

Docteur en sciences cognitives



Caroline Pigeon

26 ans, Française

06 33 85 28 94

caroline.pi38@gmail.com



Je porte un intérêt à l'étude des difficultés engendrées par les situations de handicap et par le vieillissement et aux mécanismes d'adaptation mis en œuvre par les individus. Je suis motivée par l'application de mes recherches pour l'amélioration des services pour les personnes avec une incapacité.

Mots clés : Atteinte visuelle, Vieillesse, Capacités cognitives, Attention, Mobilité, Participation sociale

Compétences principales

- Collaboration au sein d'équipes multidisciplinaires
- Mise en place de veille scientifique et recherche bibliographique
- Analyse des besoins, création et spécification de protocoles expérimentaux informatisés ou en situation de déplacement piéton
- Diffusion scientifique et partage de connaissances au public

Méthodologies et outils maîtrisés

- Expérimentations sur ordinateur ou tablette : OpenSesame et Superlab
- Tests neuropsychologiques : Wechsler Adult Intelligence Scale, Test of Everyday Attention, Paced Auditory Serial Addition Test, Test de N-Back, Test de Hayling, Test du Plus-Minus
- Analyses statistiques : SPSS
- Gestion des références bibliographiques : Zotero, EndNote, Mendeley
- Logiciels de cartographie mentale : Freeplan, Xmind
- Montage vidéo : Adobe Premiere Pro
- Suite Microsoft Office
- Anglais niveau B2

Formation

- 2013-2016 Doctorat spécialité Neuropsychologie, Ecole Doctorale Neurosciences et Cognition, Université de Lyon / IFSTTAR, France. Thèse intitulée « *Mobilisation attentionnelle des piétons aveugles : Effets de l'âge, de l'antériorité de la cécité et de l'aide à la mobilité utilisée* »
- 2013 Master recherche en sciences cognitives, Université Lyon 2, France (mention bien)

Bourses obtenues

- 2016 Bourse post-doctorale \$ CAD 30 000 (Réseau Provincial de Recherche en Adaptation-Réadaptation et Réseau québécois de recherche sur le vieillissement)
- 2013 Bourse doctorale IFSTTAR (93 540 €)

Expérience professionnelle

- Actuellement Post-doctorat, Centre de recherche sur le vieillissement, Université de Sherbrooke, Canada. Projet intitulé « *Accompagnement citoyen personnalisé d'intégration communautaire (APIC) : Adaptation aux aînés ayant une atteinte visuelle* »
- 2013-2016 Contrat doctoral, IFSTTAR, France
- 2013-2015 Participation au projet de recherche *Timodev (Transports multimodaux pour tous : pôles d'échanges InterMODaux et DEfficience Visuelle)*

Enseignements et encadrement

- 2015 Encadrement d'étudiants de Master 1 (Soleil, C. et D'Ercolle R.), sciences cognitives et psychologie cognitive, Université Lyon 2, France
- 2015 Chargé de TD en Méthodologie Disciplinaire, Licence 1 sciences cognitives, Université Lyon 2, France (Préparation et dispense des enseignements, suivi des étudiants, correction des dossiers et notation des oraux)



Diffusion de la culture scientifique

- Coordination de l'atelier Se déplacer sans voir : implication des processus attentionnels, Semaine du Cerveau, 19 mars 2015, qui a fait l'objet d'un reportage radio (<http://rcf.fr/actualite/semaine-du-cerveau-vivre-dans-la-peau-dun-aveugle>)
- Interview pour les Décennies de l'IFSTTAR (<https://ifsttar.libcast.com/decennies/focus-metier-caroline-pigeon-lescot>)



Publications

- Pigeon, C.** & Marin-Lamellet, C. (2016). 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.
- 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, 28-31st, (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, 28-31st, (pp. 838-853) Lisbon, Portugal.
- 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, France.



Communications

A titre de conférencière invitée

- Pigeon, C.** (2017). Le vieillissement cognitif de personnes aveugles. *Conférence scientifique du CdRV*. 11 janvier 2017, Sherbrooke (Québec), Canada
- Pigeon, C.** (2016). Les processus attentionnels comme facteur de mobilité chez les personnes aveugles. *Intervention à l'Association de Chien Guides d'Aveugles de Lyon et du Centre-Est*. 21 oct. 2016, Misérieux, France
- Pigeon, C.** (2015). Capacités attentionnelles des personnes aveugles : apport à la conception d'aide à l'orientation dans les espaces de transport. *Séminaire des doctorants de 2ème année du département transport santé sécurité*. 23 juin 2015, Marseille, France

Internationales

- 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, 28-31st, 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, 28-31st, Lisbon, Portugal.
- Pigeon, C.** & Marin-Lamellet, C. (2015). Assessment of the attentional capacities and working memory of older persons who are blind. *International Mobility Conference*, July, 6-9th, Montréal, 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, 6-9th, Montréal, Canada.

Nationales

- 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, Paris, France. (communication affichée)
- 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, France.

Locale

- Pigeon, C.** (2016). To what extent cognitive processes are determinant for an efficient mobility in blind people? *Journée Scientifique de l'École Doctorale Neurosciences et Cognition*, 3 mai 2016, Bron, France.
- Pigeon, C.** (2015). Assessment of the attentional capacities and working memory of older blind persons. *La Journée Scientifique de l'Ecole Doctorale Neurosciences et Cognition*, 29 avril 2015, Bron, France. (communication affichée)

A Bron, le 29 Décembre 2016

Site de Bron**Claude Marin-Lamellet**Directeur Adjoint des Affaires
Européennes et Internationales**DAEI**Tél. : 33 (0) 4 72 14 24 45
Portable : 33 (0) 6 83 84 22 50
claude.marin-lamellet@ifsttar.fr**Lettre de référence pour Caroline Pigeon pour le Prix de thèse IFRATH-Kaelis**

J'ai accueilli Caroline Pigeon en Octobre 2011 dans le cadre de son stage de Master 1 en Sciences Cognitives à l'université Lyon2 puis dans le cadre de son master 2, toujours à l'université Lyon2. Caroline Pigeon a démontré durant ces années ses capacités et surtout son intérêt pour la recherche et nous nous sommes donc naturellement engagé dans un projet de doctorat pour lequel Caroline Pigeon a reçu, en juin 2013, le soutien financier de l'IFSTTAR à la suite d'un concours sélectif. La soutenance de la thèse a eu lieu le 6 Décembre 2016.

Depuis donc ces 5 années, j'ai eu tout loisir d'apprécier le sérieux et l'engagement avec lesquels Caroline Pigeon a accompli son travail. Ses travaux ont été très vite publiés, signe de leur originalité et de leur qualité. Par ailleurs, elle a pu présenter ses travaux dans deux conférences internationales et une fois dans la conférence Handicap en 2014.

Caroline Pigeon a montré également une grande sensibilité et sens de l'écoute vis à vis des personnes aveugles qui ont participé à ses travaux ; elle a également eu régulièrement l'occasion de travailler avec des professionnels de la prise en charge des personnes aveugles.

Lors de sa soutenance de thèse, le jury a unanimement souligné le sérieux du travail de Caroline Pigeon mais également sa très grande originalité. Ces travaux tendent à combler un vide de connaissance qui permettra de concevoir des aides techniques mieux adaptées aux personnes aveugles et de leurs proposer des prises en charge beaucoup mieux adaptées à leurs capacités.

Enfin, s'il fallait une dernière preuve de l'indéniable grande qualité scientifique du travail de Caroline Pigeon, l'obtention d'un financement de post doctorat au Québec, avant même la fin de la thèse, pour poursuivre sa carrière de chercheur dans l'équipe du professeur Mélanie Levasseur à l'Université de Sherbrooke me semble particulièrement significative.

Je conclurais donc en disant que pour moi, Caroline Pigeon ferait une très bonne lauréate pour ce prix distinctif de thèse.

Claude Marin-LamelletIFSTTAR
Direction des Affaires Européennes
et InternationalesClaude Marin-Lamellet
Directeur Adjoint

Rév 01/03/16

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

Thèse soutenue par Caroline Pigeon, le 6 décembre 2016, sous la direction de Claude Marin-Lamellet

Se déplacer en autonomie est une condition essentielle à une participation sociale optimale et est un facteur important de qualité de vie (WHO, 1993). Pour les personnes avec une atteinte visuelle, le déplacement autonome est un facteur d'emploi (Bell & Mino, 2015) et de participation à des activités de loisir (Seifert & Scheilling, 2014). Pourtant, en France, 29 % des personnes avec une atteinte visuelle ne se déplaceraient pas seules hors de chez elles (Sander et al. 2005). Comprendre comment les personnes aveugles qui se déplacent en autonomie y parviennent est une première étape pour aider celles qui ne le font pas ou celles pour qui les déplacements sont restreints.

Plusieurs auteurs ont suggéré que les processus attentionnels seraient particulièrement mobilisés par les personnes aveugles lorsqu'elles se déplacent (Geruschat & Turano, 2007 ; Kujala, Lehtokoski, et al., 1997 ; Occelli et al., 2013). Les fonctions exécutives, mises en œuvre lorsque l'appui sur les processus automatiques n'est pas suffisant, semblent aussi fortement impliquées dans cette activité. Ainsi, par leur sollicitation massive au cours du déplacement sans voir, certains processus cognitifs pourraient être optimisés chez ces individus. Certaines études ont montré que les personnes aveugles avaient des capacités d'attention sélective et divisée supérieures aux personnes voyantes (Collignon et De Volder 2009 ; Kujala Lehtokoski, et al., 1997 ; Lerens & Renier, 2014). Concernant les fonctions exécutives, seule la mémoire de travail semble avoir été appréhendée auprès de cette population, et les résultats sont contradictoires (en faveur d'une amélioration pour les personnes aveugles : Bliss et al., 2004 ; Ruggiero et Iachini, 2010 ; pas de différences entre participants aveugles et voyants : Dormal et al., 2016, Hull & Mason, 1995), en raison des protocoles expérimentaux utilisés. En effet, la plupart de ces expérimentations impliquent des tâches différentes pour évaluer les différents groupes, ou des tâches identiques mais impliquant un niveau de familiarité différent selon le groupe testé. Par ailleurs, aucune étude ne semble avoir été menée sur l'attention soutenue, l'inhibition et la flexibilité des personnes aveugles. Enfin, parmi les processus étudiés dans la littérature, l'effet de facteurs individuels tels que le caractère précoce ou tardif de la cécité, l'aide à la locomotion utilisée, le niveau d'expertise de déplacement ou l'âge n'ont peu ou pas été pris en compte. Par exemple, chez les personnes voyantes, la présence d'effets délétères du vieillissement sur le fonctionnement cognitif (Lemaire & Bherer, 2005) peut s'accompagner de difficultés rencontrées dans les situations de déplacement piéton (Tournier et al., 2016). Pourtant, pour les personnes aveugles, les effets du vieillissement restent aujourd'hui peu documentés, malgré l'importante proportion de personnes âgées parmi cette population en France (Sander et al., 2005) et dans le monde (Pascaloni & Mariotti, 2012).

Ainsi, **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 (l'antériorité de la cécité, l'aide à la locomotion utilisée, le niveau d'expertise de déplacement et l'âge). **La première expérimentation** consistait en une évaluation neuropsychologique auprès de 63 participants aveugles (autonomes pour se déplacer) et de 42 participants voyants à l'aide d'une batterie de tests informatiques en modalité auditive que nous avons conçue pour l'étude. 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. De plus, les participants qui présentaient une aisance de déplacement subjective supérieure ont obtenu de meilleures performances aux

tâches d'attention que ceux présentant une aisance inférieure, telle que mesurée à l'aide d'un questionnaire d'habitudes de déplacement conçu pour l'étude. Les résultats de cette étude, inédits, ont fait l'objet de **deux publications** dans des revues internationales (Pigeon & Marin-Lamellet, 2015 ; 2016). **La 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 ou non une tâche secondaire. L'observation de l'activité de la marche ainsi que l'analyse des paramètres de marche (mesuré avec un dispositif développé par Li et al., 2016) 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 pour préserver leur marche. L'analyse de la performance à la tâche secondaire et des réponses à une évaluation de la charge mentale subjective (adaptation du NASA-TLX ; Hart, & Staveland, 1988) a indiqué que le déplacement des personnes aveugles induisait une charge cognitive, d'autant plus importante lorsque l'environnement était rendu complexe (avec la présence d'obstacles). De plus, alors que les capacités attentionnelles des participants (mesurées dans la 1^{ère} étude) ainsi que leur aisance de déplacement subjective 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 et les résultats ont indiqué que l'animal facilite le déplacement de la personne qu'il accompagne et diminue la charge cognitive subjective impliquée. **L'ensemble des résultats** de ce travail de thèse met en évidence, pour la première fois, le rôle primordial de l'attention dans la réalisation des déplacements piétons chez les personnes aveugles. Ces résultats soulignent de façon originale que les efforts continus maintenus par les personnes aveugles pour se déplacer en autonomie sont associés à une optimisation de processus cognitifs, faisant de ces individus des personnes extraordinaires.

Ces travaux de thèse ont permis de proposer des pistes pour améliorer la mobilité des personnes aveugles, en termes de réadaptation, de remédiation et d'applications technologiques, et ainsi faciliter leur intégration sociale. Tout d'abord, certains **outils développés** durant ce travail de recherche pourraient être utilisés par les professionnels de la réadaptation. La batterie de tests neuropsychologique conçue pour la première étude, une fois normalisée, permettrait aux cliniciens de détecter la présence d'un déclin cognitif pathologique chez les personnes avec une atteinte visuelle, répondant à la demande des cliniciens concernant la rareté des tests neuropsychologiques utilisables lorsque la vision est atteinte (Hill-Briggs et al., 2007). De plus, le questionnaire d'habitudes de déplacement ainsi que l'évaluation de la charge mentale subjective pourraient être utilisés au cours de la prise en charge par les professionnels de la réadaptation. Le premier serait utile pour objectiver l'évolution de l'individu avant, au cours de la prise en charge en locomotion et après, le second pour permettre aux professionnels d'adapter la durée de chaque séance au niveau de fatigue des individus pris en charge. De plus, les liens observés entre les capacités d'attention des participants aveugles et leurs capacités de déplacement au cours de ce travail de thèse témoignent de l'intérêt du maintien (ou de l'amélioration) de ces capacités de par leurs renforcements mutuels dans une **perspective de vieillissement en bonne santé** (WHO, 2015). D'une part, la conception d'un programme d'entraînement cognitif destiné aux personnes aveugles leur permettrait de garder une mobilité efficiente plus longtemps en limitant le vieillissement cognitif. D'autre part, la promotion de la participation sociale, encourageant ainsi les personnes aveugles à sortir de chez elles, favoriserait un mode de vie actif et stimulant, limitant aussi les effets de l'âge. Enfin, les données issues de la deuxième expérimentation permettent la proposition de **recommandations pour l'optimisation des technologies d'aide à la mobilité** à destination des personnes avec une atteinte visuelle. Ces dispositifs, pour être utilisables par le plus grand nombre, nécessitent d'être flexibles d'un individu à

l'autre (selon ses capacités cognitives et ses capacités à se déplacer) et, pour un même individu, flexibles selon la situation (complexité du lieu, niveau de familiarité du lieu, motif de déplacement) et selon l'état de l'individu (niveau de fatigue par exemple).

En conclusion, ce travail de thèse, inscrit dans des enjeux sociaux importants, et dont la méthodologie originale a permis l'obtention de résultats inédits, conduit à la proposition de plusieurs implications pratiques contribuant à l'amélioration de la mobilité des personnes aveugles et ainsi leur participation sociale.

Références :

- Bell, E. C., & Mino, N. M. (2015). Employment Outcomes for Blind and Visually Impaired Adults. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 5(2).
- 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.
- 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.
- 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*.
- 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.
- 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.
- 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.
- Hull, T., & Mason, H. (1995). Performance of blind children on digit-span tests. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 89, 166-166.
- Kujala, T., Alho, K., Huottilainen, et al. (1997). Electrophysiological evidence for cross-modal plasticity in humans with early-and late-onset blindness. *Psychophysiology*, 34(2), 213-216.
- 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.
- Li, T., Supiot, A., Roche, N., Pradon, D., & Pradel, G. (2016). A method using feet distance and inertial sensors data for gait events detection. *22nd Congress of the European Society of Biomechanics*, Lyon, France.
- Occelli, V., Spence, C., & Zampini, M. (2013). Auditory, tactile, and audiotactile information processing following visual deprivation. *Psychological Bulletin*, 139, 189-212.
- Tournier, I., Dommès, A., & Cavallo, V. (2016). Review of safety and mobility issues among older pedestrians. *Accident Analysis & Prevention*, 91, 24-35.
- Pascolini, D., & Mariotti, S. P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5), 614-618.
- 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.
- Pigeon, C. & Marin-Lamellet, C. (2016). Ageing effects on the attentional capacities and working memory of people who are blind. *Disability and Rehabilitation*.
- 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.
- 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*.
- Seifert, A., & Schelling, H. R. (2014). *Vieillir avec un handicap visuel ou devenir handicapé de la vue avec l'âge* (p. 1-50). Zurich: Union Centrale Suisse pour la Bien des Aveugles.
- 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.



**UNIVERSITÉ
DE GENÈVE**

**FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION**
Section de psychologie

Pr Edouard GENTAZ
Professor of Psychology of Development
Faculty of Psychology and Educational Sciences
University of Geneva
E-mail : Edouard.Gentaz@unige.ch

20 novembre 2016

**Objet: Pré-rapport pour la thèse de doctorat en Neuropsychologie de Mme Caroline
PINGEON**

Au niveau de la forme, la thèse (212 pages) est très bien présentée et très bien rédigée; elle comporte notamment un plan très clair avec des petits résumés à la fin de chaque section et de très nombreuses références bibliographiques (environ 300).

Au niveau de l'état de l'art, le chapitre 1 (pp 5-73), dresse un bilan des connaissances complet et actualisé sur la cécité, le vieillissement cognitif de la personne aveugle, et ses effets sur la mobilité. La synthèse des contenus présentés est très pertinente au regard de la section expérimentale. Le chapitre 2 présente de manière claire et précise les objectifs des recherches.

Au niveau de la section expérimentale (pp 86-197), la candidate présente plusieurs études conduites auprès de personnes aveugles dont l'objectif est de mieux comprendre les liens entre leurs capacités attentionnelles et de mémoire de travail et la qualité de leur déplacement. L'étude 1 évalue les capacités attentionnelles et la mémoire de travail à travers de nombreuses tâches et tests de 64 aveugles et 42 voyants adultes. Les résultats sont très originaux et très intéressants. L'étude 2a évalue manière originale et pertinente la charge cognitive sur les performances de déplacement avec une canne chez 25 personnes aveugles et l'étude 2b évalue de la charge cognitive impliquée dans le déplacement de 13 piétons aveugles accompagnés d'un chien-guide. Les résultats sont analysés d'une

manière très approfondie et sont aussi très intéressants. Les discussions des études sont très pertinentes.

Au niveau de la discussion générale (pp. 200-211), la candidate commence par résumer et discuter ses principaux résultats et des liens entre les capacités attentionnelles et le déplacement chez les personnes aveugles. Enfin, la candidate termine sa thèse en présentant honnêtement des limites de la thèse et aussi des perspectives de recherche et pour conclure des « implications pratiques ».

En conclusion, il s'agit d'un très bon travail qui peut donner lieu à une soutenance de thèse. Il est à noter que le travail d'expérimentations, complexe à conduire, est considérable. Les résultats obtenus sont très riches, originaux et intéressants. Enfin, la candidate a déjà deux articles publiés dans des revues internationales (Acta Psychologica et Disability and Rehabilitation) ; elle a proposé 4 communications à des congrès scientifiques.

En résumé, je donne donc un avis très favorable à la soutenance de cette thèse.



Prof. Edouard GENTAZ

Pr. Hélène Sauzéon (PhD) - Université de Bordeaux

Directrice Adjointe « Laboratoire Handicap & Système Nerveux » (EA4136, IFR Inserm « Handicap »)

Responsable permanent-Equipe Projet « Phoenix » -Centre Inria Bordeaux Sud Ouest

Pré-rapport concernant la thèse de Neuropsychologie de Caroline PIGEON

[Université de Lumière Lyon 2, Ed : Neurosciences & Cognition, Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives
pour les Transports (LESCOT) –IFSTTAR-TS2]

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

sous la direction de Claude Marin-Lamellet

Cette thèse alliant la neuropsychologie et la psychologie ergonomique s'inscrit dans une collaboration entre le laboratoire LESCOT (IFSTTAR-TS2) et un tissu associatif multi-centrique (Lyon, Grenoble Marseille, Paris) autour des associations Valentin Haüy et la Fédération des Aveugles de France.

De manière générale, le travail présenté s'inscrit dans des enjeux sociétaux manifestes, à savoir d'une part, l'inclusion sociale des personnes avec cécité visuelle en promouvant l'étude de leur mobilité ambulatoire (nécessaire à leur participation sociale) et, d'autre, part, le traitement de la problématique du vieillissement de ces personnes, qui reste encore aujourd'hui mal connu malgré le défi majeur qu'il impose aux pays (dont la France fait partie) ayant ratifiés et signés la convention internationale des droits aux personnes en situation du handicap (ONU, 2006-07). En effet, l'objet de cette thèse est double : 1) Etudier l'impact d'une cécité visuelle sur le fonctionnement cognitif (avec un focus sur les mécanismes attentionnels, exécutifs et de mémoire de travail) et le fonctionnement quotidien avec un focus sur la fluidité /aisance au déplacement (aspects fonctionnels) tout en appréciant l'influence de facteurs inter-individuels (âge et durée de la cécité) ; et 2) Etudier l'impact de la charge attentionnelle induite par la cécité visuelle sur les performances de locomotion, et ce, selon le type d'assistance à la mobilité utilisée par la personne (canne vs. chien-aveugle).

A cette fin, pour l'essentiel, des participants ont été soumis à des expérimentations comparant d'une part, les mécanismes ou comportements à l'étude chez des individus avec ou sans cécité visuelle, et d'autre part, des situations de déplacement ambulatoires variant par leur complexité externe (présence ou non d'obstacle) et/ou interne (présence ou non d'une tâche cognitive concurrente), et ceci, auprès de personnes avec cécité visuelle équipées d'une assistance (canne vs. chien-guide). Même si d'autres hypothèses sont rapportées et examinées (notamment celles en lien avec le modèle psycho-ergonomique de l'adaptation aux effets du vieillissement, Marin-Lamellet & Marquié, 2012), la principale hypothèse défendue par la candidate est celle d'une optimisation au long cours des fonctions attentionnelles, exécutives et de mémoire de travail chez les personnes avec déficience visuelle, avec pour résultante un maintien probablement plus efficient des capacités ambulatoires lorsqu'elles vieillissent. Cette hypothèse, fil directeur de la thèse, révèle le caractère remarquable et original du travail mené où la cécité visuelle, faiblesse tangible ou perte indiscutable, se voit associée à des forces ou gains issus des efforts adaptatifs continus entrepris par ces personnes, et qui en font des personnes extra-ordinaires.

