémentaire 2.b : les chiens-guides

1. Introduction

Pour les personnes aveugles qui en sont accompagnées, le chien-guide apporte un sentiment de confort et de sécurité dans la réalisation des déplacements piétons (Bonneau, 2000 ; Gaunet & Briffault, 2001 ; Gaunet & Milliet, 2010 ; Whitmarsh, 2005 ; Zabihaylo, Couturier, Termoz, & Prince, 2005) et encourage les interactions sociales (Gaunet & Milliet, 2010 ; Miner, 2001 ; Whitmarsh, 2005). Par rapport à une canne blanche, cette aide animale permettrait de rendre plus efficaces les déplacements en les rendant plus rapides (Clark-Carter, Heyes, & Howarth, 1986b), en prenant en en charge l'évitement des obstacles et l'orientation sur les trajets connus (Gaunet & Milliet, 2010). Ainsi, pour les personnes aveugles, être accompagné par un chien-guide mobiliserait moins de ressources attentionnelles que d'utiliser une canne blanche pour se déplacer (Gaunet & Briffault, 2001). Néanmoins, aucune étude ne semble avoir appréhendé l'effort cognitif impliqué dans le déplacement du piéton aveugle accompagné d'un chien-guide.

L'objectif principal de cette étude était donc d'évaluer la charge cognitive impliquée dans le déplacement des piétons aveugles accompagnés d'un chien-guide, en utilisant un protocole expérimental similaire à celui de l'étude 2.a, impliquant un paradigme de double tâche.

Les hypothèses principales testées étaient que, en situation de double tâche :

- La réalisation de la tâche secondaire perturberait moins la performance de marche des participants accompagnés d'un chien-guide que ceux utilisant une canne blanche (étude 2.a),
- La réalisation de la marche perturberait moins la performance à la tâche secondaire des participants accompagnés d'un chien-guide que ceux utilisant une canne blanche (étude 2.a),
- La gestion des obstacles, prise en charge par le chien-guide, perturberait moins la performance à la tâche secondaire des participants accompagnés d'un chien-guide que ceux utilisant une canne blanche (étude 2.a),

2. Méthode

2.1. Participants

Treize personnes aveugles (dont dix femmes), âgées de 23 à 70 ans (M = 51,2 ans, ET = 15,9) ont participé à cette expérimentation. Parmi eux, trois étaient aveugles de naissance et dix sont devenus aveugles entre 8 et 57 ans (moyenne d'âge d'acquisition de la cécité : 24,3 ans, ET = 16,3). Huit de ces participants avaient des résidus visuels (perception lumineuse) ; neuf participants étaient droitiers, un gaucher et trois étaient ambidextres. Ils avaient en moyenne réalisé 13,9 années d'étude (9 à 17 ans, ET = 3,2). La répartition des participants a été réalisée selon un dispositif quasi-expérimental puisqu'aucun processus de pré-sélection aléatoire n'a été réalisé étant donné la population étudiée.

Cinq participants ont réalisé l'expérimentation avec leur premier chien-guide. Pour les autres, le chien actuel était leur deuxième chien-guide (n = 5), troisième (n = 2) ou quatrième (n = 1). Les chiens qui ont participé à l'expérimentation accompagnaient leur maître depuis 1 mois à 10 ans (M = 4,0 ans, ET = 3,1).

Les participants ont signé un formulaire de consentement et l'expérimentation a été approuvée par le comité d'éthique de l'IFSTTAR.

2.2. Matériel et méthode

L'expérimentation a eu lieu dans le même hangar que celui de l'étude 2.a et les passations ont été réalisées par deux étudiants en Master 1 (psychologie cognitive et neuropsychologie) de l'Université Lyon 2. Le protocole expérimental était le même que celui de l'étude 2.a, mis à part deux exceptions.

Premièrement, le dispositif HemiGait, qui a permis d'enregistrer les paramètres de marche lors de l'étude 2.a, n'a pas été utilisé dans cette étude. Son utilisation lors de l'étude 2.a s'est révélée chronophage. Il a été décidé de ne pas l'utiliser afin de diminuer la durée totale de l'expérimentation pour limiter un effet de fatigue et une baisse de concentration chez les chiens-guides.

Deuxièmement, la souris bague, placée dans la main non dominante des participants de l'étude 2.a, a été placée dans la main droite lors de cette expérimentation, puisque le harnais du chien est toujours tenu dans la main gauche de son maître.

2.3. Mesures et Indices de performance

Un codage vidéo similaire à celui opéré pour l'analyse de l'étude 2.a a été réalisé. Dans cette étude, les situations obstacle commençaient lorsque le chien changeait de trajectoire pour contourner un obstacle et se terminaient lorsque l'obstacle avait été dépassé. Certains comportements (du chien ou du maître) observés à plusieurs reprises ont été codées :

- Des demi-tours,
- Les situations pendant lesquelles le participant allait dans une autre direction que celle du chien (interférences avec le harnais),
- Lorsque le chien se retournait vers son maître,
- Lorsque le participant parlait à son chien.

Avec parfois quelques modifications, la majorité des variables dépendantes utilisées dans l'expérimentation 2.a ont été utilisées dans cette étude :

- La durée de l'essai,
- La durée cumulée des arrêts par essais,
- L'indice de marche productive, qui a été modifié de telle sorte à prendre en compte les demi-tours qui ont été parfois réalisés dans cette étude (IMP = durée de l'essai – (durée cumulée des arrêts + durée cumulée des demi-tours) / durée de l'essai * 100),
- L'indice de déviation de la trajectoire,
- Les pourcentages de temps passés en déviation 0, déviation 0 et 1 et déviation 3,
- La déviation à l'arrivée,
- Le nombre d'obstacles touchés par le participants ou son chien (l'indice de gestion d'obstacle n'a pas été utilisé étant donné que les chiens guide ont assuré la gestion de l'obstacle),
- La performance à la tâche secondaire (pourcentage de réponses correctes et temps de réponse),
- Les DTE,
- Les réponses au questionnaire d'évaluation subjective de la charge mentale après chaque essai.

3. Résultats

Dans un premier temps, pour chaque variable dépendante, des analyses de variances (ANOVA) à mesures répétées ont été effectuées sur l'ensemble des participants accompagnés d'un chien-guide pour rendre compte des effets des variables indépendantes intra-individuelles. Lorsque l'hypothèse de sphéricité n'était pas vérifiée, la correction de la Trace

de Pillai était utilisée. Basé sur les valeurs de *F* significatives, le test de Bonferroni a été utilisé pour les analyses post-hoc. Dans un second temps, pour les variables pour lesquelles la comparaison était possible, les performances des participants accompagnés d'un chien ont été comparées à celles que les participants utilisant une canne ont eues dans l'étude 2.a de ce travail de thèse. Des tests T de Student pour échantillons indépendants ont été utilisés lorsque les groupes d'échantillons suivaient la loi normale (normalité testée au moyen du test de Shapiro-Wilk) et des tests non paramétriques de Mann-Whitney lorsque la normalité n'était pas respectée. Le niveau de significativité utilisé pour tous les tests statistiques était à $p \leq .05$.

Pour les temps de réponse à la tâche secondaire et la durée de l'essai, les performances à plus de 2,5 écart-types de la moyenne ont été remplacées par la valeur correspondant à la moyenne + 2,5 écart-types.

3.1. Analyses inter essais

a. Comportements de la dyade maître-chien

Dans le Tableau 28 figurent les occurrences de comportements observés entre les participants et leur chien ainsi que la durée moyenne (écart-types) de communication verbale des participants à leur chien.

Tableau 28. Occurrences ou moyennes (écart-types) de certains comportements des dyades maître-chien

	STSO[1]	DT1SO[2]	DT2SO[3]	DT1AO[4]	DT2AO[5]
Nombre total de demi-tours	3	0	0	1	1
Nombre total d'interférences avec le harnais	0	0	0	1	1
Nombre total de regards du chien vers le maître	2	4	1	7	9
Durée moyenne de communication verbale du participant au chien (s)	18,0 (17,4)	6,8 (9,9)	7,1 (9,0)	8,5 (9,1)	9,6 (11,3)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles

Une ANOVA à mesures répétées a été réalisée sur la durée moyenne de communication verbale du participant à son chien et a montré un effet significatif de la condition ($F(4, 48) = 4{,}600$, $p = .027$). Les analyses post-hoc ont mis en évidence une différence significative entre la condition STSO et DT1SO ($p = .035$). Aucune différence

significative n'a été trouvée entre la condition STSO et les conditions DT2SO (p = .080), DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = 1.000), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO (p = 1.000), DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = .243), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = 1.000), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = 1.000).

b. Performance à la tâche principale

Des ANOVAs à mesures répétées avec une variable intra-individuelle condition de marche (à cinq modalités : STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO et DT2AO) ont été réalisées sur la durée de l'essai, la durée cumulée des arrêts, la durée cumulée des demi-tours et l'indice de marche productive. Les moyennes (écart-types) de ces variables sont présentées dans le Tableau 29.

Tableau 29. Moyennes (écart-types) des variables de marche liées à la durée des essais

	STSO[1]	DT1SO[2]	DT2SO[3]	DT1AO[4]	DT2AO[5]
Durée essai (s)	36,9 (12,3)	39,9 (14,9)	36,3 (8,4)	41,6 (9,9)	43,1 (12,3)
Durée arrêt (s)	0,9 (3,1)	1,8 (5,2)	0,3 (1,0)	0,7 (1,8)	0,7 (1,4)
Durée demi-tours (s)	0,6 (2,2)	0,8 (2,8)	0,0 (0,0)	0,2 (0,9)	0,4 (1,4)
IMP (%)	97,7 (8,3)	96,3 (10,5)	99,2 (2,7)	97,7 (4,2)	98,0 (4,2)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles ; IMP : indice de marche productive

L'ANOVA sur la durée des essai a montré un effet significatif de la condition (F(4, 48) = 3,919, p = .041). Les analyses post-hoc ont révélé une différence significative entre les conditions STSO et DT2AO (p = .028). En revanche, aucune différence significative n'a été trouvée entre la condition STSO et les conditions DT1SO (p = 1.000), DT2SO (p = 1.000) et DT1AO (p = .469), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO (p = 1.000), DT1AO (p = 1.000) et DT2SO (p = .619), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = .133) et DT2AO (p = .114), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = 1.000).

Aucune ANOVA n'a mis en évidence d'effet significatif de la condition sur la durée cumulée des arrêts (F(4, 48) = 1,262, p = .353) ou la durée cumulée des demi-tours (F(4, 48) = 1,000, p = .399), ou encore sur l'indice de marche productive (F(4, 48) = 446, p = .775).

Concernant le nombre d'obstacles touchés, aucune analyse statistique n'a été réalisée en raison de la très faible occurrence de cet évènement. En effet, un participant est entré

physiquement en contact avec un obstacle à une seule occasion (en condition DT1AO), et un chien à une occasion (en condition DT2AO).

Les moyennes (écart-types) des variables de gestion de la trajectoire sont décrites dans le Tableau 30. Les ANOVA à mesures répétées réalisées sur ces variables n'ont pas montré d'effet significatif de la condition sur l'indice de déviation ($F(2, 24) = 3{,}126$, $p = .084$), ni sur le pourcentage de temps passé en déviation 0 ($F(2, 24) = 2{,}987$, $p = .092$), ni sur le pourcentage de temps passé en déviation 0 et 1 ($F(2, 24) = 2{,}136$, $p = .165$), ni sur le pourcentage de temps passé en déviation 3 ($F(2, 24) = 1{,}237$, $p = .328$), ni sur la déviation à l'arrivée ($F(4, 48) = 0{,}717$, $p = .585$).

Tableau 30. Moyennes (écart-types) des variables de gestion de la trajectoire

	STSO[1]	DT1SO[2]	DT2SO[3]	DT1AO[4]	DT2AO[5]
Indice de déviation	3,5 (0,7)	3,2 (0,6)	3,4 (0,5)		
Pourcentage de déviation 0	35,5 (27,2)	27,0 (21,4)	33,8 (18,1)		
Pourcentage de déviation 0 et 1	90,3 (12,3)	81,7 (18,5)	90,6 (12,3		
Pourcentage de déviation 3	0,5 (1,7)	2,2 (4,7)	4,9 (9,4)		
Déviation à l'arrivée	0,9 (1,0)	1,5 (0,9)	1,2 (1,0)	1,2 (1,2)	1,2 (1,3)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles

c. Performance à la tâche secondaire

Des ANOVAs à mesures répétées avec les deux variables intra-individuelles marche (à trois modalités : ne marche pas, marche, marche avec obstacles) et tâche secondaire (à deux modalités : tâche 1 et tâche 2) ont été réalisées sur les pourcentages de réponses correctes et les temps de réponse des participants obtenus dans toutes les conditions impliquant les deux tâches secondaires. Les performances des participants aux tâches secondaires sont reportées dans le Tableau 31.

L'ANOVA réalisée sur le pourcentage de réponse correcte à la tâche secondaire a révélé un effet significatif de la tâche ($F(1, 24) = 11{,}615$, $p = .005$), un effet significatif de la marche ($F(2, 24) = 12{,}172$, $p = .000$), et une interaction significative entre l'effet de la tâche et l'effet de la marche ($F(2, 24) = 8{,}608$, $p = .006$). Les analyses post-hoc ont montré que les pourcentages de réponses correctes des participants en condition sans marche étaient significativement différents des pourcentages de réponses correctes en condition marche ($p = .000$) et en condition marche sans obstacle ($p = .005$). En revanche, aucune différence significative n'a été trouvée entre les conditions marche et marche avec obstacles ($p = 1.000$).

Tableau 31. Moyennes (écart-types) des pourcentages de réponses correctes et temps de réponse à la tâche secondaire

	TS1[1]	DT1SO[2]	DT1AO[3]
Pourcentage de réponses correctes	96,4 (3,2)	74,4 (22,3)	79,9 (12,5)
Temps de réponse (ms)	503,2 (68,0)	701,7 (190,0)	715,6 (191,4)
	TS2[4]	DT2SO[5]	DT2AO[6]
Pourcentage de réponses correctes	95,6 (2,9)	86,5 (9,8)	86,6 (9,6)
Temps de réponse (ms)	615,5 (73,9)	729,7 (85,1)	741,33 (109,4)

1 : tâche secondaire 1, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 1 avec obstacles, 4 : tâche secondaire 2, 5 : double tâche 2 sans obstacle, 6 : double tâche 2 avec obstacles

L'ANOVA réalisée sur les temps de réponse à la tâche secondaire a montré un effet significatif de la tâche ($F(1, 24) = 4,849$, $p = .048$), un effet significatif de la marche ($F(2, 24) = 18,968$, $p = .000$), mais pas d'interaction significative de la tâche et de la marche ($F(2, 24) = 2,614$, $p = .094$). Les analyses post-hoc ont révélé que les temps de réponse des participants en condition sans marche étaient significativement différents des pourcentages de réponses correctes en condition marche ($p = .001$) et en condition marche sans obstacle ($p = .000$). En revanche, aucune différence significative n'a été mis en évidence entre les conditions marche et marche avec obstacles ($p = 1.000$).

Pour les deux conditions avec obstacles (DT1AO et DT2AO), les réponses aux stimuli diffusés lorsque les participants étaient en situation obstacle et celles aux stimuli diffusés lorsque les participants étaient hors des situations obstacle ont été enregistrés séparément et sont présentés dans le Tableau 32. Des ANOVAs à mesures répétées avec les deux variables intra-individuelles tâche (à deux modalités : DT1AO et DT2AO) et situation obstacle (à deux modalités : dans la situation et hors de la situation) ont été réalisées sur les pourcentages de réponses correctes et les temps de réponse des participants.

Tableau 32. Moyennes (écart-types) des pourcentages de réponses correctes et temps de réponse hors et dans les situations obstacles

	DT1AO[1]		DT2AO[2]	
	sans obstacle	obstacles	sans obstacle	obstacles
Pourcentage de réponses correctes	78,1 (13,6)	85,5 (18,1)	89,6 (8,4)	82,1 (16,5)
Temps de réponse (ms)	670,6 (85,1)	815,5 (447,7)	746,8 (138,9)	727,2 (154,8)

1 : double tâche 1 avec obstacles, 2 : double tâche 2 avec obstacles

L'ANOVA réalisée sur les pourcentages de réponse correctes n'a pas montré d'effet significatif de la tâche ($F(1, 12) = 1,840$, $p = .200$), ni de la situation obstacles ($F(1, 12) = 0,020$, $p = .891$), mais une interaction significative entre la tâche et la situation obstacles a été mise en évidence ($F(1, 12) = 7,022$, $p = .021$).

L'ANOVA réalisée sur les temps de réponse n'a pas révélé d'effet significatif de la tâche ($F(1, 7) = 0,098$, $p = .764$), ni de la situation obstacles ($F(1, 7) = 0,460$, $p = .891$), ni d'interaction significative entre la tâche et la situation obstacles ($F(1, 7) = 1,445$, $p = .268$).

Des tests de Wilcoxon ont été utilisés pour comparer en condition DT1SO et en condition DT1AO les pourcentages de réponses correctes et les temps de réponse obtenus à la tâche secondaire (qui sont décrits dans le Tableau 33) lorsque les participants parlaient à leur chien et lorsqu'ils ne parlaient pas (pour les participants pour lesquels des stimuli ont été diffusés quand ils parlaient et quand ils ne parlaient pas ; n = 8 en DT1SO et n = 6 en DT2SO).

Tableau 33. Moyennes (écart-types) des pourcentages de réponses correctes et temps de réponse des participants selon s'ils parlaient à leur chien

	DT1SO[1] (n = 8)		DT2SO[2] (n = 6)	
	parle	ne parle pas	parle	ne parle pas
Réponses correctes %	93,8 (17,7)	81,0 (19,4)	88,9 (17,2)	85,2 (11,5)
Temps de réponse (ms)	725,2 (192,7)	640,2 (81,7)	746,0 (111,6)	662,4 (113,1)

1 : double tâche 1 sans obstacle, 2 : double tâche 2 sans obstacle

Le test de Wilcoxon réalisé sur les pourcentages de réponses correctes en condition DT1SO a révélé un effet significatif du fait de parler à son chien ($Z = 2,366$, $p = .018$). Celui réalisé sur les temps de réponse en DT1SO n'a pas révélé d'effet significatif du fait de parler à son chien ($Z = 1,680$, $p = .093$). Concernant la condition DT2SO, les tests réalisés n'ont pas révélé d'effet significatif du fait de parler à son chien sur les pourcentages de réponses correctes ($Z = 0,674$, $p = .500$), ni sur les temps de réponse ($Z = 0,314$, $p = .753$).

d. Interférence de la double tâche

L'effet de la double tâche (DTE ; voir l'expérimentation 2 page 138 pour rappel des détails) a été calculé pour la durée de l'essai (interférence de la tâche sur la marche) et pour les pourcentages de réponses correctes et temps de réponse à la tâche secondaire (interférence de la marche sur la tâche) mesurés dans les conditions en double tâche. Les moyennes (écart-types) de ces DTE figurent dans le Tableau 34. Des ANOVA à mesures répétées avec les facteurs obstacles (deux modalités : sans et avec obstacles) et tâche

secondaire (deux modalités : tâche secondaire 1 et tâche secondaire 2) sur les DTE ont été réalisées.

Tableau 34. Moyennes (écart-types) des DTE

DTE	DT1SO[1]	DT2SO[2]	DT1AO[3]	DT2AO[4]
Durée de l'essai	-7,6 (16,2)	3,6 (19,8)	-15,8 (18,7)	-2,8 (9,3)
Réponses correctes	-23,0 (22,6)	-9,5 (10,5)	-20,3 (49,8)	-0,7 (10,7)
Temps de réponse	-40,4 (40,12)	-19,6 (16,7)	-44,0 (32,7)	-21,1 (17,0)

1 : double tâche 1 sans obstacle, 2 : double tâche 2 sans obstacle, 3 : double tâche 1 avec obstacles, 4 : double tâche 2 avec obstacles

L'ANOVA réalisée sur les DTE de la durée des essais n'a pas montré d'effet significatif de la tâche ($F(1, 12) = 2,564$, $p = .135$), ni de la présence d'obstacles ($F(1, 12 = 4,124$, $p = .065$), ni d'interaction significative entre la tâche et la présence d'obstacles ($F(1, 12) = 0,038$, $p = .849$).

L'ANOVA réalisée sur les DTE du pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire a révélé un effet significatif de la tâche ($F(1, 12) = 5,587$, $p = .036$), mais n'a pas montré d'effet significatif de la présence d'obstacles ($F(1, 12 = 0,438$, $p = .521$), ni d'interaction significative entre la tâche et la présence d'obstacles ($F(1, 12) = 3,284$, $p = .095$).

L'ANOVA réalisée sur les DTE du temps de réponse à la tâche secondaire n'a pas révélé d'effet significatif de la tâche ($F(1, 12) = 0,202$, $p = .661$), mais a mis en évidence un d'effet significatif de la présence d'obstacles ($F(1, 12 = 6,149$, $p = .029$). Aucune interaction significative entre la tâche et la présence d'obstacles n'a été trouvée ($F(1, 12) = 078$, $p = .785$).

e. Evaluation subjective de la charge mentale

Pour chaque essai, les réponses au questionnaire d'évaluation subjective de la charge mentale des participants recueillies ainsi que la moyenne brute calculée sur l'ensemble des dimensions sont présentées dans le Tableau 35. Des ANOVAs à mesures répétées avec le facteur condition (à cinq modalités : STSO, DT1SO, DT2SO, DT1AO et DT2AO) ont été réalisées sur chaque dimension de l'évaluation subjective ainsi que sur la moyenne brute des dimensions.

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort auditif a montré un effet significatif de la condition ($F(4, 48) = 6,734$, $p = .000$). Les analyses post-hoc ont révélé que l'effort auditif déclaré par les participants était significativement différent dans la condition STSO que dans les conditions DT1SO ($p = .019$) et DT1AO ($p = .025$). En revanche, aucune différence

significative n'a été trouvée entre la condition STSO et les conditions DT2SO (p = .093) et DT2AO (p = .079), entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO (p = 1.000) et DT1AO (p = 1.000), et DT1AO (p = 1.000), entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = 1.000), ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = 1.000).

Tableau 35. Moyenne (écart-types) des réponses à l'évaluation subjective de la charge mentale

	STSO	DT1SO	DT2SO	DT1AO	DT2AO
Effort auditif	0,5 (1,2)	1,2 (1,2)	1,3 (1,2)	1,4 (1,2)	1,5 (1,2)
Effort tactile	0,5 (1,2)	1,1 (1,1)	1,1 (1,1)	1,2 (1,1)	1,1 (1,0)
Effort physique	0,3 (0,5)	0,5 (0,6)	0,4 (0,5)	0,3 (0,5)	0,4 (0,7)
Exigence temporelle	1,0 (1,2)	1,3 (1,4)	1,3 (1,3)	1,2 (1,2)	1,5 (1,3)
Performance	4,3 (0,8)	3,9 (1,0)	3,8 (0,9)	3,6 (1,0)	3,6 (0,8)
Effort d'attention	1,4 (1,8)	2,2 (1,6)	2,2 (1,5)	2,5 (1,5)	2,8 (1,2)
Niveau de stress	0,5 (0,7)	0,8 (0,8)	0,8 (0,8)	0,8 (0,9)	0,8 (0,6)
Moyenne brute	0,7 (0,7)	1,2 (0,7)	1,2 (0,7)	1,2 (0,7)	1,4 (0,6)

1 : simple tâche sans obstacle, 2 : double tâche 1 sans obstacle, 3 : double tâche 2 sans obstacle, 4 : double tâche 1 avec obstacles, 5 : double tâche 2 avec obstacles

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort tactile n'a pas montré d'effet significatif de la condition (F(4, 48) = 3,600, p = .051).

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort physique n'a pas révélé d'effet significatif de la condition (F(4, 48) = 1,000, p = .337).

L'ANOVA réalisée sur la dimension exigence temporelle a mis en évidence un effet significatif de la condition (F(4, 48) = 2,625, p = .049) mais les analyses post-hoc n'ont pas révélé de différences significatives entre les conditions.

L'ANOVA réalisée sur la dimension performance a mis en évidence un effet significatif de la condition (F(4, 48) = 3,896, p = .008). Les analyses post-hoc ont révélé que la performance que les participants ont estimé avoir eu était significativement différente entre la condition STSO et la condition DT2AO (p = .019). Aucune différence significative n'a été trouvée entre la condition STSO et les conditions DT1SO (p = .544), DT2SO (p = .821) et DT1AO (p = .061), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO (p = 1.000), DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = .395), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO (p = 1.000) et DT2AO (p = 1.000) ni entre les conditions DT1AO et DT2AO (p = 1.000).

L'ANOVA réalisée sur la dimension effort d'attention a montré un effet significatif de la condition ($F(4,48) = 5{,}548$, $p = .001$). Les analyses post-hoc ont révélé que l'effort d'attention déclaré par les participants était significativement différent entre la condition STSO et la condition DT2AO ($p = .027$). Aucune différence significative n'a été trouvée entre la condition STSO et les conditions DT1SO ($p = .273$), DT2SO ($p = .348$) et DT1AO ($p = .067$), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO ($p = 1.000$), DT1AO ($p = 1.000$) et DT2AO ($p = .470$), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO ($p = 1.000$) et DT2AO ($p = .876$) ni entre les conditions DT1AO et DT2AO ($p = 1.000$).

L'ANOVA réalisée sur la dimension niveau de stress n'a pas montré d'effet significatif de la condition ($F(4,48) = 1{,}371$, $p = .258$).

L'ANOVA réalisée sur la moyenne brute des sept dimensions a mis en évidence un effet significatif de la condition ($F(4,48) = 9{,}278$, $p = .000$). Les analyses post-hoc ont montré que la moyenne brute était significativement différente entre la condition STSO et les conditions DT1SO ($p = .033$), DT1AO ($p = .028$) et DT2AO ($p = .006$). Aucune différence significative n'a été trouvée entre les conditions STSO et DT2SO ($p = .091$), ni entre la condition DT1SO et les conditions DT2SO ($p = 1.000$), DT1AO ($p = 1.000$) et DT2AO ($p = .760$), ni entre la condition DT2SO et les conditions DT1AO ($p = 1.000$) et DT2AO ($p = .753$) ni entre les conditions DT1AO et DT2AO ($p = 1.000$).

3.2. Comparaison avec les participants avec canne

Pour les variables communes aux deux études, les performances des participants de cette étude ont été comparées à celles des participants de l'étude 2.a. (utilisant une canne blanche pour se déplacer) avec des Tests T de Student (bilatéraux) pour échantillons indépendants lorsque les groupes d'échantillons suivaient la loi normale (normalité testée au moyen du test de Shapiro-Wilk) et avec des tests non paramétriques de Mann-Whitney lorsque la normalité n'était pas respectée. Seuls les tests statistiques pour lesquels un résultat significatif a été trouvé sont décrits. En revanche, les résultats de l'ensemble des tests sont présentés dans les différents tableaux décrivant les moyennes (écart-types) des deux groupes.

L'âge des participants accompagnés d'un chien-guide (M = 51,2 ans, ET = 15,9) ne différait pas significativement de celui des participants utilisant une canne blanche (M = 51,6 ans, ET = 14,9 ; $t(36) = 0{,}093$, $p = .926$). Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les deux groupes au niveau de l'âge d'acquisition de la cécité (M = 20,0 ans, ET = 18,1 pour les participants avec chien ; M = 24,8 ans, ET = 21,5 pour les participants avec canne ; $U = 142{,}0$, $p = .543$) et de la durée de scolarité (M = 13,9 ans, ET = 3,1 pour les

participants avec chien ; M = 13,6 ans, ET = 3,6 pour les participants avec canne ; *U* = 155,5, *p* = .832).

a. Performance de marche

Les moyennes (écart-types) et résultats des tests statistiques relatifs à la durée des essais et des arrêts sont présentés dans le Tableau 36, et ceux relatifs à la déviation dans le Tableau 37.

Tableau 36. Moyennes (écart-types) et résultats des tests statistiques relatifs à la durée des essais et des arrêts

Variable dépendante	Participants avec canne (n = 25)	Participants avec un chien (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
Durée essai STSO	43,7 (10,5)	36,9 (12,3)	t(36) = 1,906	p = .065
Durée essai DT1SO	45,9 (13,7)	39,9 (14,9)	U = 109,0	p = .141
Durée essai DT2SO	44,2 (12,4)	36,3 (8,4)	U = 87,5	**p = .020**
Durée essai DT1AO	54,8 (19,0)	41,6 (9,9)	U = 68,0	**p = .004**
Durée essai DT2AO	56,6 (16,3)	43,1 (12,3)	U = 77,0	**p = .008**
Arrêt STSO	0, 2 (0,5)	0,9 (3,1)	U = 151,0	p = .738
Arrêt DT1SO	0,4 (1,3)	1,8 (5,2)	U = 157,0	p = .879
Arrêt DT2SO	0,4 (1,6)	0,3 (1,0)	U = 144,0	p = .584
Arrêt DT1AO	1,7 (1,8)	0,7 (1,8)	U = 73,5	**p = .005**
Arrêt DT2AO	1,1 (1,3)	0,7 (1,4)	U = 108,5	p = .097
IMP STSO	99,7 (0,8)	97,7 (8,3)	U = 151,0	p = .738
IMP DT1SO	99,3 (1,6)	96,3 (10,5)	U = 157,0	p = .879
IMP DT2SO	99,2 (2,6)	99,2 (2,7)	U = 144,0	p = .584
IMP DT1AO	96,9 (3,2)	97,7 (4,2)	U = 102,0	p = .064
IMP DT2AO	98,1 (2,1)	98,0 (4,2)	U = 117,0	p = .168

STSO : simple tâche sans obstacle, DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles, IMP : indice de marche productive

La durée de l'essai DT2SO des participants avec une canne (M = 44,2 s, ET = 12.4) et celle des participants avec un chien (M = 36,3 s, ET = 8,4) différaient significativement (*U* = 87,5, *p* = .020). La durée de l'essai DT1AO des participants avec une canne (M = 54,8 s, ET = 19,0) et celle des participants avec un chien (M = 41,6, ET = 9,9) différaient également significativement (*U* = 68,0, *p* = .004). Il en est de même pour la durée de l'essai DT2AO des

participants avec une canne (M = 56,6 s, ET = 16,3) et de ceux avec un chien (M = 43,1, ET = 12,3) qui différaient significativement (*U* = 77,0, *p* = .008).

Concernant la durée des arrêts cumulés, celle des participants avec une canne (M = 1,7 s, ET = 1,8) et celle des participants avec un chien (M = 0,7 s, ET = 1,8) dans la condition DT1AO différaient significativement (*U* = 73,5, *p* = .005).

Tableau 37. Moyennes (écart-types) des participants des variables relatives à la déviation de la trajectoire

Variable dépendante	Participants avec canne (n = 25)	Participants avec chien (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
Indice de déviation STSO	3,1 (0,5)	3,5 (0,7)	t(36) = 2,176	**p = .036**
Indice de déviation DT1SO	2,9 (0,6)	3,2 (0,6)	t(36) = 1,387	p = .174
Indice de déviation DT2SO	3,1 (0,7)	3,4 (0,5)	U = 113,0	p = .133
Déviation à l'arrivée STSO	0,6 (0,9)	0,9 (1,0)	U = 131,0	p = .345
Déviation à l'arrivée DT1SO	0,6 (0,9)	1,5 (0,9)	U = 132,0	p = .361
Déviation à l'arrivée DT2SO	0,4 (0,6)	1,2 (1,0)	U = 161,5	p = .976
Déviation à l'arrivée DT1AO	0,9 (0,8)	1,2 (1,2)	U = 153,0	p = .785
Déviation à l'arrivée DT2AO	0,9 (0,8)	1,2 (1,3)	U = 147,0	p = .649

STSO : simple tâche sans obstacle, DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles

Une différence significative a été trouvée entre l'indice de déviation en condition STSO obtenu par les participants avec une canne (M = 3,1, ET = 0,5) et celui obtenu par les participants avec un chien (M = 3,5, ET = 0,7 ; *t*(36) = 2,176, *p* = .036).

b. Performance à la tâche secondaire

Les moyennes (écart-types) et résultats des tests-statistiques relatifs à la performance à la tâche secondaire sont présentés dans le Tableau 38 et le Tableau 39 (comparaisons situations obstacles et hors obstacles).

Concernant les temps de réponse à la tâche secondaire 1, une différence significative a été trouvée entre les participants avec une canne (M = 445,7 ms, ET = 69,9) et ceux avec un chien (M = 503,2 ms, ET = 68,0) lorsqu'elle était réalisée en condition simple tâche (*U* = 71,0, *p* = .004). En condition DT1SO, les temps de réponse des participants avec une

canne (M = 590,9 ms, ET = 146,2) et de ceux avec un chien (M = 701,7 ms, ET = 190,0) différaient également significativement (*U* = 95,0, *p* = .038).

Tableau 38. Moyennes (écart-types) pourcentage de réponses correctes et temps de réponses à la tâche secondaire

Variable dépendante	Participants avec une canne (n = 25)	Participants avec un chien (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
Temps de réponse TS1 (ms)	445,7 (69,9)	503,2 (68,0)	U = 71,0	**p = .004**
Temps de réponse TS2 (ms)	613,6 (99,4)	615,5 (73,9)	t(36) = 0,150	p = .882
Temps de réponse DT1SO (ms)	590,9 (146,2)	701,7 (190,0)	U = 95,0	**p = .038**
Temps de réponse DT2SO (ms)	694,0 (191,4)	729,7 (85,1)	U = 95,0	p = .075
Temps de réponse DT1AO (ms)	681,5 (166,9)	715,6 (191,4)	U = 127,0	p = .286
Temps de réponse DT2AO (ms)	756,3 (156,6)	741,33 (109,4)	t(36) = 0,521	p = .606
Réponses correctes TS1 (%)	98,9 (2,3)	96,4 (3,2)	U = 82,0	**p = .012**
Réponses correctes TS2 (%)	97,4 (3,4)	95,6 (2,9)	U = 97,5	**p = .044**
Réponses correctes DT1SO (%)	96,8 (6,6)	74,4 (22,3)	U = 25,0	**p = .000**
Réponses correctes DT2SO (%)	93,5 (10,2)	86,5 (9,8)	U = 79,5	**p = .013**
Réponses correctes DT1AO (%)	94,7 (7,5)	79,9 (12,5)	U = 47,5	**p = .000**
Réponses correctes DT2AO (%)	93,9 (5,5)	86,6 (9,6)	U = 88,0	**p = .030**

TS1 : tâche secondaire 1, TS2 : tâche secondaire 2, DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles

Les pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire 1 réalisée en condition simple tâche des participants avec canne (M = 98,9 %, ET = 2,3) différaient significativement de ceux des participants avec un chien (M = 96,4 %, ET = 3,2 ; *U* = 82,0, *p* = .012). Les pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire 2 réalisée en condition simple tâche des participants avec canne (M = 97,4 %, ET = 3,4) différaient significativement de ceux des participants avec un chien (M = 95,6 %, ET = 2,9 ; *U* = 97,5, *p* = .044). Les pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire en condition DT1SO des participants avec canne (M = 96,8 %, ET = 6,6) et ceux des participants avec un chien (M = 74,4 %, ET = 22,3) étaient significativement différents (*U* = 25,0, *p* = .000). Les pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire en condition DT2SO des participants avec une canne (M = 93,5 %, ET = 10,2) différaient significativement de ceux des participants avec un chien (M = 86,5 %, ET = 9,8 ; *U* = 79,5, *p* = .013). Les pourcentages de réponses correctes à la tâche secondaire en condition DT1AO des participants avec canne (M = 94,7 %, ET = 7,5) et de ceux avec un

chien (M = 79,9 %, ET = 12,5) étaient significativement différents (*U* = 47,5, *p* = .000). Ceux des participants avec canne (M = 93,9 %, ET = 5,5) et des participants avec un chien (M = 86,6 %, ET = 9,6) en condition DT2AO différaient significativement (*U* = 88,0, *p* = .030).

Tableau 39. Moyennes (écart-types) pourcentage de réponses correctes et temps de réponses à la tâche secondaire en situation hors et dans les situations obstacles

Variable dépendante	Participants avec canne (n = 25)	Participants avec chien (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
TR DT1AO hors obstacle (ms)	609,9 (139,2)	670,6 (85,1)	U = 84,0	**p = .031**
TR DT2AO hors obstacle (ms)	719,6 (162,3)	815,5 (447,7)	U = 110,0	p = .344
TR DT1AO obstacles (ms)	849,2 (329,6)	746,8 (138,9)	U = 157,0	p = .879
TR DT2AO obstacles (ms)	871,7 (243,7)	727,2 (154,8)	U = 65,5	p = .112
RC DT1AO hors obstacle (%)	96,9 (6,0)	78,1 (13,6)	U = 27,0	**p = .000**
RC DT2AO hors obstacle (%)	95,0 (5,6)	85,5 (18,1)	U = 9,0	p = .075
RC DT1AO obstacles (%)	93,5 (8,8)	89,6 (8,4)	U = 137,0	p = .447
RC DT2AO obstacles (%)	89,8 (14,4)	82,1 (16,5)	U = 115,0	p = .200

TR : temps de réponses, RC : pourcentage de réponses correctes, DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles, ms : millisecondes

Dans la condition DT1AO, une différence significative a été révélée entre les temps de réponse à la tâche secondaire des participants avec une canne (M = 609,9 ms, ET = 139,2) et ceux des participants avec un chien (M = 670,6 ms, ET = 85,1) lorsqu'ils étaient hors des situations obstacle (*U* = 84,0, *p* = .031). Dans cette même condition, une différence significative a été trouvée entre les pourcentages de réponses correctes des participants avec une canne (M = 96,9 ms, ET = 6,0) et ceux des participants avec un chien (M = 78,1 ms, ET = 13,6) lorsqu'ils étaient hors des situations obstacles (*U* = 27,0, *p* = .000).

c. Interférence de la double tâche

Les moyennes (écart-types) et résultats des tests statistiques relatifs à l'interférence de la double tâche sont présentés dans le Tableau 40.

Le DTE calculé d'après la durée de l'essai en condition DT2AO des participants avec une canne (M = -30,0 %, ET = 19,1) et celui des participants avec un chien (M = -2,8 %, ET = 9,3) se sont révélés significativement différents (*t*(35) = 4,824, *p* = .000).

Le DTE des temps de réponse à la tâche secondaire en condition DT1SO des participants avec canne (M = -2,1 %, ET = 6,7) et celui des participants avec un chien (M = -23,0 %, ET = 22,6) étaient significativement différents (*U* = 25,0, *p* = .000).

Tableau 40. Moyenne (écart-types) des DTE

Variable dépendante	Participants avec canne (n = 25)	Participants avec chien (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
DTE durée essai DT1SO (%)	-4,2 (9,9)	-7,6 (16,2)	t(35) = 0,838	p = .407
DTE durée essai DT2SO (%)	-1,7 (8,9)	3,6 (19,8)	U = 120,0	p = .199
DTE durée essai DT1AO (%)	-25,7 (16,4)	-15,8 (18,7)	t(35) = 1,681	p = .102
DTE durée essai DT2AO (%)	-30,0 (19,1)	-2,8 (9,3)	t(35) = 4,824	**p = .000**
DTE TR DT1SO (%)	-2,1 (6,7)	-23,0 (22,6)	U = 25,0	**p = .000**
DTE TR DT2SO (%)	-4,0 (9,3)	-9,5 (10,5)	t(34) = 0,772	p = .446
DTE TR DT1AO (%)	-4,5 (6,9)	-20,3 (49,8)	U = 47,5	**p = .000**
DTE TR DT2AO (%)	-3,7 (5,5)	-0,7 (10,7)	U = 88,0	**p = .030**
DTE RC DT1SO (%)	-32,6 (23,4)	-40,4 (40,12)	U = 42,0	**p = .000**
DTE RC DT2SO (%)	-12,6 (20,7)	-19,6 (16,7)	U = 95,5	p = .053
DTE RC DT1AO (%)	-53,7 (32,6)	-44,0 (32,7)	U = 110,0	p = .104
DTE RC DT2AO (%)	-24,1 (21,4)	-21,1 (17,0)	t(34) = 0,754	p = .496

DTE : dual task effect*, TR : temps de réponse à la tâche secondaire, RC : pourcentage de réponses correctes à la tâche secondaire, DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles*

Le DTE des temps de réponse à la tâche secondaire en condition DT1AO des participants avec canne (M = -4,5, ET = 6,9) s'est révélé significativement différent de celui des participants avec un chien (M = -20,3, ET = 49,8 ; *U* = 47,5, *p* = .000).

Le DTE des temps de réponse à la tâche secondaire en condition DT2AO des participants avec canne (M = -3,7, ET = 5,5) et celui des participants avec chien (M = -0,7, ET = 10,7) se sont révélés significativement différents (*U* = 88,0, *p* = .030)

Le DTE des pourcentages de réponse à la tâche secondaire en condition DT1SO des participants avec une canne (M = -32,6, ET = 23,4) se sont révélés significativement différents de ceux des participants avec un chien (M = -40,4, ET = 40,12 ; U = 42,0, p = .000).

d. Evaluation subjective de la charge attentionnelle

Les moyennes (écart-types) et résultats des tests statistiques relatifs à la moyenne brute à l'évaluation subjective de la charge cognitive sont présentés dans le Tableau 41.

Tableau 41. Moyennes (écart-types) à la moyenne brute de l'évaluation de la charge mentale subjective

Variable dépendante	Participants avec canne (n = 25)	Participants avec chien (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
Moyenne évaluation subjective STSO	1,2 (0,9)	0,7 (0,7)	U = 114,5	p = .141
Moyenne évaluation subjective DT1SO	1,5 (0,9)	1,2 (0,7)	t(36) = 1,131	p = .266
Moyenne évaluation subjective DT2SO	1,6 (1,0)	1,2 (0,8)	t(36) = 1,483	p = .147
Moyenne évaluation subjective DT1AO	1,9 (1,1)	1,2 (0,7)	t(36) = 1,987	p = .055
Moyenne évaluation subjective DT2AO	2,0 (1,0)	1,4 (0,6)	t(36) = 2,108	**p = .042**

DT1SO : double tâche 1 sans obstacle, DT2SO : double tâche 2 sans obstacle, DT1AO : double tâche 1 avec obstacles, DT2AO : double tâche 2 avec obstacles

Pour la moyenne brute de l'évaluation subjective de la charge mentale DT2AO, une différence significative a été trouvée entre les participants avec une canne et ceux avec une chien ($t(36) = 2,108$, $p = .042$).

e. Capacités attentionnelles des participants

Vingt-trois des participants avec canne et huit des participants avec chien ont réalisé l'étude 1. Leurs performances aux trois tâches d'attention, qui ont été statistiquement comparées, sont décrites dans le Tableau 42

Tableau 42. Performances aux tests d'attention (de l'étude 1) des participants utilisant une canne et de ceux accompagnés d'un chien

	Participants avec canne (n = 23)	Participants avec chien (n = 8)
Réponses correctes à la tâche d'attention sélective	36,8 (4,1)	37,5 (2,4)
Réponses correctes à la tâche d'attention soutenue	111,9 (10,6)	115,1 (2,8)
Réponses correctes à la tâche d'attention divisée	33,0 (6,4)	33,9 (3,4)
Temps de réponse à la tâche d'attention sélective (ms)	750,3 (67,5)	742,0 (52,4)
Temps de réponse à la tâche d'attention soutenue (ms)	744,7 (75,9)	729,0 (40,1)
Temps de réponse à la tâche d'attention divisée (ms)	803,2 (87,0)	793,5 (54,4)

ms : millisecondes

Les analyses statistiques réalisées sur les performances aux tests d'attention de l'étude 1 n'a pas révélé de différences significatives entre les participants avec canne et ceux avec un chien au niveau du nombre de réponses correctes à la tâche d'attention sélective ($U = 90,5$,

p = .947), à la tâche d'attention soutenue (*U* = 85,5, *p* = .909) et à la tâche d'attention divisée (*U* = 84,0, *p* = .872), ni aux temps de réponse obtenues à la tâche d'attention sélective (*t*(29) = 0,315, *p* = .755), d'attention soutenue (*t*(28) = 0,553, *p* = .585) et au test d'attention divisée (*t*(28) = 0,294, *p* = .771).

Il est à souligner que parmi les participants avec un chien, les cinq individus qui n'ont pas réalisé l'étude 1 étaient âgés de 58,6 ans (ET = 15,1) tandis que les huit qui ont participé étaient âgés de 46,5 ans (ET = 15,5). Néanmoins, cette différence d'âge de 12,1 ans n'était pas statistiquement significative (*U* = 9.0, *p* = .127).

4. Discussion

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la charge cognitive impliquée dans le déplacement des piétons aveugles accompagnés d'un chien-guide. Dans un premier temps, nous commenterons les résultats relatifs à la performance de marche et aux effets de la tâche secondaire sur cette performance. Dans une deuxième partie, nous discuterons des performances à la tâche secondaire et aux effets que la marche aura eu sur ces performances, y compris lorsqu'elle impliquait la présence d'obstacles. Nous discuterons ensuite des comportements observés entre les maîtres et leur chien, et notamment des effets que ces comportements ont pu avoir sur la performance des participants. Enfin, la quatrième partie traitera des apports et limites de cette étude.

4.1. Performance de marche et effets de la tâche secondaire

La performance de marche des participants accompagnés d'un chien-guide variait peu d'un essai à l'autre. En effet, la durée des essais ne variait pas significativement d'une condition à l'autre (sauf entre la condition la plus simple, STSO, et la plus complexe DT2AO), ni la déviation de la trajectoire. Concernant les obstacles, il est manifeste que les dyades maître-chien en ont eu une bonne gestion (sur 26 essais avec obstacles, un obstacle touché par un participant, et un autre touché par un chien).

La comparaison des performances des participants accompagnés d'un chien-guide à celles des participants utilisant une canne blanche de l'étude 2 révèle que les participants utilisant un chien ont réalisé un déplacement plus efficace et sécure : leurs essais étaient significativement plus courts (dans trois conditions : DT2SO, DT1AO, DT2AO, avec un DTE marche significativement inférieur dans la condition DT2AO), les obstacles ont été mieux évités (au total deux obstacles touchés par les dyades maître-chien, 17 par les participants

avec canne), et la déviation était significativement moins forte dans une condition (meilleur indice de déviation en STSO). Ces résultats confirment ceux de Clark-Carter, Heyes, & Howarth (1986b), qui avaient montré que (avec seulement trois participants) la vitesse de marche des personnes aveugles était plus rapide lorsqu'elles étaient accompagnées d'un chien-guide qu'avec une canne. Globalement, les résultats obtenus à la tâche principale (marche) confirment les déclarations des personnes aveugles accompagnées de chien-guide relatives à l'efficacité et à la sécurité (gestion des obstacles) apportés par cette aide (Gaunet & Milliet, 2010).

Conformément à notre hypothèse, la tâche de marche semble ainsi plus facile pour les participants avec un chien, et est moins perturbée par la tâche secondaire. D'ailleurs, cela apparaît dans les réponses à la question « à quel pourcentage avez-vous estimé avoir donné la priorité à la marche » : les participants avec un chien ont répondu en moyenne 45 % contre 56 % pour les participants avec une canne. De plus, la réalisation simultanée des tâches a induit une charge mentale subjective (moyenne brute à l'évaluation subjective de la charge mentale) significativement plus importante pour les participants avec une canne que pour ceux avec un chien dans une condition (DT2SO).

4.2. Performance à la tâche secondaire et effet de la marche

La performance des participants avec un chien-guide à la tâche secondaire était significativement moins bonne dans les essais de marche que dans les essais sans marcher. En revanche, aucune différence significative n'est apparue entre les essais de marche sans obstacle et ceux avec obstacles. Cette absence d'effet de la présence d'obstacle s'est également retrouvée lorsque les situations hors obstacle et obstacles des deux essais avec obstacles ont été comparées. Cela est par ailleurs renforcé par les DTE de la tâche secondaire pour lesquels un effet significatif de la tâche est apparu, mais pas d'effet significatif des obstacles. Ainsi, pour les personnes aveugles, avoir un chien-guide réduit considérablement la charge cognitive induite par la gestion des obstacles. Pour les personnes aveugles accompagnées d'un chien guide, la marche induit une charge cognitive (puisqu'elle a un effet délétère sur la réalisation de la tâche secondaire), mais qui n'augmente pas lorsque des obstacles sont à éviter.

Lorsque leurs performances à la tâche ont été comparées à celles des participants utilisant une canne, les participants accompagnés d'un chien-guide ont obtenu une performance inférieure aux utilisateurs de canne dans toutes les conditions (pourcentage de

réponses correctes dans toutes les conditions, temps de réponse dans deux conditions : TS1 et DT1SO). Ces résultats sont difficiles à interpréter puisque, malgré une infériorité de la performance des participants avec un chien, ils ne permettent pas de réfuter indubitablement notre hypothèse selon laquelle marcher avec un chien-guide aurait moins d'effet sur la tâche secondaire qu'avec une canne, notamment parce que ces participants accompagnés de chiens-guides ont obtenu une performance significativement inférieure dans les deux conditions sans marcher. L'analyse des DTE de la tâche secondaire ne permet pas non plus de conclure catégoriquement : dans deux conditions (DT1SO et DT1AO), la marche a eu significativement moins d'effet sur les temps de réponse à la tâche secondaire pour les utilisateurs de canne, dans une autre condition (DT2AO), c'est pour les participants accompagnés de chiens qu'elle a eu significativement moins d'effet sur les temps de réponse à la tâche secondaire.

Ces différences de performance à la tâche secondaire ne semblent pas non plus liées à de moins bonnes capacités attentionnelles des participants utilisant une canne blanche, puisqu'aucune différence significative aux tests d'attention (de l'étude 1) n'a été trouvée entre les deux groupes. Néanmoins, tous les participants n'ont pas réalisé la batterie de tests et pour les participants avec un chien, les cinq qui n'ont pas réalisé l'étude 1 avaient 12 ans de plus que ceux qui ont participé à cette étude. Il est possible que si l'ensemble des participants avec un chien avaient réalisé l'étude 1, des différences significatives auraient émergé au niveau des performances attentionnelles entre les deux groupes, expliquant la performance inférieure des participants avec chien à la tâche secondaire dans toutes les conditions.

Un résultat intéressant à souligner concerne l'analyse des performances dans les situations hors obstacle et obstacles des deux conditions avec obstacles. Pour l'une d'entre elles (la condition DT1AO), les différences significatives entre les deux groupes sont présentes uniquement dans la situation hors obstacle, mais pas dans la situation obstacles. Ajouté au fait que la performance à la tâche secondaire des participants avec un chien ne différait pas significativement entre ces deux situations, cela suggère que la présence d'obstacles a des effets délétères sur la performance à la tâche secondaire uniquement pour les participants avec canne.

Ainsi, l'hypothèse selon laquelle la marche perturberait moins la performance à la tâche secondaire des participants accompagnés d'un chien-guide que de ceux avec une canne blanche ne peut pas être validée. L'hypothèse selon laquelle la présence des obstacles perturberait moins la performance à la tâche secondaire des participants accompagnés d'un chien-guide que ceux avec une canne est quant à elle vérifiée.

4.3. Comportements des dyades maître-chien

L'ensemble de ces résultats nécessite toutefois d'être étudié à la lumière de comportements observés entre les maîtres et leur chien. Les performances des participants avec chien-guide (notamment leur plus faible performance à la tâche secondaire) peuvent en effet être en partie liées aux interactions entre maîtres et chiens.

Certains comportements des dyades maître-chien observés à plusieurs occasions (demi-tours, regards du chien vers le maître, maître qui va dans le sens opposé au chien) nous semblent exprimer une confusion des chiens quant à la tâche qu'ils ont eue à réaliser (diriger leur maître vers la ligne d'arrivée) qui pourrait être liée au caractère artificiel du protocole expérimental. Ces observations de comportements étaient par ailleurs corroborées par les remarques de certains participants exprimant le fait que le chien faisait des « erreurs de parcours » ou « ne comprenait pas ce qu'on leur demandait » ou encore que le participant allait « parfois à l'encontre de ce que proposait le chien-guide car il s'était trompé précédemment ». Cette perturbation des chien-guide induite par un protocole expérimental a auparavant été décrite, par exemple par Mason et al. (2005) qui reportent qu'une vitesse de marche lente imposée avaient semblé perturber les chiens guidant les participants testés. D'un autre côté, au cours des déplacements quotidiens, les maîtres peuvent aussi se retrouver dans des situations perturbantes pour leur chien-guide (la présence d'autres chiens, d'odeurs, de nourriture ; Gaunet & Milliet, 2010).

Un autre élément de discussion sur ces comportements concerne la durée de la relation maître-chien. Zabihaylo et al. (2005) avaient trouvé un effet de cette durée sur la posture et la marche de participants utilisant un chien-guide. Dans la présente étude, les interférences avec le harnais et demi-tours observés ne concernaient pas les dyades dont la relation était la plus récente (respectivement 1,5 et 2 ans, 3 et 9 ans), quant aux regards des chiens en direction de leur maître, ils ont été observés chez tous à l'exception de deux dyades.

De plus, contrairement aux participants de l'étude 2.a, les participants avec chien ont parlé au cours des essais, pour communiquer verbalement avec leur chien. Ils ont parlé en moyenne 26 % du temps et significativement plus dans l'essai de marche en simple tâche que dans un des essais en double tâche (DT1SO). Des analyses comparant les performances à la tâche secondaire dans les deux conditions sans obstacle (DT1SO et DT2SO) pendant que les participants parlaient, aux performances dans ces mêmes conditions pendant qu'ils ne parlaient pas, n'ont pas révélé de différence significative (sauf pour les pourcentages de réponses correctes dans la condition DT1SO). Pour les participants, le fait de parler à leur chien n'a pas eu d'effet délétère sur leur performance à la tâche secondaire, suggérant que

cela n'induit pas une charge cognitive supplémentaire. Néanmoins, il est possible que le fait de parler aussi souvent puisse avoir eu un effet sur la concentration globale tout au long des essais, et ainsi perturber la performance à la tâche secondaire de façon globale. Par ailleurs, à notre connaissance, aucune étude ne semble s'être intéressée à la quantité de paroles exprimées par les maîtres envers leurs chiens lorsqu'ils se déplacent en milieu écologique. Nous ne pouvons donc pas savoir si l'amplitude de paroles codée dans l'étude est conforme à ce qu'il se passe lors des déplacements réels ou si elle témoigne d'une tentative des maîtres de stimuler leurs chiens pour qu'ils réalisent une tâche qu'il leur est difficile de comprendre. Néanmoins, une analyse du contenu sémantique des paroles énoncées pendant les essais permettrait de définir si les paroles des participants relevaient plus de stimulations ou d'instructions.