En préliminaire à mon analyse détaillée du travail, je tiens à exprimer ma totale approbation au travail mené. D'ailleurs, deux publications internationales de très bonne qualité ont été réalisées (*Acta Psychologica* et *Disability & Rehabilitation*) et deux articles de conférences ont été également présentés à *International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled*

people en Juillet 2015. En conséquence, les remarques ou questions rapportées dans mon analyse détaillée ci-après ne sont en aucun cas une remise en cause du travail et, sont donc à voir comme des voies d'amélioration et/ou de discussion que je souhaiterais partager avec la candidate.

Sur le plan formel, le document est de bonne facture dans son organisation avec un bon équilibre des parties théoriques (2 chapitres) et expérimentales (2 chapitres avec la discussion générale). Aussi, sur le plan rédactionnel, les efforts didactiques (des résumés en italiques sont essaimés tout au long du document) sont visibles et assoient l'efficacité du propos. La sous-utilisation de schémas/figures est tout même à regretter.

Sur le contenu, la *partie théorique* (**Chap. 1**) se compose de trois grandes sections.

La *première* propose un bref état de l'art sur les définitions actuelles (classifications selon gravité des troubles, causes et durée) de la cécité visuelle et sur les quelques études (trop rares) disponibles concernant le vieillissement des personnes avec cécité visuelle et leur vie quotidienne (volets qualité de vie et autonomie).

La *seconde* s'attèle plus longuement à juste titre à l'activité de déplacement ambulatorio sans vision. La synthèse de la littérature menée par la candidate révèle que l'activité de déplacement du piéton aveugle est factuellement restreinte (à des degrés très hétérogènes selon les individus), risquée (plus fort taux d'accidents) et, bien que peu étudié, le vieillissement semble être un facteur aggravant. De là, la candidate dresse les facteurs palliatifs à l'absence de vision pour la locomotion avec les facteurs internes perceptifs (écholocalisation, proprioception vision résiduelle, etc.) et les facteurs externes (aides techniques : canne, chien, dispositifs GPS, etc.). Fonctionnellement, les travaux sur la locomotion rapportés soulignent que fondamentalement le pattern de marche chez les personnes avec cécité visuelle est comparable à celles des personnes sans cécité même si celui-ci est dépendant de facteurs externes (gestion de la trajectoire selon complexité de l'environnement) et internes (âge et âge d'acquisition). A la différence, les études portant sur les comportements navigationnels et les apprentissages spatiaux sont beaucoup moins concordants concernant les spécificités de ce public (infériorité, égalité ou supériorité sont rapportées). De manière intéressante et contributive à la thèse défendue, il est souligné que les études centrées-perception, convergent vers la conclusion selon laquelle l'utilisation soutenue des sens palliatifs ne s'associe pas à une acuité sensorielle augmentée mais induit à une orientation de l'attention plus efficace pour les stimuli auditifs et haptiques (Hatwell, 2003). A cela, les études centrées-attention révèlent le plus fort coût cognitif associé à la locomotion chez ce public, en particulier en conditions environnementales complexes, sans pour autant renseigner l'effet de l'âge ou encore celui de l'antériorité de la cécité.

La *troisième* section se concentre sur les mécanismes d'attention, notamment à travers la distinction « Intensité vs. Sélectivité » de Van Zomeranb & Brouwer, 1994) mais aussi sur la mémoire de travail (modèle de Baddeley, 2000), et les fonctions exécutives (modèle de Miyake, 2000) des personnes avec cécité visuelle. L'état de l'art est complet et exhaustif (tableaux synoptiques très didactiques sur les études existantes où les protocoles et résultats sont facilement intelligibles). Celui-ci révèle que les capacités d'attention sélective et divisée sont supérieures, celles de mémoire de travail seraient possiblement supérieures (résultats contradictoires). Quant aux capacités exécutives d'inhibition ou de flexibilité, celles-ci ne sont pas renseignées dans la littérature.

Bien que les liens entre ces modèles et les concepts s'y rapportant sont évoqués, la candidate oriente son focus sur les outils d'évaluation sans réellement formaliser les liens d'un modèle à l'autre entre d'une part, les construits cognitifs (attention, mémoire de travail, fonctions exécutives, capacités spatiales, locomotion) et, d'autre part, les mesures pouvant s'y rapporter.

Par exemple, les modèles ou revue de questions autour, d'une part, de l'intégration de trajet (e.g., Loomis, J. M., Klatzky, R. L., Golledge, R. G., & Philbeck, J. W., 1999) dissociant la composante locomotion et la composante cognitive, et d'autre part, des liens entre fonctions exécutives, attention et mémoire de travail (Diamond, A., 2013) auraient permis à la candidate d'affiner ses prédictions et les résultats attendus.

Sur la base de ses éléments bibliographiques, la candidate dessine la problématique (**Chap.2**) de son travail et dresse ses objectifs comme suit : étudier 1) les mécanismes cognitifs contribuant à la locomotion des personnes avec cécité visuelle ; 2) étudier les pistes d'amélioration de la mobilité de ces personnes.

Cette partie théorique atteste du travail conséquent de synthèse réalisé par le doctorant.

La *partie expérimentale* (**Chap. 3**) se compose de trois sections : les deux premières rapportent deux études, et la dernière se consacre à la discussion et conclusion des travaux.

Au total, sur les trois études, près de 73 participants avec cécité visuelle et 42 participants « neurotypiques » ont été examinés au cours de cette thèse, ce qui représente un travail considérable.

La *première section* présente une étude où la doctorante aiguisé sa méthodologie d'évaluation des mécanismes cognitifs (attention, mémoire de travail, fonctions exécutives) et de la flexibilité/aisance aux déplacements auprès de participants avec et sans cécité visuelle, et variant également pour la catégorie d'âge (jeune vs. âgé). Cette étude est divisée en deux parties avec 1) l'examen des facteurs « cécité » et « âge » sur les mécanismes à l'étude et 2) celui de plusieurs facteurs inter-individuels au sein des participants avec cécité (âge, éducation, antériorité de la cécité, indices de mobilité). Les principaux résultats de la première partie de l'étude révèlent uniquement des effets simples soit positifs de la cécité (e.g., attention soutenue, attention sélective et attention divisée) ou négatifs de l'âge (e.g., attention sélective, attention divisée, mémoire de travail et inhibition exécutive). Ainsi, aucune interaction Age* Cécité n'est observée. Ces résultats sont renforcés par des mesures contrôlant l'efficacité cognitive globale (échelle verbale WAIS-R). Les résultats de la 2^{de} partie de l'étude révèlent un effet de l'âge sur quasi toutes les mesures, un effet sélectif du niveau d'éducation sur l'épreuve d'inhibition exécutive (Hayling test), un effet sélectif de l'antériorité de la cécité sur la mémoire de travail (mémoire des chiffres) et l'inhibition exécutive et, enfin, un effet sélectif de la mobilité sur l'attention soutenue. Les résultats sont correctement analysés et interprétés par la candidate à la lumière des travaux du domaine mais surtout lui permettent d'étayer en grande partie l'hypothèse centrale de la thèse à savoir une optimisation en modalité non visuo-spatiale des mécanismes d'attention (sélective, soutenue et divisée), et de mémoire de travail chez les personnes avec cécité visuelle. L'absence d'effet pour les tests exécutifs est discutée au travers d'explications de sensibilité des tests (complexité, saturation en connaissance, etc.).

La *seconde étude* présente deux expérimentations visant à sonder la gestion de la charge mentale d'une locomotion en situation de cécité visuelle, et ceci selon le type d'aide utilisée (Exp. 1 : canne N=25 ; et Exp 2 : Chien guide, N=13). Dans ce but, un paradigme de double tâche est utilisé avec une condition simple de locomotion (déplacement translationnel) à partir de laquelle sont dérivées 4 conditions doubles impliquant une tâche attentionnelle auditive à deux niveaux de difficulté (T1 et T2) avec ou sans obstacles (n=5). Les indicateurs à l'étude sont riches et variés : performance de marche (durée, arrêts, vitesse, fréquence et longueur des pas et leur coefficient de variation respectif, gestion des obstacles et gestion de la trajectoire), performance à la tâche attentionnelle (précision, efficacité), interférence double tâche (coût DFE, précision et efficacité sur chaque tâche) et évaluation subjective de la charge mentale (NASA-TLX adaptée). Globalement, le design expérimental soulève quelques questions : comment justifier l'absence de condition « simple » avec obstacle ? Pourquoi ne pas avoir moyenné les conditions DT1SO et

DT2SO, d'une part, et d'autre part les conditions DT1SO et DT2SO pour magnifier l'effet d'une charge interne dans le premier cas, et l'effet d'une charge interne et externe dans le second cas? Peut-on conclure à une optimisation des mécanismes attentionnels chez les personnes avec cécité en l'absence de groupe contrôle sans cécité?

La 1^{ère} **Exp.** auprès des participants avec canne révèle pour l'essentiel que la condition de tâche double interne n'affecte pas les paramètres de marche même si la première est moins bien réussie, notamment en présence d'obstacles et que les participants aient rapportés un coût cognitif plus important en condition double tâche (avec ou sans obstacles) comparée à la condition « simple ». Concernant les facteurs inter-individuels, le facteur « aisance de déplacement », et capacités attentionnelles se sont révélés « protecteurs » des effets délétères d'une condition double tâche sur certains indicateurs (e.g., durée des essais, déviation de trajectoire, etc.). Les résultats n'ont pas permis de capturer un effet significatif de l'âge ou de l'antériorité de la cécité.

La 2^{nde} **Exp.** auprès des participants avec chien révèle uniquement un effet de la condition double tâche avec obstacle sur la durée du trajet, et la comparaison avec le groupe « canne » indique que les participants avec chien sont plus efficaces dans leur locomotion et gestion des obstacles avec une diminution de la charge mentale ressentie à la réalisation de la tâche, voire même un engagement dans la tâche diminué (45% contre 56% pour ceux avec canne). Ces résultats assoient l'externalisation effective d'une partie de la tâche locomotion chez les participants avec chien.

Notons que l'ensemble des traitements statistiques présentés pour les 2 études est riche et complet (tests non paramétriques et paramétriques, ANOVAs mixtes, multi-variées, test de sphéricité et correction, etc.), et, remplit les attendus pour publication et atteste de leur pleine maîtrise par la candidate. Une plus grande mise sous annexe de certains traitements statistiques aurait permis une plus grande lisibilité des résultats. Aussi, l'analyse de l'impact des facteurs inter-personnels au sein des participants avec cécité dans les études aurait pu être menée à l'aide d'ANCOVA, pour éviter des découpages à posteriori de sous-groupes, non équivalents d'une comparaison à l'autre.

La dernière section (**Chap. 4**) de la thèse synthétise et discute l'ensemble des résultats. La discussion propose une lecture des résultats par le modèle psycho-ergonomique de l'adaptation présenté en introduction. Elle approfondit aussi les différentes pistes d'application (évaluation diagnostique de la locomotion) et d'ouverture des travaux menés notamment dans le champ de la réadaptation (conception de programmes d'entraînement cognitif favorable à la mobilité, conception de technologies compensatoires pour la mobilité).

Dans l'ensemble, ce document témoigne d'un important travail expérimental à visée neuropsychologique et psycho-ergonomique. Les résultats obtenus valident clairement la méthodologie mise au point pour évaluer le fonctionnement attentionnel, exécutif et de mémoire de travail en modalité non visuo-spatiale. Même si les résultats obtenus ne sont pas toujours conformes à certaines hypothèses posées, ils sont bien expliqués et argumentés par la doctorante. Aussi, avec grande honnêteté et lucidité, la candidate explicite à bon escient les forces et limites de son travail. Les perspectives et préconisations présentées sont nombreuses, intéressantes et témoignent donc de la valeur ajoutée des travaux pour la communauté mais aussi les partenaires (Associations Valentin Haüy et Fédération des Aveugles de France).

En conclusion, ce travail est conforme aux exigences d'une thèse et je donne un avis très favorable à la soutenance de cette thèse.

Fait à Bordeaux, le 14/11/16

Hélène Sauzéon



Rapport de soutenance du diplôme doctorat

Université lumière Lyon 2

Ecole doctorale neurosciences et cognition (NSCo)

Laboratoire Ergonomie et Sciences Cognitives pour les Transports

Candidate : Caroline Pigeon

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

Jury :

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

Mme Hélène Sauzéron, Professeur, Université de Bordeaux, *Rapporteur*

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

M. Jordan Navarro, MCF-HDR, Université de Lyon 2, *Président du jury*

Mme Judith Renaud, Professeur, PhD, Université de Montréal, *Examineur*

M. François Vital-Durand, DR INSERM-EPEHE-Retraité, *Examineur*

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

Soutenance : 6 Décembre 2016

Le **Président du Jury**, le **Dr. Jordan Navarro**, donne la parole à la candidate. Celle-ci présente, au cours d'un exposé d'environ 40 minutes, son travail de doctorat. Son exposé est précis et rigoureux.

Le Président du Jury donne la parole au **Pr. Hélène Sauzéron**, rapporteur du manuscrit. Hélène Sauzéron commence son intervention en remerciant Claude Marin-Lamellet de l'avoir

invitée à participer à ce jury de thèse. Ces remerciements se poursuivent en félicitant Madame *Caroline Pigeon* pour la qualité du travail réalisé et la clarté de son exposé oral, comme l'était tout autant le document écrit.

Puis, en tant que rapporteur, elle précise que le travail présenté s'inscrit dans des enjeux sociétaux manifestes, à savoir d'une part, l'inclusion sociale des personnes avec cécité visuelle et, d'autre, part, le traitement de la problématique du vieillissement de ces personnes, qui reste aujourd'hui un défi sociétal majeur en regard de la convention internationale des droits aux personnes en situation du handicap. La principale hypothèse défendue par la candidate est celle d'une optimisation au long cours des fonctions attentionnelles, exécutives et de mémoire de travail chez les personnes avec déficience visuelle, avec pour résultante un maintien probablement plus efficient des capacités ambulatrices lorsqu'elles vieillissent. Cette hypothèse, fil directeur de la thèse, révèle le caractère remarquable et original du travail mené où la cécité visuelle, faiblesse tangible ou perte indiscutable, se voit associée à des forces ou gains issus des efforts adaptatifs continus entrepris par ces personnes, et qui en font des personnes extraordinaires.

En préliminaire aux questions sur le travail, H. Sauzéon tient à exprimer sa totale approbation au travail mené (avec 2 publications internationales de très bonne qualité- *Acta Psychologica* et *Disability & Rehabilitation* - et 2 articles de conférences présentées à *International Conference on Mobility and Transport for Elderly and Disabled people* en 2015), et à souligner que les questions qui vont suivre ne sont en aucun cas une remise en cause du travail mais plutôt des voies d'amélioration et/ou de discussion avec la candidate.

Puis, Hélène Sauzéon interroge *Caroline Pigeon* en demandant tout d'abord quelques précisions sur la partie théorique du document concernant le modèle de Miyake, 2000 à trois fonctions : Pensez-vous que ces 3 fonctions sont strictement dissociées ? N'est-il pas illusoire de penser qu'il soit possible d'avoir des épreuves « pures » pour chaque fonction ? Si oui, quelle méthode serait la plus robuste pour les capturer sélectivement ? Une discussion s'engage alors. Madame *Caroline Pigeon* répond de manière argumentée, pertinente et réfléchie.

Sur la partie expérimentale, plusieurs questions concernent la 2^{ème} étude basée sur un paradigme de double tâche avec une condition simple de locomotion (déplacement translationnel) à partir de laquelle sont dérivées 4 conditions doubles impliquant une tâche attentionnelle auditive à deux niveaux de difficulté avec ou sans obstacles. Les indicateurs à l'étude sont riches et variés : performance de marche (durée, arrêts, vitesse, fréquence et longueur des pas ...), performance à la tâche attentionnelle, interférence double tâche et évaluation subjective de la charge mentale. Hélène Sauzéon questionne : Comment justifier l'absence de condition « simple » avec obstacle ? Peut-on conclure à une optimisation des mécanismes attentionnels chez les personnes avec cécité en l'absence de groupe contrôle sans

cécité ? Caroline Pigeon répond de manière argumentée et honnête à toutes les questions. Par exemple, elle déclare qu'il était difficile d'augmenter le temps de passation de l'expérimentation avec une 5^{ème} condition expérimentale mais qu'elle avait bien conscience de la limite que cela générerait. Aussi, *Caroline Pigeon* précise que la comparaison Avec vs. Sans cécité est très délicate méthodologiquement puisqu'elle impose de comparer des personnes privées de fait de vision depuis longtemps à des personnes voyantes bénéficiant de fait de la vision ou encore des personnes voyantes mais privées artificiellement de vision.

Se déclarant satisfaite, Hélène Sauzéron termine son intervention en renouvelant ses félicitations pour la qualité et l'important travail réalisé et du réel apport du travail à la compréhension de la charge cognitive associée à la locomotion/mobilité des personnes avec cécité visuelle, en y intégrant une perspective interindividuelle (âge, antériorité de la cécité, attention et fonctions exécutives, aisance de la mobilité, ...).

Le Président du Jury donne ensuite la parole au **Pr. Edouard Gentaz**, rapporteur. Il commence son intervention en soulignant qu'au niveau de la forme, la thèse est très bien présentée et très bien rédigée ; elle comporte notamment un plan très clair avec des petits résumés à la fin de chaque section et de très nombreuses références bibliographiques. Au niveau de l'état de l'art, le chapitre 1, dresse un bilan des connaissances complet et actualisé sur la cécité, le vieillissement cognitif de la personne aveugle, et ses effets sur la mobilité. La synthèse des contenus présentés est très pertinente au regard de la section expérimentale. Le chapitre 2 présente de manière claire et précise les objectifs des recherches. Au niveau de la section expérimentale, le Pr Gentaz souligne en particulier la difficulté de conduire de telles études expérimentales. Il félicite la candidate pour son important travail d'expérimentation auprès des personnes aveugles, la qualité des analyses et leurs interprétations mesurées et approfondies. Il interroge la candidate sur les raisons d'avoir utilisé certains modèles ou tests de la mémoire de travail classiques mais anciens. Il demande aussi pourquoi la candidate a choisi comme variable contrôle la durée de scolarité et pas le niveau de diplôme ou la CSP des participants, ou encore sur la relative faiblesse des effectifs du groupe contrôle (voyants) de la première étude. Il interroge aussi la candidate sur la manière de tester la relation causale entre les capacités attentionnelles et le déplacement chez les personnes aveugles en évaluant les effets d'entraînements spécifiques par exemple. Le Pr. Gentaz est très satisfait des réponses apportées par la candidate. Enfin, il termine son intervention en renouvelant ses félicitations à la candidate.

Le Président du Jury donne ensuite la parole au **Dr. Florence Gaunet**, examinatrice. Il est précisé que dans cette thèse, portant sur « La réalisation sécurisée et efficiente des déplacements des piétons aveugles », sont présentes des contributions théoriques originales

sur les personnes privées de vision, et des réflexions intéressantes d'apports en termes de réhabilitation, etc.

Les intérêts majeurs de cette thèse sont premièrement d'aborder la population privée de vision sous l'angle neuropsychologique, approche peu courante et très utile, car la privation de vision est en elle-même plus compliquée que la manière dont elle est généralement abordée : différents types de maladie qui peuvent avoir chacune des impacts différents à différents niveaux (cognitifs, émotionnels), les deux yeux peuvent ne pas être impactés pareillement, effet de l'éducation, effet du tempérament, etc. Cette approche prend la personne non-voyante sous des aspects multidimensionnels, ce qui est rare et qui EST NECESSAIRE car il n'y a toujours pas de modèle psychologique expliquant, par exemple la cognition spatiale : de très nombreux facteurs concourent donc certainement à une variabilité. Mme. Pigeon a commencé à en cerner certains ; nécessité de grande cohorte car « système complexe ».

Un second intérêt majeur est d'avoir pour la première fois montré que le chien guide allège la charge cognitive, ainsi que rapporté par les maitres de chiens guides eux-mêmes. Résultat à promouvoir auprès des personnes susceptibles d'être de bons candidats à prendre un chien guide.

Le Président du Jury donne ensuite la parole au **Pr. Judith Renaud**, examinatrice. Judith Renaud remercie d'abord Claude Marin-Lamellet pour cette belle invitation à la soutenance de madame Caroline Pigeon. Elle félicite ensuite Mme Pigeon pour l'ampleur de son recrutement des participants ayant une cécité, population difficile à rejoindre. Elle indique également qu'elle apprécie l'intérêt et la sensibilité de Mme Pigeon à proposer des applications cliniques à ses résultats aux professionnels de la réadaptation.

Par la suite, elle interroge Mme Pigeon. Voici les principales questions posées : 1) Dans l'expérience 1, une batterie de tests cognitifs a été utilisée. En tenant compte des contraintes cliniques, en particulier le temps, quelle épreuve choisiriez-vous si vous aviez à n'en retenir qu'une seule ?; 2) Pensez-vous que les accidents antérieurs ont un impact sur l'aisance de déplacement des gens ayant une cécité ? et 3) Vous mentionnez dans votre thèse que la mobilité est un élément important de la participation sociale et a un impact sur la qualité de vie. Avez-vous, de part vos lectures ou vos interactions avec vos participants, l'impression que ceux avec une aisance de déplacement supérieure présentent une meilleure participation ou qualité de vie ? Envisagez-vous d'inclure des outils évaluant ces concepts dans vos études futures ?

Professeure Renaud se montre très satisfaite des réponses de Mme Pigeon. Elle termine en mentionnant que la perspective de pouvoir offrir un entraînement cognitif pour améliorer les

déplacements des personnes aveugles est une voie prometteuse. Elle encourage Mme Pigeon à poursuivre dans cette direction.

Le Président du Jury donne ensuite la parole au **Pr. François Vital-Durand**, examinateur. Voici un résumé de la teneur de son propos introductif : « Je ne reviendrai pas sur les analyses et commentaires de mes collègues auxquels j'adhère pleinement et sur vos réponses satisfaisantes. J'ai noté une omission de taille dans votre introduction. C'est le roi Louis IX (Saint Louis) qui après avoir chassé les sans aveux de Paris en 1260, rachète quinze vingts prisonniers (sur 12 000) au retour de la septième croisade catastrophique. Il leur donne « une grande maison pour les pauvres aveugles ». Car ils arrivent les yeux détruits par leurs détenteurs, pour qu'ils ne causent pas sur leur retour de dommages aux populations traversées. C'est l'origine de ce grand hôpital. »

Plus sérieux, le professeur Vital-Durand a apprécié la dissection fine des mécanismes attentionnels et mnésiques des personnes déficientes visuelles comparées aux voyants. Il souligne également l'allusion faite au déclin lié à l'âge, mais aussi aux notions de vieillesse réussie et de réserve cérébrale, cette plasticité démontrée de redévelopper l'usage de neurones par des pratiques et techniques dédiées à contrer les effets de l'âge. La mise en œuvre de processus vicariants en démontre les bienfaits.

Ces notions sont les outils dont doivent se servir les créateurs de nouvelles technologies. Depuis l'apparition de la canne électronique TOM-TOM, de nouvelles cannes apparaissent, dont celle de Go Sense. Il y aura bien sûr compétition commerciale, mais l'important sera de mesurer le bénéfice relatif de chacune et d'évaluer la façon dont elles satisfont des catégories de bénéficiaires dont les attentes sont si multiples comme l'a bien démontré votre travail.

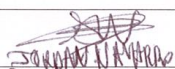
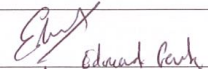
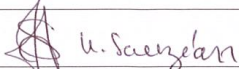
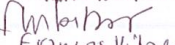
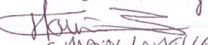
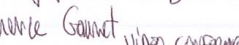
Votre démarche n'est donc pas terminée, continuez. Félicitations.

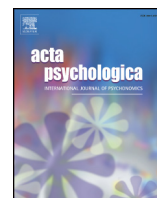
Jordan Navarro, examinateur et président du jury prend alors la parole et précise que les travaux de Mme. Pigeon ont déjà donné lieu à deux publications dans des journaux à comité de lecture ainsi qu'à plusieurs communications dans des conférences nationales et internationales. Il loue la qualité du manuscrit de thèse aussi bien pour les parties théoriques qu'expérimentales qui le rendent très cohérent et agréable à lire. Il félicite la candidate quant à l'étude expérimentale très réussie pour une thématique impliquant de nombreuses difficultés méthodologiques (âge de survenue de la cécité, niveau de gravité, temps écoulé depuis la survenue de la cécité...). Les questions adressées à la candidate ont porté sur le choix des fonctions cognitives que sont l'attention et la mémoire de travail à l'exclusion d'autres fonctions cognitives comme les émotions et la mémoire épisodique et le choix de ne pas utiliser le concept de conscience de la situation bien établi en ergonomie. Les questions de

contrôle expérimental et de validité écologique sont discutées au travers des différentes études réalisées. Les questions s'orientent ensuite sur la comparaison entre canne et chiens-guide et particulièrement sur les niveaux de coopération associés (mode perceptif et mode délégation de fonction) ainsi que les facteurs susceptibles d'influencer la coopération homme-animal. Pour finir la candidate est questionnée sur les futurs outils d'assistances à destination des personnes malvoyantes. La candidate fait preuve d'une grande maturité intellectuelle et d'une grande lucidité dans l'ensemble de ses réponses aux questions. Ces échanges confirment l'excellence du travail réalisé jugé comme conséquent et particulièrement pertinent tant d'un point de vue académique que d'un point de vue sociétal.

Le Président du Jury donne ensuite la parole au **Dr. Claude Marin-Lamellet**, directeur de thèse qui clôture la séance de questions du jury et indique le très grand plaisir qu'il a eu à collaborer avec celle-ci depuis son stage de Master 1 et jusqu'à ce jour. Il souligne sa progression constante, son écoute, sa curiosité et sa capacité d'analyse sans oublier son très bon relationnel avec les personnes aveugles. C. Marin-Lamellet indique également que C. Pigeon a travaillé sur un projet de recherche impliquant l'Ifsttar et sa filiale Ergoptim sur les déplacements intermodaux des personnes aveugles et que les observations et entretiens qu'elle a effectués dans ce projet ont été très « nourriciers » pour la thèse. Enfin, il remercie les membres du jury pour leur participation et leur questionnement pertinent et conclut en se disant très confiant sur la suite de la carrière scientifique de Caroline Pigeon et notamment pour son séjour post doctoral à l'Université de Sherbrooke.

Après avoir lu le manuscrit, écouté la candidate présenter ses travaux pendant 40 minutes et échangé avec elle pendant près de 2 heures puis délibéré, le jury décide d'attribuer le titre de docteur à Caroline Pigeon. De manière unanime, le jury souhaite également adresser ses félicitations à Mme. Pigeon pour la quantité et la qualité de son travail de doctorat.

 François Vitzel-Durand	 Claude Marin-Lamellet	 U. Saenzel	 Florence Gaudet
 Vincent Durand	 Claude Marin-Lamellet	 U. Saenzel	 Florence Gaudet



Evaluation of the attentional capacities and working memory of early and late blind persons



Caroline Pigeon*, Claude Marin-Lamellet

IFSTTAR, TS2, LESCOT, 25, Avenue François Mitterrand — Case 24, 69675 Bron Cedex, France

ARTICLE INFO

Article history:

Received 18 March 2014

Received in revised form 12 November 2014

Accepted 22 November 2014

Available online xxxx

PsychINFO classification:

3299 Vision & Hearing & Sensory Disorders

Keywords:

Visually impaired persons

Early blindness

Late blindness

Attentional processes

Working memory

Neuropsychological assessment

ABSTRACT

Although attentional processes and working memory seem to be significantly involved in the daily activities (particularly during navigating) of persons who are blind and who use these abilities to compensate for their lack of vision, few studies have investigated these mechanisms in this population. The aim of this study is to evaluate the selective, sustained and divided attention, attentional inhibition and switching and working memory of blind persons. Early blind, late blind and sighted participants completed neuropsychological tests that were designed or adapted to be achievable in the absence of vision. The results revealed that the early blind participants outperformed the sighted ones in selective, sustained and divided attention and working memory tests, and the late blind participants outperformed the sighted participants in selective, sustained and divided attention. However, no differences were found between the blind groups and the sighted group in the attentional inhibition and switching tests. Furthermore, no differences were found between the early and late blind participants in this set of tests. These results suggest that early and late blind persons can compensate for the lack of vision by an enhancement of the attentional and working memory capacities.

© 2014 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Because vision is the most useful sense for processing spatial information (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997), the navigation of persons who are visually impaired requires that they manage a large amount of information through available sensorial modalities, mobility aids and mnemonic information. Moreover, because navigation is a dynamic activity, temporal constraints require the regular updating of processed information.

There is a long-standing debate regarding the possibility that blind persons compensate for their lack of vision through improvements in tactile and auditory sensitivities. Although some results are in agreement with this perspective (Gougoux et al., 2004; Wan, Wood, Reutens, & Wilson, 2010), there is strong evidence that blindness does not lead to improvements in basic sensorial acuity (Lewald, 2002; Pascual-Leone & Torres, 1993) but rather leads to more efficient processing of available information (Grant, Thiagarajah, & Sathian, 2000; Hatwell, 2003). In agreement with this latter assumption, Hugdahl et al. (2004) reported that the perceptual improvements observed in blind persons occur only for perceptual functions that involve higher-level processes (such as speech discrimination and the detection of echoes as signals for the

guidance of locomotion) and that basic sensorial functions are not improved.

Thus, several authors have proposed that blindness might result in the enhancement of higher-level cognitive processes, such as attentional processes, and have suggested that navigation without vision appears to involve the mobilization of selective attention and attentional inhibition (of irrelevant information), sustained attention, divided attention, attentional switching and working memory (Espinosa, Ungar, Ochaita, Blades, & Spencer, 1998; Geruschat & Turano, 2007; Kujala, Lehtokoski, Alho, Kekoni, & Näätänen, 1997; Ocelli, Spence, & Zampini, 2013). Some of these attentional processes have previously been studied in blind individuals.

For example, Collignon, Renier, Bruyer, Tranduy, and Veraart (2006) and Collignon and De Volder (2009) found that early blind persons answer more rapidly (but not more accurately) than sighted persons in Go–NoGo tasks composed of auditory and tactile stimuli. In a more recent study, Lerens and Renier (2014) found that early blind participants are faster than sighted ones in the detection of auditory targets coming from frontal and/or peripheral locations and that the improved performance of blind persons is greater when there are multiple sound sources. Thus, the results obtained in these studies suggest an enhancement of spatial selective attention in early blind persons. Additionally, to measure the inhibition process, Collignon et al. (2006) and Collignon and De Volder (2009) compared the rates of false alarms (i.e., when participants respond to a distractor) of blind and sighted participants and found no differences between the two groups. Furthermore, Collignon

* Corresponding author at: IFSTTAR-LESCOT, 25 Avenue François Mitterrand — Case 24, 69675 Bron Cedex, France. Tel.: +33 4 72 14 24 65.

E-mail address: caroline.pigeon@ifsttar.fr (C. Pigeon).

et al. (2006), Collignon and De Volder (2009) and Kujala et al. (1997) found that early blind individuals have divided attention abilities that are improved compared to those of sighted persons; these individuals are faster at detecting targets among auditory and tactile stimuli. Thus, blind persons are familiar with the simultaneous use of auditory and tactile systems and are less impaired by the cost of sharing attention.

Additional studies have been conducted regarding the working memory of blind persons, and these studies have primarily focused on the tactile modality. For example, Bliss, Kujala, and Hämäläinen (2004) compared the performance of early and late blind and sighted participants in N-back tasks. The blind participants outperformed the sighted ones in a tactile task involving raised letters. The performance of the sighted participants in a visual task was better than that of the blind participants in the task with the raised letters but did not differ from the performance of the blind participants in a task with Braille characters. Thus, the performance of blind persons and sighted persons in an N-back task seems to be related to the participants' familiarity with the material used. Using a haptic adaptation of the Corsi Block-Tapping task, Ruggiero and Iachini (2010) found that the tactile forward span of late blind participants was higher than that of sighted participants, and the performance of early blind participants was intermediate. The tactile backward spans of the three groups were similar. However, the differences in the performance of the groups can be explained by different familiarity with the tactile modality for spatial perception. Thus, these two studies emphasize the need to use identical materials and to control the familiarity level between the groups being tested. To account for tactile processing in blind persons, Cohen, Voss, Lepore, and Scherzer (2010) and Cohen, Scherzer, Viau, Voss, and Lepore (2011) proposed the addition of a tactile subsystem to the working memory model of Baddeley and Hitch (1974). Using different concurrent tasks during the realization of a tactile working memory task, Cohen et al. (2011) concluded that the tactile subsystem of the working memory of blind persons has a spatial nature. The working memory capacities of blind children have also been assessed. Although some authors have shown that blind children's performance is superior to that of sighted children in working memory and short-term memory tasks (Withagen, Kappers, Vervloed, Knoors, & Verhoeven, 2013), other authors have found that blind children outperform sighted children in short-term memory tasks, but not in working memory tasks (Swanson & Luxenberg, 2009). Moreover, Hull and Mason (1995) demonstrated that blind children achieve greater forward and backward spans than do sighted children. Although it is difficult to draw conclusions from some studies of the working memory of blind persons because of the use of different tasks for sighted and blind participants, the overall trend of the relevant studies tends to demonstrate an enhancement of working memory in blind persons.

Regarding the sustained attention and attentional switching capacities of blind persons, no studies have been conducted. However, Kujala et al. (1997) suggested that blind persons would have an attentional switching mechanism that is more efficient than that of sighted persons due to the more extensive practice with the available perceptual modalities, particularly during pedestrian traveling.

Despite the important involvement of attention in navigation by blind persons and studies of some of the attentional capacities of blind persons, a global consideration of all of the attentional processes of this population has not been performed, possibly due to the difficulty of assessing attentional processes without the visual modality because attention has traditionally been considered through the lens of vision. Clinical professionals note that the number of neuropsychological tests accessible to persons with visual impairments is limited and that there are no appropriate norms for this population (Hill-Briggs, Dial, Morere, & Joyce, 2007).

In addition, most of the studies discussed did not distinguish between the two main sub-groups of the population of persons who are blind, early and late blind people. Indeed, blindness has different effects on cognitive processes depending on the age at which it occurs

(Hatwell, 2003). Late blind persons have better abilities to understand spatial arrangements as a whole than do early blind persons because late blind persons have experienced the simultaneous character of vision (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997). Thus, the spatial processing required for navigation involves a greater cognitive effort (particularly in terms of attentional and working memory levels) for early blind than for late blind persons. This difference can result in greater attention and working memory capacities in early than in late blind persons. Nonetheless, although some authors have studied these two sub-populations separately (Bliss et al., 2004; Ruggiero & Iachini, 2010), the majority of the studies on attention have focused only on early blind persons (Collignon & De Volder, 2009; Collignon et al., 2006; Kujala et al., 1997; Lerens & Renier, 2014).

The first aim of the present study was to design a set of cognitive tests that assesses selective attention, sustained attention, divided attention, inhibition, attentional switching and working memory and that is accessible to persons with visual impairments. The second aim was to compare the performance of early and late blind persons with the performance of sighted people in this set of tests. According to the theory that blind persons overcome their lack of vision via improvements in higher-level cognitive processes, we propose that the performance of the blind participants should be superior to the performance of the sighted participants and that the performance of the early blind participants should be superior to the performance of the late blind participants.

2. Methods

2.1. Participants

Fourteen early blind participants (10 females and 4 males) aged 27–52 (mean age = 35 years, SD = 8.6), ten late blind participants (5 females and 5 males) aged 28–51 (mean age = 39 years, SD = 7.4) and 24 sighted participants (15 females and 9 males) aged 22–50 (mean age = 31 years, SD = 8.2) took part in the study. The blind participants had no residual eyesight or were able to see bright light and had no other neurological or sensory-motor impairments. Only three early blind participants were not blind from birth; these participants became blind at three, five and six years old. The late blind participants became blind between the ages of 14 and 46 years (mean age of onset = 15.9 years, SD = 9.5). The blindness of the participants was due to various etiologies. The early and late blind participants were able to move independently outside of their homes with a white cane (18) or a guide dog (6). Six subtests from the verbal portion of the Wechsler Adult Intelligence Scale – Revised (WAIS-R, Wechsler, 1955; 1981) were used to determine that the intellectual functioning of the three groups was similar ($F(2, 45) = 0.595, p = 0.556$). Although this verbal portion of the test assesses only verbal IQ, this was the only portion of the test that is available to evaluate the intellectual functioning of visually impaired persons. According to Price, Mount, and Coles (1987), this verbal part is appropriate for assessing persons who are blind and provides a verbal IQ that correlates with the IQ acquired with the complete scale at a level of 0.95. The simple reaction times of the participants were also compared. Using a simple reaction time test, we demonstrated that the three groups of participants exhibited equivalent sensory-motor rapidity ($F(2, 45) = 3.628, p = 0.644$). The sighted participants were blindfolded during the testing. The subjects provided written informed consent prior to participation. This experiment was approved by the ethics committee of the IFSTTAR.

2.2. Procedures and materials

The participants were seated in a quiet room during the experiment. The duration of the session varied from 90 to 120 min. The different attentional components of the participants were assessed with tests

that were either standardized or designed for the study because no test was available for visually impaired persons.

2.2.1. Tests designed for the study

In a pilot study (unpublished) with four early blind persons and ten sighted persons, the subtests 2, 3 and 5 of a French version of the Test of Everyday Attention (TEA) adapted by Allain, Kefi, and Gall (2002) were used to assess the attentional capacities of the participants. The ceiling effect obtained revealed that the TEA subtests used are too easy for persons without attentional disorders. Then, attentional tests were specifically designed for the present study.

All of the tasks described below were programmed with the software SuperLab Pro (version 2.0.4). The programming of tests, the presentation of the stimuli and the recording of the responses and reaction times were performed on a Dell Latitude D620 laptop.

For the N-back task and the selective, sustained and divided attention tasks, the participant was instructed to respond by pressing the space bar on the keyboard with the index finger of his dominant hand as rapidly as possible. Button presses within 200 milliseconds (ms) of the target stimulus onset and before the next stimulus onset were classified as hits, and presses at any other time were scored as false alarms.

2.2.1.1. N-back test. The N-back test is used to test working memory, particularly the processes of updating (Kane, Conwal, Miura, & Colflesh, 2007). Consonants were presented one at a time. The interstimuli interval was 1500 ms. There were ten targets among 60 stimuli in each condition. There were four conditions (0, 1, 2 and 3-back) that differed in the level of difficulty involved. In the 0-back condition, the participant had to respond every time a target consonant was presented; in the 1-back condition, he had to respond when the presented consonant was the same as the previously presented consonant; in the 2-back condition, a response was required when the consonant was the same as the one preceding the previous one; and in the 3-back condition, a response was required when the consonant was the same as the one presented three consonants previously. The numbers of responses and reaction times were recorded.

2.2.1.2. Plus-minus task. This task is used to test attention switching (Miyake et al., 2000). In the original version (Spector & Biederman, 1976), three lists of 30 two-digit numbers are presented on a sheet of paper. On the first list, the participant is instructed to add three to each number and write the answers. On the second list, he is asked to subtract three from each number and write the answers. On the third list, he is required to alternate between adding three to and subtracting three from the numbers and writing the answers. The participant is asked to complete each list as quickly and accurately as possible. The cost of switching between the two operations is calculated as the difference between the time required to complete the third list and the average of the times required to complete the first two lists. We adapted this task to the auditory modality and used the same numbers. For each list, the numbers were audibly presented by the computer. When a number was presented, the participant performed the appropriate operation and then provided his answer verbally. Then, the experimenter pressed the space bar, and the next number was presented. At the same time, the experimenter noted the errors and recorded the time required to complete each list with a stopwatch. The cost of switching was calculated in the same manner used for the original version, and the result served as a dependent variable.

2.2.1.3. Selective attention test. Consonants (targets) and one-digit numbers (distractors) were audibly presented in a random order with interstimuli intervals of 1000, 1500 and 2000 ms (randomized). The participant was asked to press the space bar each time he heard a consonant. One hundred twenty stimuli were presented; 1/3 of the stimuli were targets, and the task lasted 3 min. Hits, false alarms, omissions and reaction times were recorded.

2.2.1.4. Sustained attention test. This task is similar to the previous task, but 360 stimuli were presented, and the task lasted 9 min. The instructions and measures were the same. To examine variations in attentional level over time, the measures were analyzed in three parts (i.e., the first part, the second part and the last part of the task).

2.2.1.5. Divided attention test. This task was composed of two subtasks that were performed simultaneously. The participant was asked to perform a task that was identical to the selective attention test and at the same time was required to count the occurrences of one digit (presented eight times) aloud. For the first task, hits, false alarms, omissions and reaction times were recorded. For the second task, the score (number of digits counted) was recorded.

2.2.2. Standardized test

2.2.2.1. Digit span (WAIS-R, Wechsler, 1955; 1981). This test is composed of two subtests called the Digit Forward and Digit Backward tests. In both subtests, sequences of digits are presented and gradually lengthened by single digits until the participant fails two consecutive sequences. In the Digit Forward task, the participant is asked to repeat the sequence in the same order of presentation. In the Digit Backward task, the participant is asked to repeat the sequence in reverse order. The dependent variables are the forward and backward spans (i.e., the maximal numbers of items that could be repeated without errors) and the standard age score (obtained by adding the scores in the two conditions and converting the obtained score based on the participant's age).

3. Results

The data (scores and/or reaction times) from the tests were statistically analyzed with one-way analyses of variance (ANOVAs) to compare the performances of the three groups (i.e., the early blind, late blind and sighted groups). For some of the data from the divided attention test and digit span test, repeated-measures ANOVAs using a design with 3 groups (between subject factor: early blind, late blind and sighted groups) $\times$ 2 conditions (within-subject factors) were used. For the N-back test, a repeated measures ANOVA with a design of 3 groups (between subject factor: early blind, late blind and sighted groups) $\times$ 4 conditions (within-subject factors: 0-back, 1-back, 2-back and 3-back conditions) was used. If the variances were not homogeneous (as determined with Mauchly's test), the Greenhouse–Geisser correction was used. Based on significant *F* values, the Fisher LSD test was used for the post hoc analyses. The level of significance for all statistics was $p < 0.05$. The means and standard deviations for each of the performance measures for each of the groups are shown in Table 1.

3.1. Selective attention test

A one-way ANOVA of the scores revealed a significant effect of group ($F(2, 45) = 4.274, p = 0.020$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants scored significantly higher than did the control participants ($p = 0.011$), the late blind participants scored significantly higher than did the control participants ($p = 0.045$), and there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.782$). A one-way ANOVA on the reaction times revealed a significant effect of group ($F(2, 45) = 7.106, p = 0.002$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants ($p = 0.002$) and late blind participants ($p = 0.010$) exhibited significantly shorter reaction times than did the control participants, but there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.778$; Fig. 1.). A one-way ANOVA of the false alarms did not reveal a significant effect of group ($F(2, 45) = 1.715, p = 0.118$).

Table 1

Means and standard deviations for each of the performance measures of the groups.

Test	Variable	Mean (SD)		
		Early blind (n = 14)	Late blind (n = 10)	Control (n = 24)
Selective attention test	Score	38.8 (1.3)	38.5 (1.2)	36.6 (3.2)
	False alarm number	0.6 (0.8)	1.3 (1.1)	0.7 (0.9)
	Reaction time (ms)	662.4 (55.4)	669.5 (55.3)	731.2 (65.3)
Sustained attention test	Score	117.1 (4.3)	116.4 (3.6)	109.5 (10.6)
	Reaction time (ms)	686.4 (62.2)	696.9 (66.1)	755.3 (72.4)
Divided attention test	First task score	35.4 (3.9)	34.9 (3.5)	30.6 (5.7)
	First task reaction time (ms)	740.2 (62.5)	740.5 (62.3)	846.5 (110.4)
	Second task score	6.6 (1.2)	6.5 (1.0)	7.4 (1.0)
Auditory N-back test	0-back score	10.0 (0.0)	9.9 (0.3)	9.9 (0.2)
	1-back score	10.0 (0.0)	9.6 (0.7)	9.9 (0.2)
	2-back score	9.0 (1.6)	9.3 (1.6)	8.2 (1.8)
	3-back score	6.1 (1.6)	5.4 (2.0)	5.3 (1.4)
	0-back reaction time (ms)	520.1 (69.5)	539.2 (87.3)	591.0 (137.7)
	1-back reaction time (ms)	558.8 (50.1)	607.0 (91.6)	642.3 (101.0)
	2-back reaction time (ms)	681.9 (91.5)	740.1 (140.8)	838.0 (132.7)
	3-back reaction time (ms)	824.0 (114.1)	965.1 (285.9)	1010.1 (135.6)
	Standard age score	15.0 (3.8)	13.1 (2.7) ^a	12.9 (2.9)
Digit span	Forward span	7.1 (1.9)	6.6 (1.8)	6.9 (1.2)
	Backward span	5.9 (1.5)	5.5 (0.9)	5.0 (1.2)
Auditory plus-minus task	Costs of switching	9.3 (11.2)	7.3 (9.9) ^a	8.1 (11.7)

^a One late blind participant did not perform the plus-minus task adequately; thus, for this task, there were nine participants in late blind group.