4.4. Apport et limites de l'étude

Ainsi, cette étude est à notre connaissance la première tentative d'évaluation la charge cognitive impliquée dans le déplacement de personnes aveugles accompagnées d'un chien-guide. Malgré la part d'incontrôlable dans l'observation d'une performance résultante d'une interaction homme-animal, certains résultats intéressants ont été trouvés. Elle a permis de montrer que le déplacement des personnes aveugles avec un chien-guide était réalisé avec efficacité (essais plus rapides), sécurité (obstacles mieux évités) et que l'exécution d'une tâche secondaire en marchant avec un chien-guide avait peu d'effet sur la marche. Notre première hypothèse est ainsi validée. La deuxième hypothèse, concernant l'effet de l'utilisation d'un chien-guide sur la performance à une tâche secondaire pendant la marche ne peut pas être confirmée, bien que certains éléments puissent expliquer l'absence de différence entre les deux groupes (les capacités attentionnelles des participants, les comportements des chiens, les paroles des maîtres). Néanmoins, le fait que la présence d'obstacle ne semble pas augmenter la charge cognitive des personnes aveugles accompagnées d'un chien lorsqu'elles se déplacent, alors que cela est observé chez les personnes utilisant une canne, semble suggérer que la charge cognitive impliquée par le déplacement du piéton aveugle est moins importante s'il est accompagné d'un chien-guide que s'il utilise une canne. Enfin, la troisième hypothèse selon laquelle la présence d'obstacles ne devrait pas d'avoir d'effet significatif sur la performance à la tâche secondaire des participants avec un chien a été confirmée. Ainsi, contrairement aux personnes avec une canne blanche, la charge mentale des personnes accompagnées d'un chien-guide ne serait pas augmentée en présence d'obstacles. Cette étude permet donc de compléter la modeste littérature sur le déplacement des personnes

aveugles accompagnées d'un chien-guide. Néanmoins, il est nécessaire de préciser certaines limites.

Une des principales limitations à cette expérimentation concerne le manque de réalisme du protocole expérimental qui a pu perturber les chiens et ainsi avoir un impact négatif sur la performance des participants. Cependant, la réaliser en situation de déplacement réel aurait pu introduire d'autres éléments pouvant perturber les chiens (odeurs, autres animaux) et ainsi insérer des biais similaires dans les résultats. Les deux principales causes de perturbation des chiens que nous avons identifiées (en observant leurs comportements mais aussi grâce aux remarques des participants) étaient que l'expérimentation avait lieu en intérieur (certains chiens avaient tendance à se diriger vers la sortie) et que le point d'arrivée (une bande podotactile placée devant un haut-parleur diffusant la ritournelle) était trop abstrait pour les chiens. Ainsi, en répliquant cette expérimentation dans un milieu protégé mais extérieur (par exemple un parking de l'institut) et en matérialisant le point d'arrivée par un élément urbain (escalier, porte, passage piéton) en direction duquel les chiens-guides sont éduqués à aller sur ordre de leur maître, nous pourrions obtenir des résultats moins biaisés par l'incompréhension des chiens.

Etant donné l'absence de différence à la tâche secondaire entre les situations obstacles et les situations hors obstacle dans les deux conditions avec obstacles pour les participants accompagnés d'un chien-guide, il aurait été intéressant d'examiner si les paramètres de marche des participants différaient d'une situation à l'autre.

Bien que l'objectif de l'étude ne fût pas d'appréhender des questions relatives à la navigation, une question, importante dans la problématique des déplacements des personnes aveugles, a été suscitée par la remarque spontanée d'un participant avec un chien qui a déclaré ne pas s'être rendu compte de la présence d'obstacles ; il s'agit de la question de la conscience de la situation. En déléguant certains aspects du déplacement à son chien-guide (ici la gestion des obstacles et de la trajectoire, plus certains aspects de navigation en situation réelle de déplacement), il est possible que la personne aveugle ait une moins bonne compréhension de l'espace, une moins bonne conscience de la situation, en d'autres termes, une moins bonne représentation de l'espace, que si elle gérait elle-même ces aspects, en s'aidant d'une canne blanche. Ce sujet, qui ne semble pas avoir été étudié dans la littérature, mériterait d'être appréhendé dans de futurs projets de recherche.

Enfin, le petit effectif de participants avec un chien-guide n'a pas permis l'étude d'effets inter-individuels (en particulier ceux de l'âge, de l'âge d'acquisition de la cécité, des

performances attentionnelles, ou de la durée de la relation maître-chien) sur la performance des participants.

CHAPITRE 4 : DISCUSSION GENERALE

Dans cette dernière partie, les principales contributions de ce travail de thèse seront rappelées. Ils aboutiront sur une proposition de l'utilisation d'un modèle psycho-ergonomique de l'adaptation pour rentre compte des différents mécanismes qui peuvent être mis en œuvre par les personnes aveugles pour compenser l'absence de vision dans la réalisation de leurs déplacements. Ensuite, les limites de ce travail seront présentées et une perspective de recherche sera décrite. Enfin, ce travail s'achèvera sur la présentation de certaines implications pour la réadaptation des personnes aveugles et quelques recommandations pour la conception d'aides à la mobilité.

I. Contributions de ce travail

1. Principaux apports

1.1. Evaluation neuropsychologique des personnes aveugles

La première étude de ce travail de thèse consistait en une évaluation des capacités d'attention, de mémoire de travail, de flexibilité et d'inhibition de personnes aveugles en contrôlant le fonctionnement intellectuel (mesuré avec l'échelle verbale de la WAIS-R ; Wechsler, 1955 ; 1981) et la vitesse de traitement. Pour y parvenir, des tests neuropsychologiques ont été conçus ou adaptés en modalité auditive afin d'être accessibles à des personnes aveugles. Soixante-trois participants aveugles ainsi que quarante-deux participants voyants ont été soumis à cette batterie de tests.

Le premier résultat majeur de cette étude est que les capacités d'attention et de mémoire de travail des personnes aveugles sont supérieures à celles des personnes voyantes. Ces résultats consolident ceux d'études antérieures menées sur des processus spécifiques (Bliss et al., 2004 ; Collignon & De Volder, 2009 ; Collignon et al., 2006 ; Kujala, Lehtokoski, et al., 1997 ; Lerens & Renier, 2014 ; Ruggiero & Iachini, 2010), mais ont en plus le mérite de proposer une évaluation systématique de l'ensemble de ces processus. En outre, certains processus (l'attention soutenue, l'inhibition et la flexibilité attentionnelle) n'avaient jamais été appréhendés auprès de la population des personnes aveugles.

Le second résultat principal de cette étude est que les capacités d'attention et de mémoire de travail des personnes aveugles subissent un déclin au cours du vieillissement, bien que les personnes aveugles de plus de 60 ans gardent des capacités supérieures à celles des personnes voyantes de même âge. Cette étude est à notre connaissance la première à

avoir appréhendé le vieillissement cognitif des personnes aveugles. Puisque les capacités ciblées nous apparaissent fortement mises en œuvre dans le déplacement sans vision, nous nous sommes intéressés, dans notre seconde étude, au déplacement des personnes aveugles.

1.2. Le déplacement des personnes aveugles

La seconde étude de ce travail de thèse avait pour but d'appréhender la charge cognitive induite pas la marche des personnes aveugles. Dans cet objectif, nous avons mis en place une expérimentation de déplacement en milieu protégé qui intégrait plusieurs méthodes : l'analyse de la performance de déplacement et des paramètres de la marche, l'utilisation d'une tâche secondaire simultanée, et la réalisation d'une évaluation de la charge mentale subjective. Afin d'étudier l'effet des deux principales aides au déplacement utilisées par les personnes aveugles, cette expérimentation a été déclinée en deux études. La première se focalisait sur le déplacement des personnes aveugles utilisant une canne blanche (vingt-cinq participants). La seconde portait sur le déplacement des personnes aveugles accompagnées d'un chien-guide (treize participants).

Les résultats concernant les personnes aveugles utilisant une canne révèlent que le déplacement induit une charge cognitive qui est d'autant plus importante lorsque l'environnement est rendu complexe (avec la présence d'obstacles). En revanche, la réalisation d'une tâche secondaire n'a pas eu d'effet sur la marche mais elle en a eu un sur la charge mentale subjective des participants.

Le résultat majeur de l'étude menée sur les personnes aveugles accompagnées d'un chien est que la présence d'obstacles ne semble pas augmenter la charge cognitive impliquée dans le déplacement. Cela semble suggérer que cette charge cognitive est moins importante pour ces individus que pour ceux qui utilisent une canne blanche (même si l'ensemble de nos résultats ne vont pas dans ce sens, certainement en raison de problèmes d'ordre méthodologique). Bien que ces résultats nous semblent importants, l'apport le plus notable de ce travail de thèse est, selon nous, la présence d'un lien entre les capacités attentionnelles et le déplacement chez les personnes aveugles.

1.3. Liens entre capacités attentionnelles et déplacement chez les personnes aveugles

Des liens possibles entre le déplacement des personnes aveugles et leurs capacités d'attention et de mémoire de travail ont été suggérés à plusieurs reprises dans la littérature

(Espinosa et al., 1998 ; Geruschat & Turano, 2007 ; Kujala, Lehtokoski, Alho, Kekoni, & Näätänen, 1997 ; Occelli, Spence, & Zampini, 2013), mais, jusqu'à présent, aucune étude ne semblait avoir été menée sur la question. Au cours de ce travail de thèse, ces relations ont été mises en évidence à deux reprises.

En premier lieu, l'aisance de déplacement subjective, évaluée à partir de réponses des participants à des questions relatives à leurs habitudes de déplacement, s'est révélée être un facteur inter-individuel significatif des performances des participants aux études 1 et 2.a. Le score d'aisance de déplacement subjectif que nous avons mis au point est ainsi apparu pertinent, malgré le fait qu'il reposait sur des informations rapportées par les participants. Dans d'autres études, des participants devaient juger de leurs capacités à se déplacer en se comparant aux autres (jugements relatifs à leur sens de l'orientation, indépendance dans les déplacement, capacité à traverser les rues, en dessous de la moyenne, dans la moyenne ou au-dessus de la moyenne ; Liao, 2013), ou de leur confiance en eux en tant que piéton sur une échelle (de très hésitant à très confiant, dans différents environnements : le quartier, les traversées de rue, des lieux inconnus, etc ; Blades, Lippa, Golledge, Jacobson, & Kitchin, 2002). Par rapport à ces études précédemment citées, la façon dont nous avons regroupé les participants selon leurs déclarations reste relativement objective puisque les questions portaient principalement sur des informations factuelles (par exemple « Ecoutez-vous de la musique en marchant ») et non sur l'auto-évaluation que les personnes avaient de leurs propres capacités.

En second lieu, les performances d'attention mesurées dans l'étude 1 des participants de l'étude 2.a. se sont révélées avoir un effet significatif sur la performance à l'étude 2.a. Plus précisément, cela suggère que la charge cognitive impliquée dans le déplacement des piétons aveugles est moins importante pour ceux qui ont des capacités d'attention supérieures. Ce travail semble ainsi être le premier à avoir étudié le déplacement de personnes aveugles au regard de leurs performances cognitives.

Néanmoins, un élément surprenant a été observé au travers de ces deux études. L'effet de l'âge, pourtant si significatif des performances des participants à l'étude 1, n'a pas eu d'effet sur les performances des participants à l'étude 2.a. Une première explication viendrait de la difficulté de l'étude 2.a. qui ne serait pas assez importante pour faire émerger des différences significatives entre les participants de 60 ans et plus et les plus jeunes. Une seconde hypothèse concernerait l'âge des participants. En effet, l'âge moyen de nos participants était inférieur à 70 ans, âge auquel les effets du déclin cognitif commencent à être plus marqués (Lemaire & Bherer, 2005).

Quant à l'antériorité de la cécité, elle n'a pas eu d'effet dans aucune des deux expérimentations, contrairement à nos hypothèses. Néanmoins, dans notre recension de la littérature, les différences décrites entre les personnes aveugles précoces et les personnes aveugles tardives les plus marquées semblent être celles liées aux tâches impliquant la construction et l'utilisation de représentations spatiales (Cattaneo & Vecchi, 2011 ; Kitchin, Blades, & Golledge, 1997 ; Thinus-Blanc & Gaunet, 1997). Il est possible qu'une étude impliquant une tâche de navigation aurait permis l'émergence de différences entre ces deux sous-populations.

Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour expliquer les liens entre l'attention et le déplacement des personnes aveugles que nous avons mis en évidence. La première hypothèse serait que le fait de se déplacer sans voir mobiliserait massivement les capacités cognitives au point de les améliorer. Ainsi, se déplacer sans voir est une activité qui pourrait être assimilé à un entraînement cognitif. En effet, comme les entraînements cognitifs, cette activité 1) implique une stimulation cognitive, 2) apporte des retours sur les performances, 3) comprend des renforcements positifs (la satisfaction d'être autonome, se rendre à des activités, avoir accès à une participation sociale), 4) peut être réalisée en suivant différents niveaux de difficulté (d'un déplacement accompagné, court, dans un environnement simple et connu à un déplacement seul, long, dans un environnement complexe et inconnu, en téléphonant ou écoutant de la musique). Une seconde hypothèse serait que les individus aveugles qui ont des capacités d'attention supérieures, et ainsi plus de facilités à traiter une multitude d'informations sur des périodes de temps prolongées, auraient tendance à sortir de chez eux plus souvent, et à entreprendre des déplacements plus complexes que ceux qui ont des capacités d'attention moindres. Enfin, une troisième alternative, peut-être la plus probable, consisterait en une association de ces deux hypothèses. Avoir des capacités attentionnelles relativement élevées rendrait moins difficile la réalisation de déplacement sans voir, ce qui encouragerait à plus se déplacer, dans des contextes plus complexes, et mobiliserait ainsi d'autant plus ces capacités, et les amélioreraient.

2. Intégration des résultats dans un modèle psycho-ergonomique de l'adaptation

A la lumière de nos résultats, le modèle de Marquié (1993 ; Marin-Lamellet & Marquié, 2012), qui décrit les principaux mécanismes d'adaptation mis en œuvre pour compenser le vieillissement cognitif et ses effets délétères sur la réalisation d'activités, nous semble particulièrement adéquat pour rendre compte de l'adaptation mise en œuvre par les personnes aveugles (qu'elles soient vieillissantes ou non) pour compenser leur cécité dans la réalisation

de leurs déplacements. Cette conceptualisation repose sur trois niveaux d'adaptation permettant à l'individu de contourner ou composer avec les effets du vieillissement dans la réalisation d'une activité : l'adaptation cognitive, l'accommodation par les buts et l'accommodation par les moyens.

L'**adaptation cognitive** repose sur plusieurs mécanismes décrits par Marquié & Isingrini (2001) et déjà évoqués dans le contexte théorique (partie III. 3.) : la préservation des fonctions cognitives, la compilation, la compensation, le biais de réponse et la remédiation. Notre travail nous permet de discuter spécifiquement de trois de ces mécanismes. En ce qui concerne le mécanisme de préservation, les résultats de notre étude 1 suggèrent que la sollicitation quotidienne des fonctions cognitives des personnes aveugles, autonomes dans leurs déplacements, entraîne une amélioration de leurs capacités cognitives (ou tout du moins de leurs capacités d'attention et de mémoire de travail) par rapport aux personnes voyantes. Ces processus semblent relativement préservés au cours du vieillissement, comme en témoignent le fait que les participants aveugles de plus de 60 ans ont obtenu des performances cognitives supérieures à celles des personnes voyantes du même âge dans l'étude 1. Etre autonome pour se déplacer en étant aveugle peut être considéré comme avoir un style de vie stimulant, diminuant le vieillissement cognitif (via une augmentation de la réserve cognitive, Stern, 2013). Pour ce qui est de la compilation, avec la pratique, l'activité de déplacement sans voir deviendrait en partie automatisée, et ainsi, requerrait moins de ressources cognitives. Ce processus de compilation pourrait expliquer l'absence de différence observée entre les participants de plus de 60 ans et les plus jeunes dans l'étude 2.b. malgré des différences significatives dans l'étude 1. Enfin, la remédiation cognitive apparaît être une voie intéressante à explorer. Elle sera plus amplement décrite dans la partie III. de cette discussion, relative aux implications pour la rééducation et aux applications de ce travail de thèse.

L'**accommodation par les buts** réside en une adaptation comportementale en réponse à des difficultés rencontrées par les individus lors de la réalisation d'une tâche donnée via la révision de leurs objectifs. Dans le cas de la tâche de déplacement réalisée par une personne aveugle, ce mécanisme d'adaptation peut consister en l'évitement de certains types de déplacements (non connus ou dans des lieux trop complexes, tels qu'un pôle d'échange multimodal ou sur une grande place), au report du déplacement à un autre moment (par exemple ne pas se déplacer aux heures de pointe) ou en limitant les difficultés supplémentaires externes à l'activité de déplacement (par exemple ne pas répondre au téléphone). Les résultats de notre première étude illustre la pertinence de l'accommodation par les buts pour l'activité de déplacement par les piétons aveugles. Les participants qui évitent les situations de déplacement les plus complexes (comme indiqué par le score d'aisance de

déplacement subjectif) ont obtenu des performances cognitives moins importantes que ceux habitués à réaliser des déplacements complexes (inconnus, en téléphonant et/ou écoutant de la musique). Par ailleurs, la question de la simplification des déplacements réalisée par les personnes aveugles lorsqu'elles prennent de l'âge a déjà été évoquée au cours d'entretiens qualitatifs (Seifert & Schelling, 2014).

L'**accommodation par les moyens** renvoie au recours à une assistance externe pour la réalisation de l'activité. Dans le cadre du déplacement des piétons aveugles, cette aide peut prendre la forme d'une aide technique (ou technologique), animale (le chien-guide), humaine, ou de type organisationnel (transport à la demande par exemple). Les résultats de l'étude 2.b. ont montré que le recours à un chien-guide permet d'atténuer la charge cognitive impliquée dans les déplacements complexes.

Ainsi, ces trois formes possibles d'adaptation peuvent être mises en œuvre par les personnes aveugles pour compenser l'absence de vision, ajoutée aux effets du vieillissement pour les plus âgés d'entre elles, au cours de leurs déplacements. Le modèle proposé par Marquié (1993 ; Marin-Lamellet & Marquié, 2012) a également l'avantage de mettre en perspectives des adaptations de niveaux macroscopiques (accommodation par les buts et accommodation par les moyens) et microscopique (adaptation cognitive). En revanche, le moment de déclenchement de ces processus d'adaptation ainsi que la séquence dans laquelle les individus mettent en place ces adaptations n'est pas précisé par les auteurs. La mise ne place de compensations nous apparaît pouvoir être guidée par une recherche de sécurité (à la suite d'une mise en situation dangereuse, Manduchi & Kurniawan, 2011), de confort (être de plus en plus fatigué par la réalisation de déplacements) ou le besoin de répondre à une norme sociale. Quant à l'ordre de mise en place de ces adaptations, nous pensons qu'il est très variable d'un individu à l'autre. Cette variabilité inter-individuelle pourrait dépendre des capacités cognitives et de déplacement de l'individu (par exemple mise en place privilégiée d'une adaptation cognitive pour les individus avec des hautes capacités cognitives), de la façon dont les individus estiment leurs capacités cognitives et de déplacement (les conducteurs âgés sans troubles de la vision peuvent se sur-estimer, se sous-estimer, ou bien avoir une estimation correcte de leurs capacités, Hay, Adam, Bocca, & Gabaude, 2016 ; les personnes âgées ont tendance à sur-estimer leurs habilités spatiales ; Taillade, N'Kaoua, & Sauzéon, 2016), ou des trait de personnalité (par exemple la confiance en soi ou la propension à l'anxiété ; Ball & Nicolle, 2015 ; Beggs, 1992).

II. Limites de la thèse et perspective de recherche

Certaines limites dans ce travail de thèse nous conduisent à envisager une nouvelle perspective de recherche. En premier lieu, la modeste taille des échantillons, notamment pour les études 2.a. et 2.b. ne nous a pas permis d'appréhender l'ensemble des effets inter-individuels souhaités (en particulier pour l'étude 2.b.) et peut expliquer l'absence de différence significative pour certains des tests statistiques. En raison de la particularité de la population étudiée, des difficultés de recrutement ont été rencontrées tout au long de ce travail. Pour l'étude 1, ces difficultés ont été contournées par une inclusion de participants durant toute la durée de la thèse (ce qui n'était pas possible pour les deux autres études pour des raisons de disponibilité du local et du matériel) et par la réalisation des passations dans plusieurs villes de France (principalement Lyon, Grenoble, Paris et Marseille).

Une autre limite importante, déjà évoquée dans les discussions des études, concerne le biais de recrutement introduit par l'inclusion de participants autonomes, limitant la généralisation des résultats observés tout au long de ce travail à l'ensemble de la population des personnes aveugles.

De plus, d'autres processus cognitifs, non appréhendés dans ce travail, pourraient être des facteurs d'une mobilité efficiente chez les individus aveugles, tels que la mémoire épisodique (se rappeler l'itinéraire à suivre) ou les fonctions exécutives de haut niveau (la planification, l'élaboration d'hypothèses et de stratégies, la pensée abstraire, le jugement, la résolution de problèmes) et mériteraient d'être appréhendés dans de futurs travaux.

En outre, les études 2.a. et 2.b, réalisées dans un milieu protégé, n'abordent pas tous les aspects du déplacement des piétons aveugles. Les notions de navigation, les stratégies de préparation des déplacements et les aspects émotionnels liés aux déplacements nous semblent particulièrement pertinents pour les personnes aveugles. Une perspective de recherche intéressante, qui permettrait de compléter ce travail, serait de réaliser une expérimentation en situation réelle de déplacement impliquant un paradigme de double tâche pour mesurer la charge cognitive impliquée dans le déplacement du piéton aveugle en prenant en compte tous ces aspects liés à l'activité de déplacement. Une telle expérimentation pourrait consister à réaliser deux itinéraires (pour éviter un effet d'apprentissage), l'un en condition simple tâche, l'autre en condition double tâche. Le choix des deux itinéraires à réaliser nous semble être un des paramètres les plus cruciaux à définir. Les deux itinéraires devraient chacun être composés de plusieurs sections de différents niveaux de difficultés (pouvant être définis par la quantité d'obstacles présents, comme souligné lors de notre étude 2.a. et la

quantité de prise de repères possible, Baltenneck et al., 2012). Pour s'assurer que la complexité des deux itinéraires soit équivalente, leur longueur, le nombre de traversées de voie et d'intersections devraient être comparables, ainsi que (dans la mesure du possible) la fréquentation en termes de piétons et véhicules du lieu et le nombre de points de repères accessibles sans vision. Pour ce dernier aspect particulièrement, l'avis d'un instructeur de locomotion nous semble indispensable. Etant donné l'hétérogénéité de la population des personnes aveugles en termes d'aisance de déplacement (nous l'avons vu au travers de notre score d'aisance de déplacement subjectif), tous les participants devraient réaliser les deux conditions (pour la moitié, l'un des deux itinéraires en condition simple tâche, et pour l'autre moitié ce même itinéraire en condition double tâche). Les mesures qui nous paraissent importantes à recueillir sont, pour la plupart, celles que nous avons utilisées dans ce travail de thèse : différents indicateurs de la performance de marche (durée de l'essai, vitesse des pas, durée des arrêts, nombre d'obstacles touchés avec le corps, nombre d'interventions de l'expérimentateur, demande d'assistance des participants), la performance à la tâche secondaire ainsi que les réponses à l'évaluation subjective de la charge mentale proposée dans ce travail de thèse. La tâche secondaire 1 utilisée dans les études 2.a. et 2.b. semble appropriée à une telle expérimentation. En effet, bien que simple, les variations de temps de réponse observées dans nos expérimentations nous permettent d'affirmer qu'elle est suffisamment sensible pour rendre compte d'une variation de la charge cognitive pendant le déplacement. De plus, en situation réelle de déplacement, il nous semble plus judicieux d'utiliser la tâche de complexité inférieure afin qu'elle ait le moins d'effet possible sur la tâche de déplacement. Un enregistrement vidéo (avec une caméra fixée sur le buste des participants) permettrait l'interprétation des données *a posteriori* et vérifier que les conditions étaient comparables en termes de fréquentation des piétons et voitures. Ces données pourraient être complétées par une évaluation de la représentation spatiale construite par les participants au cours du trajet, afin de définir si la prise d'information, la mémorisation de l'information et la construction d'une représentation mentale de l'environnement est impactée par la réalisation de la tâche secondaire. Une telle évaluation pourrait consister à demander aux participants de rappeler, dans l'ordre, les points de repères (tactiles, olfactifs, auditifs, proprioceptifs, etc.) qu'ils ont utilisés durant le parcours. Une telle tâche n'implique pas de construire une représentation de la représentation mentale (un schéma par exemple) et permettrait ainsi de s'affranchir des différences liées aux capacités à dessiner sans voir (Kitchin & Jacobson, 1997). Ainsi, bien que présentant des limites, la réalisation des études 2.a. et 2.b. et les commentaires des participants, nous ont permis d'acquérir de l'expérience et de valider certains éléments méthodologiques pour envisager une expérimentation en situation réelle de déplacement.

III. Implications pour la réadaptation et applications

Les travaux menés pendant cette thèse nous ont conduits à réfléchir à différentes implications qui pourraient mener à l'amélioration de la mobilité des personnes aveugles. Dans un premier temps, nous discuterons de l'intérêt de l'utilisation d'un questionnaire d'habitudes de déplacement pour la prise en charge en locomotion des personnes aveugles puis nous évoquerons l'apport du développement d'un entraînement cognitif accessible aux personnes aveugles. Ensuite, nous illustrerons en quoi la promotion de la participation sociale, qui permet d'encourager les personnes aveugles à se déplacer, peut être un levier pour limiter les effets délétères du vieillissement cognitif. Enfin, quelques recommandations pour la conception d'aides technologiques à la mobilité seront exposées.

Tout d'abord, le score d'aisance de déplacement, obtenu à partir du questionnaire d'habitudes de déplacement, s'est révélé pertinent pour rendre compte des performances des participants aux tests neuropsychologiques et à la tâche de déplacement. Pourtant, les réponses à seulement quatre questions ont été utilisées dans la construction de ce score, suggérant l'adéquation des questions posées pour rendre compte de l'aisance de déplacement globale. Sous réserve que ce score se révèle également pertinent pour illustrer la performance de participants dans la réalisation d'un déplacement piéton réel (comme la perspective de recherche suggérée dans la partie précédente), un tel questionnaire pourrait être utilisé dans la prise en charge en locomotion des personnes aveugles. Un questionnaire sur les habitudes de déplacement plus complet, permettant une évaluation qualitative objective de l'aisance de déplacement des personnes aveugles, pourrait être utile aux professionnels de la réadaptation (instructeurs de locomotion, ergothérapeutes). Sans se substituer aux observations réelles des professionnels, un tel questionnaire aurait les avantages d'être facile et rapide à administrer (possible par téléphone), de prendre en compte le déplacement réel (bien que subjectif) des participants, de permettre d'objectiver l'évolution d'une personne au cours du temps (avant, au cours de sa prise en charge et à long terme après sa prise en charge) ou de comparer l'efficacité de différentes prises en charge. Ainsi, la construction d'un questionnaire relatif à la mobilité plus complet, inspiré également de ceux existants en langue anglaise (Fenwick et al., 2016 ; Turano et al., 2002 ; principalement testés auprès des personnes malvoyantes), dont la validité devra être testée grâce à l'expertise d'instructeurs de locomotion est une perspective qui nous parait très intéressante, à la fois appliquée et de recherche. En effet, avec une considération plus orientée recherche, il permettrait d'étudier les effets du vieillissement sur la mobilité des personnes aveugles. Au cours de conversations avec des personnes aveugles de plus de 60 ans, nous nous sommes rendu compte que certains individus évitaient des

situations de déplacement (les grandes stations de métro, les heures de pointe ou les trajets inconnus) qui ne l'étaient pas auparavant. Les impressions issues de ces discussions auraient pu être objectivées grâce à un questionnaire plus complet que celui utilisé, intégrant notamment des questions relatives au passé (par exemple : « par rapport à avant, estimez-vous que […] »).

Les liens observés entre les capacités d'attention des personnes aveugles et leurs capacités de déplacement mis en évidence au cours de ce travail de thèse nous ont conduits à réfléchir à la mise en place d'entraînements cognitifs pour les personnes aveugles. Actuellement, de multiples programmes d'entraînement cognitif destinés aux personnes âgées voyantes sont développés et permettraient de limiter le déclin cognitif lié à l'âge (Lemaire & Bherer, 2005), et ses effets, sur, par exemple, l'équilibre et le nombre chutes pendant la marche (Schoene, Valenzuela, Lord, & de Bruin, 2014 ; Smith-Ray et al., 2013). Parce qu'ils sont présentés en modalité visuelle, associée parfois à la modalité auditive, ces programmes ne sont pas accessibles aux personnes atteintes de déficience visuelle. Cependant, ils pourraient leur être utile, par exemple, pour leur permettre de garder une mobilité efficiente le plus longtemps possible en limitant les effets du vieillissement cognitif. La principale difficulté dans la conception d'un tel entraînement cognitif réside en l'absence de l'utilisation de la modalité visuelle. Néanmoins, le succès du jeu d'action sur smartphone *A Blind Legend* (y compris chez les personnes voyantes), basé uniquement sur du son spatialisé, témoigne qu'il est possible de construire une interface complexe et ludique en utilisant la seule modalité auditive. En outre, la réalité virtuelle a déjà été utilisée pour entraîner les compétences en mobilité et orientation des personnes aveugles (Lahav, Schloerb, & Srinivasan, 2015), mais ne semble pas avoir déjà été utilisée pour entraîner leurs capacités cognitives. Ainsi, la conception et le développement d'un entraînement cognitif à destination des personnes aveugles est une perspective appliquée intéressante, qui n'est rendue envisageable que parce que les capacités cognitives des personnes aveugles peuvent être mesurées (notamment avec la batterie de tests que nous avons développée pour l'étude 1).

Une autre piste pour le maintien, malgré l'avancée en âge, ou l'amélioration des capacités cognitives concerne la participation sociale. Puisque les liens entre une cognition élevée et des capacités de déplacement élevées chez les personnes aveugles ont été mis en évidence dans ce travail, encourager les personnes à sortir de chez elles devraient stimuler davantage leur attention. Cette stimulation de l'attention importante entraînerait une augmentation des capacités attentionnelles (ou tout du moins leur maintien ou une atténuation du déclin cognitif lié à l'âge), ce qui diminuerait la charge cognitive impliquée dans le déplacement, augmenterait ainsi l'envie de se déplacer, et permettrait la mise en place d'un

cercle vertueux. Par ailleurs, la promotion de la participation sociale et de l'indépendance des personnes présentant une atteinte précoce (quel que soit le type d'atteinte) est un objectif essentiel pour leur assurer un vieillissement réussi (LaPlante, 2014), d'autant plus que les personnes aveugles présentent un désengagement social avec l'avancée en âge qui est plus précoce que celui les personnes voyantes (Bachar & Shanan,1997). Les associations, telles que l'Association Valentin Haüy, jouent un rôle considérable dans cette voie en proposant de multiples activités de loisirs encourageant ainsi les personnes présentant une atteinte visuelle à sortir de chez elles. Des interventions visant à améliorer la participation sociale des personnes avec une atteinte visuelle ont également été développées (Alma, Groothoff, Melis-Dankers, Suurmeijer, & van der Mei, 2013 ; Berger, McAteer, Schreier, & Kaldenberg, 2013). Ces interventions sont efficaces mais elles visent principalement les personnes avec une atteinte visuelle liée à l'âge et leurs effets sur une amélioration de leurs capacités cognitives ou sur leur mobilité ne semblent pas avoir été testés.

Enfin, les dernières recommandations issues de ce travail de thèse concernent les technologies d'aide à la mobilité développées pour les personnes présentant une atteinte visuelle. En effet, le développement des nouvelles technologies offre des perspectives inédites pour améliorer la mobilité de ces personnes. Nos résultats relatifs aux effets de facteurs inter-individuels sur la performance à l'étude 2.a. montrent que le traitement de stimuli diffusés pendant la marche n'est pas réalisé avec la même efficacité selon que les individus aveugles ont des capacités d'attention élevées ou plus basses. Cela suggère que les technologies d'aide à la mobilité sont principalement utilisables par les personnes aveugles présentant des capacités attentionnelles élevées, alors que les résultats de notre travail nous indiquent que ces personnes sont celles qui présentent une aisance de déplacement relativement élevée. Diminuer l'effort cognitif requis par ces dispositifs est la seule manière de les rendre utilisables par le plus grand nombre, y compris par les individus ne présentant pas de capacités attentionnelles particulièrement élevées. Il apparaît nécessaire de proposer une aide technologique qui soit flexible d'un individu à l'autre, selon ses capacités cognitives et ses capacités de déplacement. Elle devrait également être, pour un même individu, flexible d'un déplacement à l'autre, en fonction de la complexité du lieu, du niveau de fatigue de l'individu, du motif de son déplacement (par exemple, pour se rendre au travail, à un rendez-vous médical, à une activité de loisir, ou pour réaliser des achats), ou du niveau de familiarité de l'environnement traversé. Par ailleurs, un résultat de notre étude 2.a. relatif à la performance à la tâche secondaire selon la présence ou non d'obstacles nous semble particulièrement intéressant. Nous avons observé que lorsque des obstacles étaient gérés par les participants aveugles, leur vitesse des pas diminuait, de même que leur performance aux tâches

secondaires. Ainsi, le traitement des obstacles diminue l'efficacité du traitement des informations. Comme une diminution de la vitesse des pas est observée à ce même moment, nous pouvons suggérer que les informations diffusées lors d'un ralentissement seront moins bien traitées. Il serait particulièrement intéressant de concevoir une aide technologique capable d'adapter l'information diffusée selon la vitesse de l'utilisateur. Bien que non évoquée dans les expérimentations de ce travail de thèse, la question du type d'information délivrée est également prépondérante. Par exemple, dans le cas d'informations verbales, celles de types descriptifs permettent aux individus aveugles de se déplacer plus rapidement et avec moins d'effort subjectif que des informations de type textuelles (le nom des rues ; Bradley & Dunlop, 2005). Enfin, il nous semble important de tester expérimentalement l'efficacité des technologies développées en réalisant une observation de la performance de marche avec et sans technologie la plus objective possible. De plus, le fait que dans notre étude, la réalisation de la tâche en marchant ait eu un effet sur la charge mentale subjective des participants illustre l'importance de coupler aux observations objectives des mesures subjectives afin de garantir l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de ces dispositifs.

CONCLUSION

L'objectif principal de ce travail de thèse était d'appréhender les mécanismes attentionnels des personnes aveugles et leur rôle dans la réalisation de leurs déplacements. Plusieurs résultats majeurs ont été mis en évidence au cours des trois expérimentations menées lors de ce travail. La première étude a permis de montrer que les capacités d'attention et de mémoire de travail des personnes aveugles étaient supérieures à celles des personnes voyantes. De plus, un déclin de ces processus a été observé chez les personnes aveugles de plus de 60 ans, mais leurs capacités restent néanmoins supérieures à celles des personnes voyantes du même âge. La seconde étude indique que les participants se déplaçant avec une canne ont eu de bonnes capacités à partager leur attention en marchant. Toutefois, la marche, particulièrement lorsque l'environnement est complexe, implique une charge cognitive importante pour ces personnes aveugles. En outre, la charge cognitive impliquée dans le déplacement a été moins importante pour les participants qui ont les meilleures capacités d'attention. Enfin, les résultats de la troisième expérimentation suggèrent que la charge cognitive est moins importante pour les participants aveugles qui étaient accompagnés d'un chien guide que pour ceux qui utilisaient une canne blanche. Nous achevons ce travail en espérant que l'ensemble de ces résultats et réflexions contribueront à une amélioration de la mobilité des personnes aveugles, notamment grâce à une meilleure compréhension de

l'implication des processus attentionnels dans leur activité de déplacement par les professionnels de la réadaptation et les développeurs de technologies d'aide à la mobilité.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Adam, S., Van der Linden, M., & Collette, F. (2002). Processus attentionnels et vieillissement normal. In J. Couillet, M. Leclercq, C. Moroni, & P. Azouvi (Éd.), *La Neuropsychologie de l'Attention* (p. 129‑151). Marseille: Solal.

AFNOR. NF P98-351 - Cheminements - Insertion des handicapés - Éveil de vigilance - Caractéristiques, essais et règles d'implantation des dispositifs podo-tactiles au sol d'éveil de vigilance à l'usage des personnes aveugles ou malvoyantes (AFNOR août 2010).

AFNOR. NF P98-352 - Cheminements - Bandes de guidage tactile au sol, à l'usage des personnes aveugles et malvoyantes ou des personnes ayant des difficultés d'orientation (AFNOR novembre 2015).

Alaphilippe, D., & Bailly, N. (2013). *Psychologie de l'adulte âgé* (1re Edition). DBS Psycho.

Alma, M. A., Groothoff, J. W., Melis-Dankers, B. J., Suurmeijer, T. P., & van der Mei, S. F. (2013). The effectiveness of a multi-disciplinary group rehabilitation program on the psychosocial functioning of elderly people who are visually impaired. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *107*(1), 5–16.

Alma, M. A., Van der Mei, S. F., Melis-Dankers, B. J., Van Tilburg, T. G., Groothoff, J. W., & Suurmeijer, T. P. (2011). Participation of the elderly after vision loss. *Disability and rehabilitation*, *33*(1), 63–72.

Anstey, K. J., & Low, L.-F. (2004). Normal cognitive changes in aging. *Australian Family Physician*, *33*(10), 783‑787.

Arias, C. (1996). L'écholocation humaine chez les handicapés visuels. *L'année psychologique*, *96*(4), 703‑721. https://doi.org/10.3406/psy.1996.28926

Azéma, B., & Martinez, N. (2005). Les personnes handicapées vieillissantes: espérances de vie et de santé; qualité de vie. *Revue française des affaires sociales*, *2*(2), 295–333.

Bachar, E., & Shanan, J. (1997). Long lasting blindness, availability of resources, and early aging. *Perceptual and Motor Skills*, *84*(2), 675‑688. https://doi.org/10.2466/pms.1997.84.2.675

Bach-Y-Rita, P., Collins, C. C., Saunders, F. A., White, B., & Scadden, L. (1969). Vision substitution by tactile image projection.

Baddeley, A. D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.

Baddeley, A. D. (1992). Working memory. *Science*, *255*(5044), 556–559.

Baddeley, A. D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of learning and motivation*, *8*, 47–89.

Ball, E. M., & Nicolle, C. A. (2015). Changing What It Means to Be « Normal »: A Grounded Theory Study of the Mobility Choices of People Who Are Blind or Have Low Vision. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *109*(4), 291‑301.

Baltenneck, N., Portalier, S., Chapon, P.-M., & Osiurak, F. (2012). Parcourir la ville sans voir : effet de l'environnement urbain sur la perception et le ressenti des personnes aveugles lors d'un déplacement in situ. *L'année psychologique*, *112*, 403‑433.

Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? *Psychology and aging*, *12*(1), 12.

Banister, D., & Bowling, A. (2004). Quality of life for the elderly: the transport dimension. *Transport policy*, *11*(2), 105–115.

Beauchet, O., & Berrut, G. (2006). Marche et double tâche : définition, intérêts et perspectives chez le sujet âgé. *Psychologie & NeuroPsychiatrie du vieillissement*, *4*(3), 215‑225.

Beggs, W. D. A. (1992). Coping with travelling in the visually impaired: A comparison of elite and poor travellers. *Psychology and Health*, *7*(1), 15–26.

Beigneux, K., Plaie, T., & Isingrini, M. (2008). Effet du vieillissement sur les capacités de stockage de la mémoire de travail spatiale : comparaison d'une épreuve de rappel libre et de rappel indicé. *Bulletin de psychologie*, *Numéro 495*(3), 237. https://doi.org/10.3917/bupsy.495.0237

Bell, E. C., & Mino, N. M. (2015). Employment Outcomes for Blind and Visually Impaired Adults. *Journal of Blindness Innovation and Research, 5*(2).

Bentzen, B. L., Barlow, J. M., & Bond, T. (2004). Challenges of unfamiliar signalized intersections for pedestrians who are blind: Research on safety. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *1878*, 51‑57.

Berardi, Raja Parasuraman, James V., A. (2001). Overall vigilance and sustained attention decrements in healthy aging. *Experimental Aging Research*, *27*(1), 19‑39. https://doi.org/10.1080/03610730126014

Berger, S., McAteer, J., Schreier, K., & Kaldenberg, J. (2013). Occupational therapy interventions to improve leisure and social participation for older adults with low vision: A systematic review. *American Journal of Occupational Therapy*, *67*(3), 303–311.

Bergeron, C. M., & Wanet-Defalque, M.-C. (2013). Psychological adaptation to visual impairment: The traditional grief process revised. *British Journal of Visual Impairment*, *31*(1), 20‑31. https://doi.org/10.1177/0264619612469371

Bertone, A., Wittich, W., Watanabe, D., Overbury, O., & Faubert, J. (2005). The effect of age-related macular degeneration on non-verbal neuropsychological test performance. *International Congress Series*, *1282*, 26‑30. https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.05.151

Birren, J. E. (1964). *The psychology of aging.* Oxford, England: Prentice Hall. 303 pp.

Black, A., & Wood, J. (2005). Vision and falls. *Clinical and Experimental Optometry*, *88*, 212‑222.

Blades, M., Lippa, Y., Golledge, R. G., Jacobson, D., & Kitchin, R. M. (2002). The effect of spatial tasks on visually impaired peoples' wayfinding abilities. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, *96*.

Bliss, I., Kujala, T., & Hämäläinen, H. (2004). Comparison of blind and sighted participants' performance in a letter recognition working memory task. *Cognitive Brain Research*, *18*, 273‑277.

Bohan, D. B., & Tuck Wah James, C. (2015). Mobility of a guide dog team in Singapore: A case study. *British Journal of Visual Impairment*, *33*(1), 54‑65. https://doi.org/10.1177/0264619614561691

Bonneau, L. (2000). Compensating for sight loss with a guide dog. *Insight - the Journal of the American Society of Ophthalmic Registered Nurses*, *25*(4), 125‑127. https://doi.org/10.1067/min.2000.109457

Brabyn, J. A. (1982). New developments in mobility and orientation aids for the blind. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, (4), 285–289.

Bradley, N. A., & Dunlop, M. D. (2005). An experimental investigation into wayfinding directions for visually impaired people. *Personal and Ubiquitous Computing*, *9*(6), 395–403.

Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication* (Pergamon). London.

Brock, A., Oriola, B., Truillet, P., Jouffrais, C., & Picard, D. (2013). Map design for visually impaired people: past, present, and future research. *Médiation et Information*, *36*, 117‑129.

Brooks, L. R. (1967). The suppression of visualization by reading. *The Quarterly journal of experimental psychology*, *19*(4), 289–299.

Brown, M. M., Brown, G. C., Sharma, S., & Busbee, B. (2003). Quality of life associated with visual loss. *American Academy of Ophthalmology*, *4*(4), 1076‑1081.

Buissard, I. (2014). La locomotion : Un savoir-faire, un savoir-être au service des personnes déficientes visuelles. *Revue Francophone d'Orthoptie*, *7*(2), 138‑140. https://doi.org/10.1016/j.rfo.2014.07.004

Burgess, P. W., & Shallice, T. (1997). *The Hayling and Brixton Test*. UK: Thames Valley Test Company.

Byers, J. C., Bittner, A. C., & Hill, S. G. (1989). Traditional and raw task load index (TLX) correlations: Are paired comparisons necessary? *Advances in industrial ergonomics and safety I*, 481–485.

Bylsma, F. W., & Doninger, N. (2004). Neuropsychological assessment in individuals with severe visual impairment. *Topics in Geriatric Rehabilitation*, *20*(3), 196–203.

C2RP. (2005). *Déficience Visuelle - Études et Résultats* (p. 1–14). Lille, France.

Carrer, C. (2012). La performance de se déplacer quand on ne voit pas. *Empan*, *87*(3), 63‑66. https://doi.org/10.3917/empa.087.0063

Cattaneo, Z., & Vecchi, T. (2011). *Blind vision: the neuroscience of visual impairment*. MIT Press.

Cepeda, N. J., Kramer, A. F., & Gonzalez de Sather, J. C. (2001). Changes in executive control across the life span: examination of task-switching performance. *Developmental Psychology*, *37*(5), 715‑730.

CERTU. (2006). *Répétiteurs de feux piétons pour personnes aveugles et malvoyantes - Mise en oeuvre* (Dossiers du Certu (DOCE)) (p. 31).

Chanquoy, L., Tricot, A., & Sweller, J. (2007). *La charge cognitive, théorie et applications*. Paris: Armand Colin.

Clark-Carter, D. D., Heyes, A. D., & Howarth, C. I. (1986a). The effect of non-visual preview upon the walking speed of visually impaired people. *Ergonomics*, *29*(12), 1575–1581.

Clark-Carter, D. D., Heyes, A. D., & Howarth, C. I. (1986b). The efficiency and walking speed of visually impaired people. *Ergonomics*, *29*, 779‑789.

Clark-Carter, D. D., Heyes, A. D., & Howarth, C. I. (1987). The gait of visually impaired pedestrians. *Human Movement Science*, *6*(3), 277‑282. https://doi.org/10.1016/0167-9457(87)90017-0

Cmar, J. L. (2015). Orientation and mobility skills and outcome expectations as predictors of employment for young adults with visual impairments. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *109*(2), 95‑106.

Code de l’action sociale et des familles - Article Annexe 2-4, Annexe 2-4 Code de l’action sociale et des familles (2007).

Coffey, M., Coufopoulos, A., & Kinghorn, K. (2014). Barriers to employment for visually impaired women. *International Journal of Workplace Health Management*, *7*(3), 171–185.

Cohen, H., Scherzer, P., Viau, R., Voss, P., & Lepore, F. (2011). Working memory for braille is shaped by experience. *Communicative & Integrative Biology*, *4*, 227‑229.

Cohen, H., Voss, P., Lepore, F., & Scherzer, P. (2010). The nature of working memory for braille. *PLOS ONE*, *5*.

Collette, F., & Salmon, E. (2014). Les modifications du fonctionnement exécutif dans le vieillissement normal. *Psychologie française*, *59*(1), 41–58.

Collignon, O., & De Volder, A. G. (2009). Further evidence that congenitally blind participants react faster to auditory and tactile spatial targets. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *63*, 287‑293.

Collignon, O., Renier, L., Bruyer, R., Tranduy, D., & Veraart, C. (2006). Improved selective and divided spatial attention in early blind subjects. *Brain Research*, *1075*, 175‑182.

Cooper, G. E., & Harper, J. R. P. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities* (No. Report NASA TN-D-5153). Moffet Field, CA: NASA.

Cornoldi, C., Bertuccelli, B., Rocchi, P., & Sbrana, B. (1993). Processing capacity limitations in pictorial and spatial representations in the totally congenitally blind. *Cortex*, *29*(4), 675–689.

Cornoldi, C., Cortesi, A., & Preti, D. (1991). Individual differences in the capacity limitations of visuospatial short-term memory: Research on sighted and totally congenitally blind people. *Memory & Cognition*, *19*(5), 459–468.

Corsi, P. M. (1972). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. McGill University.

Covelet, R. (2007). Prendre enfin conscience des enjeux des déficits sensoriels des personnes âgées. *Gérontologie et société*, (123), 249‑262.

Crandall, W., Brabyn, J., Bentzen, B. L., & Myers, L. (1999). Remote infrared signage evaluation for transit stations and intersections. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, *36*(4), 341–355.

Cratty, B. J. (1967). The perception of gradient and the veering tendency while walking without vision. *Research Bulletin of the American Foundation for the Blind*, *14*, 31‑52.

Cuevas, I., Plaza, P., Rombaux, P., Voldera, A. G. D., & Reniera, L. (2009). Odour discrimination and identification are improved in early blindness. *Neuropsychologia*, *47*, 3079‑3083.

Dandona, L., & Dandona, R. (2006). Revision of visual impairment definitions in the International Statistical Classification of Diseases. *BMC Medicine*, *4*, 7. https://doi.org/10.1186/1741-7015-4-7

Daneman, M., & Carpenter, P. A. (1980). Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *19*(4), 450‑466. https://doi.org/10.1016/S0022-5371(80)90312-6

de Ribaupierre, A., & Ludwig, C. (2003). Age differences and divided attention: Is there a general deficit? *Experimental Aging Research*, *29*(1), 79‑105. https://doi.org/10.1080/03610730303705

Décret n°93-1246 du 4 novembre 1993 relatif au guide-barème applicable pour l'attribution de diverses prestations aux personnes handicapées et modifiant le code de la famille et de l'aide sociale, le code de la sécurité sociale (deuxième partie : Décrets en Conseil d'Etat) et le décret n°77-1549 du 31 décembre 1977, 93-1246 (1993).

Deshen, S., & Deshen, H. (1988). On social aspects of the usage of guide-dogs and longs-canes.

Després, O., Candas, V., & Dufour, A. (2005). Spatial auditory compensation in early-blind humans: Involvement of eye movements and/or attention orienting? *Neuropsychologia*, *43*(13), 1955‑1962. https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2005.03.002

Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *70*(1), 80‑90. https://doi.org/10.1037/h0039515

Diderot, D. (1749). *Lettre sur les aveugles à l'usage de ceux qui voient*.

Dodds, A. G., Carter, D. D., & Howarth, C. I. (1983). Improving objective measures of mobility. *Joumal of Visual Impairment and Blindness*, *77*(9), 438‑442.

Dommes, A., Cavallo, V., Boustelitane, F., Vienne, F., Caro, S., Donat, R., & Perrot, C. (2008). *La traversée de rue chez le piéton âgé. Effets d'une méthode réentraînement sur simulateur*.

Dormal, V., Crollen, V., Baumans, C., Lepore, F., & Collignon, O. (2016). Early but not late blindness leads to enhanced arithmetic and working memory abilities. *Cortex*. https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.07.016

Douglas, G., Pavey, S., Corcoran, C., & Clements, B. (2011). Evaluating the use of the ICF as a framework for interviewing people with a visual impairment about their mobility and travel. *The British Journal of Visual Impairment*, *30*, 6‑21.

Elyashiv, S. M., Shabtai, E. L., & Belkin, M. (2014). Correlation between visual acuity and cognitive functions. *British Journal of Ophthalmology*, *98*(1), 129‑132. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2013-304149

Engle, R. W. (2002). Working memory capacity as executive attention. *Current directions in psychological science*, *11*(1), 19–23.

Espinosa, M. A., Ungar, S., Ochaita, E., Blades, M., & Spencer, C. (1998). Comparing methods for introducing blind and visually impaired people to unfamiliar urban environments. *Journal of Environmental Psychology*, *18*, 277‑287.

Farcy, R., Leroux, R., Jucha, A., Damaschini, R., Grégoire, C., & Zogaghi, A. (2006). Electronic travel aids and electronic orientation aids for blind people: technical, rehabilitation and everyday life points of view. In M. A. Hersh (Éd.). Présenté à Conference & Workshop on Assistive Technologies for People with Vision & Hearing Impairments Technology for Inclusion.

Fenwick, E. K., O'Hare, F., Deverell, L., Ayton, L. N., Luu, C. D., McSweeney, S., … Finger, R. P. (2016). Rasch analysis of the Independent Mobility Questionnaire: *Optometry and Vision Science*, *93*(2), 181‑187. https://doi.org/10.1097/OPX.0000000000000787

Ferdenzi, C., Holley, A., & Schaal, B. (2004). Impacts de la déficience visuelle sur le traitement des odeurs. *Voir, 28*, *29*, 126–143.

Feyereisen, P., & Hupet, M. (2015). *Parler et communiquer chez la personne âgée*. Presses Universitaires de France.

Fieger, A., Röder, B., Teder-Sälejärvi, W., Hillyard, S. A., & Neville, H. J. (2006). Auditory spatial tuning in late-onset blindness in humans. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(2), 149–157.

Fisk, J. E., & Warr, P. (1996). Age and working memory: the role of perceptual speed, the central executive, and the phonological loop. *Psychology and Aging*, *11*(2), 316‑323.

Foulke, E. (1982). Perception, cognition and the mobility of blind pedestrians. *Spatial abilities: Development and physiological foundations*, 55–76.

Foulke, E. (1985). The cognitive foundations of mobility. In D. H. Warren & E. R. Strelow (Éd.), *Electronic Spatial Sensing for the Blind* (p. 463‑486). Dordrecht: Springer Netherlands.

Foulke, E. (1996). The roles of perception and cognition in controlling the mobility task. Présenté à International Symposium on Orientation and Mobility.

Freedman, V. A. (2014). Research gaps in the demography of aging with disability. *Disability and Health Journal*, *7*(1), S60‑S63. https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2013.04.009

Freund, A. M., & Baltes, P. B. (1998). Selection, optimization, and compensation as strategies of life management: correlations with subjective indicators of successful aging. *Psychology and Aging*, *13*, 531‑543.

Galiano, A.-R. (2013). *Psychologie cognitive et clinique du handicap visuel*.

Gallagher, B., & Jackson, J. (2012). Ageing and the impact of vision loss on independent living and mobility. *Optometry in Practice*, *13*, 45‑54.

Gamboz, N., Borella, E., & Brandimonte, M. A. (2009). The role of switching, inhibition and working memory in older adults' performance in the Wisconsin Card Sorting Test. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, *16*(3), 260‑284. https://doi.org/10.1080/13825580802573045

Gangbè, M., & Ducharme, F. (2006). Le « bien vieillir » : concepts et modèles. *M/S : médecine sciences*, *22*(3), 297‑300.

Garg, A., Schwartz, D., & Stevens, A. A. (2007). Orienting auditory spatial attention engages frontal eye fields and medial occipital cortex in congenitally blind humans. *Neuropsychologia*, *45*, 2307‑2321.

Gaunet, F., & Briffault, X. (2001). Méthodologie de spécification pour un système informatique de guidage verbal : le déplacement des déficients visuels en ville. *Epique*, 133‑143.

Gaunet, F., & Milliet, J. (2010). Le rapport des personnes déficientes visuelles au chien guide. Comment l'usage du chien guide pourrait-il se développer en France ? *ALTER, European Journal of Disability Research*, *4*, 116‑133.

Gentaz, E., & Hatwell, Y. (2000). Le traitement haptique des propriétés spatiales et matérielles des objets. In *Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle* (p. 129–162). Paris: Presses Universitaires de France.