3.2. Sustained attention test

A one-way ANOVA of the scores revealed a significant effect of group ($F(2, 45) = 4.930, p = 0.012$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants ($p = 0.007$) and the late blind participants ($p = 0.029$) scored significantly higher than did the control participants, but there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.826$). A one-way ANOVA on the reaction times revealed a significant effect of group ($F(2, 45) = 5.422, p = 0.008$). Post hoc analyses revealed that the early blind participants ($p = 0.001$) and late blind participants ($p = 0.003$) exhibited significantly shorter reaction times than did the control participants, but there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.994$). The performances of the participants were decomposed and analyzed in three parts to determine whether there were variations in attentional level over time. A two-way ANOVA on

the scores revealed an effect of group ($F(2, 141) = 4.930, p = 0.012$), an interaction effect between part and group ($F(4, 141) = 2.761, p = 0.032$) and no significant effect of part ($F(2, 141) = 0.962, p = 0.386$). A two-way ANOVA on the reaction times revealed an effect of group ($F(2, 141) = 5.091, p = 0.010$), no significant effect of part ($F(2, 141) = 0.933, p = 0.397$) and no interaction effect between part and group ($F(4, 141) = 1.295, p = 0.282$; Fig. 1.).

3.3. Divided attention test

A one-way ANOVA on the scores for the first task revealed a significant effect of group ($F(2, 45) = 5.301, p = 0.009$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants ($p = 0.006$) and the late blind participants ($p = 0.024$) were significantly faster than the control participants, but there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.821$). A one-way ANOVA

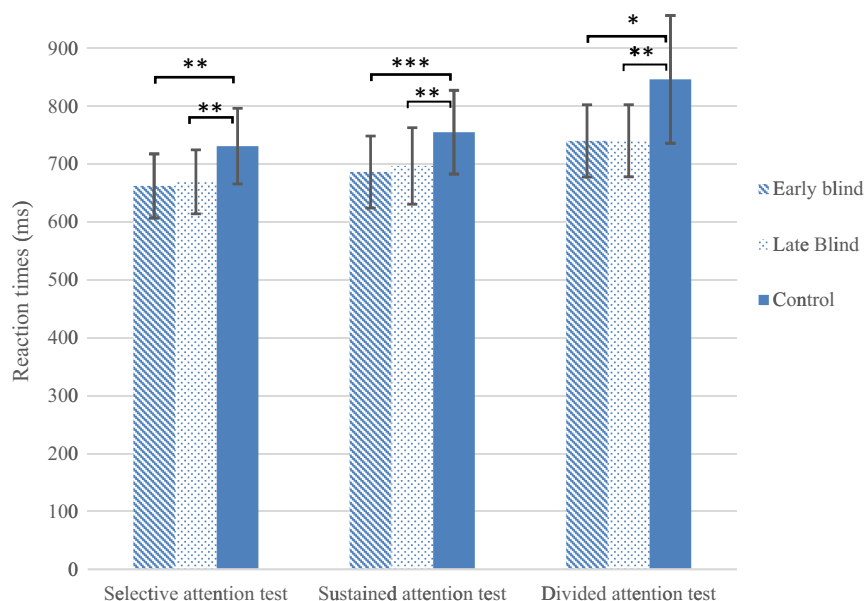


Fig. 1. Mean reaction times (with standard deviations of the means) exhibited by the three groups in the selective, sustained and divided attention tests. * $p \leq 0.05$; ** $p \leq 0.01$; *** $p \leq 0.001$.

of the reaction times in the first task revealed a significant effect of group ($F(2, 45) = 8.325, p = 0.001$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants ($p = 0.009$) and the late blind participants ($p = 0.034$) exhibited significantly shorter reaction times than did the control participants, but there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.810$). A one-way ANOVA on the scores for the second task did not reveal a significant effect of group ($F(2, 45) = 1.172, p = 0.319$). To determine the cost induced by the second task on the performance of the first task, the scores and reaction times for the first task were compared to those of the selective attention test. A two-way ANOVA on the scores revealed a significant effect of condition ($F(1, 93) = 59.680, p = 0.000$). Post hoc analyses demonstrated that scores in the selective attention condition were higher than the scores in the divided condition ($p = 0.000$). A significant effect of group was found ($F(2, 93) = 5.765, p = 0.006$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants ($p = 0.004$) and the late blind participants ($p = 0.019$) scored significantly higher than the control participants, but there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.792$). The analysis did not reveal a significant interaction effect between group and condition ($F(2, 93) = 2.741, p = 0.075$). A two-way ANOVA on the reaction times revealed a significant effect of condition ($F(1, 93) = 68.446, p = 0.000$). Post hoc analyses demonstrated that the reaction times in the selective attention condition were shorter than the reaction times in the divided condition ($p = 0.000$). A significant effect of the group was observed ($F(2, 93) = 9.438, p = 0.000$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants ($p = 0.000$) and the late blind participants ($p = 0.002$) exhibited significantly shorter reaction times than did the control participants, but there was no significant difference between the early and late blind participants ($p = 0.896$). The analysis did not reveal a significant interaction effect between group and condition ($F(2, 93) = 2.073, p = 0.138$; Fig. 1).

3.4. N-back test

A two-way ANOVA on the scores revealed a significant effect of condition ($F(3, 189) = 144.918, p = 0.000$). Post hoc analyses demonstrated that scores in the 0-back condition did not differ significantly from the scores in the 1-back condition ($p = 0.139$) but were significantly higher than those in the 2- and 3-back conditions ($p = 0.000$). The scores in the 1-back condition were higher than those in the 2- and 3-back conditions ($p = 0.000$), and the scores in the 2-back condition were higher than those in the 3-back condition ($p = 0.000$). The analysis did not reveal a significant effect of the group ($F(2, 189) = 1.395, p = 0.258$) or an interaction effect between group and condition ($F(6, 189) = 1.512, p = 0.203$). The group differences in the scores were also examined using separate one-way ANOVAs for each condition. For the 0-back condition, the analysis did not reveal a significant effect of group ($F(2, 45) = 0.706, p = 0.499$). The analysis revealed a significant effect of group in the 1-back condition ($F(2, 45) = 4.706, p = 0.016$). Post hoc analyses demonstrated that the scores of the late blind participants were lower than those of the early blind participants ($p = 0.008$) and those of the control participants ($p = 0.008$), but the scores of the early blind participants did not differ from those of the control participants ($p = 0.721$). The analysis did not reveal significant differences between the three groups in the 2-back condition ($F(2, 45) = 1.864, p = 0.167$) or the 3-back condition ($F(2, 45) = 1.085, p = 0.345$). A two-way ANOVA on the reaction times revealed a significant effect of condition ($F(3, 189) = 119.918, p = 0.000$). Post hoc analyses demonstrated that reaction times in the 0-back condition were significantly shorter than those in the 1-back condition ($p = 0.001$), the reaction times in the 1-back condition were significantly shorter than those in the 2-back condition ($p = 0.000$), and the reaction times in the 2-back condition were significantly shorter than those in the 3-back condition ($p = 0.000$). Moreover, the analysis revealed a significant effect of group ($F(2, 189) = 8.158, p = 0.001$). Post hoc analyses demonstrated that the early blind participants

achieved significantly shorter reaction times than did the control participants ($p = 0.000$). However, there were no significant differences between the early and late blind participants ($p = 0.094$) or between the late blind and control participants ($p = 0.094$). No interaction effect was found between group and condition ($F(6, 189) = 1.756, p = 0.141$). The group differences in reaction times were studied using separate one-way ANOVAs for each condition. For the 0-back condition, this analysis did not reveal a significant effect of group ($F(2, 45) = 1.969, p = 0.151$). The analysis revealed a significant effect of group in the 1-back condition ($F(2, 45) = 4.053, p = 0.024$). Post hoc analyses demonstrated that the reaction times of the late blind participants did not differ from those of the early blind participants ($p = 0.189$) or from those of the control participants ($p = 0.289$), but the early blind participants achieved shorter reaction times than did the control participants ($p = 0.007$). The analysis revealed a significant effect of group in the 2-back condition ($F(2, 45) = 7.968, p = 0.001$). Post hoc analyses demonstrated that the reaction times of the early blind participants did not differ from those of the late blind participants ($p = 0.260$), but the early blind participants achieved shorter reaction times than did the control participants ($p = 0.000$), and the late blind participants achieved shorter reaction times than did the control participants ($p = 0.033$). The analyses revealed a significant effect of group in the 3-back condition ($F(2, 45) = 5.296, p = 0.009$). Post hoc analyses demonstrated that the reaction times of the late blind participants did not differ from those of the early blind participants ($p = 0.062$) or from those of the control participants ($p = 0.433$); however, the early blind participants achieved shorter reaction times than did the control participants ($p = 0.002$).

3.5. Digit span

A two-way ANOVA on the scores revealed a significant effect of condition ($F(1, 93) = 48.760, p = 0.000$). Post hoc analyses demonstrated that the forward span scores were higher than the backward span scores ($p = 0.000$). No group effect ($F(2, 93) = 1.299, p = 0.283$) or interaction effect between group and condition was found ($F(2, 93) = 1.867, p = 0.427$). The group differences in scores were also studied using separate one-way ANOVAs for the two conditions. These analyses did not reveal a significant effect in the forward span ($F(2, 45) = 0.360, p = 0.700$) or backward span tests ($F(2, 45) = 1.977, p = 0.150$).

Standard scores were calculated by adding the scores of the two conditions and converting the obtained score based on the participant's age. A one-way ANOVA on the standard age scores did not reveal a significant effect of group ($F(2, 45) = 2.775, p = 0.077$).

3.6. Plus-minus task

A one-way ANOVA on the costs of switching did not reveal a significant effect of group ($F(2, 45) = 0.096, p = 0.909$).

4. Discussion

The aims of this study were to design a set of cognitive tests that assessed selective attention, sustained attention, divided attention, inhibition, attentional switching and working memory and that was accessible to persons with visual impairment and to compare the performances of early blind, late blind and sighted people on this set of tests.

First, each process will be discussed separately, then a more general discussion will address the absence of differences observed between the two blind groups.

4.1. Enhanced attentional and working memory processes in blindness

In the selective attention test, the early and late blind participants exhibited higher scores and shorter reaction times than did the sighted

participants, and the scores and reaction times of the early blind and late blind participants were equivalent. There were no differences in the number of false alarms between the three groups. These results are consistent with those of Collignon et al. (2006) and Collignon and De Volder (2009), who found that early blind persons are faster (but achieve equivalent scores) than sighted persons in a selective attention test. However, our results are more robust because we found a significant difference between the scores of the two groups. As in the studies of Collignon et al. (2006) and Collignon and De Volder (2009), we did not observe any difference between the three groups in the number of false alarms, which suggests that the inhibition capacities of the three populations were equivalent. However, the test used (as with those used by Collignon et al., 2006 and Collignon & De Volder, 2009) does not specifically assess inhibition; rather, the number of false alarms of the selective attention test was used to measure inhibition. It will be necessary to develop a specific test to assess the inhibition processes of blind persons. Although the results are comparable, the test used in the present research is somewhat different from those used by Collignon et al. (2006) and Collignon and De Volder (2009). In Collignon's studies, the participants judged the spatial localization of stimuli, whereas in the present study, the participants judged the category (digit or letter) of stimuli. The present study therefore showed that the superiority of blind persons in selective attention exceeds the spatial domain.

In the sustained attention test, the early blind participants exhibited significantly higher scores and shorter reaction times than did the sighted participants. The late blind participants exhibited shorter reaction times but did not exhibit higher scores than the sighted participants. The early blind participants and the late blind participants exhibited equivalent scores and reaction times. As explained in the Results section, to study the variation in attentional level over time, the performances were decomposed and analyzed in three parts. A significant interaction effect between group and part was found, but no part effect was found, which suggests that the mean performance of all of the participants did not significantly fluctuate with time. The present study seems to be the first to investigate the sustained attention of blind persons and to show that the blind persons (early and late) were more efficient than the sighted persons in maintaining attention over 10 min.

In the divided attention test, the early blind and late blind participants exhibited significantly higher scores and shorter reaction times than did the sighted participants, and the early and late blind participants exhibited equivalent scores and reaction times in the first task. In the second task, the performances of the three groups were equivalent. The scores and reaction times obtained in the first task were compared with those obtained in the selective attention task. An effect of the condition was found; the task was easier when performed alone than when performed with a secondary task. A group effect was also found; the early and late blind participants exhibited better performance than did the sighted participants, but no interaction effect between group and condition was found. This study confirms the results of Kujala et al. (1997), Collignon et al. (2006) and Collignon and De Volder (2009), who found that early blind participants are faster in divided attention tasks than sighted participants but additionally shows that late blind persons are more efficient than sighted persons in divided attention.

An auditory version of the plus-minus task was used to assess attentional switching, and no significant between-group differences in the costs of switching were found. This study seems to be the first to evaluate attentional switching in blind persons, but it failed to identify enhanced performance among blind persons.

The N-back and digit span tests were used to assess working memory. In the N-back test, there were significant differences in the scores only in the 2-back condition, in which the late blind participants exhibited lower scores than did the early blind and sighted participants. The early blind participants were faster than the sighted participants in the 1, 2, and 3-back conditions, and the late blind participants were

faster than the sighted participants only in the 2-back condition. However, there were no significant differences in the reaction times between the early and late blind participants in any of the four conditions. The lack of differences between groups in the 0-back condition is not surprising because this condition does not involve working memory; it only requires the detection of a single stimulus. Therefore, this condition can be considered a control condition. Condition effects on the scores (excluding the 0- and 1-back tasks in which the scores were similar) and reaction times were found. These findings indicate that the performances (in terms of both scores and rapidity) of the participants decreased when the difficulty level of the condition was increased. The N-back test used by Bliss et al. (2004) did not allow the authors to conclude that blind persons exhibited better performance than sighted persons because the participants were not compared with the same stimuli and did not have the same familiarity with the stimuli. The N-back test of the present study allowed for such a comparison. However, no difference was found between the early and late blind persons. Regarding the digit span test, there were no differences between the three groups in either the forward or backward span. In their study, Rokem and Ahissar (2009) found that early blind participants exhibit greater forward spans than do sighted participants, but the backward spans of these two groups are equivalent. It is important to note the presence of a ceiling effect only for the blind participants in the present study (this effect was observed in 6 early and 2 late blind participants in the forward span test and 3 early blind participants in the backward span). Thus, the spans obtained here do not actually account for the mean number of items that the blind participants were able to retrieve from working memory. This number of items might have been higher if a longer span test had been used, and differences between groups might have been found. Because no ceiling effect was mentioned in the study of Rokem and Ahissar (2009), it is difficult to compare their results to those of the present study. Thus, the ceiling effect that was present only for the blind participants suggests (but does not confirm) that blind persons exhibit improved spans, and the results of the N-back test confirm the superiority of the working memory of blind persons.

Because the three groups did not exhibit significant differences in reaction times in the simple reaction time test or the 0-back condition, the faster reaction of the blind participants in the attentional tests and other conditions of the N-back test did not depend on faster stimuli detections or faster motor responses. Moreover, because the faster reaction times of the blind participants were not accompanied by lower scores, the rapidity seems to be unrelated to a speed-accuracy trade-off. Hence, the faster reaction times suggest attentional enhancements in the blind participants, as found in previous studies (Collignon & De Volder, 2009; Collignon et al., 2006; Kujala et al., 1997).

Taken together, our results demonstrate that blind persons have better attentional capacities than do sighted persons, particularly in terms of selective, sustained, and divided attention and working memory capacities, in the absence of enhanced simple reaction times or superior intellectual functioning. At the cortical level, the attentional modulations of blind persons are also observable. Activations of the visual cortex in early blind persons (but not in sighted ones) during auditory, tactile and bimodal attention tasks have been reported in an fMRI study (Weaver & Stevens, 2007). Weaver and Stevens (2007) reported that the additional occipital activity observed in blind persons during attentional processing might explain the enhanced attentional abilities of this population, including those observed in the present study.

Navigation without vision, which involves the processing and manipulation of a large amount of information, can lead to the over-development of attentional mechanisms and working memory, as is the case for other cognitive strategies, such as numerical skills. Indeed, superior numerical abilities have been found in blind persons (Castronovo & Delvenne, 2013; Castronovo & Seron, 2007), and these findings can be explained by the fact that navigating without vision involves numerical processing, such as quantitative judgments (e.g., time and distance estimations and numbers of footsteps between two

landmarks). The cognitive mechanisms of blind persons, particularly their attentional processes, should be studied during navigation activities to better understand the involvement of attentional capacities in compensation for a lack of vision during navigation, as has been done with semi-sighted persons with glaucoma (Geruschat & Turano, 2007).

4.2. Similar performances in early and late blindness

In the present research, no differences were found between early and late blind persons (with the exception of the 1-back condition scores). Similar results have been reported by Bliss et al. (2004). The performance of late blind persons was nearly always intermediate to those of early blind and sighted participants, and more significant differences were found between the early blind and sighted participants than between the late blind and sighted participants. Although these findings suggest that early blind participants potentially have superior capacities than do late blind participants, the differences between the two populations were not sufficiently large to be statistically significant. This lack of significance does not seem to be the result of the lack of sensitivity of the tests because score differences were found between the sighted and blind participants in addition to the reaction time differences that have typically been found in other studies (Collignon & De Volder, 2009; Collignon et al., 2006; Kujala et al., 1997). These results suggest that the sensitivities of the tests designed for the present study were good.

The absence of differences may be due to the duration of blindness among the late blind participants included in this study. These participants had been without vision for an average of 15.9 years (SD = 9.5 years). It is possible that the practice of daily activities without vision during this relatively long period of time led to enhancements of attention and working memory that were nearly as important as those observed in the early blind persons. Further investigations with larger samples are required to determine the effect of the age of blindness onset on improvements in attentional and working memory abilities.

4.3. Conclusions

The present study seems to be the first attempt to provide an overall assessment of the attentional functioning of blind persons, although several other studies have focused on specific cognitive mechanisms. Indeed, our results indicate that blindness (since birth or appearing in adulthood) seems to lead to information processes and manipulations that are fast and efficient.

The set of tests developed for this study is easy to use and might be helpful to allow clinicians to appreciate the cognitive functioning of people with visual impairments. Considering the accelerated aging of the population, the increasing numbers of persons with age-related visual diseases (such as age-related macular degeneration) and the declines in attentional and working memory functions that occur with normal and pathological aging, it is important to have tools that can evaluate these processes in the absence of the visual modality.

Acknowledgments

We gratefully thank all the volunteers and the Fédération des Aveugles et Handicapés Visuels de France, Association Valentin Haüy de Lyon, Association Valentin Haüy de Marseille and Association Valentin Haüy de Grenoble for their collaboration.

References

- Allain, P., Forgeau, M., Kefi, M. Z., Etcharry-Bouyx, F., & Le Gall, D. (2002). Evaluation des troubles attentionnels chez des traumatisés crâniens sévères: intérêt d'une adaptation francophone du Test of Everyday Attention. *Revue de Neuropsychologie*, 12(3), 401–435.
- Baddeley, A.D., & Hitch, G. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47–89.
- 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.
- Castronovo, J., & Delvenne, J.-F. (2013). Superior numerical abilities following early visual deprivation. *Cortex*, 49(5), 1435–1440.
- Castronovo, J., & Seron, X. (2007). Numerical estimation in blind subjects: Evidence of the impact of blindness and its following experience. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 1089–1106.
- 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.
- 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.
- Espinosa, M.A., Ungar, S., Ochaíta, 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.
- 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.
- Gougoux, F., Lepore, F., Lassonde, M., Voss, P., Zatorre, R.J., & Belin, P. (2004). Pitch discrimination in the early blind. *Nature*, 430(6997), 309.
- Grant, A.C., Thiagarajah, M.C., & Sathian, K. (2000). Tactile perception in blind Braille readers: A psychophysical study of acuity and hyperacuity using gratings and dot patterns. *Perception & Psychophysics*, 62(2), 301–312.
- Hatwell, Y. (2003). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. (Paris: Dunod).
- 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.
- Hugdahl, K., Ek, M., Takio, F., Rintee, T., Tuomainen, J., Haarala, C., et al. (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.
- 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.
- 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.
- Lerens, E., & Renier, L. (2014). Does visual experience influence the spatial distribution of auditory attention? *Acta Psychologica*, 146, 58–62.
- Lewald, J. (2002). Opposing effects of head position on sound localization in blind and sighted human subjects. *European Journal of Neuroscience*, 15(7), 1219–1224.
- 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, 49–100.
- Ocellii, V., Spence, C., & Zampini, M. (2013). Auditory, tactile, and audiotactile information processing following visual deprivation. *Psychological Bulletin*, 139, 189–212.
- Pascual-Leone, A., & Torres, F. (1993). Plasticity of the sensorimotor cortex representation of the reading finger in Braille readers. *Brain*, 116(1), 39–52.
- Price, J.R., Mount, G. G., & Coles, E. A. (1987). Evaluating the visually impaired: neuropsychological technique. *Journal of Visual Impairment and Blindness*, 48, 20–30.
- Rokem, A., & Ahissar, M. (2009). Interaction of cognitive and auditory abilities in congenitally blind individuals. *Neuropsychologia*, 47, 843–848.
- 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.
- Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revisited. *The American Journal of Psychology*, 89(4), 669.
- 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.
- Thinus-Blanc, C., & Gaunet, F. (1997). Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? *Psychological Bulletin*, 121(1), 20–42.
- Wan, C.Y., Wood, A.G., Reutens, D.C., & Wilson, S.J. (2010). Early but not late-blindness leads to enhanced auditory perception. *Neuropsychologia*, 48, 344–348.
- 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.
- Wechsler, D. (1955). *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale*.
- Wechsler, D. (1981). *Wechsler Adult Intelligence Scale Revised*. New-York: Psychological Corporation.
- 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.

Les Personnes Aveugles Précoces Ont des Capacités de Mémoire de Travail Supérieures aux Personnes Voyantes

Caroline Pigeon, Claude Marin-Lamellet

TS2 - LESCOT

IFSTTAR

Bron, France

Caroline.pigeon@ifsttar.fr

Abstract — L'objectif de cette étude était d'évaluer les capacités de mémoire de travail des personnes aveugles précoces. Des participants aveugles précoces et voyants ont réalisé une tâche de n-back auditive et un empan envers et endroit. Les résultats ont montré que les participants aveugles étaient plus rapides dans trois des quatre conditions du test de n-back, mais que leurs scores ne différaient pas significativement de celui des participants voyants. Alors que l'empan endroit des deux groupes était équivalent, les participants aveugles ont obtenu un empan envers significativement supérieur. Ces résultats suggèrent que les personnes aveugles précoces ont des capacités de mémoire de travail supérieures.

Mots clés — *cécité ; mémoire de travail ; test de n-back auditif ; empan endroit/envers*

I. INTRODUCTION

Le déplacement est l'une des activités les plus altérées par l'absence de vision. La vision est en effet la modalité sensorielle la plus utile pour le traitement de l'information spatiale. Tout d'abord, la vision permet un recueil des informations à propos de l'agencement spatial de façon simultanée (périphérique et fovéal), diminuant le montant d'information à maintenir en mémoire [1]. Selon [2], c'est ce caractère simultané qui confère à la vision son avantage dans l'encodage de l'information spatiale. Ensuite, la rapidité des mouvements oculaires permet le traitement rapide de nombreuses informations [1]. La localisation visuelle d'objets distants est plus précise que par l'audition et le toucher [3]. De plus, l'information visuelle apporte de meilleures modulations attentionnelles que les autres informations sensorielles : l'orientation du regard vers une localisation de l'espace entraîne une orientation de l'attention à cet endroit [4].