Geruschat, D. R., & Turano, K. A. (2007). Estimating the amount of mental effort required for independent mobility: persons with glaucoma. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, *48*, 3988‑3994.

Gilhooly, K. J., Wynn, V., Phillips, L. H., Logie, R. H., & Sala, S. D. (2002). Visuo-spatial and verbal working memory in the five-disc Tower of London task: An individual differences approach. *Thinking & Reasoning*, *8*(3), 165‑178. https://doi.org/10.1080/13546780244000006

Giudice, N. A., & Legge, G. E. (2008). Blind navigation and the role of technology. *Engineering handbook of smart technology for aging, disability, and independence*, 479–500.

Goddard, K. M., Isaak, M. I., Slawinski, E. B., & Brown, L. N. (2004). Isolating the auditory attentional blink among sighted and blind persons. *Journal of visual impairment and blindness*, *98*(4), 241–246.

Goillot, C., & Mormiche, P. (2003). Les enquêtes handicaps-incapacités-dépendance de 1998 et 1999. *INSEE Résultats. Société*, (22), 229.

Gold, D., & Simson, H. (2005). Identifying the needs of people in Canada who are blind or visually impaired: Preliminary results of a nation-wide study. *International Congress Series*, *1282*, 139‑142. https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.05.055

Golledge, R. G., Jacobson, R. D., Kitchin, R., & Blades, M. (2000). Cognitive maps, spatial abilities, and human wayfinding. *Geographical Review of Japan Series B*, *73*(2), 93–104.

Grange-Faivre, C., Pigeon, C., Pagot, C., Cosma, I., Chateauroux, E., & Marin-Lamellet, C. (2015). Design for all: Multimodal transport hubs and travelers with visual impairments (TIMODEV project) (p. 838‑853). Présenté à International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled Persons, Lisbon, Portugal.

Guth, D. (2007). Why does training reduce blind pedestrians veering. In *Blindness and brain plasticity in navigation and object perception* (p. 353–365).

Guth, D., & LaDuke, R. (1994). The veering tendency of blind pedestrians: An analysis of the problem and literature review. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, *88*, 391–391.

Guth, D., & LaDuke, R. (1995). Veering by blind pedestrians: Individual differences and their implications for instruction. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *89*(1), 28–37.

Hakobyan, L., Lumsden, J., O'Sullivan, D., & Bartlett, H. (2013). Mobile assistive technologies for the visually impaired. *Survey of Ophthalmology*, *58*(6), 513‑528. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2012.10.004

Hallemans, A., Ortibus, E., Meire, F., & Aerts, P. (2010). Low vision affects dynamic stability of gait. *Gait & posture*, *32*(4), 547–551.

Hamonet, C. (2016). *Les personnes en situation de handicap* (8e éd.). Paris: Presses Universitaires de France.

Hart, S. G. (2006). NASA-task load index (NASA-TLX); 20 years later. In *Proceedings of the human factors and ergonomics society annual meeting* (Vol. 50, p. 904–908). Sage Publications.

Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Advances in psychology*, *52*, 139–183.

Hatwell, Y. (2003a). Le développement perceptivo-moteur de l'enfant aveugle. *Enfance*, *Vol. 55*(1), 88‑94. https://doi.org/10.3917/enf.551.0088

Hatwell, Y. (2003b). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Paris: Dunod.

Hatwell, Y., & Martinez-Sarocchi, F. (2000). Toucher pour connaître. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle. In Y. Hatwell, A. Streri, & E. Gentaz, *Toucher pour connaitre. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Paris: Presses Universitaires de France.

Hatwell, Y., Streri, A., & Gentaz, E. (2000). *Toucher pour connaitre. Psychologie cognitive de la perception tactile manuelle*. Paris: Presses Universitaires de France.

Havighurst, R. J. (1961). Successful Aging. *The Gerontologist*, *1*(1), 8‑13. https://doi.org/10.1093/geront/1.1.8

Hay, M., Adam, N., Bocca, M.-L., & Gabaude, C. (2016). Effectiveness of two cognitive training programs on the performance of older drivers with a cognitive self-assessment bias. *European Transport Research Review*, *8*(3), 20.

Haymes, S., Guest, D., Heyes, A., & Jonhson, A. (1996). Mobility of people with retinis pigmentosa as a function of vision and psychological variables. *Optometry and Vision Science*, *73*, 621‑637.

Heyl, V., & Wahl, H.-W. (2012). Managing daily life with age-related sensory loss: cognitive resources gain in importance. *Psychology and aging*, *27*(2), 510.

Hill-Briggs, F., Dial, J. G., Morere, D. A., & Joyce, A. (2007). Neuropsychological assessment of persons with physical disability, visual impairment or blindness, and hearing impairment or deafness. *Archives of Clinical Neuropsychology*, *22*, 389‑404.

Howell, D. (2012). *Statistical methods for psychology*. Cengage Learning.

Hugdahl, K., Ek, M., Takio, F., Rintee, T., Tuomainen, J., Haarala, C., & Hämäläinen, H. (2004). Blind individuals show enhanced perceptual and attentional sensitivity for identification of speech sounds. *Cognitive Brain Research*, *19*, 28‑32.

Hull, T., & Mason, H. (1995). Performance of blind children on digit-span tests. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, *89*, 166–166.

Iachini, T., Ruggiero, G., & Ruotolo, F. (2014). Does blindness affect egocentric and allocentric frames of reference in small and large scale spaces? *Behavioural brain research*, *273*, 73–81.

James. (1890). *The principles of psychology*. New-York: Holt.

Jenkins, L., Myerson, J., Joerding, J. A., & Hale, S. (2000). Converging evidence that visuospatial cognition is more age-sensitive than verbal cognition. *Psychology and Aging*, *15*(1), 157‑175.

Jones, G. C., Crews, J. E., & Danielson, M. L. (2010). Health risk profile for older adults with blindness: An application of the international classification of functioning, disability, and health framework. *Ophthalmic Epidemiology*, *17*, 400‑410.

Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. New Jersey.

Kallie, C. S., Schrater, P. R., & Legge, G. E. (2007). Variability in stepping direction explains the veering behavior of blind walkers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *33*(1), 183.

Kane, M. J., Conwal, A. R. A., Miura, T. K., & Colflesh, G. J. H. (2007). Working memory, attention control, and the n-back task: A question of construct validity. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *33*, 615‑622.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: the contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of experimental psychology: General*, *132*(1), 47.

Kim, D. S., Emerson, R. W., Naghshineh, K., & Myers, K. (2014). Influence of ambient sound fluctuations on the crossing decisions of pedestrians who are visually impaired: implications for setting a minimum sound level for quiet vehicles. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *108*(5), 368.

Kitchin, R. M., Blades, M., & Golledge, R. G. (1997). Understanding spatial concepts at the geographic scale without the use of vision. *Progress in Human Geography*, *21*, 225‑242.

Kitchin, R. M., & Jacobson, R. D. (1997). Techniques to collect and analyze the cognitive map knowledge of persons with visual impairment or blindness: issues of validity. *Joumal of Visual Impairment and Blindness*, *91*, 360‑376.

Klatzky, R. L., Marston, J. R., Giudice, N. A., Golledge, R. G., & Loomis, J. M. (2006). Cognitive load of navigating without vision when guided by virtual sound versus spatial language. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, *12*, 223‑232.

Knutzen, K. M., Hamill, J., & Bates, B. T. (1985). Ambulatory characteristics of the visually disabled. *Human Movement Science*, *4*(1), 55‑66. https://doi.org/10.1016/0167-9457(85)90023-5

Kobberling, G., Jankowski, L. W., & Leger, L. (1989). Energy cost of locomotion in blind adolescents.

Kolarik, A. J., Cirstea, S., Pardhan, S., & Moore, B. C. J. (2014). A summary of research investigating echolocation abilities of blind and sighted humans. *Hearing Research*, *310*, 60‐68. https://doi.org/10.1016/j.heares.2014.01.010

Kray, J., Li, K. Z. H., & Lindenberger, U. (2002). Age-related changes in task-switching components : The role of task uncertainty. *Brain and Cognition*, *49*, 363‐381.

Kujala, T., Alho, K., Huotilainen, M., Ilmoniemi, R. J., Lehtokoski, A., Leinonen, A., … Näätänen, R. (1997). Electrophysiological evidence for cross-modal plasticity in humans with early-and late-onset blindness. *Psychophysiology*, *34*(2), 213–216.

Kujala, T., Lehtokoski, A., Alho, K., Kekoni, J., & Näätänen, R. (1997). Faster reaction times in the blind than sighted during bimodal divided attention. *Acta Psychologica*, *96*, 75‐82.

Kynette, D., Kemper, S., Norman, S., & Cheung, H. (1990). Adults' word recall and word repetition. *Experimental Aging Research*, *16*(3), 117‐121. https://doi.org/10.1080/07340669008251538

Lahav, O., Schloerb, D. W., & Srinivasan, M. A. (2015). Rehabilitation program integrating virtual environment to improve orientation and mobility skills for people who are blind. *Computers & Education*, *80*, 1‐14. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2014.08.003

Lajoie, Y., Paquet, N., & Lafleur, R. (2013). Attentional demand varies during a blind navigation pathway in young and older adults. *The Open Behavioral Science Journal*, *7*(1), 1‐6. https://doi.org/10.2174/1874230001307010001

LaPlante, M. P. (2014). Key goals and indicators for successful aging of adults with early-onset disability. *Disability and Health Journal*, *7*(1), S44‐S50. https://doi.org/10.1016/j.dhjo.2013.08.005

Legood, R., Scuffham, P., & Cryer, C. (2002). Are we blind to injuries in the visually impaired? A review of the literature. *Injury Prevention*, *8*, 155‑160.

Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement: une perspective cognitive*. De Boeck Supérieur.

Lerens, E., & Renier, L. (2014). Does visual experience influence the spatial distribution of auditory attention? *Acta Psychologica*, *146*, 58‑62. https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.12.002

Li, K. Z., & Lindenberger, U. (2002). Relations between aging sensory/sensorimotor and cognitive functions. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *26*(7), 777–783.

Li, T., Supiot, A., Roche, N., Pradon, D., & Pradel, G. (2016). A method using feet distance and inertial sensors data for gait events detection. Présenté à 22nd Congress of the European Society of Biomechanics, Lyon, France.

Liao, C.-F. (2013). Using a smartphone application to support visually impaired pedestrians at signalized intersection crossings. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, *2393*(1), 12‑20. https://doi.org/10.3141/2393-02

Lindenberger, U., & Baltes, P. B. (1994). Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychology and aging*, *9*(3), 339.

Liotti, M., Rider, K., & Woldorff, M. g. (1998). Auditory attention in the congenitally blind: where, when and what gets reorganized? *NeuroReport*, *9*, 1007‑1012.

Loomis, J. M., Golledge, R. G., Klatzky, R. L., Speigle, J. M., & Tietz, J. (1994). Personal guidance system for the visually impaired (p. 85‑90). Présenté à First Annual ACH/SIGGAPH. Conference on assistive technologies, Association for computing Machinery.

Loomis, J. M., Klatzky, R. L., & Giudice, N. A. (2012). Sensory substitution of vision: importance of perceptual and cognitive processing. *Assistive technology for blindness and low vision*, 162–191.

Mac Cobb, S. (2013). Mobility restriction and comorbidity in vision-impaired individuals living in the community. *British Journal of Community Nursing*, *18*(12), 608‑613.

Madden, D. J., & Plude, D. J. (1993). Selective preservation of selective attention. In J. Cerella, J. M. Rybash, W. Hoyer, & M. L. Commons (Éd.), *Adult information processing: Limits on loss* (p. 273‑300). San Diego, CA, US: Academic Press.

Manduchi, R., & Kurniawan, S. (2011). Mobility-related accidents experienced by people with visual impairment. *Research and Practice in Visual Impairment and Blindness*, *4*, 44‑54.

Maquestiaux, F. (2013). *Psychologie de l'attention* (1re édition). Bruxelles: De Boeck.

Marin-Lamellet, C., & Aymond, P. (2008). Combining verbal information and a tactile guidance surface: the most efficient way to guide people with visual impairment in transport stations? *Bristish Journal of Visual Impairment*, *26*, 63‑81.

Marin-Lamellet, C., & Marquié, J.-C. (2012). A psycho-ergonomics approach of adaptive behavior of vulnerable road users. In *Advances in Human Aspects of Road and Rail Transportation* (p. 519‑528). CRC Press.

Marin-Lamellet, C., Pachiaudi, G., & Le Breton-Gadegbeku, B. (2001). Information and orientation needs of blind and partially sighted people in public transportation-BIOVAM project. *Journal of the Transportation Research Board*, *1779*, 203‑208.

Marquié, J.-C. (1993). *Vieillissement cognitif, expérience, contraintes de l'environnement. Perspectives théoriques et ergonomiques* (Thèse d'Etat). Université Paul Sabatier, Toulouse.

Marquié, J.-C., & Isingrini, M. (2001). Aspects cognitifs du vieillissement normal. In E. Aubert & J.-M. Albaret (Éd.), *Vieillissement et Psychomotricité* (p. 77‑113). Marseille: Solal Editeur.

Marston, J. R., & Golledge, R. G. (2003). The hidden demand for participation in activities and travel by persons who are visually impaired. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, *97*(8), 475–488.

Mason, S. J., Legge, G. E., & Kallie, C. S. (2005). Variability in the length and frequency of steps of sighted and visually impaired walkers. *Journal of visual impairment & blindness*, *99*(12), 741.

Massot, B., Baltenneck, N., Gehin, C., Dittmar, A., & McAdams, E. (2012). EmoSense: An ambulatory device for the assessment of ANS activity; Application in the objective evaluation of stress with the blind. *IEEE Sensors Journal*, *12*(3), 543‑551. https://doi.org/10.1109/JSEN.2011.2132703

Mathôt, S., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2012). OpenSesame: An open-source, graphical experiment builder for the social sciences. *Behavior research methods*, *44*(2), 314–324.

Mavros, P., Skroumpelou, K., & Smith, A. H. (2015). Understanding the urban experience of people with visual impairments. In *Proceedings of GIS Research* (p. 401–406). United-Kingdom.

McDonnall, M. C. (2011). Predictors of employment for youths with visual impairments: findings from the second National Longitudinal Transition Study. *Journal of Visual Impairment & Blindness*, *105*(8).

Melzer, I., Damry, E., Landau, A., & Yagev, R. (2011). The influence of an auditory–memory attention-demanding task on postural control in blind persons. *Clinical Biomechanics*, *26*.

Michon, P.-E., & Denis, M. (2001). When and why are visual landmarks used in giving directions? In *Spatial information theory* (p. 292–305). Springer.

Miner, R. J.-T. (2001). The Experience of Living with and Using a Dog Guide. *RE:view*, *32*(4), 183‑90.

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex « frontal lobe » tasks: A latent variable analysis. *Cognitive psychology*, *41*(1), 49–100.

Montarzino, A., Robertson, B., Aspinall, P., Ambrecht, A., Findlay, C., Hine, J., & Dhillon, B. (2007). The impact of mobility and public transport on the independence of visually impaired people. *Visual Impairment Research*, *9*, 67‑82.

Mouloua, M., & Parasuraman, R. (1995). Aging and cognitive vigilance: Effects of spatial uncertainty and event rate. *Experimental Aging Research*, *21*(1), 17‑32. https://doi.org/10.1080/03610739508254265

Nakamura, T. (1997). Quantitative analysis of gait in the visually impaired. *Disability & Rehabilitation*, *19*(5), 194–197.

Norman, D. A. (1968). Toward a theory of memory and attention. *Psychological review*, *75*(6), 522.

Nyman, S. R., Gosney, M. A., & Victor, C. R. (2009). Psychosocial impact of visual impairment in working age adults. *British Journal of Ophthalmology*, bjo–2009.

Occelli, V., Spence, C., & Zampini, M. (2013). Auditory, tactile, and audiotactile information processing following visual deprivation. *Psychological Bulletin*, *139*, 189‑212.

O'Keefe, J., & Nadel, L. (1978). *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford University Press, USA.

OMS. (2014). OMS | Cécité et déficience visuelle. Consulté 30 août 2016, à l'adresse http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs282/fr/

Omvig, J. H. (2002). *Freedom for the blind: the secret is empowerment*. Arkansas: Region VI Rehabilitation Continuing Education Program, University of Arkansas.

Paas, F. G., & Van Merriënboer, J. J. (1993). The efficiency of instructional conditions: An approach to combine mental effort and performance measures. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, *35*(4), 737–743.

Papadopoulos, K., Papakonstantinou, D., Montgomery, A., & Solomou, A. (2014). Social support and depression of adults with visual impairments. *Research in developmental disabilities*, *35*(7), 1734–1741.

Park, D. C., Lautenschlager, G., Hedden, T., Davidson, N. S., Smith, A. D., & Smith, P. K. (2002). Models of visuospatial and verbal memory across the adult life span. *Psychology and Aging*, *17*(2), 299‑320. https://doi.org/10.1037/0882-7974.17.2.299

Pascolini, D., & Mariotti, S. P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, *96*(5), 614‑618. https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2011-300539

Passini, R., & Proulx, G. (1988). Wayfinding without vision. An experiment with congenitally totally blind people. *Environment and Behavior*, *20*, 227‑252.

Passini, R., Proulx, G., & Rainville, C. (1990). The spatio-cognitive abilities of the visually impaired population. *Environment and Behavior*, *22*(1), 91–118.

Pauzié, A. (2008). A method to assess the driver mental workload: The driving activity load index (DALI). *IET Intelligent Transport Systems*, *2*(4), 315–322.

Pauzié, A., Gelau, C., & Aupetit, S. (2009). Safety evaluation methodology of ITS for riders. In *International Conference on Models and Technology for Intelligent Transportation Systems, June* (p. 22–23). Rome.

Peake, P., & Leonard, J. A. (1971). The use of heart rate as an index of stress in blind pedestrians. *Ergonomics*, *14*(2), 189‑204. https://doi.org/10.1080/00140137108931237

Pinquart, M., & Pfeiffer, J. P. (2011). Psychological well-being in visually impaired and unimpaired individuals. A meta-analysis. *British Journal of Visual Impairment*, *29*(1), 27–45.

Piriou, C.-N. (1999). L'instruction de la locomotion pour les personnes aveugles. *Evolutions psychomotrices*, (44), 59‑64.

Plummer, P., & Eskes, G. (2015). Measuring treatment effects on dual-task performance: a framework for research and clinical practice. *Frontiers in Human Neuroscience*, *9*. https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00225

Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological review*, *78*(5), 391.

Posner, M. I., & Rafal, R. D. (1987). Cognitive theories of attention and the rehabilitation of attentional deficits. In *Neuropsychological Rehabilitation*. Edinburgh: Churchill Livingstone: M. J. Meier, A. L. Benton & L. Diller.

Price, J. R., Mount, G. R., & Coles, E. A. (1987). Evaluating the visually impaired: neuropsychological technique. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, *48*, 28‑30.

Ramsey, V. K., Blasch, B. B., Kita, A., & Johnson, B. F. (1999). A biomechanical evaluation of visually impaired persons' gait and long-cane mechanics. *Journal of rehabilitation research and development*, *36*(4), 323–332.

Rand, K. M., Creem-Regehr, S. H., & Thompson, W. B. (2015). Spatial learning while navigating with severely degraded viewing: The role of attention and mobility monitoring. Consulté à l'adresse http://psycnet.apa.org/psycinfo/2015-08050-001/

Reid, G. B., Potter, S. S., & Bressler, J. R. (1989). Subjective workload assessment technique (swat): A user's guide. *Wright Patterson Air Force Base, OH: Harry G. Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory*.

Renaud, J., Levasseur, M., Gresset, J., Overbury, O., Wanet-Defalque, M.-C., Dubois, M.-F., … Desrosiers, J. (2010). Health-related and subjective quality of life of older adults with visual impairment. *Disability and rehabilitation*, *32*(11), 899–907.

Révész, G. (1934). System der optischen und haptishen Raumtaüschungen. *Zeitcrift für Physiologie*, (131), 296‑375.

Révész, G. (1950). *Psychology and art of the blind.* Longmans, Green; Oxford.

Richer, N., Paquet, N., & Lajoie, Y. (2014). Impact of age and obstacles on navigation precision and reaction time during blind navigation in dual-task conditions. *Gait & Posture*, *39*(3), 835‑840. https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.09.019

Robertson, I. H., Ward, T., Ridgeway, V., Nimmo-Smith, I., & McAnespie, A. W. (1991). *The Test of Everyday Attention (TEA)*. Bury St. Edmonds, United Kingdom: Thames Valley Test Company.

Röder, B., Teder-Sälejärvi, W., Sterr, A., Rösler, F., Hillyard, S. A., & Neville, H. J. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*, *400*, 162‑166.

Roscoe, A. H. (1987). The Practical Assessment of Pilot Workload. In *In-flight assessment of workload using pilot ratings and heart rate* (p. 78‑82). Neuilly-sur-Seine: A.H. Roscoe.

Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1987). Human aging: usual and successful. *Science*, *237*(4811), 143‑149. https://doi.org/10.1126/science.3299702

Rowe, J. W., & Kahn, R. L. (1997). Successful Aging. *The Gerontologist*, *37*(4), 433‑440. https://doi.org/10.1093/geront/37.4.433

Roy, A., Le Gall, D., Roulin, J.-L., & Fournet, N. (2013). Les fonctions exécutives chez l'enfant: approche épistémologique et sémiologie clinique. *Revue de neuropsychologie*, *4*(4), 287–297.

Rozzini, L., Riva, M., Ghilardi, N., Facchinetti, P., Forbice, E., Semeraro, F., & Padovani, A. (2014). Cognitive dysfunction and age-related macular degeneration. *American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias*, *29*(3), 256‑262. https://doi.org/10.1177/1533317513517032

Ruggiero, G., & Iachini, T. (2010). The role of vision in the Corsi block-tapping task: evidence from blind and sighted people. *Neuropsychology*, *24*, 674‑679.

Ruotolo, F., Ruggiero, G., Vinciguerra, M., & Iachini, T. (2012). Sequential vs simultaneous encoding of spatial information: A comparison between the blind and the sighted. *Acta Psychologica*, *139*, 382‑389.

Saitis, C., & Kalimeri, K. (2016). Identifying urban mobility challenges for the visually impaired with mobile monitoring of multimodal biosignals. In M. Antona & C. Stephanidis (Éd.), *Universal Access in Human-Computer Interaction. Users and Context Diversity* (Vol. 9739, p. 616‑627). Cham: Springer International Publishing.

Salthouse, T. A. (1996). The Processing-speed theory of adult age differences in cognition. *Psychological review*, *103*, 403‑428.

Salthouse, T. A., & Babcock, R. L. (1991). Decomposing adult age differences in working memory. *Developmental Psychology*, *27*(5), 763‑776. https://doi.org/10.1037/0012-1649.27.5.763

Salthouse, T. A., Hancock, H. E., Meinz, E. J., & Hambrick, D. Z. (1996). Interrelations of age, visual acuity, and cognitive functioning. *Journal of Gerontology*, *51*, P317-330.

Sander, M.-S., Bournot, M.-C., Lelièvre, F., & Tallec, A. (2005). *La population en situation de handicap visuel en France. Importance, caractéristiques, incapacités fonctionnelles et difficultés sociales*.

Schinazi, V. R., Thrash, T., & Chebat, D.-R. (2016). Spatial navigation by congenitally blind individuals. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, *7*(1), 37–58.

Schmidt, S., Tinti, C., Fantino, M., Mammarella, I. C., & Cornoldi, C. (2013). Spatial representations in blind people: The role of strategies and mobility skills. *Acta Psychologica*, *142*, 43‑50.

Schmiedek, F., Hildebrandt, A., Lövdén, M., Wilhelm, O., & Lindenberger, U. (2009). Complex span versus updating tasks of working memory: The gap is not that deep. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *35*(4), 1089.

Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information processing: Detection, search and attention. *Psychological Review*, *84*, 1‑126.

Schoene, D., Valenzuela, T., Lord, S. R., & de Bruin, E. D. (2014). The effect of interactive cognitive-motor training in reducing fall risk in older people: a systematic. *BMC Geriatrics*, *14*(107), 1‑22.

Seifert, A., & Schelling, H. R. (2014). *Vieillir avec un handicap visuel–ou de-venir handicapé de la vue avec l'âge* (p. 1‑50). Zurich: Union Centrale Suisse pour la Bien des Aveugles.

Sengupta, S., Nguyen, A. M., Landingham, S. W. van, Solomon, S. D., Do, D. V., Ferrucci, L., Friedman , D.S., & Ramulu, P. Y. (2015). Evaluation of real-world mobility in age-related macular degeneration. *BMC Ophthalmology*, *15*(9), 1‑11. https://doi.org/10.1186/1471-2415-15-9

Serino, A., Bassolino, M., Farnè, A., & Làdavas, E. (2007). Extended multisensory space in blind cane users. *Psychological Science*, *18*, 642‑648.

Shapiro, K. L., Raymond, J. E., & Arnell, K. M. (1997). The attentional blink. *Trends in Cognitive Sciences*, *1*(8), 291‑296. https://doi.org/10.1016/S1364-6613(97)01094-2

Shingledecker, C. A. (1978). The effects of anticipation on performance and processing load in blind mobility. *Ergonomics*, *21*(5), 355–371.

Shingledecker, C. A. (1983). Measuring the mental effort of blind mobility. *Journal of Visual Impairment & Blindness*.

Siéroff, E. (1992). Introduction à l'attention sélective : définitions et propriétés. *Revue de Neuropsychologie*, *2*, 3‑27.

Smith, P. L., Ratcliff, R., & Wolfgang, B. J. (2004). Attention orienting and the time course of perceptual decisions: response time distributions with masked and unmasked displays. *Vision Research*, *44*, 1297‑1320.

Smith-Ray, R. L., Hughes, S. L., Prohaska, T. R., Little, D. M., Jurivich, D. A., & Hedeker, D. (2013). Impact of cognitive training on balance and gait in older adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, *70*(3), 357‑366. https://doi.org/10.1093/geronb/gbt097

Somberg, B. L., & Salthouse, T. A. (1982). Divided attention abilities in young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*(5), 651‑663. https://doi.org/10.1037/0096-1523.8.5.651

Souman, J. L., Frissen, I., Sreenivasa, M. N., & Ernst, M. O. (2008). Walking in circles: the role of visual information in navigation. In *31st European Conference on Visual Perception*.

Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental Set and Mental Shift Revisited. *The American Journal of Psychology*, *89*(4), 669. https://doi.org/10.2307/1421465

Staub, B., Doignon-Camus, N., Després, O., & Bonnefond, A. (2013). Sustained attention in the elderly: What do we know and what does it tell us about cognitive aging? *Ageing Research Reviews*, *12*(2), 459‑468. https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.12.001

Stelmack, J. (2001). Quality of life of low-vision patients and outcomes of low-vision rehabilitation. *Optometry and Vision Science*, *78*(5), 335‑342. https://doi.org/10.1097/00006324-200105000-00017

Stern, Y. (2013). Cognitive reserve: implications for assessment and intervention. *Folia Phoniatrica et Logopaedica*, *65*(2), 49–54.

Strelow, E. R. (1985). What is needed for a theory of mobility: Direct perception and cognitive maps—Lessons from the blind. *Psychological Review*, *92*, 226‑248.

Strelow, E. R., & Brabyn, J. A. (1982). Locomotion of the blind controlled by natural sound cues. *Perception*, *11*(6), 635–640.