La mémoire de travail est impliquée dans la réalisation de nombreuses tâches, telles que la compréhension, le raisonnement et l'apprentissage. Selon le modèle de mémoire de travail développé par [5], la mémoire de travail est composée d'un système exécutif central, qui contrôle deux systèmes esclaves, la boucle phonologique et le calepin visuo-spatial. Le système exécutif coordonne l'accès à l'information dans les autres sous-systèmes et en mémoire à long terme. La boucle phonologique permet le stockage temporaire de l'information verbale. Elle est composée du stock phonologique, un stock passif qui retient l'information verbale durant environ deux secondes, et de la boucle articulatoire, qui permet le maintien de l'information

verbale dans la boucle phonologique par auto-répétition sub-vocale. Le calepin visuo-spatial permet le stockage temporaire de l'information visuo-spatiale. Il est impliqué dans la génération et la manipulation des images mentales. Plus récemment, [6] a ajouté un quatrième sous-système, le buffer épisodique, aussi contrôlé par le système central exécutif. Ce sous-système lie les informations issues de différentes sources en block. Référence [7] a proposé de modifier ce modèle afin de rendre compte du stockage et de la manipulation des informations tactiles ou olfactives, par exemple de l'information tactile durant la lecture de Braille par les personnes aveugles. Les auteurs suggèrent que la mémoire de travail est composée de sous-systèmes esclaves reliés aux différentes modalités (auditive, visuo-spatiale, tactuo-spatiale, olfactive, gustative et action), et ces sous-systèmes peuvent être plus ou moins développés en fonction de l'expérience. Cette hypothèse est basée sur une étude [8] qui a permis de montrer que des personnes aveugles avaient des performances supérieures à des personnes malvoyantes à une tâche de mémoire de travail tactile (avec des stimuli braille) et que la performance des personnes aveugles à la tâche tactile était similaire à celle de personnes voyantes à une tâche visuelle analogue.

Lors de ses activités quotidiennes, par exemple pendant ses déplacements, une personne aveugle traite des informations qui sont principalement issues des modalités auditives et haptiques, et qui sont donc séquentielles par nature. Les informations doivent être intégrées en mémoire de travail, puis manipulées pour construire une représentation

spatiale de l'environnement. La mémoire de travail des personnes aveugles a déjà été étudiée, principalement en modalité tactile. Par exemple, [9] ont comparé les performances de participants aveugles précoces et tardifs et voyants à des tests de n-back. Tous les participants ont été testés à l'aide d'une tâche tactile avec des lettres en relief, les participants aveugles avec une tâche supplémentaire composée de caractères Braille et les participants voyants avec une tâche visuelle additionnelle, composée de lettres présentées sur un écran d'ordinateur. Les résultats ont montré que les participants aveugles ont surpassé les participants voyants dans la tâche tactile composée de lettres en relief ; la performance des participants voyants à la tâche visuelle était supérieure à celle des participants aveugles à la tâche composée de lettres en relief mais ne différait pas de celle des participants aveugles à la tâche en Braille. Ainsi, la performance obtenue à un test de n-back semble reliée à la familiarité que les participants ont avec le matériel utilisé. Des chercheurs ont soumis à des participantes aveugles congénitales et tardifs et des participants voyants une adaptation haptique du test des blocks de Corsi pour évaluer les empan spatiaux haptiques de mémoire de travail [10]. L'empan spatial endroit des participants aveugles tardifs était plus grand que celui des participants voyants ; la performance des participants aveugles précoces était intermédiaire. Néanmoins, la performance inférieure des participants voyants peut être expliquée par un manque de familiarité avec l'utilisation de la modalité tactile pour la perception spatiale. Pour l'empan envers, aucune différence entre les trois groupes n'a été trouvée. Les résultats obtenus dans ces deux études ([9] et [10]) sont difficilement interprétables, puisque les personnes aveugles sont comparées à des personnes voyantes sur des tests comportant des stimuli différents ou avec les mêmes stimuli mais moins familiers pour un groupe (les stimuli tactiles pour le groupe voyant). Il paraît ainsi important d'utiliser un matériel identique, et que les différents groupes testés ont avec ce matériel un niveau de familiarité similaire pour comparer la mémoire de travail des personnes aveugles à celle des personnes voyantes.

L'objectif de l'étude dans cet article était de comparer la performance de personnes aveugles précoces à celle de personnes voyantes à des tâches impliquant la mémoire de travail, composées de stimuli identiques pour les deux groupes (contrairement à [9]) et familier pour les deux groupes (contrairement à [10], la perception haptique étant très peu utilisée par les personnes voyantes). Les participants de l'étude ont donc été évalués sur des tâches en modalité auditive. L'hypothèse testée était que les performances aux tests impliquant la mémoire de travail des participants aveugles seraient supérieures à celles des participants contrôles.

II. METHODE

A. Participants

Quatorze personnes aveugles précoces (10 femmes and 4 hommes) âgées de 27 à 52 (âge moyen = 35 ans, SD (écart type) = 8.6) vingt-trois personnes voyantes (15 femmes and 8 hommes) âgées de 22 à 50 (âge moyen = 31 ans, SD = 8.2) ont participé à l'étude. Les participants aveugles n'avaient pas de vision résiduelle ou une seule perception de la lumière, et aucune autre atteinte neurologique ou sensori-motrice. Seuls trois participants aveugles ne l'étaient pas depuis la naissance, mais sont devenus aveugles à l'âge de trois, cinq et six ans. La cécité des participants était liée à des étiologies variées. Les participants aveugles sont capables de se déplacer de façon indépendante hors de chez eux à l'aide d'une canne blanche (11) ou d'un chien guide (3). Six sous-tests de la portion verbale de la Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised (WAIS-R, [11], [12]) ont été utilisés pour déterminer que le fonctionnement intellectuel des deux groupes était similaire ($t(0.863) = 2,35, p = 0.399$). Bien que cette portion n'évalue que le quotient intellectuel (QI) verbal, ce test est le seul disponible pour évaluer le fonctionnement intellectuel des personnes avec déficience visuelle. Cette portion verbale était appropriée pour l'évaluation des personnes aveugles et fournit un QI verbal qui corrèle à 0.95 avec le QI acquis à l'aide de l'échelle totale [13]. Les temps de réaction des groupes ont aussi été comparés. Un test de temps de réponse simple a permis de montrer que les groupes avaient une rapidité équivalente ($t(0.31) = 2,35, p = 0.976$). Les participants voyants ont eu les yeux bandés durant le test afin que tous les participants soient dans la même condition et d'empêcher l'interférence liée à des distractions visuelle sur le traitement des stimuli de la tâche pour les participants voyants. Les participants ont fourni un consentement informé signé avant l'expérimentation.

B. Procédure et matériel

Le test de n-back a été programmé avec le logiciel SuperLab Pro (version 2.0.4). La programmation des tests, la présentation des stimuli et l'enregistrement des réponses et temps de réponse ont été réalisés sur un ordinateur portable Dell Latitude D620.

Le test de n-back est utilisé pour tester la mémoire de travail, particulièrement les processus de mise à jour [14]. Des consonnes sont présentées une par une. L'intervalle interstimuli était de 1500 ms (milliseconde). Chaque séquence est composée de 60 stimuli auditifs, dont dix cibles. Il y a quatre conditions (0, 1, 2 et 3-back) qui diffèrent en fonction du niveau de difficulté impliqué. Dans la condition 0-back, le participant doit répondre à chaque fois qu'une consonne cible est présentée, en condition 1-back, il doit répondre quand une

consonne est identique à la précédente, en condition 2-back, quand la consonne est identique à celle placée avant la consonne précédente, et en condition 3-back, il doit répondre quand la consonne est la même que celle présentée trois consonnes plus tôt. Le participant a eu pour consigne de répondre en appuyant sur la barre espace d'un clavier avec l'index de sa main dominante le plus rapidement possible. Lorsque la touche était pressée après 200 ms après l'apparition du stimulus cible et avant l'apparition du stimulus suivant, la réponse était considérée comme correcte, la pression de la touche à n'importe quel autre moment était enregistrée comme fausse alarme. Les variables dépendantes étaient le nombre de réponses correctes ainsi que les temps de réponse.

Le test Mémoire des chiffres (WAIS-R, [11], [12]) est composé de deux sous-tests, l'empan endroit et l'empan envers. Dans ces sous-tests, des séquences de chiffres sont présentées auditivement, le nombre de chiffres augmente graduellement jusqu'à ce que le participant échoue à deux séquences consécutives. Pour l'empan endroit, le participant doit répéter la séquence dans le même ordre de présentation ; pour l'empan envers, il doit répéter la séquence dans l'ordre inverse. Les variables dépendantes étaient l'empan endroit et l'empan envers (le nombre maximum d'items répété sans erreur) et la note standard âge. La note standard âge est obtenue en ajoutant les scores des deux conditions et en pondérant ce score en fonction la classe d'âge du participant selon un tableau fourni dans le manuel [12], ce qui permet de comparer des personnes d'âges divers en s'affranchissant des effets de l'âge sur la performance.

III. RÉSULTATS

Les données (scores et/ou temps de réponse) ont été analysées avec un test de Student pour comparer les performances des deux groupes (groupe aveugle précoce et groupe voyant). Pour évaluer certaines données de la Mémoire des chiffres, une ANOVA à mesures répétées suivant le plan expérimental 2 groupes (facteurs inter sujet : groupe aveugle et voyant) X 2 conditions (facteurs intra sujet : empan endroit et empan envers) a été effectuée ; et pour le test de n-back, une ANOVA à mesures répétées suivant le plan expérimental 2 groupes (facteurs inter sujet : groupe aveugle et voyant) X 4 conditions (facteurs intra sujets : condition 0-back, 1-back, 2-back et 3-back) a été effectuée. Lorsque les variances n'étaient pas homogènes (en utilisant le test de Mauchly), la correction de Greenhouse-Geisser a été utilisée. Conditionné sur les valeurs significatives de F , le test LSD (Least Significant Difference) de Fisher a été utilisé pour les analyses post hoc. Le niveau de significativité utilisé pour toutes les statistiques était $p < 0.05$. Les moyennes et écart-types pour chaque mesure de performance des groupes et les valeurs statistiques pour les

comparaisons de performance réalisées avec le test de Student sont présentés dans la Table 1.

Test de N-Back. Une ANOVA à deux facteurs sur les scores a révélé un effet significatif de la condition ($F(3, 146) = 124.127, p = 0.000$). Les analyses post hoc montrent que les scores de la condition 0-back ne différaient pas significativement de ceux obtenus en condition 1-back ($p = 1.000$), mais étaient significativement plus élevés que ceux obtenus dans les conditions 2 et 3-back ($p = 0.000$), les scores obtenus en condition 1-back étaient plus élevés que ceux obtenus en condition 2 et 3-back ($p = 0.000$), et les scores obtenus en condition 2-back étaient plus élevés que ceux obtenus en condition 3-back ($p = 0.000$). L'analyse n'a pas révélé d'effet du groupe significatif ($F(1, 146) = 2.950, p = 0.095$), ni d'effet d'interaction entre le groupe et la condition ($F(3,146) = 1.353, p = 0.265$).

Les différences de score entre les groupes ont été étudiées séparément pour chaque condition avec un test de Student. Les analyses n'ont pas révélé de différences significatives entre les deux groupes pour la condition 0-back ($t(2.643) = 1, 35, p = 0.443$), 1-back ($t(2.643) = 1, 35, p = 0.443$), 2-back ($t(1.327) = 1, 35, p = 0.193$), ou 3-back ($t(1.480) = 1, 35, p = 0.148$).

Une ANOVA à deux facteurs sur les temps de réponse a montré un effet significatif de la condition ($F(3, 146) = 105.568, p = 0.000$). Les analyses post hoc ont montré que les temps de réponse en condition 1-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus en condition 1-back ($p = 0.012$), les temps de réponses obtenus en condition 1-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus en condition 2-back ($p = 0.000$), et les temps de réponse obtenus en condition 2-back étaient significativement plus courts que ceux obtenus en condition 3-back ($p = 0.000$). De plus, l'analyse a révélé un effet significatif du groupe ($F(1, 146) = 19.749, p = 0.000$), les participants aveugles ont été significativement plus rapides que les participants voyants. Un effet d'interaction entre le groupe et la condition a également été trouvé ($F(3, 146) = 3.646, p = 0.022$).

Les différences de temps de réponse entre les groupes pour chaque condition ont été étudiées séparément avec un test de Student. Les analyses n'ont pas révélé de différence significative entre les deux groupes pour la condition 0-back ($t(-1.636) = 1, 35, p = 0.111$), mais ont montré que les participants aveugles ont été plus rapides que les participants voyants dans la condition 1-back ($t(-3.153) = 1, 35, p = 0.003$), 2-back ($t(-3.867) = 1, 35, p = 0.000$) et 3-back ($t(-4.019) = 1, 35, p = 0.000$).

Tous les résultats significatifs obtenus précédemment avec les statistiques paramétriques ont été confirmé avec des tests non paramétriques.

Mémoire des chiffres. Une ANOVA à deux facteurs sur les empan a montré un effet significatif

de la condition ($F(1, 72) = 52.358, p = 0.000$), (confirmé avec un test statistique non paramétrique), l'empan endroit était plus grand que l'empan envers. Pas d'effet du groupe ($F(1, 72) = 2.554, p = 0.119$) et pas d'effet d'interaction entre le groupe et la condition n'a été trouvé ($F(1, 72) = 1.373, p = 0.249$).

Les différences entre les groupes pour les deux empan ainsi que pour la note standard ont été analysées séparément à l'aide d'un test de Student. Les analyses n'ont pas révélé de différence significative entre les deux groupes pour l'empan endroit ($t(0.738) = 1, 35, p = 0.470$), mais ont montré que les participants aveugles ont obtenu un empan envers plus grand que les participants contrôles ($t(2.052) = 1, 35, p = 0.048$) (résultat non confirmé par le test paramétrique). Pour la note standard âge, l'analyse a montré une différence qui tend à être significative ($t(2.073) = 1, 35, p = 0.053$).

IV. DISCUSSION

L'objectif principal de cette étude était de comparer la mémoire de travail de personnes aveugles précoces à celle de personnes voyantes en utilisant des tests identiques et dans une modalité sensorielle familière pour les deux groupes. L'hypothèse était que les participants aveugles précoces auraient de meilleures performances que les participants voyants à des tests impliquant la mémoire de travail.

Les participants aveugles ont été plus rapides que les participants voyants dans les conditions 1, 2 et 3-back, mais aucune différence entre les scores obtenus par les deux groupes dans les quatre conditions du test de n-back n'a été trouvée.

L'absence de différence entre les deux groupes pour la condition 0-back n'est pas surprenante, puisque cette condition peut être considérée comme une condition contrôle. En effet, elle n'implique pas la mémoire de travail, mais requiert juste la détection d'un stimulus particulier. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus à la tâche de temps de réponses simples, qui ont montré que les deux groupes avaient une rapidité équivalente, et supporte le fait que les différences en faveur des participants aveugles trouvées dans les autres conditions ne sont pas liées à une meilleure familiarité pour le traitement auditif.

Un effet de la condition a été trouvé, pour les scores (à l'exception des conditions 0 et 1-back, où les scores obtenus sont similaires) et pour les temps de réponse.

Cela indique que la performance (score et rapidité) des participants diminue lorsque le niveau de difficulté augmente. Un effet d'interaction groupe * condition a été trouvé pour les temps de réaction. Les temps de réaction s'allongent lorsque la difficulté augmente, mais pas de la même façon pour les deux groupes, les participants voyants sont plus

atteints par l'augmentation de la difficulté que les participants aveugles.

Le fait que les temps de réponse soient plus discriminants que les scores a déjà été observé dans d'autres études. Par exemple, [15] ont montré que les personnes aveugles précoces avaient une attention spatiale sélective et divisée supérieure aux personnes voyantes en observant des différences entre les deux groupes en termes de rapidité mais non au niveau du nombre de réponses correctes.

Les tests de n-back utilisés par [9] ne leur ont pas permis de conclure que les personnes aveugles avaient de meilleures performances que les personnes voyantes ; le test de la présente étude le permet, puisque tous les participants ont été comparé avec les mêmes stimuli et avaient la même familiarité avec ces stimuli.

Ces résultats ne sont pas en accord avec ceux de [16] qui ont trouvé que les personnes aveugles congénitales avaient un empan endroit plus grand que les personnes voyantes mais un empan envers équivalent. Plusieurs facteurs peuvent expliquer ces divergences. Il y a, dans les données de la présente étude, un effet plafond seulement pour les participants aveugles (6 participants pour l'empan endroit, 3 pour l'envers). Ainsi, les empan obtenus ici ne rendent pas réellement compte du nombre moyen d'items que les participants aveugles sont capables de récupérer en mémoire de travail ; ce nombre d'items aurait pu être plus grand avec un test d'empan plus long. En outre, malgré la présence d'un effet plafond dans la présente étude (absent dans l'étude de [16]), l'empan endroit moyen des participants aveugles est 1 point plus bas que celui obtenu par [16] (8.1, S.E.M = 0.2), suggérant une plus grande homogénéité dans la performance de leurs participants que celle des nôtres. De plus, nos participants étaient un peu plus âgés que ceux de [16] (35, SD = 8.6 versus 31.8, SD = 2), avec une plus grande variabilité de l'âge dans notre groupe ; alors que les performances d'empan sont connues pour décliner avec l'augmentation de l'âge, et cela même à partir de 20 ans [17].

Le test de n-back implique de lier, maintenir, mettre à jour puis délier les items en fonction de leur position temporelle [14], processus supporté par le système central exécutif. L'empan endroit implique la boucle phonologique [6] car il requiert un stockage temporaire passif, alors que l'empan envers mobilise plus le système central exécutif, puisqu'il requiert la manipulation de l'information durant le stockage temporaire [18].

Pris ensemble, les résultats de cette étude démontrent que les personnes aveugles précoces ont de meilleures capacités de mémoire de travail que les personnes voyantes, en particulier les capacités du système central exécutif.

TABLE I. MOYENNES, ECART-TYPE (SD) DE CHAQUE GROUPE ET VALEUR STATISTIQUE POUR CHAQUE COMPARAISON DE GROUPE

Test	Variable	Moyenne (SD)		t	p
		Aveugle n = 14	Voyants n = 23		
N-back test auditif	0-back score	10.0 (0.0)	9.9 (0.2)	2.643	0.443
	1-back score	10.0 (0.0)	9.9 (0.2)	2.643	0.443
	2-back score	9.0 (1.6)	8.2 (1.8)	1.327	0.193
	3-back score	6.1 (1.6)	5.3 (1.5)	1.480	0.148
	0-back temps de réponse (ms)	520.1 (69.5)	585.0 (137.5)	-1.636	0.111
	1-back temps de réponse (ms)	558.8 (50.1)	634.6 (96.0)	-3.153	0.003
	2-back temps de réponse (ms)	681.9 (91.5)	838.0 (132.7)	-3.867	0.000
	3-back temps de réponse (ms)	824.0 (114.1)	1017.5 (138.6)	-4.019	0.000
Mémoire des chiffres	Empan endroit	7.1 (1.9)	6.7 (1.1)	0.738	0.470
	Empan envers	5.9 (1.5)	5.0 (1.1)	2.052	0.048
	Note standard âge	15.0 (3.8)	12.7 (2.0)	2.073	0.053

Parmi le groupe des personnes aveugles précoces, trois personnes incluses ont perdu la vision à l'âge de trois, cinq et six ans. L'âge critère déterminant la désignation d'une personne aveugle comme étant précoce ou tardive varie en fonction des chercheurs. Classiquement, l'âge seuil est celui de trois ans [1]. Dans cette étude, trois personnes ont été incluses alors qu'elles avaient perdu la vue après cet âge seuil car avant d'être aveugles, elles furent toutes trois malvoyantes. Ainsi, puisqu'elles ont réalisé la quasi-totalité de leurs déplacements piétons sans vision ou avec une vision atteinte, nous pouvons considérer que les effets du déplacement sur la mémoire de travail sont similaires à ceux observés chez les personnes qui ont perdu la vue avant l'âge de trois ans.

L'absence de vision nécessite une mobilisation constante de la mémoire de travail, pour le traitement des informations issues des sens résiduels. C'est la réalisation d'activités quotidiennes sans voir, comme le déplacement piéton, qui pourrait apporter à nos participants une mémoire de travail plus développée. Ainsi, on peut se demander si les résultats obtenus ici peuvent être étendus à la population globale des personnes aveugles, comme par exemple aux personnes aveugles tardives, qui ont par le passé utilisé le canal visuel et ont par conséquent déjà construit des représentations spatiales d'une façon simultanée. De plus, les participants aveugles testés ici étaient tous capables de se déplacer de façon autonome. Néanmoins, [19] estiment que 29 % des personnes avec déficience visuelle (incluant les personnes aveugles et malvoyantes) ne sortent pas seules hors de chez elles. Il est possible que les personnes aveugles sans mobilité indépendante aient des capacités de mémoire de travail inférieures à celles des personnes aveugles qui se déplacent avec efficience. Si c'est le cas, entraîner la mémoire de travail pourrait être une solution pour développer une mobilité indépendante. L'utilisation de programmes d'entraînement pour améliorer la mobilité des personnes avec déficience visuelle a déjà été explorée, en particulier les entraînements basés sur les environnements virtuels [20].

Cependant, l'utilisation d'entraînement cognitif conçu pour améliorer la mobilité des personnes aveugles ne semble pas avoir été envisagée ; alors que l'entraînement cognitif est utilisé chez des populations variées, pour améliorer la réalisation de différentes activités quotidiennes. Par exemple, l'entraînement cognitif a déjà été utilisé pour améliorer la conduite automobile des personnes âgées [21]. Cette question mérite d'être investiguée, notamment pour savoir si l'augmentation des capacités de mémoire de travail des personnes aveugles serait transférable à l'activité de déplacement. Ainsi, cette étude ouvre la voie à des applications concrètes qui pourraient améliorer la mobilité des personnes aveugles.

Par ailleurs, le test de n-back conçu pour cette étude peut être d'une grande utilité pour les neuropsychologues qui déplorent la rareté de tests neuropsychologiques disponibles pour évaluer le fonctionnement cognitif des personnes avec atteinte visuelle.

REMERCIEMENTS

Nous remercions tous les volontaires et les associations "Fédération des Aveugles et Handicapés Visuels de France", "Association Valentin Haüy de Marseille" et "Association Valentin Haüy de Grenoble" pour leur collaboration.