Supa, M., Cotzin, M., & Dallenbach, K. M. (1944). « Facial Vision »: The Perception of Obstacles by the Blind. *The American Journal of Psychology*, *57*(2), 133–183.

Swanson, H. L., & Luxenberg, D. (2009). Short-term memory and working memory in children with blindness: support for a domain general or domain specific system? *Child Neuropsychology*, *15*, 280–294.

Swenor, B. K., Munoz, B., & West, S. K. (2013). A longitudinal study of the association between visual impairment and mobility performance in older adults: The Salisbury Eye Evaluation Study. *American Journal of Epidemiology*, *179*(3), 313‑322. https://doi.org/10.1093/aje/kwt257

Taillade, M., N'Kaoua, B., & Sauzéon, H. (2016). Age-related differences and cognitive correlates of self-reported and direct navigation performance: The effect of real and virtual test conditions manipulation. *Cognition*, 2034. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.02034

Teng, S., Puri, A., & Whitney, D. (2012). Ultrafine spatial acuity of blind expert human echolocators. *Experimental Brain Research*, *216*(4), 483‑488. https://doi.org/10.1007/s00221-011-2951-1

Thaler, L., Arnott, S. R., & Goodale, M. A. (2011). Neural correlates of natural human echolocation in early and late blind echolocation experts. *PLOS ONE*, *6*, 1‑16.

Thinus-Blanc, C., & Gaunet, F. (1997). Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? *Psychological Bulletin*, *121*(1), 20‑42.

Tinti, C., Adenzato, M., Tamietto, M., & Cornoldi, C. (2006). Visual experience is not necessary for efficient survey spatial cognition: Evidence from blindness. *The Quartely Journal of Experimental Psychology*, *59*, 1306‑1328.

Tournier, I., Dommes, A., & Cavallo, V. (2016). Review of safety and mobility issues among older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, *91*, 24–35.

Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *12*(4), 242–248.

Tsang, P. S., & Velazquez, V. L. (1996). Diagnosticity and multidimensional subjective workload ratings. *Ergonomics*, *39*(3), 358–381.

Turano, K. A., Geruschat, D. R., & Stahl, J. W. (1998). Mental effort required for walking: Effects of retinis pigmentosa. *Optometry and Vision Science*, *75*, 879‑886.

Turano, K. A., Massof, R. W., & Quigley, H. A. (2002). A self-assessment instrument designed for measuring independent mobility in RP patients: generalizability to glaucoma patients. *Investigative ophthalmology & visual science*, *43*(9), 2874–2881.

Tuttle, D. W., & Tuttle, N. R. (2004). *Self-esteem and Adjusting with Blindness: The Process of Responding to Life's Demands*. Illinois: Charles C Thomas Publisher.

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2015). *World Population Prospects: The 2015 Revision, Key Findings and Advance Tables* (No. ESA/P/WP.241) (p. 66 p).

Van der Linden, M., Beerten, A., & Pesenti, M. (1998). Age-related differences in random generation. *Brain and Cognition*, *38*(1), 1–16.

Van Velzen, J., Eardley, A. F., Forster, B., & Eimer, M. (2006). Shifts of attention in the early blind: An ERP study of attentional control processes in the absence of visual spatial information. *Neuropsychologia*, *44*, 2533‑2546.

Van Zomeren, A. H., & Brouwer, W. H. (1994). *Clinical neuropsychology of attention*. New York: Oxford University Press.

Vanlierde, A., & Wanet-Defalque, M.-C. (2004). Abilities and strategies of blind and sighted subjects in visuo-spatial imagery. *Acta Psychologica*, *116*, 205‑222.

Varma, R., Wu, J., Chong, K., Azen, S. P., & Hays, R. D. (2006). Impact of severity and bilaterality of visual impairment on health-related quality of life. *Ophthalmology*, *113*(10), 1846‑1853. https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2006.04.028

Vecchi, T., Monticellai, M. L., & Cornoldi, C. (1995). Visuo-spatial working memory: Structures and variables affecting a capacity measure. *Neuropsychologia*, *33*(11), 1549–1564.

Vecchi, T., Tinti, C., & Cornoldi, C. (2004). Spatial memory and integration processes in congenital blindness. *Neuroreport*, *15*(18), 2787–2790.

Verhaeghen, P., Marcoen, A., & Goossens, L. (1993). Facts and fiction about memory aging: a quantitative integration of research findings. *Journal of Gerontology*, *48*(4), P157-171.

Von Senden, M. (1960). *Space and sight: the perception of space and shape in the congenitally blind before and after operation*. Glencoe, IL: Free Press. Consulté à l'adresse http://psycnet.apa.org/psycinfo/1960-35029-000

Voss, P., Lassonde, M., Gougoux, F., Fortin, M., Guillemot, J.-P., & Lepore, F. (2004). Early- and late-onset blind individuals show supra-normal auditory abilities in far-space. *Current Biology*, *14*, 1734–1738.

Vuillerme, N., Nougier, V., & Camicioli, R. (2002). Veering in human locomotion: modulatory effect of attention. *Neuroscience Letters*, *331*(3), 175‑178. https://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00876-5

Wahl, H.-W., & Heyl, V. (2003). Connections between vision, hearing, and cognitive function in old age. *Generations*, *27*, 39‑45.

Wang, J. J., Mitchell, P., & Smith, W. (2000). Vision and low self-rated health: the Blue Mountains Eye Study. *Investigative ophthalmology & visual science*, *41*(1), 49–54.

Warren, D. H. (1974). Early vs. late vision: The role of early vision in spatial reference systems. *New Outlook for the Blind*. Consulté à l'adresse http://psycnet.apa.org/psycinfo/1974-30532-001

Warren, D. H., & Kocon, J. A. (1974). Factors in the successful mobility of the blind: A review. *American Foundation for the Blind, Research Bulletin*. Consulté à l'adresse http://psycnet.apa.org/psycinfo/1975-21490-001

Wasylyshyn, C., Verhaeghen, P., & Sliwinski, M. J. (2011). Aging and task switching: a meta-analysis. *Psychology and Aging*, *26*(1), 15‑20. https://doi.org/10.1037/a0020912

Weaver, K. E., & Stevens, A. A. (2007). Attention and sensory interactions within the occipital cortex in the early blind: An fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *19*, 315‑330.

Wechler, D. (1981). *WAIS-R manual.* Cleveland: Psychological corporation ed.

Wechsler, D. (1939). *Wechsler Bellevue Intelligence Scale*. New York: Psychological Corporation.

Wechsler, D. (1955). *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale*. Consulté à l'adresse http://psycnet.apa.org/psycinfo/1955-07334-000

Wersényi, G., & Répás, J. (2012). The Influence of Acoustic Stimuli on « Walking Straight » Navigation by Blindfolded Human Subjects. *Acta Technica Jaurinensis*, *5*(1), 3–18.

West, S. K. (2013). Blindness and Visual Impairment: Global Perspective. In *Ophthalmology and the Ageing Society* (p. 13–17). Springer.

Whitmarsh, L. (2005). The benefits of guide dog ownership. *Visual Impairment Research*, *7*, 27‑42.

Withagen, A., Kappers, A. M. L., Vervloed, M. P. J., Knoors, H., & Verhoeven, L. (2013). Short term memory and working memory in blind versus sighted children. *Research in Developmental Disabilities*, *34*, 2161‑2172.

Wolbers, T., & Hegarty, M. (2010). What determines our navigational abilities? *Trends in Cognitive Sciences*, *14*(3), 138‑146. https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.001

World Health Organization. (1993). Study protocol for the World Health Organization project to develop a Quality of Life assessment instrument (WHOQOL). *Quality of life Research*, *2*(2), 153–159.

World Health Organization. (2015). World report on ageing and health. Consulté à l'adresse http://apps.who.int/iris/handle/10665/186463

Wuehr, M., Schniepp, R., Pradhan, C., Ilmberger, J., Strupp, M., Brandt, T., & Jahn, K. (2013). Differential effects of absent visual feedback control on gait variability during different locomotion speeds. *Experimental brain research*, *224*(2), 287–294.

Wycherley, B. R. J., & Nicklin, B. H. (1970). The heart rate of blind and sighted pedestrians on a town route. *Ergonomics*, *13*(2), 181‑192. https://doi.org/10.1080/00140137008931131

Zabihaylo, C., Couturier, J.-A., Termoz, N., & Prince, F. (2005). Analysing the postural and gait behaviour of a person with retinitis pigmentosa travelling with a guide dog. In *International Congress Series* (Vol. 1282, p. 767–771). Elsevier.

Zimmerman, P., & Fimm, B. (1994). *Tests d'évaluation de l'attention (TEA) : Manuel d'utilisation*. Würselen: Psychologische Testsysteme.

ANNEXES

Annexe 1. Effets de l'âge

Test	Variable	Groupe aveugle jeune (n = 42)	Groupe aveugle âgé (n = 21)	Valeur du test statistique	Significativité
Test d'attention sélective	Score (/40)	38,4 (1,8)	35,7 (4,6)	t(61) = 3,066	p = .003
	TR (ms)	700,0 (66,0)	771,4 (63,8)	t(61) = 4,212	p = .000
	HD	0,3 (1,2)	1,0 (1,2)	t(61) = 2,764	p = .005
	FA	1,0 (0,6)	1,4 (1,1)	t(61) =1.101	p = .138
Test d'attention soutenue[1]	Score (/120)	116,0 (4,9)	111,5 (14,2)	t(60) = 2,349	p = .035
	TR (ms)	702,0 (68,4)	761,6 (74,2)	t(60) = 3,305	p = .001
	HD	1,7 (1,7)	2,8 (3,4)	t(60) = 1.512	p = .068
	FA	1,0 (1,8)	2,0 (2,8)	t(60) = 1.793	p = .040
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	33,9 (6,9)	31,6 (6,4)	F(1, 61) = 5,426	p = .023
	TR tâche principale (ms) [1]	765,3 (72,9)	837,9 (76,0)	F(1, 61) = 17,970	p = .000
	Score tâche secondaire(/8)	7,1 (1,0)	7,2 (1,7)	t(61) = 472	p = .320
Test de N-back	Score en 0-back (/10)	10,0 (0,2)	10,0 (0,0)	F(1, 6) = 10,219	p = .002
	Score en 1-back (/10)	9,9 (0,4)	9,8 (0,4)		
	Score en 2-back (/10)	8,8 (1,8)	6,7 (2,8)		
	Score en 3-back (/10)	5,3 (1,8)	4,3 (1,8)		
	TR en 0-back (ms)	544,5 (77,7)	617,1 (89,9)	F(1, 61) = 6,526	p = .013
	TR en 1-back (ms) [1]	598,1 (88,1)	670,1 (92,1)		
	TR en 2-back (ms)	741,7 (141,4)	863,8 (273,6)		
	TR en 3-back (ms)	919,7 (214,5)	982,4 (252,2)		
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	6,8 (1,7)	6,2 (1,4)	F(1, 61) = 3.693	p = .059
	Empan envers	5,7 (1,3)	5,0 (1,5)		
	Note brute	18,8 (4,8)	16,6 (4,6)	t(61) =1,783	p = .040
	Note standard âge	14,10 (3,3)	13,2 (3,7)	t(61) =0.939	p = .175
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité		8.2 (11.9)	7,5 (9,9)	t(61) =0,220	p = .431
Tâche de Hayling	Score (/15)	10,8 (2,4)	9,7 (3,1)	t(61) =1.581	p = .059
	Temps total non corrigé (s)	65,0 (27,9)	63,8 (25,1)	t(61) = 0.233	p = .048
	Temps total corrigé (s)	167,3 (64,2)	203,0 (83,2)	t(61) =1,893	p = .032
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		108.1 (16.2)	106,2 (13,8)	t(61) =0,453	p = .326
Tâche de temps de réponse simple (ms)[1]		295.3 (78.9)	361,1 (55,2)	t(60) = 3,418	p = .001

1 : 41 participants jeunes et 21 participants âgés

Annexe 2. Effets du sexe

Test	Variable	Femmes (n = 34)	Hommes (n = 29)	Valeur du test statistique	Significativité
Test d'attention sélective	Score (/40)	37,9 (2,4)	37,0 (3,5)	t(61) = 1,165	p = .249
	TR (ms)	711,5 (73,2)	738,2 (67,8)	t(61) = 1,488	p = .142
	HD	0,5 (0,9)	0,5 (0,9)	t(61) = 0,231	p = .818
	FA	1,3 (1,4)	1,0 (0,9)	t(61) = 1,112	p = .271
Test d'attention soutenue[1]	Score (/120)	115,5 (4,9)	113,2 (9,5)	t(60) = 1,226	p = .254
	TR (ms)	714,6 (70,1)	731,5 (75,3)	t(60) = 0,917	p = .367
	HD	1,1 (1,8)	1,6 (3,0)	t(60) = 0,776	p = .463
	FA	1,9 (2,4)	2,3 (2,1)	t(60) = 0,591	p = .551
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	34,1 (4,6)	32,1 (8,0)	F(1, 61) = 1,789	p = .186
	TR tâche principale (ms) [1]	781,3 (78,4)	800,3 (78,0)	F(1, 61) = 1,609	p = .209
	Score tâche secondaire(/8)	7,2 (1,1)	7,1 (1,5)	t(61)= 0.130	p = .899
Test de N-back	Score en 0-back (/10)	10,0 (0,2)	10,0 (0,0)	F(1, 61) = 1,638	p = .206
	Score en 1-back (/10)	9,8 (0,5)	9,8 (0,4)		
	Score en 2-back (/10)	8,3 (2,4)	7,8 (2,4)		
	Score en 3-back (/10)	5,3 (1,8)	4,5 (1,8)		
	TR en 0-back (ms)	570,1 (90,7)	568,3 (77,8)	F(1, 61) = 0,209	p = .649
	TR en 1-back (ms)[2]	634,4 (88,5)	615,7 (105,5)		
	TR en 2-back (ms)	761,6 (176,6)	823,4 (239,1)		
	TR en 3-back (ms) [1]	958,4 (254,8)	907,7 (197,4)		
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	6,7 (1,6)	6,5 (1,5)	t(61) = 0,466	p = .643
	Empan envers	5,4 (1,3)	5,5 (1,6)	t(61) = 0,194	p = .847
	Note brute	18,4 (4,8)	17,7 (4,9)	t(61) = 0,641	p = .524
	Note standard âge	14,0 (3,3)	13,6 (3,6)	t(61) = 0,403	p = .688
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité[1]		10,0 (10,9)	5,5 (11,4)	t(60) = 1,556	p = .125
Tâche de Hayling	Score (/15)	10,9 (2,6)	9,9 (2,7)	t(61) = 1,559	p = .124
	Temps total non corrigé (s)	63,1 (27,7)	66,0 (26,4)	t(61) = 0,429	p = .669
	Temps total corrigé (s)	168,9 (70,8)	191,2 (72,9)	t(61) = 1,231	p = .223
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		107,9 (15,1)	107,0 (16,1)	t(61) = 0,226	p = .822
Tâche de temps de réponse simple (ms)[2]		329,0 (80,3)	304,6 (74,3)	t(60) = 1,238	p = .221

1 : 28 hommes et 34 femmes. 2 : 29 hommes et 33 femmes

Annexe 3. Effets de l'emploi

Test	Variable	En activité (n =21)	Ne travaille pas (n = 21)	Valeur du test statistique	Significativité
Test d'attention sélective	Score (/40)	38,2 (2,1)	38,7 (1,6)	t(40) = 0,831	p = .411
	TR (ms)	705,6 (69,8)	694,4 (63,2)	t(40) = 0,546	p = .588
	HD	0,4 (0,8)	0,1 (0,4)	t(40) = 1,477	p = .151
	FA	0,8 (0,9)	1,2 (1,5)	t(40) = 1,143	p = .260
Test d'attention soutenue[1]	Score (/120)	116,1 (5,0)	115,8 (4,8)	t(39) = 0,189	p = .851
	TR (ms)	702,4 (73,6)	701,7 (64,9)	t(39) = 0,035	p = .972
	HD	0,9 (1,8)	1,1 (1,6)	t(39) = 0,451	p = .655
	FA	1,4 (1,9)	2,0 (1,6)	t(39) = 1,074	p = .290
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	32,7 (8,8)	35,1 (4,0)	F(1, 40) = 1.465	p = .233
	TR tâche principale (ms) [1]	766,1 (78,9)	764,5 (68,7)	F(1, 40) = 0,082	p = .776
	Score tâche secondaire(/8)	7,0 (0,9)	7,1 (1,1)	t(40) = 0,439	p = .663
Test de N-back	Score en 0-back (/10)	10,0 (0,0)	10,0 (0,2)	F(1, 40) = 0,034	p = .854
	Score en 1-back (/10)	9,9 (0,3)	9,8 (0,5)		
	Score en 2-back (/10)	8,9 (1,4)	8,7 (2,2)		
	Score en 3-back (/10)	5,2 (1,4)	5,4 (2,1)		
	TR en 0-back (ms)	546,1 (75,5)	539,6 (81,5)	F(1, 40) = 0,443	p = .509
	TR en 1-back (ms) [1]	593,7 (79,3)	602,2 (97,5)		
	TR en 2-back (ms)	734,3 (123,6)	746,7 (160,1)		
	TR en 3-back (ms)	865,6 (203,1)	960,8 (219,7)		
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	7,1 (1,5)	6,6 (1,8)	t(40) = 0,823	p = .415
	Empan envers	5,7 (1,3)	5,7 (1,4)	t(40) = 0,116	p = .908
	Note brute	19,7 (4,3)	18,0 (5,2)	t(40) = 1,203	p = .236
	Note standard âge	14,7 (3,0)	13,5 (3,5)	t(40) = 1,230	p = .226
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité		6,0 (9,5)	10,4 (13,8)	t(40) = 1,208	p = .234
Tâche de Hayling	Score (/15)	10,7 (2,8)	11,0 (2,1)	t(40) = 0,315	p = .754
	Temps total non corrigé (s)	73,0 (30,6)	57,0 (23,0)	t(40) = 1,912	p = .063
	Temps total corrigé (s)	173,3 (66,0)	161,3 (63,5)	t(40) = 0,601	p = .551
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		106,4 (13,7)	109,7 (18,5)	t(40) = 0,653	p = .518
Tâche de temps de réponse simple (ms) [1]		302,2 (83,2)	288,7 (75,9)	t(39) = 0,541	p = .592

1 : 21 sans emploi et 20 avec emploi

Annexe 4. Effets de l'âge d'acquisition cécité

Test	Variable	Aveugles précoces (n = 21)	Aveugles tardifs (n = 21)	Valeur du test statistique	Significativité
Test d'attention sélective	Score (/40)	38,8 (1,3)	38,1 (2,3)	t(40) = 1,348	p = .185
	TR (ms)	696,6 (66,4)	703,4 (67,1)	t(40) = 0,330	p = .743
	HD	0,2 (0,5)	0,3 (0,7)	t(40) = 0,481	p = .633
	FA	0,7 (0,9)	1,4 (1,4)	t(40) = 1,963	p = .057
Test d'attention soutenue[1]	Score (/120)	116,4 (4,7)	115,6 (5,0)	t(39) = 0,509	p = .613
	TR (ms)	696,0 (67,9)	707,8 (70,0)	t(39) = 0,550	p = .586
	HD	0,9 (1,9)	1,1 (1,6)	t(39) = 0,451	p = .655
	FA	1,6 (1,5)	1,8 (2,1)	t(39) = 0,370	p = .713
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	33,4 (8,7)	34,5 (4,3)	F(1, 40) = 0,019	p = .892
	TR tâche principale (ms) [1]	758,7 (62,4)	771,6 (82,7)	F(1, 40) = 0,042	p = .623
	Score tâche secondaire(/8)	7,0 (1,1)	7,1 (1,0)	t(40) = 0.438	p = .663
Test de N-back	Score en 0-back (/10)	10,0 (0,0)	10,0 (0,2)	F(1, 40) = 0,137	p = .714
	Score en 1-back (/10)	10,0 (0,2)	9,8 (0,5)		
	Score en 2-back (/10)	8,8 (1,7)	8,8 (1,9)		
	Score en 3-back (/10)	5,3 (1,7)	5,2 (1,9)		
	TR en 0-back (ms)	538,4 (77,1)	547,3 (79,8)	F(1, 40) =1,314	p = .259
	TR en 1-back (ms)[2]	575,5 (74,3)	621,9 (96,8)		
	TR en 2-back (ms)	711,2 (126,3)	769,7 (152,4)		
	TR en 3-back (ms)	901,7 (184,3)	924,7 (245,1)		
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	7,5 (1,5)	6,2 (1,6)	t(40) = 2,655	p = .011
	Empan envers	6,2 (1,4)	5,1 (1,0)	t(40) = 2,938	p = .006
	Note brute	21,1 (4,6)	16,5 (0,8)	t(40) = 3,553	p = .001
	Note standard âge	15,7 (3,1)	12,5 (2,7)	t(40) = 3,504	p = .001
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité		8,0 (10,5)	8,3 (3,4)	t(40) = 0,071	p = .944
Tâche de Hayling	Score (/15)	11,7 (1,8)	10,0 (2,7)	t(40) = 2,353	p = .024
	Temps total non corrigé (s)	66,4 (27,2)	63,5 (29,1)	t(40) = 0,334	p = .740
	Temps total corrigé (s)	150,7 (55,5)	183,9 (69,2)	t(40) = 1,715	p = .094
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		110,3 (15,8)	105,9 (16,7)	t(40) = 0,884	p = .382
Tâche de temps de réponse simple (ms)[2]		299,8 (74,6)	290,5 (84,8)	t(39) = 0,374	p = .711

1 : 20 AP et 21 AT. 2 : 21 AP et 20 AT

Annexe 5. Effets de la présence de résidus visuels

Test	Variable	résidus (n = 30)	Pas de résidus (n = 33)	Valeur du test statistique	Significativité
Test d'attention sélective	Score (/40)	37,5 (3,1)	37,5 (2,9)	t(61) = 0,064	p = .949
	TR (ms)	729,3 (75,7)	718,8 (68,2)	t(61) = 0,576	p = .567
	HD	0,6 (0,9)	0,5 (0,8)	t(61) = 0,654	p = .515
	FA	1,0 (1,1)	1,3 (1,3)	t(61) = 0,887	p = .378
Test d'attention soutenue[1]	Score (/120)	114,1 (8,6)	114,7 (6,1)	t(60) = 0,331	p = .742
	TR (ms)	721,5 (77,3)	722,9 (69,0)	t(60) = 0,076	p = .939
	HD	1,2 (2,3)	1,4 (2,6)	t(60) = 0,300	p = .765
	FA	1,8 (1,8)	2,3 (2,5)	t(60) = 0,896	p = .374
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	32,7 (8,0)	33,6 (4,6)	F(1, 61) = 0,173	p = .679
	TR tâche principale (ms) [1]	791,7 (83,5)	788,3 (74,4)	F(1, 61) = 0,148	p = .702
	Score tâche secondaire(/8)	6,8 (1,7)	7,4 (0,7)	t(61) = 1,660	p = .105
Test de N-back	Score en 0-back (/10)	10,0 (0,0)	10,0 (0,2)	F(1, 61) = 0,429	p = .515
	Score en 1-back (/10)	9,8 (0,5)	9,9 (0,3)		
	Score en 2-back (/10)	8,4 (2,0)	7,8 (2,8)		
	Score en 3-back (/10)	5,0 (2,0)	4,9 (1,8)		
	TR en 0-back (ms)	554,9 (93,4)	582,4 (74,2)	F(1, 61) = 0,827	p = .367
	TR en 1-back (ms)[2]	627,8 (108,0)	623,6 (85,9)		
	TR en 2-back (ms)	791,2 (235,9)	788,9 (183,3)		
	TR en 3-back (ms)[1]	912,2 (261,8)	956,0 (200,4)		
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	6,7 (1,3)	6,6 (1,8)	t(61) = 0,225	p = .823
	Empan envers	5,5 (1,5)	5,4 (1,4)	t(61) = 0,291	p = .772
	Note brute	18,3 (4,6)	17,9 (5,1)	t(61) = 0,395	p = .694
	Note standard âge	13,9 (3,3)	13,7 (3,6)	t(61) = 0,273	p = .786
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité[2]		9,0 (11,3)	7,0 (11,3)	t(60) = 0,701	p = .486
Tâche de Hayling	Score (/15)	10,5 (2,3)	10,4 (3,0)	t(61) = 0,111	p = .912
	Temps total non corrigé (s)	59,7 (22,8)	68,7 (30,0)	t(61) = 1,333	p = .188
	Temps total corrigé (s)	179,0 (69,9)	179,3 (75,1)	t(61) = 0,016	p = .987
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		107,6 (15,7)	107,3 (15,4)	t(61) = 0,076	p = .940
Tâche de temps de réponse simple (ms)[2]		317,2 (69,0)	317,9 (86,6)	t(60) = 0,035	p = .972

1 : 29 avec résidus et 33 sans. 2 : 30 avec résidus et 32 sans

Annexe 6. Effets de l'aide à la mobilité

Test	Variable	canne (n = 44)	Chien (n = 19)	Valeur du test statistique	Significativité
Test d'attention sélective	Score (/40)	37,3 (3,3)	38,0 (2,0)	t(61) = 0,764	p = .448
	TR (ms)	726,9 (70,2)	716,7 (75,9)	t(61) = 0,514	p = .609
	HD	0,6 (0,9)	0,4 (0,7)	t(61) = 0,923	p = .360
	FA	1,0 (1,0)	1,4 (1,7)	t(61) = 0,787	p = .439
Test d'attention soutenue[1]	Score (/120)	114,3 (8,2)	114,7 (5,3)	t(60) = 0,176	p = .861
	TR (ms)	724,6 (75,3)	716,8 (67,0)	t(60) = 0,389	p = .699
	HD	1,3 (2,6)	1,3 (2,1)	t(60) = 0,020	p = .984
	FA	2,1 (2,5)	1,9 (1,6)	t(60) = 0,395	p = .694
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	33,0 (7,2)	33,5 (4,2)	F(1, 61) = 0,215	p = .645
	TR tâche principale (ms)[1]	788,3 (81,6)	793,4 (71,8)	F(1, 61) = 0,017	p = .896
	Score tâche secondaire(/8)	7,1 (1,4)	7,3 (1,2)	t(61) =0,538	p = .593
Test de N-back	Score en 0-back (/10)	10,0 (0,0)	10,0 (0,2)	F(1, 60) = 0,329	p = .568
	Score en 1-back (/10)	9,8 (0,4)	9,8 (0,5)		
	Score en 2-back (/10)	8,2 (2,2)	7,8 (2,9)		
	Score en 3-back (/10)	5,0 (1,7)	4,8 (2,2)		
	TR en 0-back (ms)	564,5 (88,0)	580,4 (76,2)	F(1, 60) =0,270	p = .606
	TR en 1-back (ms)[1]	615,9 (97,1)	647,7 (93,7)		
	TR en 2-back (ms)	802,4 (218,7)	761,3 (184,0)		
	TR en 3-back (ms)[2]	939,2 (228,5)	926,4 (240,8)		
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	6,9 (1,6)	6,1 (1,4)	t(61) = 1,896	p = .063
	Empan envers	5,6 (1,5)	5,1 (1,1)	t(61) = 1,652	p = .105
	Note brute	18,8 (4,9)	16,3 (4,3)	t(61) = 1,947	p = .056
	Note standard âge	14,4 (3,3)	12,4 (3,3)	t(61) = 2,276	p = .026
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité[1]		7,1 (11,2)	10,0 (11,3)	t(60) = 0,935	p = .353
Tâche de Hayling	Score (/15)	10,6 (2,7)	10,1 (2,8)	t(61) = 0,688	p = .494
	Temps total non corrigé (s)	62,8 (27,0)	68,1 (27,1)	t(61) = 0,712	p = .479
	Temps total corrigé (s)	170,6 (67,2)	199,2 (80,7)	t(61) = 1,458	p = .150
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		110,1 (15,1)	101,3 (14,8)	t(61) = 2,130	p = .037
Tâche de temps de réponse simple (ms)[1]		317,8 (81,7)	317,2 (70,7)	t(60) = 0,026	p = .980

1 : 19 avec un chien et 43 utilisant une canne. 2 : 18 avec un chien et 44 utilisant une canne

Annexe 7. Effets de l'aisance de déplacement

Test	Variable	Aisance inf. (n = 13)	Aisance sup. (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
Test d'attention sélective	Score (/40)	38,5 (1,2)	38,4 (2,5)	t(24) = 0,100	p = .921
	TR (ms)	714,7 (41,3)	659,5 (59,3)	t(24) = 2,755	**p = .011**
	HD	0,2 (0,4)	0,5 (0,9)	t(24) = 1,163	p = .256
	FA	1,0 (1,1)	0,8 (0,9)	t(24) = 0,585	p = .564
Test d'attention soutenue[1]	Score (/120)	115,0 (4,5)	118,5 (2,0)	t(23) = 2,468	**p = .026**
	TR (ms)	729,1 (39,4)	648,6 (51,8)	t(23) = 4,350	**p = .000**
	HD	1,6 (2,4)	0,3 (0,9)	t(23) = 1,723	p = .108
	FA	1,7 (1,8)	2,1 (2,2)	t(23) = 0,508	p = .616
Test d'attention divisée	Score tâche principale(/40)	31,6 (10,1)	36,0 (4,3)	F(1, 24) =1,500	p = .233
	TR tâche principale (ms)[1]	774,7 (53,5)	725,2 (72,3)	F(1, 24) = 5,647	**p = .026**
	Score tâche secondaire(/8)	7,2 (0,8)	6,8 (1,1)	t(24) = 1.024	p = .189
Test de N-back	Score en 0-back (/10)	9,9 (0,3)	10,0 (0,0)	(F1, 24) = 1,617	p = .216
	Score en 1-back (/10)	9,8 (0,4)	9,9 (0,6)		
	Score en 2-back (/10)	8,4 (2,3)	9,3 (0,8)		
	Score en 3-back (/10)	5,0 (1,5)	5,5 (2,1)		
	TR en 0-back (ms)	569,3 (57,0)	481,9 (43,6)	(F1, 24) = 9,821	**p = .005**
	TR en 1-back (ms)[2]	615,0 (59,0)	548,3 (66,8)		
	TR en 2-back (ms)	753,4 (121,4)	653,0 (82,6)		
	TR en 3-back (ms)	950,1 (177,3)	777,1 (231,3)		
Sous-test Mémoire des chiffres	Empan endroit	6,9 (1,8)	7,3 (1,5)	t(24) = 0,593	p = .559
	Empan envers	5,5 (1,3)	5,7 (1,3)	t(24) = 0,312	p = .758
	Note brute	18,6 (4,4)	19,9 (4,1)	t(24) = 0,777	p = .445
	Note standard âge	14,1 (3,2)	14,9 (2,7)	t(24) = 0,662	p = .514
Tâche du plus minus : Coût de flexibilité		8, (15,9)	5,4 (5,6)	t(24) = 0,567	p = .579
Tâche de Hayling	Score (/15)	10,5 (3,0)	10,9 (2,5)	t(24) = 0,350	p = .729
	Temps total non corrigé (s)	76,5 (35,3)	58,5 (19,3)	t(24) = 1,615	p = .119
	Temps total corrigé (s)	170,9 (72,3)	163,5 (69,3)	t(24) = 0,266	p = .793
Score à l'échelle verbale de la WAIS-R		103,3 (17,9)	114,1 (14,1)	t(24) = 1,709	p = .100
Tâche de temps de réponse simple (ms)[2]		301,5 (92,0)	254,2 (46,7)	t(23) = 1,643	p = .118

1 : 12 avec aisance supérieure et avec aisance inférieure. 2 : 13 avec une aisance supérieure et 12 avec une aisance inférieure

Annexe 8. Effets de l'âge

Variable dépendante	Groupe 60 – (n = 16)	Groupe 60 + (n = 9)	Valeur du test statistique	Significativité
Durée essai STSO	44,9 (11,7)	42,8 (7,9)	*t*(23) = 0,481	*p* = .635
Durée essai DT1SO	47,6 (15,6)	41,9 (6,9)	*t*(23) = 0,991	*p* = .333
Durée essai DT2SO	45,7 (11,2)	46,0 (11,6)	*U* = 70,0	*p* = .934
Durée essai DT1AO	56,9 (18,2)	52,6 (10,7)	*U* = 60,0	*p* = .834
Durée essais DT2AO	57,2 (17,0)	57,1 (17,2)	*U* = 68,0	*p* = .846
Arrêt STSO	0,2 (0,6)	0,0 (0,1)	*U* = 65,5	*p* = .718
Arrêt DT1SO	0,6 (1,6)	0,0 (0,1)	*U* = 55,0	*p* = .357
Arrêt DT2SO	0,2 (0,5)	0,9 (2,5)	*U* = 68,5	*p* = .846
Arrêt DT1AO	1,7 (1,7)	1,8 (2,2)	*U* = 65,0	*p* = .718
Arrêt DT2AO	0,8 (0,6)	1,5 (2,0)	*U* = 39,5	*p* = .890
IMP STSO	99,6 (1,0)	99,9 (0,4)	*U* = 65,0	*p* = .718
IMP DT1SO	99,1 (2,0)	99,9 (0,4)	*U* = 56,0	*p* = .388
IMP DT2SO	99,5 (1,3)	98,5 (4,0)	*U* = 68,5	*p* = .846
IMP DT1AO	97,2 (2,5)	96,4 (4,3)	*U* = 71,0	*p* = .978
IMP DT2AO	98,5 (1,0)	97,5 (3,2)	*U* = 69,0	*p* = .790
Vitesse STSO[1]	0,85 (0,22)	0,94 (0,16)	*t*(16) = 1,014	*p* = .326
Vitesse DT1SO[1]	0,85 (0,23)	0,93 (0,20)	*U* = 34,0	*p* = .633
Vitesse DT2SO[1]	0,84 (0,21)	0,90 (0,20)	*U* = 36,0	*p* = .762
Vitesse DT1AO [1]	0,74 (0,21)	0,85 (0,15)	*t*(16) =1,300	*p* = .212
Vitesse DT2AO [1]	0,73 (0,17)	0,80 (0,18)	*U* = 30,0	*p* = .408
fréquence STSO[1]	94,7 (10,3)	97,7 (6,3)	*U* = 33,0	*p* = .573
fréquence DT1SO[1]	95,0 (11,9)	97,0 (8,0)	*U* = 35,0	*p* = .696
fréquence DT2SO[1]	95,1 (12,2)	96,9 (9,3)	*U* = 35,0	*p* = .696
fréquence DT1AO[1]	91,1 (12,6)	93,6 (5,2)	*t*(16) = 0,511	*p* = .616
fréquence DT2AO[1]	92,4 (12,7)	92,4 (7,4)	*t*(16) = 0,001	*p* = .999
Longueur STSO[1]	0,53 (0,11)	0,58 (0,10)	*U* = 28,0	*p* = .315
Longueur DT1SO[1]	0,53 (0,12)	0,57 (0,10)	*U* = 33,0	*p* = .573
Longueur DT2SO[1]	0,53 (0,10)	0,56 (0,10)	*U* = 33,0	*p* = .573
Longueur DT1AO[1]	0,48 (0,10)	0,54 (0,09)	*t*(16) = 1,491	*p* = .155
Longueur DT2AO[1]	0,47 (0,08)	0,51 (0,08)	*t*(16) = 1,161	*p* = .263
Vitesse DT1AO hors obst.[1]	0,79 (0,23)	0,92 (0,18)	*t*(16) = 1,308	*p* = .209
Vitesse DT2AO hors obst. [1]	0,77 (0,18)	0,86 (0,19)	*t*(16) = 1,017	*p* = .324
Vitesse DT1AO obst[1]	0,59 (0,17)	0,69 (0,13)	*t*(16) = 1,420	*p* = .175

Vitesse DT2AO obst[1]	0,59 (0,15)	0,66 (0,18)	*t*(16) = 0,805	*p* = .433
Indice dev. STSO	3,0 (0,5)	3,1 (0,7)	*t*(23) = 0,580	*p* = .567
Indice dev. DT1SO	2,7 (0,7)	3,1 (0,5)	*U* = 55,0	*p* = .357
Indice dev. DT2SO	3,1 (0,8)	3,3 (0,6)	*t*(23) = 0,795	*p* = .435
Dev. arriv. STSO	1,2 (0,9)	1,1 (0,3)	*U* = 68,5	*p* = .846
Dev. arriv. DT1SO	1,1 (1,0)	1,3 (0,7)	*U* = 58,0	*p* = .452
Dev. arriv. DT2SO	1,4 (0,8)	0,8 (0,7)	*U* = 40,0	*p* = .074
Dev. arriv. DT1AO	1,3 (0,9)	0,4 (0,5)	*U* = 65,5	*p* = .037
Dev. arriv. DT2AO	1,4 (1,0)	1,2 (0,4)	*U* = 60,5	*p* = .522
Indice gestion obst. DT1AO	4,7 (0,5)	4,8 (0,3)	*U* = 64,5	*p* = .677
Indice gestion obst. DT2AO	4,7 (0,6)	4,7 (0,5)	*U* = 68,5	*p* = .846
TR DT1 tâche simple	430,2 (74,8)	467,0 (48,5)	*U* = 34,0	*p* = .032
TR DT2 tâche simple	589,3 (102,5)	649,6 (71,6)	*U* = 35,0	*p* = .037
TR DT1SO	565,4 (142,5)	671,7 (161,0)	*U* = 41,0	*p* = .084
TR DT2SO	651,0 (146,7)	792,0 (253,9)	*U* = 39,0	*p* = .278
TR DT1AO	656,1 (164,4)	707,5 (166,1)	*U* = 53,0	*p* = .301
TR DT2AO	748,8 (173,4)	805,6 (143,2)	*U* = 43,0	*p* = .214
Pourcent. RC tâc. simpl.	98,7 (2,7)	99,4 (1,3)	*U* = 64,0	*p* = .677
Pourcent. RC tâc. simpl.	97,5 (3,9)	97,2 (2,6)	*U* = 59,0	*p* = .487
Pourcent. RC DT1SO	97,3 (4,3)	96,0 (9,8)	*U* = 64,0	*p* = .677
Pourcent. RC DT2SO	94,3 (7,3)	92,0 (14,9)	*U* = 56,0	*p* = .653
Pourcent. RC DT1AO	94,6 (7,9)	94,7 (7,2)	*U* = 71,0	*p* = .978
Pourcent. RC DT2AO	94,8 (4,8)	91,3 (6,2)	*U* = 43,5	*p* = .214
TR DT1AO hors obst.	582,4 (147,9)	649,5 (110,7)	*U* = 30,0	*p* = .056
TR DT2AO hors obst.	716,8 (187,0)	723,8 (66,8)	*U* = 38,0	*p* = .249
TR DT1AO obst	818,3 (372,0)	864,0 (253,1)	*U* = 43,0	*p* = .294
TR DT2AO obst	810,3 (195,1)	992,5 (297,9)	*U* = 37,0	*p* = .222
Pourcent. RC DT1AO hors obst.	96,9 (6,2)	96,9 (6,3)	*U* = 66,5	*p* = .953
Pourcent. RC DT2AO hors obst.	95,8 (5,8)	93,3 (4,9)	*U* = 49,5	*p* = .383
Pourcent. RC DT1AO obst	95,1 (8,0)	90,9 (9,9)	*U* = 51,0	*p* = .347
Pourcent. RC DT2AO obst	91,4 (12,8)	86,7 (17,9)	*U* = 56,0	*p* = .653
DTE durée essai DT1SO	-5,0 (10,6)	-1,8 (8,7)	*U* = 62,0	*p* = .598
DTE durée essai DT2SO	-1,2 (9,1)	-7,3 (16,5)	*t*(23) = 0,765	*p* = .246
DTE durée essai DT1AO	-26,1 (13,6)	-25,0 (22,0)	*t*(23) = 1,192	*p* = .871
DTE durée essai DT2AO	-27,2 (13,0)	-33,9 (26,6)	*t*(23) = 0,200	*p* = .871
DTE TR DT1SO	-31,4 (20,5)	-44,7 (35,6)	*t*(23) = 1,190	*p* = .246
DTE TR DT2SO	-10,7 (15,3)	-17,03 (29,4)	*t*(23) = 0,542	*p* = .603
DTE TR DT1AO	-53,3 (31,5)	-51,8 (33,6)	*U* = 70,0	*p* = .934

DTE TR DT2AO	-27,5 (21,6)	-23,3 (27,4)	*U* = 50,0	*p* = .417
DTE pourcent. DT1SO	-1,4 (4,5)	-3,4 (9,6)	*U* = 71,0	*p* = .978
DTE pourcent. DT2SO	-3,2 (6,8)	-5,8 (13,9)	*U* = 57,5	*p* = .697
DTE pourcent. DT1AO	-4,1 (6,8)	-4,7 (7,4)	*U* = 70,0	*p* = .934
DTE pourcent. DT2AO	-2,6 (4,9)	-6,3 (6,4)	*t*(23) = 1,572	*p* = .130
Moyenne éval. subj. STSO	1,3 (0,8)	0,9 (1,1)	*t*(23) = 1,009	*p* = .323
Moyenne éval. subj. DT1SO	1,6 (0,8)	1,4 (1,2)	*t*(23) = 0,355	*p* = .726
Moyenne éval. subj. DT2SO	1,8 (0,9)	1,3 (1,1)	*t*(23) = 1,098	*p* = .284
Moyenne éval. subj. DT1AO	1,9 (0,9)	1,7 (1,1)	*t*(23) = 0,515	*p* = .611
Moyenne éval. subj. DT2AO	2,1 (0,9)	1,7 (1,1)	*t*(23) = 0,852	*p* = .403

Annexe 9. Effets du sexe

Variable dépendante	Femmes (n = 8)	Hommes (n = 17)	Valeur du test statistique	Significativité
Durée essai STSO	59,6 (12,7)	41,6 (8,2)	*t*(23) = 1,900	*p* = .070
Durée essai DT1SO	53,2 (16,4)	42,0 (10,3)	*U* = 35,0	*p* = .081
Durée essai DT2SO	53,3 (15,5)	42,3 (10,5)	*U* = 34,0	*p* = .049
Durée essai DT1AO	66,1 (23,8)	51,1 (9,2)	*t*(23) = 1,613	*p* = .152
Durée essai DT2AO	67,5 (20,2)	52,3 (11,2)	*t*(23) = 1,993	*p* = .077
Arrêt STSO	0,3 (0,7)	0,1 (0,4)	*U* = 66,0	*p* = .932
Arrêt DT1SO	0,9 (2,2)	0,2 (0,3)	*U* = 63,0	*p* = .798
Arrêt DT2SO	1,1 (2,7)	0,2 (0,5)	*U* = 51,5	*p* = .344
Arrêt DT1AO	1,6 (2,0)	1,8 (1,8)	*U* = 58,0	*p* = .588
Arrêt DT2AO	1,7 (1,9)	0,8 (0,8)	*U* = 42,5	*p* = .140
IMP STSO	99,6 (1,0)	99,7 (0,7)	*U* = 66,0	*p* = .932
IMP DT1SO	98,7 (2,7)	99,6 (0,7)	*U* = 63,0	*p* = .798
IMP DT2SO	98,3 (4,2)	99,6 (1,3)	*U* = 51,5	*p* = .344
IMP DT1AO	98,1 (2,1)	96,4 (3,6)	*U* = 46,0	*p* = .215
IMP DT2AO	97,4 (3,0)	98,5 (1,5)	*U* = 56,5	*p* = .511
Vitesse STSO[1]	0,75 (0,17)	0,96 (0,19)	*t*(16) = 2,544	*p* = .022
Vitesse DT1SO[1]	0,75 (0,19)	0,95 (0,21)	*t*(16) = 1,931	*p* = .071
Vitesse DT2SO[1]	0,73 (0,15)	0,95 (0,19)	*t*(16) = 2,494	*p* = .024
Vitesse DT1AO [1]	0,64 (0,19)	0,86 (0,14)	*t*(16) = 2,759	*p* = .014
Vitesse DT2AO [1]	0,62 (0,15)	0,83 (0,15)	*t*(16) = 2,717	*p* = .015
fréquence STSO[1]	92,8 (8,2)	97,6 (8,7)	*t*(16) = 1,124	*p* = .278
fréquence DT1SO[1]	93,9 (8,45)	96,9 (11,0)	*t*(16) = 0,572	*p* = .576
fréquence DT2SO[1]	92,9 (10,8)	97,4 (10,8)	*t*(16) = 0,826	*p* = .421
fréquence DT1AO[1]	87,4 (10,3)	94,6 (9,1)	*t*(16) = 1,858	*p* = .152
fréquence DT2AO[1]	86,4 (5,2)	95,4 (11,2)	*U* = 16,0	*p* = .067
Longueur STSO[1]	0,47 (0,07)	0,59 (0,09)	*t*(16) = 2,663	*p* = .017
Longueur DT1SO[1]	0,47 (0,09)	0,58 (0,09)	*t*(16) = 2,403	*p* = .029
Longueur DT2SO[1]	0,46 (0,05)	0,58 (0,09)	*t*(16) = 3,096	*p* = .007
Longueur DT1AO[1]	0,43 (0,09)	0,54 (0,07)	*t*(16) = 3,044	*p* = .008
Longueur DT2AO[1]	0,42 (0,08)	0,52 ‘0,06)	*t*(16) = 2,778	*p* = .013
Vitesse DT1AO hors obst.[1]	0,68 (0,21)	0,92 (0,17)	*t*(16) = 2,653	*p* = .017
Vitesse DT2AO hors obst. [1]	0,67 (0,17)	0,88 (0,16)	*t*(16) = 2,590	*p* = .020
Vitesse DT1AO obst[1]	0,51 (0,15)	0,69 (0,12)	*t*(16) = 2,772	*p* = .014
Vitesse DT2AO obst[1]	0,50 (0,15)	0,68 (0,13)	*t*(16) = 2,760	*p* = .014
Indice dev. STSO	2,9 (0,4)	3,1 (0,6)	*t*(23) = 0,920	*p* = .367

Indice dev. DT1SO	2,8 (0,7)	2,9 (0,6)	*t*(23) = 0,418	*p* = .680
Indice dev. DT2SO	2,8 (0,7)	3,3 (0,7)	*t*(23) = 1,609	*p* = .121
Dev. arriv. STSO	1,3 (0,9)	1,1 (0,7)	*U* = 65,5	*p* = .887
Dev. arriv. DT1SO	1,4 (1,0)	1,1 (0,8)	*U* = 57,0	*p* = .549
Dev. arriv. DT2SO	1,3 (0,9)	1,1 (0,7)	*U* = 60,0	*p* = .669
Dev. arriv. DT1AO	1,3 (0,9)	0,8 (0,9)	*U* = 48,5	*p* = .262
Dev. arriv. DT2AO	1,3 (0,7)	1,4 (0,9)	*U* = 62,5	*p* = .754
Indice gestion obst. DT1AO	4,9 (0,3)	4,6 (0,5)	*U* = 45,5	*p* = .194
Indice gestion obst. DT2AO	5,0 (0,1)	4,6 (0,7)	*U* = 45,0	*p* = .194
TR DT1 tâche simple	482,0 (93,7)	425,3 (44,5)	*t*(23) = 1,629	*p* = .140
TR DT2 tâche simple	657,3 (113,3)	589,2 (80,8)	*t*(23) = 1,728	*p* = .097
TR DT1SO	679,6 (188,5)	568,0 (127,7)	*U* =39,0	*p* = .097
TR DT2SO	802,0 (199,8)	636,3 (165,5)	*U* = 22,0	*p* = .013
TR DT1AO	770,0 (224,2)	629,7 (106,6)	*U* = 43,0	*p* = .157
TR DT2AO	821,0 (179,6)	741,1 (153,2)	*U* = 44,0	*p* = .238
Pourcent. RC tâc. simpl.	99,5 (09)	98,6 (2,7)	*U* = 61,0	*p* = .711
Pourcent. RC tâc. simpl.	98,6 (2,4)	96,8 (3,7)	*U* = 42,5	*p* = .140
Pourcent. RC DT1SO	92,4 (10,1)	98,9 (2,5)	*U* = 36,0	*p* = .066
Pourcent. RC DT2SO	94,6 (12,7)	93,0 (9,0)	*U* = 49,5	*p* = .383
Pourcent. RC DT1AO	92,7 (6,2)	95,6 (8,0)	*U* = 44,0	*p* = .175
Pourcent. RC DT2AO	94,9 (4,8)	93,0 (5,8)	*t*(23) = 0,777	*p* = .445
TR DT1AO hors obst.	685,1 (164,7)	563,4 (103,0)	*t*(21) = 2,190	*p* = .040
TR DT2AO hors obst.	762,8 (165,9)	695,4 (155,1)	*U* = 41,0	*p* = .238
TR DT1AO obst	1000,2 (395,9)	745,6 (262,0)	*U* = 33,0	*p* = .087
TR DT2AO obst	912,9 (271,4)	840,6 (227,1)	*t*(21) =0,681	*p* = .504
Pourcent. RC DT1AO hors obst.	93,7 (7,9)	98,5 (4,5)	*U* = 39,5	*p* = .136
Pourcent. RC DT2AO hors obst.	94,8 (5,8)	95,0 (5,7)	*U* = 63,5	*p* = .976
Pourcent. RC DT1AO obst	90,4 (9,1)	95,0 (8,5)	*U* = 44,0	*p* = .238
Pourcent. RC DT2AO obst	94,7 (7,8)	87,4 (16,5)	*U* = 50,5	*p* = .417
DTE durée essai DT1SO	-6,5 (8,8)	-2,7 (10,3)	*t*(23) = 0,894	*p* = .380
DTE durée essai DT2SO	-7,7 (16,9)	-1,4 (9,4)	*t*(23) = 1,213	*p* = .237
DTE durée essai DT1AO	-28,9 (17,1)	-24,4 (16,4)	*t*(23) = 0,598	*p* = .556
DTE durée essai DT2AO	-36,3 (23,2)	-26,5 (16,2)	*t*(23) = 1,229	*p* = .232
DTE TR DT1SO	-23,9 (12,1)	-18,1 (17,0)	*t*(23) = 0,862	*p* = .398
DTE TR DT2SO	-14,5 (15,7)	-4,3 (12,1)	*t*(23) = 1,740	*p* = .097
DTE TR DT1AO	-40,4 (16,1)	-36,9 (19,1)	*U* = 54,0	*p* = .440
DTE TR DT2AO	-31,2 (14,7)	-27,0 (17,5)	*U* = 62,0	*p* = .928
DTE pourcent. DT1SO	-7,2 (9,8)	0,3 (2,4)	*U* = 25,5	*p* = .011

DTE pourcent. DT2SO	-4,3 (11,4)	-4,0 (8,8)	*U* = 64,0	*p* = 1.000
DTE pourcent. DT1AO	-6,9 (5,7)	-3,1 (7,1)	*U* = 39,0	*p* = .097
DTE pourcent. DT2AO	-3,7 (5,3)	-3,9 (5,9)	*t*(23) = 0,080	*p* = .937
Moyenne éval. subj. STSO	1,1 (1,3)	1,2 (0,8)	*t*(23) = 0,236	*p* = .816
Moyenne éval. subj. DT1SO	1,4 (1,3)	1,5 (0,8)	*t*(23) = 0,166	*p* = .871
Moyenne éval. subj. DT2SO	1,5 (1,4)	1,7 (0,8)	*t*(23) = 0,509	*p* = .622
Moyenne éval. subj. DT1AO	1,7 (1,3)	1,9 (0,9)	*t*(23) = 0,471	*p* = .642
Moyenne éval. subj. DT2AO	1,9 (1,2)	2,0 (0,8)	*t*(23) = 0,307	*p* = .801

Annexe 10. Effets de l'âge de l'acquisition de la cécité

Variable dépendante	Participants aveugles précoces (n = 8)	Participants aveugles tardifs (n = 8)	Valeur du test statistique	Significativité
Durée essai STSO	41,6 (9,7)	48,2 (13,1)	*t*(14) = 1,140	*p* = .273
Durée essai DT1SO	43,4 (13,6)	51,9 (17,1)	*t*(14) = 0,926	*p* = .292
Durée essai DT2SO	41,7 (11,5)	49,7 (16,2)	*t*(14) = 1,095	*p* = .272
Durée essai DT1AO	52,9 (16,0)	60,9 (20,4)	*U* = 25,0	*p* = .505
Durée essai DT2AO	54,2 (13,8)	60,1 (20,3)	*t*(14) = 0,883	*p* = .509
Arrêt STSO	0,0 (0,1)	0,4 (0,8)	*U* = 27,0	*p* = .645
Arrêt DT1SO	0,0 (0,0)	1,2 (2,1)	*U* = 17,0	*p* = .060
Arrêt DT2SO	0,3 (0,7)	0,1 (2,1)	*U* = 29,0	*p* = .798
Arrêt DT1AO	1,7 (1,9)	1,7 (1,6)	*U* = 28,5	*p* = .721
Arrêt DT2AO	0,8 (0,4)	0,9 (0,8)	*t*(14) = 0,208	*p* = .839
IMP STSO	99,9 (0,4)	99,3 (1,3)	*U* = 27,0	*p* = .645
IMP DT1SO	100,0 (0,0)	98,1 (2,5)	*U* = 17,0	*p* = .060
IMP DT2SO	99,4 (1,8)	99,7 (0,5)	*U* = 29,0	*p* = .798
IMP DT1AO	97,0 (3,3)	97,4 (1,6)	*U* = 30,0	*p* = .878
IMP DT2AO	98,4 (0,9)	98,6 (1,2)	*t*(14) = 0,350	*p* = .732
Vitesse STSO[1]	0,91 (0,26)	0,80 (0,21)	*t*(8) = 0,723	*p* = .490
Vitesse DT1SO[1]	0,95 (0,25)	0,78 (0,22)	*t*(8) = 1,088	*p* = .308
Vitesse DT2SO[1]	0,94 (0,25)	0,78 (0,20)	*t*(8) = 1,230	*p* = .254
Vitesse DT1AO [1]	0,82 (0,24)	0,68 (0,19)	*U* = 6,0	*p* = .257
Vitesse DT2AO [1]	0,77 (0,20)	0,70 (0,17)	*t*(8) = 0,620	*p* = .553
fréquence STSO[1]	96,4 (12,0)	93,6 (9,9)	*t*(8) = 0,410	*p* = .692
fréquence DT1SO[1]	96,8 (14,3)	93,9 (11,3)	*t*(8) = 0,358	*p* = .730
fréquence DT2SO[1]	98,4 (14,0)	93,0 (11,7)	*t*(8) = 0,656	*p* = .530
fréquence DT1AO[1]	93,6 (14,5)	89,4 (12,2)	*t*(8) = 0,494	*p* = .635
fréquence DT2AO[1]	94,6 (17,0)	90,9 (10,5)	*t*(8) = 0,422	*p* = .684
Longueur STSO[1]	0,56 (0,13)	0,51 (0,10)	*t*(8) = 0,703	*p* = .502
Longueur DT1SO[1]	0,58 (0,12)	0,49 (0,08)	*t*(8) = 1,273	*p* = .239
Longueur DT2SO[1]	0,57 (0,12)	0,49 (0,09)	*t*(8) = 1,269	*p* = .240
Longueur DT1AO[1]	0,52 (0,11)	0,45 (0,09)	*t*(8) = 1,085	*p* = .310
Longueur DT2AO[1]	0,49 (0,09)	0,45 (0,08)	*t*(8) = 0,617	*p* = .555
Vitesse DT1AO hors obst.[1]	0,87 (0,27)	0,73 (0,20)	*t*(8) = 0,980	*p* = .356
Vitesse DT2AO hors obst. [1]	0,82 (0,22)	0,74 (0,16)	*t*(8) = 0,698	*p* = .505
Vitesse DT1AO obst[1]	0,66 (0,17)	0,54 (0,16)	*t*(8) = 1,051	*p* = .324