REFERENCES

- [1] C. Thinus-Blanc et F. Gaunet, « Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? », *Psychological Bulletin*, vol. 121, n° 1, p. 20-42, 1997.
- [2] F. Ruotolo, G. Ruggiero, M. Vinciguerra, et T. Iachini, « Sequential vs simultaneous encoding of spatial information: A comparison between the blind and the sighted », *Acta Psychologica*, vol. 139, p. 382-389, 2012.
- [3] E. Gentaz, Y. Hatwell, « Le traitement haptique des propriétés spatiales et matérielles des objets », *Toucher pour connaître*. Paris: PUF, p. 129-162, 2000.
- [4] P. L. Smith, R. Ratcliff, et B. J. Wolfgang, « Attention orienting and the time course of perceptual decisions: response time distributions with masked and unmasked displays », *Vision Research*, vol. 44, p. 1297-1320, 2004.
- [5] A. Baddeley, « Working memory », *Science*, vol. 255, n° 5044, p. 556-559, 1992.

- [6] A. Baddeley, « The episodic buffer: a new component of working memory? », *Trends in cognitive sciences*, vol. 4, n° 11, p. 417-423, 2000.
- [7] H. Cohen, P. Scherzer, R. Viau, P. Voss, et F. Lepore, « Working memory for braille is shaped by experience », *Communicative & Integrative Biology*, vol. 4, p. 227-229, 2011.
- [8] H. Cohen, P. Voss, F. Lepore, et P. Scherzer, « The Nature of Working Memory for Braille », *PLOS ONE*, vol. 5, 2010.
- [9] I. Bliss, T. Kujala, et H. Hämäläinen, « Comparison of blind and sighted participants' performance in a letter recognition working memory task », *Cognitive Brain Research*, vol. 18, p. 273-277, 2004.
- [10] G. Ruggiero et T. Iachini, « The Role of Vision in the Corsi Block-Tapping Task: Evidence From Blind and Sighted People », *Neuropsychology*, vol. 24, p. 674-679, 2010.
- [11] D. Wechsler, « Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale. », 1955.
- [12] D. Wechsler, *WAIS-R manual: Wechsler adult intelligence scale-revised*. Psychological Corporation, 1981.
- [13] J. R. Price, G. R. Mount, et E. A. Coles, « Evaluating the Visually Impaired Neuropsychological Technique », *Journal of Visual Impairment and Blindness*, vol. 48, p. 28-30, 1987.
- [14] F. Schmiedek, A. Hildebrandt, M. Lövdén, O. Wilhelm, et U. Lindenberger, « Complex span versus updating tasks of working memory: The gap is not that deep. », *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, vol. 35, n° 4, p. 1089, 2009.
- [15] O. Collignon, L. Renier, R. Bruyer, D. Tranduy, et C. Vereaart, « Improved selective and divided spatial attention in early blind subjects », *Brain Research*, vol. 1075, p. 175-182, 2006.
- [16] A. Rokem et M. Ahissar, « Interaction of cognitive and auditory abilities in congenitally blind individuals », *Neuropsychologia*, vol. 47, p. 843-848, 2009.
- [17] R. L. Hester, G. J. Kinsella, et B. Ong, « Effect of age on forward and backward span tasks », *Journal of the International Neuropsychological Society*, vol. 10, n° 4, p. 475-481, 2004.
- [18] M. D. Lezak, *Neuropsychological assessment*. New York: Oxford University Press, 1995.
- [19] M.-S. Sander, M.-C. Bourmot, F. Lelièvre, et A. Tallec, « La population en situation de handicap visuel en France. Importance, caractéristiques, incapacités fonctionnelles et difficultés sociales », 2005.
- [20] L. B. Merabet, E. C. Connors, M. A. Halko, et J. Sanchez, « Teaching the Blind to Find Their Way by Playing Video Games », *PLOS ONE*, vol. 7, p. 1-6, 2012.
- [21] R. D. Seidler, J. A. Bernard, M. Buschkuhl, S. Jaeggi, J. Jonides, et J. Humfleet, « Cognitive training as an intervention to improve driving ability in the older adult », 2010.

MOBILITY OF PEOPLE WHO ARE BLIND: HOW THE ATTENTIONAL PROCESSES AND WORKING MEMORY ARE INVOLVED?

Pigeon Caroline (PhD candidate), Marin-Lamellet Claude (supervisor)

Ifsttar-TS2-Lescot, Bron, France

caroline.pigeon@ifsttar.fr

claud.marin-lamellet@ifsttar.fr

Abstract

Although navigation without vision seems to strongly mobilize the attentional processes and the working memory, few studies seem to be conducted about the link between these processes and the mobility of people who are blind. The main aim of this PhD work is to consider the attentional and working memory capacities of people who are blind and investigate the attentional processes involved during the navigation activity. In the first part of this PhD work, blind participants (early and late) perform a set of cognitive tests specifically designed in auditory modality and their performance is compared with those of matched sighted people. The second experimental part aims to measure the attentional load induced by the walking activity of blind participants, by using a secondary task. In a laboratory setup, blind participants walk along a path with and without obstacles to avoid while they perform a secondary task. This experimentation provides a better understanding of the involvement of the attentional capacities in the compensation for the lack of vision during the walking activity. These two experimental parts lead to an understanding of the links between attentional capacities and efficient navigation in blind pedestrians.

Keywords: people who are blind, attention, working memory, navigation

Introduction

There is an increasing development of technological aids designed to help people with visual impairment to navigate in transport areas like railway stations or public transport hubs. These technological devices provide useful information to blind pedestrians, but require attentional resources and increase their cognitive load. The question to be asked is if a person who is blind is able to process the additional information delivered by these technological aids.

Indeed, the pedestrian navigation of people who are blind requires managing a large amount of information through available sensorial modalities, mobility aids and mnesic information. Moreover, because it is a dynamic activity, navigation requires the regular updating of processed information. Thus, navigating without vision seems to strongly mobilize the attentional processes and the working memory.

However, despite its important involvement in navigation activity of people who are blind, few studies have focused on these cognitive processes.

An important factor that can have an impact on attentional and working memory capacities is the age of onset of the blindness. Indeed, some of the cognitive processes of early and late blind people can be developed differently (Hatwell, 2003). For example, because they have experienced the simultaneous characteristic of vision, late blind people have better abilities than early ones to understand spatial arrangements as a whole (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997). Thus, navigation requires spatial processing that mobilize more attentional effort for early blind people than for late ones.

The main objectives of this PhD work are to:

- Measure the attentional and working memory capacities of blind people, while taking into account of the age of onset of the blindness;
- Measure the attentional load involved in the walking and navigation activities of blind people;
- Propose recommendations for solutions to improve mobility of people who are blind.

To reach these objectives, three experiments are being/will be conducted. These experiments will be described in the present paper. In the first part, the first study, which consists of an assessment of the attentional capacities and working memory of people who are blind will be presented. For this study, a computerized set of neuropsychological tests was designed, and used with different groups of participants: early and late blind participants and sighted participants. In the second part, methodology concerning a study about the attentional costs involved in the walking activities of blind people will be presented. Since this study is ongoing, no results will be presented. Finally in the third part, researches foreseen and applied perspectives of this ongoing PhD will be introduced.

Neuropsychological evaluation of the attentional capacities and working memory of people who are blind

As this study has already been published, detailed introduction, methods and discussion can be found in Pigeon & Marin-Lamellet (2015). However, in the results presenter here, additional blind participants have been assessed.

Introduction

Although attentional processes and working memory have been suggested as being massively involved during navigation without vision (Espinosa, Ungar, Ochaíta, Blades, & Spencer, 1998; Kujala, Lehtokoski, Alho, Kekoni, & Näätänen, 1997; Occelli, Spence, & Zampini, 2013), all these processes have not been studied in blind people.

Some authors have investigated the selective attention of blind people (Collignon, Renier, Bruyer, Tranduy, & Veraart, 2006; Collignon & De Volder, 2009; Lerens & Renier, 2014) and the divided attention (Collignon et al., 2006; Collignon & De Volder, 2009; Kujala, Lehtokoski, Alho, Kekoni, & Näätänen, 1997) and have found that early blind people have improve selective et divided attention performances compared to sighted people. The working memory of blind people has already been the subject of several publications (Bliss, Kujala, & Hämäläinen, 2004; Cohen, Voss, Lepore, & Scherzer, 2010; Cohen, Scherzer,

Viau, Voss, & Lepore, 2011; Ruggiero & Iachini, 2010). Although there is no obvious conclusion from some of these studies because of the use of different tasks for blind and sighted participants, they tend to demonstrate that blind people obtain higher performances in working memory tests. Otherwise, no study seems to have been carried out on the sustained attention and the attentional switching of blind people.

Moreover, excepted in some studies (Bliss et al., 2004; Ruggiero & Iachini, 2010), most of the research focused on early blind people, or do not distinguish early and late blind people, while the effects of blindness on the cognitive functioning are different depending of the age of onset (Hatwell, 2003; Thinus-Blanc & Gaunet, 1997).

In addition, a global assessment of the attentional processes has never been proposed, and few neuropsychological tests are accessible to people with visual impairment (Hill-Briggs, Dial, Morere, & Joyce, 2007).

The aims of this study were to design a set of cognitive tests assessing the selective, sustained and divided attention, the attentional switching and the working memory capacities and to compare the performances of early, late blind and sighted participants in these tests.

The hypothesis was that performances of early blind participants should be higher than those of late blind participants, which should be higher than those of sighted participants.

Methods

Participants

Seventeen early blind participants (11 females and 6 males) aged 18–52 (mean age = 35 years, standard deviation (SD) = 9.0), thirteen late blind participants (6 females and 7 males) aged 25–54 (mean age = 39 years, SD = 8.8) and 24 sighted participants (15 females and 9 males) aged 22–50 (mean age = 31 years, SD = 8.2) took part in the study. The blind participants had no residual eyesight (or only a bright light perception) and no neurological or other sensory-motor impairment. Only three early blind participants were not blind from birth (age of onset of blindness at three, five and six years old), and the late blind participants became blind between the ages of 13 and 46 (mean age of onset = 21.4 years, SD = 9.0). All the blind participants are accustomed to move independently outside their home and they use a white stick (23) or a guide dog (7) as mobility aid.

The verbal portion of the Wechsler Adult Intelligence Scale - Revised (WAIS-R, Wechsler, 1955; 1981) was used to determine that the intellectual functioning of the groups was similar ($F(2, 51) = 0.727$, $p = 0.488$). A simple reaction time test was used to verify that the groups of participants exhibited equivalent sensory-motor rapidity ($F(2, 51) = 0.228$, $p = 0.797$). The sighted participants were blindfolded during the testing.

Procedure

Tests used for the study are succinctly described in table 1. More details relative to the procedure can be found in Pigeon & Marin-Lamellet (2015).

Table 1. Description of the tests used

Cognitive process assessed	Test	Instructions (example)	Presentation of stimuli	Responses	Duration
Selective attention	Selective attention test	Detect consonants among numbers	Auditory stimuli delivered by a computer	Press the space bar	3 min
Sustained attention	Sustained attention test				9 min
Divided attention	Divided attention test	Detect consonants & number 6 among numbers		Press the space bar + verbally	3 min
Attentional switching	Auditory adaptation of the Plus Minus Task (Spector & Biederman, 1976) (3 conditions)	Condition 1: add 3 to each number presented Condition 2: subtract 3 to each number presented Condition 3: alternate between addition and subtraction		Verbally	About 1 min / condition
Working memory	N-back test (4 conditions)	Detect when a consonant is the same as the n last consonant	Verbally by the experimenter	Press the space bar	3 min / condition
	Digit span subtest of the WAIS-R (Wechsler, 1981) (2 conditions)	Condition 1: repeat a digit sequence in the same order of presentation Condition 2: repeat the sequence in reverse order of presentation		Verbally (written by the experimenter)	About 1 min / condition

Results

The data (scores and/or reaction times) from the tests were statistically analysed with one-way analyses of variance (ANOVAs) to compare the performances of the three groups (i.e., the early blind, late blind and sighted groups). In table 2 the means and standard deviations for each of the performance measures of the groups and the significance values obtained at the one-way ANOVAs are presented. The significance level for statistics was $p < 0.05$.

Table 2. Means and SD for each of the performance measures of the groups and p and F values obtained in statistical analyses (reaction times are in ms)

Test	Variable	Mean (SD)			F value	p value
		Early blind (n = 17)	Late Blind (n = 13)	Sighted (n = 24)		
Selective attention test	Score	38.8 (1.2)	38.6 (1.0)	36.6 (3.2)	5.655	.006
	Reaction time	668.3 (52.4)	680.5 (56.1)	731.2 (65.3)	6.422	.003
Sustained attention test	Score	117.5 (4.1)	115.7 (4.8)	109.5 (10.6)	5.600	.006
	Reaction time	688.1 (58.1)	709.8 (65.9)	755.1 (72.2)	5.237	.009
Divided attention test	First task score	35.7 (3.8)	34.9 (3.5)	30.6 (5.7)	6.732	.003
	First task reaction time	737.4 (59.1)	756.3 (67.0)	846.5 (110.4)	8.769	.001
	Second task score	6.8 (1.2)	6.7 (0.9)	7.0 (1.0)	.514	.601
	Second task reaction time	737.4 (59.1)	756.3 (67.0)	846.5 (110.4)	8.769	.001
Auditory N-back test	0-back score	10.0 (0.0)	9.9 (0.3)	9.9 (0.2)	.603	.511
	1-back score	9.9 (0.2)	9.7 (0.6)	9.9 (0.2)	2.541	.089
	2-back score	9.0 (1.6)	9.2 (1.5)	8.2 (1.8)	1.826	.172
	3-back score	5.8 (1.6)	5.3 (1.8)	5.3 (1.4)	.642	.530
	0-back reaction time	525.6 (65.6)	543.6 (77.4)	591.0 (137.7)	2.062	.138
	1-back reaction time	561.4 (47.6)	607.5 (83.0)	642.3 (101.0)	4.695	.014
	2-back reaction time	681.2 (85.2)	765.6 (146.3)	842.4 (131.5)	8.586	.001
	3-back reaction time	843.9 (163.4)	935.9 (263.9)	1018.1 (135.6)	4.586	.015
Digit span	Forward span	7.4 (1.8)	6.6 (1.8)	6.8 (1.1)	1.258	.293
	Backward span	6.1 (1.5)	5.5 (0.8)	5.0 (1.2)	3.777	.030
	Standard age score	15.5 (3.6)	13.2 (2.7)	12.9 (2.1)	4.888	.011
Plus-minus task	Cost of switching	8.4 (10.4)	8.0 (9.9) ^a	8.0 (11.7)	.006	.994

a One participant did not perform the plus-minus task adequately; for this task, he was removed from the analyse

As shown in table 2, the one-way ANOVAs revealed significant group effects for the scores and reaction times obtained in the selective and sustained attention tests, and in the first task of the divided attention test. For the n-back test, one-way ANOVAs demonstrated significant group effects only for the reaction times in the 1-back, 2-back and 3-back conditions. Effects of groups were also found in the backward span and the standard age score (calculated by adding scores obtained at the two span tests and converting the score calculated based on the participant's age) at the digit span test.

For the variables in which significant group effect was found, the Fisher LSD test was used for the post hoc analyses. The results obtained at the post hoc analyses are presented in table 3.

Table 3. Significance of differences obtained at the post hoc analyses

Test	Variable	<i>p</i> value		
		Early blind / Sighted	Late Blind / Sighted	Early blind / Late blind
Selective attention test	Score	.004	.015	.810
	Reaction time	.002	.017	.579
Sustained attention test	Score	.003	.027	.544
	Reaction time	.003	.054	.384
Divided attention test	First task score	.002	.011	.665
	First task reaction time	.000	.004	.567
	1-back reaction time	.004	.243	.148
Auditory N-back test	2-back reaction time	.000	.075	.068
	3-back reaction time	.004	.195	.176
	Backward span	.008	.249	.209
Digit span	Standard age score	.004	.774	.026

Post hoc analyses demonstrated that early blind participants and late blind participants obtained higher scores than sighted participants in the selective, sustained and divided attention tests. Early blind participants were faster than sighted participants in the selective, sustained and divided attention tests and late blind participants in the selective and divided attention tests. For the three tests of attention, no difference was found between early and late blind participants. Post hoc analyses on reaction times for the n-back test showed that early blind participants obtained shorter reaction times than sighted ones in the 1-back, 2-back and 3-back condition; no difference was found between early and late blind participants neither between late blind participants and sighted participants. Concerning the digit span test, early blind participants obtained a longer backward span than sighted participants, and they exhibited a significantly higher standard age score than sighted and late blind participants; no other significant differences were found.

Discussion

The aims of this study were to design a set of cognitive tests assessing the attentional processes and the working memory capacities without the visual modality and to compare the performances of early blind, late blind and sighted people in these tests.

The early blind participants exhibited higher performances (scores and reaction times) than sighted participants at the selective and divided attention tests, which is consistent with the results of Collignon et al. (2006) and Collignon & De Volder (2009). Late blind participants also obtained higher performances than sighted ones in these two tests, although no study seems to have been conducted about the selective and divided attention of late blind people.

In the sustained attention test, early blind participants obtained higher scores and were faster than the sighted participants, and late blind participants obtained higher scores only. This study seems to be the first to show that blind people (early and late) have improved sustained attention capacities compared to sighted people.

Working memory was assessed in this study with an N-back task and the Digit span subtest of the WAIS-R (Wechsler, 1981). In the N-back test, significant differences were only found for the reaction times between early blind participants and sighted participant in the 1-back, 2-back and 3-back conditions. In the Digit span test, differences were found between early blind participants and sighted participants for the backward span and for the standard age score and between early and late blind participants for the backward span. So, in the two tasks of this study assessing the working memory, early blind participants obtained higher performances than sighted ones, although performances of late blind participants were not significantly different than those of sighted ones. Concerning the attentional switching, no differences were found between the three groups. As it seems that this is the first time that the attentional switching of blind people are assessed, this result cannot be compared.

The overall results of this study demonstrate that in the absence of enhanced simple reaction times or intellectual functioning, early and late blind people have better attentional capacities (in particular for selective, sustained and divided attention processes) than sighted people, and early blind people have better working memory capacities than sighted people.

Except for the standard age score, no difference between the early and late blind participants was found, as Bliss et al. (2004) have reported in their study on working memory. However, late blind participants always exhibited intermediate performances to those of early blind participants and sighted ones. The absence of significant difference may be due to the duration of blindness of late blind participants. With a larger late blind group the effect of the age of onset on attentional capacities could be studied more accurately by splitting the group into subgroups according to age of onset of blindness.

An important research perspective to address is the cognitive assessment of ageing of people who are blind. Indeed, the blind population is aged; more than 80 % of blind people are aged 50 and over (Pascolini & Mariotti, 2012). Otherwise, with normal ageing, a decline of attentional capacities, executive functioning and processing speed is observed (Etienne, Marin-Lamellet, & Laurent, 2008). This cognitive age-related decline leads to difficulties for street crossing in aged sighted pedestrians (Dommes et al. 2008). However, no studies seem to have been conducted about the attentional and working memory of older blind people. Hence, further investigations, with older participants are required.

In conclusion, the set of neuropsychological tests designed for the study allows an overall assessment of attentional and working memory processes in blind people and the results obtained here indicate that blindness leads to an improvement of these cognitive processes.

This improvement of attentional processes and working memory in blind people seems to be caused by an important attentional effort required to perform a

pedestrian journey without vision. Hence, additional studies in walking situations are required to better understand the links between attentional processes and walking activities in blind people.

Attentional cost of walking and obstacle avoidance of people who are blind

The experimentation presented here is in progress, so no results have been obtained yet.

Introduction

Several authors have suggested that attentional processes are strongly mobilized in the navigation and walking activities among blind people (Espinosa, Ungar, Ochaita, Blades, & Spencer, 1998; Kujala, Lehtokoski, Alho, Kekoni, & Näätänen, 1997; Occelli, Spence, & Zampini, 2013), but few studies seem to have been conducted on the cognitive cost involved in these activities in blind people.

In studies conducted in sighted people, an increased cognitive load during walking leads to a modification of gait parameters (Yogev-Seligmann, Hausdorff, & Giladi, 2008).

Gait of blind people has already been investigated. For example, Nakamura (1997) has shown that when they have to walk independently (and without their customary mobility aid) on a 10 m walkway at their preferred walking speed, sighted participants have a walking speed and a stride length shorter than those of late blind participants, which are shorter than those of congenitally blind participants. Mason, Legge, & Kallie (2005) have assessed the variability of steps of sighted and visually impaired people when they walk with their customary mobility aid at a slow, preferred or fast walking speed. They found that the variability in the length and frequency of steps was low for all the participants in each walking speed. No significant differences were found concerning the variability between sighted and visually impaired (blind and partially sighted) participants and between sighted participants and blind participants. So, when they had to walk with their mobility aid, in a walkway without obstacles, the gait of blind people seems to be comparable to those of sighted ones.

However, walking is not only limited to gait. Indeed, walking is no longer seen as a motor automatic activity, and studies have shown that even in sighted people, it involves cognitive processes, in particular executive functions and attention (Yogev-Seligmann et al., 2008). The cognitive cost of the walking activity is often studied through dual task paradigms, which consists in performing a secondary task during walking. The performing of a secondary task during walking modifies gait pattern, or the performance at the second task or both. Dual task methodology has largely been used in sighted people, and it has been found that the gait pattern is impaired in aged adults when they performed a simultaneous secondary task (Hausdorff, Schweiger, Herman, Yogev-Seligmann, & Giladi, 2008; Walshe, Patterson, Commins, & Roche, 2015), and in a lesser extent in young adults (Pothier, Benguigui, Kulpa, & Chavoix, 2014).

Several authors have assessed the processing cost of walking without vision with a dual task paradigm in sighted blindfolded participants (Klatzky, Marston, Giudice, Golledge, & Loomis, 2006; Lajoie, Paquet, & Lafleur, 2013; Richer, Paquet, & Lajoie, 2014; Shingledecker, 1983). Their results are difficult to interpret, since sighted people haven't the same abilities as blind people to navigate without the visual modality.

The use of dual task paradigms to assess the attentional cost of walking activity has already been done in visually impaired people.

For example, Turano, Geruschat, & Stahl (1998) then Geruschat & Turano (2007) have assessed in partially sighted people the mental effort required for walking in environments with different complexity with a dual-task paradigm. They found that the performance at the secondary task was linked with the extent of the visual impairment and this performance was lower in the more complex environment.

Ramsey, Blasch, Kita, & Johnson (1999) have shown that on a 7.6 m. walkway, gait (velocity, length and rate of strides) of people with visual impairment (partially sighted and blind) is modified when they had to anticipate simulated curbs and performed a secondary task compared to normal walking. This result show that when they have to divide their attention while they walk, people with visual impairment adjust their gait. However, in this study, partially sighted and blind people are not distinguished and the age of onset of visual impairment of participants isn't given.

Nevertheless, as spatial abilities of blind people are different according to the age of onset of the blindness (Thinus-Blanc & Gaunet, 1997), the cognitive effort involved in walking without vision may not be the same for early and late blind people.