Vitesse DT2AO obst[1]	0,63 (0,14)	0,57 (0,17)	*t*(8) = 0,556	*p* = .594
Indice dev. STSO	2,9 (0,5)	3,1 (0,5)	*t*(14) = 1,034	*p* = .319
Indice dev. DT1SO	2,8 (0,6)	2,7 (0,7)	*t*(14) = 0,046	*p* = .964
Indice dev. DT2SO	3,1 (0,7)	3,0 (0,9)	*t*(14) = 0,120	*p* = .851
Dev. arriv. STSO	1,3 (0,7)	1,1 (1,1)	*t*(14) = 0,266	*p* = .794
Dev. arriv. DT1SO	1,1 (0,4)	1,1 (1,4)	*U* = 27,0	*p* = .645
Dev. arriv. DT2SO	1,6 (0,5)	1,1 (0,8)	*U* = 21,0	*p* = .279
Dev. arriv. DT1AO	1,4 (1,1)	1,1 (0,6)	*U* = 29,5	*p* = .798
Dev. arriv. DT2AO	1,8 (0,9)	1,1 (1,0)	*U* = 19,0	*p* = .195
Indice gestion obst. DT1AO	4,8 (0,3)	4,5 (0,6)	*U* = 21,0	*P* = .279
Indice gestion obst. DT2AO	4,7 (0,3)	4,7 (0,9)	*U* = 22,0	*p* = .329
TR DT1 tâche simple	420 (46,5)	439,7 (98,1)	*t*(14) = 0,495	*p* = .628
TR DT2 tâche simple	568,9 (78,5)	609 (124,2)	*t*(14) = 0,783	*p* = .447
TR DT1SO	526,9 (63,4)	604,0 (190,0)	*U* = 60,0	*p* = .402
TR DT2SO	596,6 (63,1)	705,5 (188,1)	*t*(14) = 1,554	*p* = .142
TR DT1AO	617,6 (107,9)	694,6 (207,0)	*t*(14) = 0,933	*p* = .366
TR DT2AO	747,7 (138,2)	749,8 (213,0)	*U* = 32,0	*p* = 1.000
Pourcent. RC tâc. simpl.	99,3 (1,5)	98,1 (3,5)	*U* = 27,5	*p* = .645
Pourcent. RC tâc. simpl.	98,6 (1,7)	96,4 (5,1)	*U* = 27,0	*p* = .645
Pourcent. RC DT1SO	98,5 (3,0)	96,0 (4,1)	*U* = 23,0	*p* = .382
Pourcent. RC DT2SO	95,0 (8,3)	93,5 (6,6)	*U* = 26,0	*p* = .574
Pourcent. RC DT1AO	95,7 (5,6)	93,6 (9,9)	*U* = 32,0	*p* = 1.000
Pourcent. RC DT2AO	93,3 (5,2)	96,3 (4,2)	*t*(14) = 1,254	*p* = .230
TR DT1AO hors obst.	570,8 (133,5)	595,7 (172,8)	*U* = 25,0	*p* = .779
TR DT2AO hors obst.	721,9 (182,3)	711,8 (204,0)	*U* = 31,0	*p* = .959
TR DT1AO obst	689,3 (130,1)	965,8 (505,5)	*U* = 24,0	*p* = .694
TR DT2AO obst	801,7 (113,4)	818,8 (261,8)	*U* = 26,0	*p* = .574
Pourcent. RC DT1AO hors obst.	96,3 (7,8)	97,5 (4,3)	*U* = 27,5	*p* = .955
Pourcent. RC DT2AO hors obst.	94,9 (5,6)	96,8 (6,3)	*U* = 24,5	*p* = .442
Pourcent. RC DT1AO obst	96,0 (5,8)	94,0 (10,3)	*U* = 27,5	*p* = .955
Pourcent. RC DT2AO obst	91,1 (10,5)	91,7 (15,4)	*U* = 28,0	*p* = .721
DTE durée essai DT1SO	-3,1 (10,4)	-6,9 (11,0)	*t*(14) = 0,707	*p* = .491
DTE durée essai DT2SO	0,3 (7,0)	-2,8 (11,1)	*t*(14) = 0,664	*p* = .517
DTE durée essai DT1AO	-25,7 (10,0)	-26,6 (17,2)	*t*(14) = 0,118	*p* = .908
DTE durée essai DT2AO	-30,4 (9,4)	-24,0 (15,9)	*t*(14) = 0,978	*p* = .345
DTE TR DT1SO	-26,1 (17,5)	-36,8 (23,1)	*t*(14) = 1,048	*p* = .312
DTE TR DT2SO	-6,0 (13,9)	-15,4 (16,0)	*t*(14) = 1,249	*p* = .232
DTE TR DT1AO	-48,3 (31,5)	-58,3 (32,7)	*t*(14) = 0,627	*p* = .541

DTE TR DT2AO	-33,0 (26,3)	-22,1 (15,7)	*U* = 26,0	*p* = .574
DTE pourcent. DT1SO	-0,7 (3,5)	-2,0 (5,5)	*U* = 29,5	*p* = .798
DTE pourcent. DT2SO	-3,6 (8,6)	-2,9 (4,9)	*U* = 29,5	*p* = .798
DTE pourcent. DT1AO	-3,6 (5,7)	-4,7 (7,9)	*U* = 31,5	*p* = .959
DTE pourcent. DT2AO	-5,3 (4,2)	0,1 (4,2)	*t*(14) = 2,570	*p* = .022
Moyenne éval. subj. STSO	1,0 (0,9)	1,6 (0,6)	*t*(14) = 1,407	*p* = .181
Moyenne éval. subj. DT1SO	1,1 (0,9)	2,0 (0,2)	*t*(14) = 2,796	*p* = .024
Moyenne éval. subj. DT2SO	1,4 (1,1)	2,3 (0,5)	*t*(14) = 2,153	*p* = .049
Moyenne éval. subj. DT1AO	1,6 (1,5)	2,2 (0,7)	*t*(14) = 1,281	*p* = .221
Moyenne éval. subj. DT2AO	1,8 (1,0)	2,4 (0,7)	*t*(14) = 1,347	*p* = .199

Annexe 11. Effets de l'aisance de déplacement

Variable dépendante	Aisance supérieure (n = 13)	Aisance inférieure (n = 12)	Valeur du test statistique	Significativité
Durée essai STSO	41,2 (8,2)	47,3 (11,7)	*t*(23) = 1,510	*p* = .073
Durée essai DT1SO	41,9 (7,5)	50,3 (17,5)	*t*(23) = 1,571	*p* = .065
Durée essai DT2SO	40,2 (6,1)	51,9 (15,9)	*t*(23) = 2,454	*p* = .011
Durée essai DT1AO	49,1 (7,3)	63,1 (20,1)	*t*(23) = 2,337	*p* = .015
Durée essai DT2AO	50,6 (9,0)	64,2 (19,1)	*t*(23) = 2,293	*p* = .016
Arrêt STSO	0,0 (0,1)	0,3 (0,7)	*U* = 63,5	*p* = .437
Arrêt DT1SO	0,3 (5)	0,6 (1,8)	*U* = 69,0	*p* = .650
Arrêt DT2SO	0,1 (0,2)	0,8 (2,2)	*U* = 68,5	*p* = .611
Arrêt DT1AO	2,0 (2,0)	1,5 (1,6)	*U* = 66,0	*p* = .538
Arrêt DT2AO	0,9 (0,8)	1,3 (1,6)	*U* = 68,0	*p* = .911
IMP STSO	99,9 (0,3)	99,4 (1,1)	*U* = 63,0	*p* = .437
IMP DT1SO	99,4 (1,0)	99,3 (2,1)	*U* = 67,0	*p* = .574
IMP DT2SO	99,8 (0,4)	98,5 (3,6)	*U* = 68,5	*p* = .611
IMP DT1AO	96,1 (4,0)	97,8 (1,8)	*U* = 63,0	*p* = .437
IMP DT2AO	98,3 (1,6)	97,9 (2,6)	*U* = 77,0	*p* = .979
Vitesse STSO[1]	0,96 (0,14)	0,82 (0,22)	*t*(16) = 1,601	*p* = .065
Vitesse DT1SO[1]	0,97 (0,14)	0,79 (0,25)	*t*(16) = 1,910	*p* = .080
Vitesse DT2SO[1]	0,99 (0,13)	0,76 (0,20)	*t*(16) = 2,831	*p* = .006
Vitesse DT1AO [1]	0,88 (0,10)	0,69 (0,21)	*t*(16) = 2,388	*p* = .015
Vitesse DT2AO [1]	0,84 (0,12)	0,68 (,019)	*t*(16) = 2,045	*p* = .029
fréquence STSO[1]	97,7 (6,5)	94,4 (10,4)	*t*(16) = 0,800	*p* = .218
fréquence DT1SO[1]	98,3 (7,2)	93,5 (12,3)	*t*(16) = 1,018	*p* = .162
fréquence DT2SO[1]	98,9 (6,9)	92,9 (13,3)	*t*(16) = 1,215	*p* = .121
fréquence DT1AO[1]	95,4 (6,0)	89,0 (12,1)	*t*(16) = 1,415	*p* = .088
fréquence DT2AO[1]	95,6 (7,5)	89,3 (12,3)	*t*(16) = 1,320	*p* = .103
Longueur STSO[1]	0,59 (0,10)	0,51 (0,10)	*t*(16) = 1,660	*p* = .058
Longueur DT1SO[1]	0,60 (0,09)	0,49 (0,11)	*t*(16) = 2,132	*p* = .025
Longueur DT2SO[1]	0,60 (0,08)	0,48 (0,08)	*t*(16) = 3,023	*p* = .004
Longueur DT1AO[1]	0,55 (0,07)	0,46 (0,09)	*t*(16) = 2,487	*p* = .012
Longueur DT2AO[1]	0,52 (0,06)	0,45 (0,08)	*t*(16) = 2,076	*p* = .027
Vitesse DT1AO hors obst.[1]	0,95 (0,12)	0,74 (0,24)	*t*(16) = 2,357	*p* = .016
Vitesse DT2AO hors obst. [1]	0,89 (0,13)	0,73 (0,20)	*t*(16) = 2,034	*p* = .030
Vitesse DT1AO obst[1]	0,71 (0,10)	0,56 (0,16)	*t*(16) = 2,424	*p* = .014
Vitesse DT2AO obst[1]	0,69 (0,13)	0,55 (0,17)	*t*(16) = 2,004	*p* = .032

Indice dev. STSO	3,0 (0,6)	3,1 (0,5)	*t*(23) = 0,513	*p* = .613
Indice dev. DT1SO	2,8 (0,4)	2,9 (0,8)	*t*(23) = 0,394	*p* = .697
Indice dev. DT2SO	3,3 (0,7)	2,9 (0,7)	*t*(23) = 1,370	*p* = .184
Dev. arriv. STSO	1,2 (0,7)	1,2 (0,8)	*U* = 75,5	*p* = .894
Dev. arriv. DT1SO	1,2 (0,8)	1,2 (0,9)	*U* = 74,5	*p* = .852
Dev. arriv. DT2SO	1,1 (0,8)	1,3 (0,8)	*U* = 68,0	*p* = .611
Dev. arriv. DT1AO	0,8 (0,7)	1,2 (1,0)	*U* = 62,5	*p* = .406
Dev. arriv. DT2AO	1,2 (0,9)	1,6 (0,7)	*U* = 55,0	*p* = .225
Indice gestion obst. DT1AO	4,6 (0,4)	4,8 (0,4)	*U* = 60,0	*p* = .347
Indice gestion obst. DT2AO	4,7 (0,7)	4,8 (0,4)	*U* = 50,0	*p* = .137
TR DT1 tâche simple	412,1 (39,4)	477,4 (77,0)	*U* = 35,0	*p* = .019
TR DT2 tâche simple	553,7 (67,3)	673,0 (83,5)	*t*(23) = 0,152	*p* = .001
TR DT1SO	575,4 (136,4)	634,4 (173,8)	*U* = 60,0	*p* = .347
TR DT2SO	596,7 (66,0)	783,6 (225,8)	*t*(23) = 2,751	*p* = .009
TR DT1AO	633,4 (107,3)	719,2 (203,8)	*U* = 59,0	*p* = .320
TR DT2AO	724,5 (129,4)	810,9 (186,7)	*t*(23) = 1,318	*p* = .101
Pourcent. RC tâc. simpl.	99,6 (1,1)	98,2 (3,0)	*t*(23) = 1,503	*p* = .078
Pourcent. RC tâc. simpl.	96,9 (4,3)	97,9 (2,2)	*U* = 76,0	*p* = .936
Pourcent. RC DT1SO	98,1 (3,1)	95,5 (9,0)	*U* = 73,0	*p* = .810
Pourcent. RC DT2SO	93,5 (8,8)	93,6 (11,7)	*U* = 65,0	*p* = .713
Pourcent. RC DT1AO	96,3 (5,9)	93,0 (8,8)	*U* = 64,5	*p* = .470
Pourcent. RC DT2AO	95,0 (5,1)	92,3 (5,7)	*t*(23) = 1,232	*p* = .116
TR DT1AO hors obst.	568,5 (118,4)	646,4 (150,5)	*U* = 46,0	*p* = .235
TR DT2AO hors obst.	663,2 (92,4)	769,9 (191,3)	*U* = 43,0	*p* = .169
TR DT1AO obst	801,3 (300,2)	870,0 (371,2)	*U* = 58,0	*p* = .651
TR DT2AO obst	839,2 (208,6)	890,1 (272,2)	*t*(23) = 0,500	*p* = .311
Pourcent. RC DT1AO hors obst.	97,5 (5,1)	96,1 (7,2)	*U* = 66,0	*p* = .776
Pourcent. RC DT2AO hors obst.	95,3 (6,2)	94,7 (5,2)	*U* = 66,5	*p* = .755
Pourcent. RC DT1AO obst	93,8 (9,5)	93,1 (8,3)	*U* = 66,0	*p* = .776
Pourcent. RC DT2AO obst	94,1 (11,6)	85,6 (16,2)	*U* = 49,5	*p* = .198
DTE durée essai DT1SO	-2,4 (8,9)	-5,5 (11,0)	*U* = 62,0	*p* = .406
DTE durée essai DT2SO	1,4 (7,4)	-8,6 (14,7)	*t*(23) = 2,170	*p* = .021
DTE durée essai DT1AO	-21,2 (17,4)	-31,1 (13,9)	*t*(23) = 1,526	*p* = .061
DTE durée essai DT2AO	-24,8 (19,2)	-34,8 (17,7)	*U* = 51,0	*p* = .152
DTE TR DT1SO	-39,2 (26,7)	-33,0 (28,1)	*t*(23) = 0,569	*p* = .287
DTE TR DT2SO	-10,1 (17,7)	-14,9 (22,5)	*t*(23) = 0,555	*p* = .293
DTE TR DT1AO	-55,1 (32,4)	-50,22 (31,8)	*U* = 70,0	*p* = .689
DTE TR DT2AO	-31,7 (21,7)	-20,6 (24,20)	*U* = 44,0	*p* = .114

DTE pourcent. DT1SO	-1,5 (3,1)	-2,8 (9,2)	*U* = 65,0	*p* = .503
DTE pourcent. DT2SO	-3,8 (7,6)	-4,5 (11,5)	*U* = 60,0	*p* = .514
DTE pourcent. DT1AO	-3,3 (6,1)	-5,4 (7,7)	*U* = 69,0	*p* = .650
DTE pourcent. DT2AO	-2,0 (5,2)	-5,7 (5,6)	*t*(23) = 1,660	*p* = .066
Moyenne éval. subj. STSO	1,1 (0,6)	1,3 (1,2)	*t*(23) = 0,475	*p* = .642
Moyenne éval. subj. DT1SO	1,5 (0,7)	1,5 (1,2)	*t*(23) = 0,190	*p* = .852
Moyenne éval. subj. DT2SO	1,7 (0,7)	1,5 (1,3)	*t*(23) = 0,046	*p* = .661
Moyenne éval. subj. DT1AO	1,9 (0,5)	1,8 (1,2)	*t*(23) = 0,373	*p* = .713
Moyenne éval. subj. DT2AO	2,0 (0,7)	1,9 (1,2)	*t*(23) = 0,178	*p* = .861

Annexe 12. Effets des capacités d'attention

Variable dépendante	Groupe attention supérieure (n = 9)	Groupe attention inférieure (n = 13)	Valeur du test statistique	Significativité
Durée essai STSO	43,6 (9,6)	45,4 (11,7)	*t*(20) = 0,377	*p* = .355
Durée essai DT1SO	45,8 (12,2)	46,9 (15,8)	*t*(20) = 0,175	*p* = .432
Durée essai DT2SO	43,6 (10,9)	48,5 (15,5)	*t*(20) = 0,818	*p* = .212
Durée essai DT1AO	51,1 (10,8)	59,8 (19,7)	*t*(20) = 1,194	*p* = .124
Durée DT2AO	55,3 (13,2)	60,3 (18,8)	*t*(20) = 0,695	*p* = .293
Arrêt STSO	0,2 (0,5)	0,2 (0,6)	*U* = 57,0	*p* = .734
Arrêt DT1SO	0,3 (0,5)	0,6 (1,7)	*U* = 56,0	*p* = .568
Arrêt DT2SO	0,0 (0,1)	0,7 (2,1)	*U* = 50,0	*p* = .257
Arrêt DT1AO	1,5 (1,8)	2,1 (2,0)	*U* = 52,5	*p* = .506
Arrêt DT2AO	0,7 (0,5)	1,4 (1,7)	*U* = 48,0	*p* = .340
IMP STSO	99,7 (0,9)	99,6 (0,9)	*U* = 52,0	*p* = .695
IMP DT1SO	99,4 (1,0)	99,1 (2,1)	*U* = 54,0	*p* = .794
IMP DT2SO	99,9 (0,3)	98,9 (3,3)	*U* = 50,0	*p* = .601
IMP DT1AO	97,2 (3,4)	96,4 (3,4)	*U* = 44,0	*p* = .357
IMP DT2AO	98,7 (1,0)	97,7 (2,7)	*U* = 52,0	*p* = .695
Vitesse STSO[1]	0,88 (0,15)	0,85 (0,18)	*t*(14) = 0,224	*p* = .413
Vitesse DT1SO[1]	0,85 (0,18)	0,85 (0,26)	*t*(14) = 0,032	*p* = .488
Vitesse DT2SO[1]	0,87 (0,18)	0,84 (0,22)	*t*(14) = 0,261	*p* = .399
Vitesse DT1AO[1]	0,79 (0,13)	0,76 (0,21)	*t*(14) = 0,339	*p* = .361
Vitesse DT2AO[1]	0,71 (0,10)	0,75 (0,20)	*t*(14) = 0,673	*p* = .370
fréquence STSO[1]	90,9 (5,6)	96,6 (8,3)	*t*(14) = 1,370	*p* = .146
fréquence DT1SO[1]	90,1 (8,9)	96,5 (9,1)	*t*(14) = 1,305	*p* = .107
fréquence DT2SO[1]	90,9 (9,5)	96,2 (10,0)	*t*(14) = 1,002	*p* = .167
fréquence DT1AO[1]	89,4 (5,1)	91,9 (10,1)	*t*(14) = 0,517	*p* = .307
fréquence DT2AO[1]	86,8 (5,2)	92,5 (9,3)	*t*(14) = 1,256	*p* = .115
Longueur STSO[1]	0,58 (0,10)	0,52 (0,10)	*t*(14) = 0,897	*p* = .193
Longueur DT1SO[1]	0,57 (0,10)	0,52 (0,12)	*t*(14) = 0,779	*p* = .225
Longueur DT2SO[1]	0,57 (0,10)	0,52 (0,10)	*t*(14) = 1,002	*p* = .167
Longueur DT1AO[1]	0,53 (0,09)	0,48 (0,10)	*t*(14) = 0,822	*p* = .213
Longueur DT2AO[1]	0,49 (0,07)	0,48 (0,09)	*t*(14) = 0,292	*p* = .398
Vitesse DT1AO hors obst.[1]	0,84 (0,15)	0,82 (0,24)	*t*(14) = 0,166	*p* = .436
Vitesse DT2AO hors obst.[1]	0,77 (0,11)	0,80 (0,21)	*t*(14) = 0,287	*p* = .389
Vitesse DT1AO obst[1]	0,65 (0,16)	0,60 (0,16)	*t*(14) = 0,574	*p* = .288

Vitesse DT2AO obst[1]	0,57 (0,09)	0,62 (0,19)	*t*(14) = 0,534	*p* = .301
Indice dev. STSO	3,0 (0,5)	3,0 (0,6)	*t*(21) = 0,086	*p* = .466
Indice dev. DT1SO	2,8 (0,5)	2,8 (0,7)	*t*(21) = 0,033	*p* = .487
Indice dev. DT2SO	3,4 (0,7)	3,0 (0,7)	*U* = 46,0	*p* = .305
Dev. arriv. STSO	1,1 (0,8)	1,4 (0,7)	*U* = 49,0	*P* = .556
Dev. arriv. DT1SO	0,9 (0,8)	1,5 (0,9)	*t*(21) = 1,783	*p* = .045
Dev. arriv. DT2SO	1,1 (0,8)	1,1 (0,8)	*U* = 57,0	*p* = .948
Dev. arriv. DT1AO	0,8 (0,7)	0,9 (0,9)	*U* = 55,0	*p* = .845
Dev. arriv. DT2AO	1,0 (0,7)	1,5 (0,9)	*U* = 39,0	*p* = .209
Indice gestion obst. DT1AO	4,6 (0,5)	4,7 (0,4)	*U* = 56,5	*p* = .688
Indice gestion obst. DT2AO	4,9 (0,2)	4,5 (0,7)	*U* = 43,0	*p* = .224
TR DT1 tâche simple	397,1 (32,6)	472,8 (75,8)	*t*(21) = 2,809	*p* = .006
TR DT2 tâche simple	551,8 (79,4)	649,0 (94,6)	*t*(21) = 2,553	*p* = .010
TR DT1SO	548,3 (74,9)	666,7 (185,6)	*t*(21) = 2,070	*p* = .027
TR DT2SO	628,1 (95,1)	750,7 (241,6)	*t*(21) = 7,601	*p* = .065
TR DT1AO	397,1 (32,6)	478,7 (98,2)	*U* = 44,0	*p* = .508
TR DT2AO	711,7 (90,5)	830,1 (212,9)	*t*(21) = 1,786	*p* = .046
Pourcent. RC tâc. simpl.	99,8 (0,7)	99,2 (1,4)	*U* = 51,0	*p* = .477
Pourcent. RC tâc. simpl.	97,8 (4,6)	96,9 (2,8)	*U* = 42,0	*p* = .201
Pourcent. RC DT1SO	98,5 (3,1)	95,4 (8,6)	*U* = 53,5	*p* = .557
Pourcent. RC DT2SO	96,4 (6,3)	92,3 (12,2)	*U* = 47,0	*p* = .471
Pourcent. RC DT1AO	98,1 (2,9)	93,2 (6,9)	*U* = 39,0	*p* = .141
Pourcent. RC DT2AO	97,0 (3,7)	92,0 (5,4)	*U* = 27,5	*p* = .036
TR DT1AO hors obst.	577,3 (133,1)	634,7 (147,8)	*U* = 38,0	*p* = .336
TR DT2AO hors obst.	675,7 (92,7)	726,5 (145,5)	*U* = 42,0	*p* = .678
TR DT1AO obst	864,1 (341,2)	853,8 (346,9)	*U* = 51,0	*p* = .972
TR DT2AO obst	779,4 (121,1)	946,8 (280,8)	*t*(19) =1,884	*p* = .038
Pourcent. RC DT1AO hors obst.	99,1 (2,6)	94,9 (7,5)	*U* = 45,5	*p* = .277
Pourcent. RC DT2AO hors obst.	97,6 (4,8)	92,6 (5,4)	*U* = 29,5	*p* = .043
Pourcent. RC DT1AO obst	95,8 (7,1)	90,9 (9,8)	*U* = 47,0	*p* = .336
Pourcent. RC DT2AO obst			*U* = 45,5	*p* = .393
DTE durée essai DT1SO	-4,8 (11,7)	-3,7 (10,0)	*t*(20) = 0,228	*p* = .411
DTE durée essai DT2SO	-0,2 (10,4)	-5,9 (14,6)	*t*(20) = 1,005	*p* = .164
DTE durée essai DT1AO	-18,4 (14,2)	-30,5 (14,7)	*t*(20) = 1,778	*p* = .046
DTE durée essai DT2AO	-27,1 (13,6))	-32,9 (23,4)	*t*(20) = 0,669	*p* = .256
DTE TR DT1SO	-38,6 (19,7)	-40,9 (31,4)	*t*(21) = 0,197	*p* = .423
DTE TR DT2SO	-14,3 (12,4)	-14,8 (25,8)	*t*(19) = 0,049	*p* = .482
DTE TR DT1AO	-65,4 (33,8)	-48,0 (31,0)	*U* = 38,0	*p* = .186

DTE TR DT2AO	-30,1 (18,2)	-22,1 (28,1)	*U* = 34,0	*p* = .169
DTE pourcent. DT1SO	-1,3 (3,4)	-3,5 (8,2)	*U* = 54,0	*p* = .520
DTE pourcent. DT2SO	-1,5 (3,0)	-6,4 (12,3)	*U* = 57,0	*p* = .918
DTE pourcent. DT1AO	-1,6 (3,2)	-5,6 (7,0)	*U* = 42,0	*p* = .173
DTE pourcent. DT2AO	-0,7 (4,3)	-5,4 (5,6)	*t*(20) = 2,116	*p* = .024
Moyenne éval. subj. STSO	1,1 (0,5)	1,1 (1,2)	*t*(20) = 0,013	*p* = .990
Moyenne éval. subj. DT1SO	1,4 (0,7)	1,5 (1,1)	*t*(20) = 0,169	*p* = .867
Moyenne éval. subj. DT2SO	1,7 (0,7)	1,6 (1,7)	*t*(20) = 0,006	*p* = .995
Moyenne éval. subj. DT1AO	1,9 (0,7)	1,9 (1,2)	*t*(20) = 0,142	*p* = .881
Moyenne éval. subj. DT2AO	1,9 (0,6)	2,0 (1,2)	*t*(20) = 0,369	*p* = .716