Most of the studies carried out on the attentional cost of walking activities concern either sighted people (blindfolded or no), or partially sighted. The studies about walking activities of blind people focus principally on gait and don't use dual task paradigm, whereas this method is efficient to assess the cognitive cost induced by an activity such as walking. Indeed, walking without vision can be an activity cognitively more or less costly depending on several factors, such as the presence of obstacles to avoid, familiarity with the route or its complexity (Shingledecker, 1983; Turano, Geruschat, & Stahl, 1998).

The main aim of the present study is to assess the cognitive cost of walking and avoiding obstacles in early and late blind people within a dual task paradigm.

Methods

Participants

20 blind people (10 early, 10 late blind people) aged from 18 to 50 years old participate in the study. All the participants have no residual eyesight (only a bright light perception) and no neurological or other sensory-motor impairment.

All the participants are accustomed to moving independently outside their home and they use a white stick as mobility aid.

Procedure

Dual task paradigm.

Participants perform two walking trials and 4 dual task trials (walking and secondary task). In a baseline trial, participants have to walk at a self-selected speed on a linear path of 20 meters; they are informed that the path is clear of obstacles. The others trials consist in walking at a self-selected speed on a linear path of 40 meters. In each trial, a sound, which is the sound used for pedestrian crossing traffic signals in France, is diffused by a loudspeaker from the end of the path to facilitate participants to follow a straight path. In some of the trials (in the baseline trial, one walking trial and two dual task trials), the path is clear; in the other trials, the path present some obstacles. However, in each condition (except in the baseline condition), participants are informed that obstacles can be present on the path, in order that they keep their awareness even if there are no obstacles.

Two auditory secondary tasks are presented to the participants in the dual task trials. In the first one, a simple secondary task (dual task 1), a same auditory stimulus is presented several times, with random inter-stimuli intervals. Participants have to respond by pressing a button on a wireless mouse placed in their non-dominant hand (participants hold their white stick in their dominant hand). In the second one, a secondary choice task (dual task 2), two different auditory stimuli are presented several times, also with random inter-stimuli intervals. Participants have to respond to one sound by pressing the right button-press response on the wireless mouse, and to respond to the other sound by pressing the left button-press response. Performance at the secondary tasks (responses and response times to the auditory stimuli) are collected. Participants performed also the two secondary tasks without walking. Conditions of trials are illustrated in the figure 1.

Several measures of walking performances are recorded, such as walking speed, length and frequency of steps. The linearity of the path of participants is marked

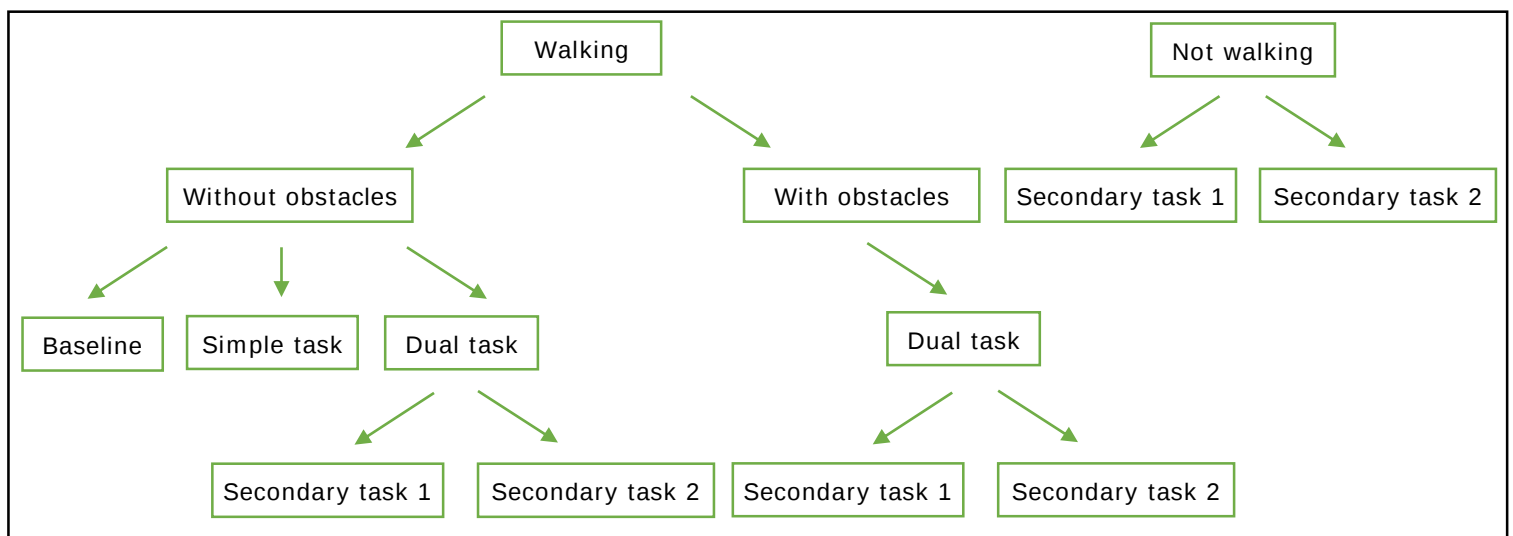


Figure 1. Conditions of walking trials

with a line traced on the ground from the start point to the finish point (where the loudspeaker is placed). On each side of this line, 2 other parallel lines are marked, placed 50 cm away from each other. Hence, for the trails without obstacles, the deviation (and its magnitude) from the central linear path can be quoted with a video recording.

Current status and perspectives

We are in the middle phase of the thesis progression, and the status progress is at the beginning of the second experiment presented in this paper.

Participants of this second experiment will also perform the set of neuropsychological tests presented in the first experiment. Hence, if the participants who obtained the best performances in the second experiment (i.e. those whose the gait parameters are the less impaired by the secondary simultaneous task during walking) are also the participants who obtained the best performances at one or several neuropsychological test(s) presented in the first experiment, the link between the cognitive processes assessed in this/these test(s) and walking performances in blind people will be established.

However, the second experiment focuses on attentional cost of walking and avoiding obstacles of blind people, but the mobility of these people cannot be reduced to these two activities. Indeed, navigation without vision is a complex cognitive task, which includes many other cognitive subtasks such as wayfinding, learning of route, storage and processing of landmarks, construction of cognitive maps. Hence, a third experiment is foreseen. In this experiment, attentional cost of navigation of blind people will be measured in a real life situation.

Another research aspect which is considered in this PhD work is the ageing of blind people. Indeed, studies has already focused on the effects of reduction or loss of sight on the mobility of older people (Black & Wood, 2005; Gallagher & Jackson, 2012) but the ageing of blind people and its effects on their mobility and their cognitive functioning do not seem to have been studied. The first study presented here is currently replicated with blind and sighted people aged more than 60 years old, and the second study presented is scheduled to also be carried out with older blind people.

This PhD work introduces several applied perspectives. First of all, the set of test designed for the first study can be a useful tool for the neuropsychological evaluation of people with visual impairment. Considering the aging population and the increasing number of people with age-related visual diseases, it is important to have the means to detect pathological attentional declines in people with visual impairment.

The results obtained will also allow to suggest recommendations for the design of solutions to improve mobility of people who are blind. Such solutions like mobility aid devices which, in order to be efficient, must provide additional useful information, at the appropriate time, without distracting attention of the blind user away from important information of the environment. Other solutions may be cognitive training programs, which can be useful for limiting the age-related attentional decline in blind pedestrians and thus maintaining their navigation abilities.

References

- Black, A., & Wood, J. (2005). Vision and falls. *Clinical and Experimental Optometry*, 88, 212–222.
- 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.
- 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.
- 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.
- Dommes, A., Cavallo, V., Boustelitan, 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.*
- 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.

- Etienne, V., Marin-Lamellet, C., & Laurent, B. (2008). Évolution du contrôle exécutif au cours du vieillissement normal. *Revue Neurologique*, 168(12), 1010–1017.
- Gallagher, B., & Jackson, J. (2012). Ageing and the impact of vision loss on independent living and mobility. *Optometry in Practice*, 13, 45–54.
- 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.
- Hatwell, Y. (2003). *Psychologie cognitive de la cécité précoce*. Paris: Dunod.
- Hausdorff, J. M., Schweiger, A., Herman, T., Yogev-Seligmann, G., & Giladi, N. (2008). Dual-task decrements in gait: contributing factors among healthy older adults. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(12), 1335–1343.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

<http://doi.org/10.2174/1874230001307010001>

Lerens, E., & Renier, L. (2014). Does visual experience influence the spatial distribution of auditory attention? *Acta Psychologica*, 146, 58–62.

<http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.12.002>

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.

Nakamura, T. (1997). Quantitative analysis of gait in the visually impaired. *Disability & Rehabilitation*, 19(5), 194–197.

Occelli, V., Spence, C., & Zampini, M. (2013). Auditory, tactile, and audiotactile information processing following visual deprivation. *Psychological Bulletin*, 139, 189–212.

Pascolini, D., & Mariotti, S. P. (2012). Global estimates of visual impairment: 2010. *British Journal of Ophthalmology*, 96(5), 614–618.

<http://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2011-300539>

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. <http://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.11.010>

Pothier, K., Benguigui, N., Kulpa, R., & Chavoix, C. (2014). Multiple object tracking while walking: similarities and differences between young, young-old, and old-old adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, gbu047.

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.

- 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.
<http://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.09.019>
- 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.
- Shingledecker, C. A. (1983). Measuring the mental effort of blind mobility. *Journal of Visual Impairment & Blindness*. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1984-12663-001>
- Spector, A., & Biederman, I. (1976). Mental set and mental shift revised. *American Journal of Psychology*, 89, 669–679.
- Thinus-Blanc, C., & Gaunet, F. (1997). Representation of space in blind persons: Vision as a spatial sense? *Psychological Bulletin*, 121(1), 20–42.
- 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.
- Walshe, E. A., Patterson, M. R., Commins, S., & Roche, R. A. (2015). Dual-task and electrophysiological markers of executive cognitive processing in older adult gait and fall-risk. *Name: Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 200.
- Wechler, D. (1981). *WAIS-R manual*. Cleveland: Psychological corporation ed.
- Wechsler, D. (1955). Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale. Retrieved from <http://psycnet.apa.org/psycinfo/1955-07334-000>
- Yogev-Seligmann, G., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Movement Disorders*, 23, 329–342.



Ageing effects on the attentional capacities and working memory of people who are blind

Caroline Pigeon & Claude Marin-Lamellet

To cite this article: Caroline Pigeon & Claude Marin-Lamellet (2016): Ageing effects on the attentional capacities and working memory of people who are blind, *Disability and Rehabilitation*, DOI: [10.1080/09638288.2016.1236407](https://doi.org/10.1080/09638288.2016.1236407)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/09638288.2016.1236407>



Published online: 29 Oct 2016.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 4



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

RESEARCH ARTICLE

Ageing effects on the attentional capacities and working memory of people who are blind

Caroline Pigeon and Claude Marin-Lamellet

IFSTTAR, TS2, LESCOT, Bron Cedex, France

ABSTRACT

Purpose: Adaptation to blindness can lead to the enhancement of the attentional capacities and working memory in young people. However, although the effects of ageing on the cognition of sighted people and people with age-related visual impairments are well-documented, no study seems to have investigated the age-related changes of these cognitive processes in people who are blind. The aim of this study was to assess the effects of age on the attentional processes and working memory in blind people.

Method: A cross-sectional study was conducted on 43 blind participants and 42 sighted participants. The participants performed auditory computerized tests assessing selective, sustained and divided attention, attentional switching, and working memory.

Results: Two-way analysis of variance revealed significant visual status effect and age effect on most of the variables studied. No interaction was found between visual status and age effects.

Conclusions: These results suggest that the trajectories of cognitive age-related change are similar in blind people and in sighted people. This study has implications for rehabilitation, such as cognitive intervention.

ARTICLE HISTORY

Received 26 February 2016

Revised 20 August 2016

Accepted 11 September 2016

KEYWORDS

Blindness; cognition;
neuropsychological
assessment

► IMPLICATIONS FOR REHABILITATION

- Blind people show improved attentional capacities compared to sighted people, even in old blind people.
- Old blind people have lower performances than younger blind people in tests assessing selective, sustained and divided attention, and working memory.
- Cognitive approaches to rehabilitation may help people who are blind to deal with age-related cognitive decline and its effects on everyday functioning.
- A high level of cognitive stimulation, provided by a cognitive training or a developed social participation, might reduce the age-related effects in people who are blind.

Introduction

There is a consensus that normal ageing leads to the decline of certain cognitive processes, such as selective attention, sustained attention, divided attention, attentional flexibility, and working memory,[1,2] involved in most everyday activities. Hence, age-related cognitive decline can lead to difficulties in everyday situations, for example in crossing the street [3] and in dual task situations [4] and can, therefore, result in a reduction in social participation.[5]

According to a World Health Organization analysis, more than 80% of blind people in the world are aged 50 and over.[6] Old people therefore make up an important part of the blind population. Consequently, the effects of ageing on the cognitive functioning, the mobility and the social participation of blind people constitute an important issue, since such people experience restrictions which go beyond the consequences of ageing.

However, little is known about cognitive ageing in blind people. Nevertheless, cognitive processes are important for the achievement of everyday activities without vision, such as navigation, which involves an important attentional effort.[7–10] Furthermore, attentional processes (selective, sustained and

divided attention) and working memory have shown to be enhanced in young blind people.[9,11–14] With ageing, a decrease of mobility is observed in blind people [15–17] but it is unknown whether this decrease could be related to a cognitive decline. The issue of age-related cognitive decline in blind people is all the more important as to maintain the cognitive capacities is more crucial for the everyday functioning in old people with a sensory impairment than in old people without sensory impairment.[18]

On the contrary, the age-related visual impairment has been the focus of a large number of studies. The negative effects of the age-related visual impairment on the cognitive functioning [19–23] the mobility [24–26] and the social participation [27] are well documented.

The paucity of data about the cognitive ageing of blind people may be due to a lack of available neuropsychological tests adapted for use without the visual modality.[28–30] In the studies conducted on the cognition of people with age-related visual impairment, tests were adapted either by modifying the visual items (magnified or with a reversed contrast [19]) or by removing the visual items (e.g., in the MMSE-blind [20,31] or in the MoCA-B [23]) depending on whether the people tested were partially sighted or not. However, the suppression of the visual items might decrease

the sensibility and the accuracy of the tests,[19] highlighting the need to use tests which do not involve the visual modality.

Furthermore, most of the tests adapted to be used on people with a visual impairment are screening tools, which can efficiently detect a cognitive deficit (such as mild cognitive impairment or dementia),[19] but they are not sensitive enough to provide the cognitive status of people with no pathological cognitive impairment, such as a normal age-related cognitive decline.

The objective of this study was to evaluate the effects of age on performance in tasks assessing selective, sustained and divided attention, attentional flexibility, and working memory in blind and sighted people. The hypotheses were that the performances of blind participants would be better than those of sighted participants and that the performances of younger participants would be better than those of older participants.

Methods

Sample selection and recruitment

A cross-sectional study with 43 blind participants and 42 sighted participants was conducted. Blind participants were recruited via an advertisement published by associations for people with visual disabilities and by word of mouth. The inclusion criteria were: absence of any neurological or sensory-motor impairment (except for visual impairment in the case of blind participants), habitual, independent mobility outside the home (with a white stick or a guide dog for blind participants), and living independently. The study was approved by the IFSTTAR Research Ethics Committee and participants provided written informed consent prior to participation.

Participants

Eighty-five people participated in the study. Twenty-seven of them were blind adults aged under 50 years (50– blind group);

16 participants were blind adults aged over 60 years (60+ blind group); 24 were sighted adults aged under 50 years (50– sighted group) and 18 were sighted adults aged over 60 (60+ sighted group). The etiology of visual impairment in blind participants varied, and blind participants had no useful vision (light perception or less). The verbal portion of the Wechsler Adult Intelligence Scale – Revised (WAIS-R [32]) was used to determine that there was no significant difference in verbal intellectual functioning (verbal IQ) between the groups, $F(3, 81) = 0.569$, $p = 0.637$. Table 1 provides a description of the groups.

Procedure and materials

The experiment was conducted in a quiet room and lasted 90–120 min. Sighted participants were blindfolded during testing.

Participants were assessed with the set of computerized auditory tests detailed in our previous publication.[14] This set of tests consists of a selective attention test, a sustained attention test, a divided attention test, a simple reaction time test, and an auditory version of the plus-minus task [33] to assess attentional switching. Working memory was assessed using an auditory version of the *n*-back test and the Digit span subtest of the WAIS-R.[32] The Digit span subtest was presented orally by the experimenter. Delivery of the stimuli in the other tests, programmed using SuperLab Pro software (version 2.04), was auditory and carried out by computer. The tests and the dependent variables (mainly scores, which correspond to the number of correct responses and reaction times) are described briefly in Table 2.

Results

All statistical analyses were conducted using SPSS (IBM SPSS Statistics 22, IBM Corp., Armonk, NY). Performances (scores and reaction times) were statistically analyzed with two-way analysis of variance (ANOVA) using a design with two between-subject

Table 1. General characteristics of the four groups.

	Means (SD; range)			
	50– blind group (<i>n</i> = 27)	60+ blind group (<i>n</i> = 16)	50– sighted group (<i>n</i> = 24)	60+ sighted group (<i>n</i> = 18)
Age (years)	35.0 (7.8; 18–47)	65.9 (5.1; 60–80)	31.4 (8.2; 22–50)	65.4 (7.1; 61–83)
Gender (female number)	16	7	15	9
Years of education	14.2 (2.9; 7–18)	11.7 (3.4; 7–17)	14.9 (2.1; 11–20)	10.8 (3.1; 7–16)
Verbal IQ	109.6 (16.8; 87–140)	106.8 (10.7; 86–126)	105.7 (10.3; 88–127)	105.6 (7.5; 95–120)
Duration of blindness	26.4 (11.2; 7–47)	31.8 (17.4; 5–72)	–	–

Table 2. Description of the tests used and the dependent variables.

Cognitive function assessed	Test	Instructions	Responses of participants (dependent variables)
Selective attention	Selective attention test	Detect consonants among numbers	Press the space bar (number of correct responses and reaction times)
Sustained attention	Sustained attention test		
Divided attention	Divided attention test	First task: detect consonants; second task: detect the number 6 among consonants and numbers	First task: press the space bar (number of correct responses and reaction times); secondary task: verbally (number of correct responses)
Attentional switching	Auditory plus-minus task [33] (3 conditions)	- Condition 1: add 3 to each number presented - Condition 2: subtract 3 to each number presented - Condition 3: alternate between addition and subtraction	Verbally, written by the experimenter (cost of switching: difference between the time required to complete the condition 3 and the average of the times required to complete the first two conditions)
Working memory	<i>n</i> -back test (4 conditions)	Detect when a consonant is the same as the <i>n</i> last consonant	Press the space bar (number of correct responses and reaction times)
	Digit span subtest of the WAIS-R [32]	- Condition 1: repeat a digit sequence in the same order of presentation - Condition 2: repeat a digit sequence in the reverse order of presentation	Verbally, written by the experimenter (forward and backward spans and standard age scores)
Simple reaction time	Simple reaction time test	Detect the occurrence of a sound	Press the space bar (reaction times)

factors: visual status (blind/sighted) and age group (50–/60+). Differences at a level of 0.05 were considered significant. Means and SD for each of the performance measures for the four groups and results of the ANOVAs (mean effects and interaction effects) are shown in Table 3.

Selective attention test

A two-way ANOVA on the scores obtained in the selective attention test revealed a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 4.110$, $p = 0.046$, and a significant main effect of age group, $F(1, 83) = 15.295$, $p = 0.000$. However, the analysis did not reveal a significant interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 1.265$, $p = 0.264$. A two-way ANOVA on the false alarm number did not reveal a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 2.464$, $p = 0.120$, but a main age effect emerged, $F(1, 83) = 4.544$, $p = 0.036$. The analysis did not show a significant interaction between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.393$, $p = 0.532$. A two-way ANOVA on the reaction times revealed a significant visual status main effect, $F(1, 83) = 11.729$, $p = 0.001$, and an age group main effect, $F(1, 83) = 40.420$, $p = 0.000$, but no significant interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 1.694$, $p = 0.197$.

Sustained attention test

A two-way ANOVA on the scores demonstrated a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 6.912$, $p = 0.010$, but it did not reveal a main effect of age group, $F(1, 83) = 3.521$, $p = 0.064$, or an interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.833$, $p = 0.364$. A two-way ANOVA on the reaction times revealed a significant visual status main effect, $F(1, 83) = 9.117$, $p = 0.030$, and a significant age group main effect, $F(1, 83) = 25.633$, $p = 0.000$. However no significant interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.556$, $p = 0.458$, was found.

Divided attention test

A two-way ANOVA on the scores obtained in the first task revealed significant main effects of visual status, $F(1, 83) = 13.320$, $p = 0.000$, and age group, $F(1, 83) = 9.840$, $p = 0.002$, but no interaction effect appeared between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.920$, $p = 0.340$. A two-way ANOVA on the reaction times obtained in the first task revealed significant main effects of visual status, $F(1, 83) = 18.092$, $p = 0.000$, and age group, $F(1, 83) = 17.750$, $p = 0.000$, but no interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 2.559$, $p = 0.114$. A two-way ANOVA on the scores obtained in the second task did not reveal a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 0.000$, $p = 0.997$, or of age group, $F(1, 83) = 0.273$, $p = 0.603$, or any an interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 1.135$, $p = 0.290$.

n-back test

A two-way ANOVA on the scores obtained in the 0-back condition did not reveal a significant main effect, $F(1, 83) = 0.520$, $p = 0.473$, of either visual status or age group, $F(1, 83) = 0.077$, $p = 0.782$. Nor was there any interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.373$, $p = 0.543$. However, a two-way ANOVA on the reaction times obtained in this 0-back condition revealed a significant visual status main effect, $F(1, 83) = 4.147$, $p = 0.045$, and a significant main effect of age group, $F(1, 83) = 11.213$, $p = 0.001$.

Table 3. Means (SD) for each performance measures of group and results of the ANOVA (mean effects and their interactions).

Test	Variable	Mean (SD)				Visual status effect		Age group effect		Interaction	
		50– blind (n = 27)	60+ blind (n = 16)	50– sighted (n = 16)	60+ sighted (n = 18)	F value	p values	F value	p values	F value	p values
Selective attention test	Score (/40)	38.8 (1.1)	35.3 (4.2)	36.6 (3.2)	34.6 (4.1)	4.110	0.046	15.295	0.000	1.265	0.264
	False Alarm number	0.9 (0.9)	1.6 (1.7)	0.7 (0.9)	1.1 (0.6)	2.464	0.120	4.544	0.036	0.393	0.532
Sustained attention test	Reaction time (ms)	670.5 (54.9)	768.9 (57.4)	731.2 (65.3)	796.2 (51.9)	11.729	0.001	40.420	0.000	1.694	0.197
	Score (/120)	112.5 (22.9)	111.1 (11.4)	109.5 (10.6)	107.5 (10.8)	6.912	0.010	3.521	0.064	0.833	0.364
Divided attention test	Reaction time (ms)	681.4 (69.9)	765.6 (63.5)	755.3 (72.4)	798.5 (57.1)	9.117	0.030	25.633	0.000	0.556	0.458
	First task score (/40)	34.3 (7.7)	31.1 (5.6)	30.6 (5.7)	28.1 (5.2)	13.320	0.000	9.840	0.002	0.920	0.340
Auditory n-back test	First task reaction time (ms)	743.2 (67.7)	845.0 (62.3)	846.5 (110.4)	891.5 (56.0)	18.092	0.000	17.750	0.000	2.559	0.114
	Second task score (/8)	6.7 (1.1)	7.2 (2.0)	7.4 (1.0)	6.9 (1.0)	0.000	0.997	0.273	0.603	1.135	0.290
Auditory n-back test	0-back score (/10)	9.9 (0.2)	10.0 (0.0)	9.9 (0.2)	9.9 (0.2)	0.520	0.473	0.077	0.782	0.373	0.543
	1-back score (/10)	9.8 (0.5)	9.8 (0.4)	9.9 (0.2)	9.5 (1.0)	0.164	0.687	3.949	0.050	2.234	0.139
Auditory n-back test	2-back score (/10)	9.1 (1.6)	6.4 (3.0)	8.2 (1.8)	7.0 (2.1)	0.108	0.744	17.302	0.000	2.387	0.126
	3-back score (/10)	5.7 (1.7)	4.6 (1.4)	5.3 (1.4)	3.8 (1.9)	2.760	0.101	13.584	0.000	0.268	0.606
Auditory n-back test	0-back reaction time (ms)	530.0 (72.7)	621.4 (71.2)	591.0 (137.7)	654.4 (116.2)	4.147	0.045	11.213	0.001	0.372	0.544
	1-back reaction time (ms)	584.0 (81.1)	673.9 (76.7)	642.3 (101.0)	733.8 (73.7)	9.939	0.002	23.342	0.000	0.002	0.968
Auditory n-back test	2-back reaction time (ms)	713.9 (124.2)	912.9 (281.3)	838.0 (132.7)	1012.8 (193.2)	8.298	0.005	22.197	0.000	0.140	0.709
	3-back reaction time (ms)	893.8 (220.8)	1014.5 (267.5)	1010.1 (135.6)	1051.9 (233.2)	3.084	0.083	2.700	0.104	0.843	0.361
Digit span subtest	Forward span	7.3 (1.8)	6.3 (1.4)	6.9 (1.2)	6.6 (1.1)	0.067	0.796	3.976	0.050	1.532	0.219
	Backward span	6.0 (1.3)	5.0 (1.6)	5.0 (1.2)	4.4 (0.9)	7.425	0.008	8.254	0.005	0.304	0.583
Auditory plus-minus task	Standard age score	14.9 (3.4)	13.4 (3.6)	12.9 (2.1)	13.6 (2.1)	1.818	0.181	0.329	0.568	2.939	0.090
	Cost of switching	7.43 (12.1)	8.4 (10.6)	8.1 (11.7)	10.3 (19.5)	0.171	0.680	0.294	0.589	0.038	0.845
Simple reaction time test	Reaction time (ms)	270.9 (69.1)	358.1 (50.9)	275.7 (70.7)	423.5 (114.0)	4.266	0.042	47.737	0.000	3.175	0.079

The values $\leq .005$ are presented in bold.

No interaction effect between visual status and age group was found, $F(1, 83) = 0.372$, $p = 0.544$.

A two-way ANOVA on the scores obtained in the 1-back condition did not reveal a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 0.164$, $p = 0.687$. A significant main effect of the age group did, however, emerge, $F(1, 83) = 3.949$, $p = 0.050$. The analysis did not reveal a significant interaction between visual status and age group, $F(1, 83) = 2.234$, $p = 0.139$. A two-way ANOVA on the 1-back reaction times revealed significant main effects of visual status, $F(1, 83) = 9.939$, $p = 0.002$, and age group, $F(1, 83) = 23.342$, $p = 0.000$, but no interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.002$, $p = 0.968$.

A two-way ANOVA on the 2-back scores did not reveal a significant visual status main effect, $F(1, 83) = 0.108$, $p = 0.744$. However, it did reveal a significant main effect of age group, $F(1, 83) = 17.302$, $p = 0.000$. The analysis did not reveal a significant interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 2.387$, $p = 0.126$. A two-way ANOVA on the reaction times obtained in the 2-back condition revealed significant main effects of visual status, $F(1, 83) = 8.298$, $p = 0.005$, and of age group, $F(1, 83) = 22.197$, $p = 0.000$, but no interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.140$, $p = 0.709$.

A two-way ANOVA on the scores obtained in the 3-back condition did not reveal a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 2.760$, $p = 0.101$. However, a significant main effect of age group was observed, $F(1, 83) = 13.584$, $p = 0.000$. No interaction effect appeared between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.268$, $p = 0.606$. A two-way ANOVA on the reaction times obtained in the 3-back condition did not reveal a significant visual status main effect, $F(1, 83) = 3.084$, $p = 0.083$, an age group main effect, $F(1, 83) = 2.700$, $p = 0.104$, or an interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.843$, $p = 0.361$.

Digit span subtest

A two-way ANOVA on the forward span did not reveal a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 0.067$, $p = 0.796$, but a significant main effect of age group was found, $F(1, 83) = 3.976$, $p = 0.050$. No interaction effect between visual status and age group was observed, $F(1, 83) = 1.532$, $p = 0.219$.

A two-way ANOVA on the backward span revealed significant main effects of visual status, $F(1, 83) = 7.425$, $p = 0.008$, and of age group, $F(1, 83) = 8.254$, $p = 0.005$, but no interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.304$, $p = 0.583$.

Standard age scores were calculated by adding the scores obtained in the two conditions and converting this obtained score based on the age of the participants. A two-way ANOVA on the standard age scores did not reveal a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 1.818$, $p = 0.181$, or of age group, $F(1, 83) = 0.329$, $p = 0.568$, or an interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 2.939$, $p = 0.090$.

Plus-minus task

A two-way ANOVA on the cost of switching obtained in the plus-minus task did not reveal a significant main effect of visual status, $F(1, 83) = 0.171$, $p = 0.680$, of age group, $F(1, 83) = 0.294$, $p = 0.589$, or an interaction effect between visual status and age group, $F(1, 83) = 0.038$, $p = 0.845$.

Simple reaction time test

A two-way ANOVA on the reaction times obtained revealed a significant visual status main effect, $F(1, 83) = 4.266$, $p = 0.042$, and a

significant age group main effect, $F(1, 83) = 47.737$, $p = 0.000$, but no interaction effect between visual status and age group was found, $F(1, 83) = 3.175$, $p = 0.079$.

Discussion

The aim of this study was to examine the effects of age on performance in tasks assessing selective, sustained, divided attention, attentional flexibility, and working memory in blind and sighted people.

Visual status effects were found: blind participants achieved better performances than sighted participants in many of the measured variables. Blind participants obtained higher scores and had faster reaction times than sighted participants in the selective attention test, in the sustained attention test and in the first task of the divided attention test. These results are consistent with those obtained in previous studies in which blind people achieved better performances than sighted ones in tasks assessing selective, sustained and/or divided attention.[9,11–14] When working memory was measured, blind participants were faster in the 0-, 1- and 2-back conditions of the n -back task, and their backward spans were greater. These results confirm those obtained in our previous study [14] in which blind people achieved better performances than sighted ones in the same tests assessing working memory. Contrary to our previous study,[14] in which blind participants and sighted participants aged less than 50 years did not exhibit significantly different reaction times in the simple reaction time test, the blind participants in the present study displayed faster reaction times than the sighted ones. However, in the present study, the reaction times obtained by the 50– blind group (270.9, SD 69.1) and the 50– sighted group (275.7, SD 70.7) were comparable with a difference of just 5 ms., although reaction times obtained by the 60+ blind group (358.1, SD 50.9) and those of the 60+ sighted group (423.5, SD 114.0) differed by more than 60 ms. Therefore even if there was no significant interaction, the visual status main effect seems to relate more to the two 60+ groups' reaction times than to the reaction times of the two 50– groups. Globally, the results confirmed our hypothesis that the performance of blind participants would be better than that of sighted participants.

Concerning the age effect, the 50– participants obtained better performances than the 60+ participants in most of the measured variables. The 50– participants obtained higher scores and had faster reaction times than the 60+ participants in the selective attention test and in the first task of the divided attention test, and they were faster and tended to have a higher score in the sustained attention test. In tasks assessing working memory, the 50– participants responded faster and had higher scores than 60+ participants in the 1- and 2-back conditions of the n -back task, responded faster in the 0-back condition and had higher scores in the 3-back condition. They also had greater forward and backward spans. In the simple reaction time test, the 50– participants exhibited faster reaction times than the 60+ participants. These results are consistent with the literature on cognitive ageing stating that normal ageing leads to the decline of cognitive processes.[1,2] and confirmed our hypothesis that younger participants would have better performances than older participants. Although the old participants in this study were relatively young (the mean ages of the two 60+ groups were under 66 years), age effects were demonstrated, suggesting that the tests used are sensitive enough to detect a moderate cognitive decline.

The age-related decline of attention seems not more or less marked in blind people, as it is suggested by the absence of interaction between the visual status and age effects. Other studies

have shown that people with age-related visual impairment obtained lower performances in cognitive tests than sighted people of the same age, suggesting that cognitive decline is more marked in old people with an age-related visual deficit.[34–36] In the present study, the old blind participants obtained higher performances than sighted ones. This suggests that ageing with blindness does not, therefore, have the same effects on cognition as dealing with a visual impairment in the course of ageing. A possible explication could be that the cognitive decline and the visual decline of people with an age-related visual deficit may share common biological causes.[37] In the contrary, the visual impairment of blind people (who are blind before be old) is not caused by an ageing processes but by ocular illness or injuries. Hence, people with an age-related visual impairment would be a part of the population particularly affected by the age-related cognitive decline.

Otherwise the results obtained from visually impaired people in tests involving visual items may due to visual rather than cognitive aspects.[34] Indeed, studies conducted on people with a visual impairment [38] and on people with a simulated visual impairment [39,40] have stressed the importance of using cognitive tests which are not vision dependent to assess people with visual impairments. This issue would be handled with a cognitive assessment in people with an age-related visual impairment with the tests used in the present study.

The results of the present study show that blindness leads to an attentional improvement, even in people aged more than 60. The blind participants included in this study were accustomed to being independently mobile outside of the home. As only a third of blind people enjoy autonomous mobility,[41] these participants could be considered as a high-level sample of the blind population, with over capacities. We can hypothesize that their higher performances compared to the sighted participants may be due to this independence, which can be consider as a cognitive training. Indeed, navigating without vision is an activity cognitive costly. As standard cognitive trainings, navigating without vision is an activity which (i) involves cognitive stimulations, (ii) includes positive reinforcements (let to have a social participation, the satisfaction to be autonomous), (iii) can be performed with gradual difficulty steps, completed when an expertise level is reached (from in a short, simple, and known itinerary, accompanied, to in a complex, long and unknown itinerary, independently).

Adaptation to a visual impairment is a dynamic mechanism. People who have been blind for a longer time are, for example, more likely to have adapted from a psychological point of view (i.e., have a greater acceptance of vision loss, be less depressed, enjoy better social support) than people whose visual impairment is more recent,[42,43] even if adaptation to visual impairment can involve several cycles of grieving and acceptance [44] and depends on the coping strategies used by people.[45] Further investigations using longitudinal studies are required to determine how cognitive adaptation (i.e., the improvement of selective, sustained, divided attention, and working memory) occurs over time in people who are blind and how ageing-related changes take place. In addition, longitudinal studies would avoid the generational bias potentially present in the present study.[46]

With ageing, blind people suffer of a decrease of mobility,[15–17] which can result in less cognitive stimulations. As cognitive abilities have been found to be related to everyday functioning in ageing,[47] particularly in people with age-related visual impairment,[18] a cognitive training intervention could be a promising possibility for the rehabilitation of aged blind people and let them to be autonomous as long as possible. In the field of the mobility, cognitive interventions have been conducted on

sighted old people with a view to improving their gait.[48,49] However, only physical interventions seem to have been attempted to improve the gait of people with visual impairments.[50]

Other types of intervention can also be considered when dealing with the effects of ageing in blind people. For example, since optimized social participation is related to the preservation of cognitive functioning [51] and functional autonomy,[52] improvement of the social participation of people who are blind could be another encouraging approach. Being engaged in social activities is a means of cognitive stimulation and can attenuate age-related cognitive decline [53] and therefore preserve functional autonomy.

Conclusion

Our study appears to be the first piece of research which assesses cognitive functioning in old blind people. The results suggest that people who are blind follow a similar age-related cognitive trajectory to that of sighted people. The study underlines the need to study cognition and its links with everyday functioning throughout the entire lifespan. It also provides possibilities, such as cognitive intervention, for the rehabilitation for people who are blind.

Acknowledgements

We gratefully thank all the volunteers and the *Fédération des Aveugles et Handicapés Visuels de France*, *Association Valentin Haüy de Lyon*, *Association Valentin Haüy de Marseille*, *Association Valentin Haüy de Grenoble*, and *Point de Vue sur la Ville* for their collaboration.

Disclosure statement

The authors report no declarations of interest.

Funding

This study was carried out with the financial support of the IFSTTAR

References

- [1] Braver TS, West R. Working memory, executive control, and aging. In: Craik FIM, Salthouse TA, editors. The handbook of aging and cognition. 3rd ed. New York (NY): Psychology Press; 2011. p. 311–372.
- [2] Kramer AF, Madden DJ. Attention. In: Craik FIM, Salthouse TA, editors. The handbook of aging and cognition. 3rd ed. New York (NY): Psychology Press; 2011. p. 189–250.
- [3] Dommes A, Lay TL, Vienne F, et al. Towards an explanation of age-related difficulties in crossing a two-way street. *Accid Anal Prev*. 2015;85:229–238.
- [4] Li KZ, Lindenberger U, Freund AM, et al. Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychol Sci*. 2001;12:230–237.
- [5] Wilkie R, Peat G, Thomas E, et al. The prevalence of person-perceived participation restriction in community-dwelling older adults. *Qual Life Res*. 2006;15:1471–1479.
- [6] Pascolini D, Mariotti SP. Global estimates of visual impairment: 2010. *Br J Ophthalmol*. 2012;96:614–618.
- [7] Espinosa MA, Ungar S, Ochaita E, et al. Comparing methods for introducing blind and visually impaired people to

- unfamiliar urban environments. *J Environ Psychol.* 1998;18:277–287.
- [8] Geruschat DR, Turano KA. Estimating the amount of mental effort required for independent mobility: persons with glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2007;48:3988–3994.
 - [9] Kujala T, Lehtokoski A, Alho K, et al. Faster reaction times in the blind than sighted during bimodal divided attention. *Acta Psychol.* 1997;96:75–82.
 - [10] Occelli V, Spence C, Zampini M. Auditory, tactile, and audio-tactile information processing following visual deprivation. *Psychol Bull.* 2013;139:189–212.
 - [11] Collignon O, De Volder AG. Further evidence that congenitally blind participants react faster to auditory and tactile spatial targets. *Can J Exp Psychol.* 2009;63:287–293.
 - [12] Collignon O, Renier L, Bruyer R, et al. Improved selective and divided spatial attention in early blind subjects. *Brain Res.* 2006;1075:175–182.
 - [13] Lerens E, Renier L. Does visual experience influence the spatial distribution of auditory attention? *Acta Psychol.* 2014;146:58–62.
 - [14] Pigeon C, Marin-Lamellet C. Evaluation of the attentional capacities and working memory of early and late blind persons. *Acta Psychol.* 2015;155:1–7.
 - [15] Douglas G, Pavey S, Corcoran C, et al. Evaluating the use of the ICF as a framework for interviewing people with a visual impairment about their mobility and travel. *Br J Vis Impair.* 2011;30:6–21.
 - [16] Mac Cobb S. Mobility restriction and comorbidity in vision-impaired individuals living in the community. *Br J Comm Nurs.* 2013;18:608–613.
 - [17] Manduchi R, Kurniawan S. Mobility-related accidents experienced by people with visual impairment. *Res Pract Vis Impair Blind.* 2011;4:44–54.
 - [18] Heyl V, Wahl HW. Managing daily life with age-related sensory loss: cognitive resources gain in importance. *Psychol Aging.* 2012;27:510–521.
 - [19] Bertone A, Wittich W, Watanabe D, et al. The effect of age-related macular degeneration on non-verbal neuropsychological test performance. *Int Congr Ser.* 2005;1282:26–30.
 - [20] Busse A, Sonntag A, Bischof J, et al. Adaptation of dementia screening for vision-impaired older persons administration of the Mini-Mental State Examination (MMSE). *J Clin Epidemiol.* 2002;55:909–915.
 - [21] Elyashiv SM, Shabtai EL, Belkin M. Correlation between visual acuity and cognitive functions. *Br J Ophthalmol.* 2014;98:129–132.
 - [22] Rozzini L, Riva M, Ghilardi N, et al. Cognitive dysfunction and age-related macular degeneration. *Am J Alzheimer Dis Other Dement.* 2014;29:256–262.
 - [23] Wittich W, Phillips N, Nasreddine ZS, et al. Sensitivity and specificity of the Montreal Cognitive Assessment modified for individuals who are visually impaired. *J Vis Impair Blind.* 2010;104:360–368.
 - [24] Sengupta S, Nguyen AM, van Landingham SW, et al. Evaluation of real-world mobility in age-related macular degeneration. *BMC Ophthalmol.* 2015;15:9–1.
 - [25] Black A, Wood J. Vision and falls. *Clin Exp Optom.* 2005;88:212–222.
 - [26] Gallagher B, Jackson J. Ageing and the impact of vision loss on independent living and mobility. *Optom Pract.* 2012;13:45–54.
 - [27] Alma MA, Van der Mei SF, Melis-Dankers BJ, et al. Participation of the elderly after vision loss. *Disabil Rehabil.* 2011;33:63–72.
 - [28] Bylsma FW, Doninger N. Neuropsychological assessment in individuals with severe visual impairment. *Top Geriatr Rehabil.* 2004;20:196–203.
 - [29] Hill-Briggs F, Dial JG, Morere DA, et al. Neuropsychological assessment of persons with physical disability, visual impairment or blindness, and hearing impairment or deafness. *Arch Clin Neuropsychol.* 2007;22:389–404.
 - [30] Bauman MK, Kropf CA. Psychological tests used with blind and visually handicapped persons. *School Psychol Digest.* 1979;8:257–270.
 - [31] Reischies FM, Geiselmann B. Age-related cognitive decline and vision impairment affecting the detection of dementia syndrome in old age. *Br J Psychiatry.* 1997;171:449–451.
 - [32] Wechsler D. *Manual for the Wechsler Adult Intelligence Scale – Revised.* New York (NY): Psychological Corporation; 1981.
 - [33] Spector A, Biederman I. Mental set and mental shift revised. *Am J Psychol.* 1976;89:669–679.
 - [34] Wahl H-W, Heyl V. Connections between vision, hearing, and cognitive function in old age. *Generations.* 2003;27:39–45.
 - [35] Lindenberger U, Baltes PB. Sensory functioning and intelligence in old age: a strong connection. *Psychol Aging.* 1994;9:339.
 - [36] Lindenberger U, Scherer H, Baltes PB. The strong connection between sensory and cognitive performance in old age: not due to sensory acuity reductions operating during cognitive assessment. *Psychol Aging.* 2001;16:196–205.
 - [37] Salthouse TA, Hancock HE, Meinz EJ, et al. Interrelations of age, visual acuity, and cognitive functioning. *J Gerontol.* 1996;51:317–330.
 - [38] Killen A, Firkbank MJ, Collerton D, et al. The assessment of cognition in visually impaired older adults. *Age Ageing.* 2013;42:98–102.
 - [39] Wood J, Chaparro A, Anstey K, et al. Simulated visual impairment leads to cognitive slowing in older adults. *Optom Vis Sci.* 2010;87:1037–1043.
 - [40] Bertone A, Bettinelli L, Faubert J. The impact of blurred vision on cognitive assessment. *J Clin Exp Neuropsychol.* 2007;29:467–476.
 - [41] Sander M-S, Bournot M-C, Lelièvre F, et al. La population en situation de handicap visuel en France. Importance, caractéristiques, incapacités fonctionnelles et difficultés sociales. Exploitation d'enquêtes HID 1998/99. [People with visual disabilities in France. Importance, functional disability and social difficulties. Analysis of HID 1998-1999 surveys]. Nantes: Observatoire régional de la santé des Pays de la Loire; 2005.
 - [42] Senra H, Barbosa F, Ferreira P, et al. Psychologic adjustment to irreversible vision loss in adults. *Ophthalmology.* 2015;122:851–861.
 - [43] Bergeron CM, Wanet-Defalque M-C. Psychological adaptation to visual impairment: the traditional grief process revised. *Br J Vis Impair.* 2013;31:20–31.
 - [44] Kaminsky TA, Mitchell PH, Thompson EA, et al. Supports and barriers as experienced by individuals with vision loss from diabetes. *Disabil Rehabil.* 2014;36:487–496.
 - [45] Garnefski N, Kraaij V, De Graaf M, et al. Psychological intervention targets for people with visual impairments: the importance of cognitive coping and goal adjustment. *Disabil Rehabil.* 2010;32:142–147.

- [46] Schaie KW, Willis S. Handbook of the psychology of aging. 8th ed. San Diego (CA): Academic Press; 2015.
- [47] Baltes MM, Maas I, Wilms H-U, et al. Everyday competence in old and very old age: theoretical considerations and empirical findings. In: Baltes PB, Mayer KU, editors. The Berlin Aging Study: aging from 70 to 100. Cambridge: Cambridge University Press; 1999. p. 384–402.
- [48] Smith-Ray RL, Hughes SL, Prohaska TR, et al. Impact of cognitive training on balance and gait in older adults. *J Gerontol Ser B Psychol Sci Soc Sci.* 2013;70: 357–366.
- [49] Schoene D, Valenzuela T, Lord SR, et al. The effect of interactive cognitive-motor training in reducing fall risk in older people: a systematic. *BMC Geriatr.* 2014; 14:1–22.
- [50] Ray CT, Wolf SL. Review of intrinsic factors related to fall risk in individuals with visual impairments. *J Rehabil Res Dev.* 2008;45:1117–1124.
- [51] Kuiper JS, Zuidersma M, Oude Voshaar RC, et al. Social relationships and risk of dementia: a systematic review and meta-analysis of longitudinal cohort studies. *Ageing Res Rev.* 2015;22:39–57.
- [52] Levasseur M, Gauvin L, Richard L, et al. Associations between perceived proximity to neighborhood resources, disability, and social participation among community-dwelling older adults: results from the Voisinuage study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2011;92:1979–1986.
- [53] James BD, Wilson RS, Barnes LL, et al. Late-life social activity and cognitive decline in old age. *J Int Neuropsychol Soc.* 2011;17:998–1005.