

Table des matières

RÉSUMÉ.....	III
TABLE DES MATIÈRES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES FIGURES	VII
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATION.....	VIII
REMERCIEMENTS.....	IX
AVANT-PROPOS	X
CHAPITRE 1. INTRODUCTION	1
1.1. INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1.1. Contexte, problématique et objectif général	1
1.1.2. Organisation du mémoire.....	3
1.2. REVUE DE LA LITTÉRATURE PERTINENTE	4
1.2.1. La négligence spatiale unilatérale (NSU)	4
1.2.2. Les outils de mesure de la NSU et leurs limites.....	11
1.2.3. Pertinence de l'utilisation de perceptions bistables dans la mesure du biais attentionnel visuo-spatial de la NSU	30
1.2.4. L'illusion de la ballerine.....	31
1.2.5. Le biais de perspective dans l'illusion de la ballerine.....	31
1.3. RAPPEL DE LA PROBLÉMATIQUE.....	33
1.4. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES	33
CHAPITRE 2. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE	37
2.1. POPULATION CIBLE ET ÉCHANTILLON.....	37
2.1.1. Critères d'inclusion.....	37
2.1.2. Critères d'exclusion	37
2.2. PROCÉDURE DE RECRUTEMENT ET D'ÉCHANTILLONNAGE.....	37
2.3. APPROBATION ÉTHIQUE ET CONSENTEMENT DU PARTICIPANT	37
2.4. TESTS ET MESURES.....	38
2.4.1. Caractéristiques démographiques et personnelles des participants	38
2.4.2. Lieu de d'expérimentation	38
2.4.3. Principe de l'illusion de Kayahara	38
2.4.4. Caractéristiques du stimulus composant l'illusion de Kayahara.....	39
2.4.5. Caractéristiques du stimulus non bistable	40
2.4.6. Appareillage.....	40
2.4.7. Devis de l'étude.....	40
CHAPITRE 3. EXPÉRIENCE 1 : PERCEPTION SPONTANÉE À L'ILLUSION DE KAYAHARA	41
3.1. INTRODUCTION.....	41
3.2. MATÉRIEL ET MÉTHODE	42
3.2.1. Approbation éthique et consentement du participant.....	42
3.2.2. Participants	43
3.2.3. Appareillage	43
3.2.4. Stimuli.....	43
3.2.5. Procédure expérimentale	43
3.3. MÉTHODE D'ANALYSE	44
3.3.1. Variables.....	45
3.3.2. Hypothèses opérationnelles	45
3.3.3. Méthode statistique	45
3.4. RÉSULTATS.....	46
3.5. DISCUSSION	48
CHAPITRE 4. EXPÉRIENCE 2 : EFFET DU TEST DE KAYAHARA CHEZ DES SUJETS SAINS	52
4.1. INTRODUCTION.....	52
4.2. DESCRIPTION DU TEST DE KAYAHARA	54

4.2.1.	<i>Description des stimuli.....</i>	54
4.2.2.	<i>Principe du test.....</i>	55
4.2.3.	<i>Implication du champ visuel dans le test de Kayahara</i>	56
4.2.4.	<i>Déroulement d'un essai.....</i>	57
4.2.5.	<i>Calcul du biais attentionnel</i>	58
4.3.	PERFORMANCES DES SUJETS AU TEST.....	59
4.3.1.	<i>Matériel et méthode.....</i>	59
4.3.2.	<i>Méthode d'analyses</i>	60
4.3.3.	<i>Résultats.....</i>	62
4.3.4.	<i>Discussion.....</i>	63
	DISCUSSION GÉNÉRALE	67
5.1.	SYNTHÈSE DES RÉSULTATS	67
5.2.	DISCUSSION À PROPOS DES MÉCANISMES NEUROLOGIQUES IMPLIQUÉS DANS LES PHÉNOMÈNES DE PERCEPTION BISTABLE 68	
5.2.1.	<i>Apport des études des patients cérébrolésés.....</i>	68
5.2.2.	<i>Apport des études de neuroimagerie.....</i>	69
5.2.3.	<i>Apport des études de neurostimulation.....</i>	69
5.3.	SUPERPOSITION DES RÉGIONS IMPLIQUÉES DANS LES PERCEPTIONS BISTABLES AVEC LES RÉSEAUX ATTENTIONNELS ET IMPLICATIONS	73
5.4.	LIMITES DU PROJET ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE	74
5.4.1.	<i>Limites du projet</i>	74
5.4.2.	<i>Perspectives de recherche.....</i>	74
	CONCLUSION	75
	ANNEXE 1 : FORMULAIRES DE CONSENTEMENT	76
	ANNEXE 2 : INDEX DE LATÉRALITÉ MANUELLE D'EDINBURGH (RÉVISÉ).....	82
	ANNEXE 3 : ÉTUDES SUPPLÉMENTAIRES	84
	ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ DU TEST À DÉTECTER UNE « PSEUDONÉGLIGENCE » INDUITE PAR STIMULATION TRANSCRÂNIENNE PAR COURANT CONTINU CHEZ DES SUJETS SAINS, ET COMPARAISON AVEC LE TEST DE BISSECTION DE LIGNES.....	85
	ÉVALUATION DE LA CORRÉLATION DES PERFORMANCES DU TEST DE KAYAHARA AVEC CELLES DES TESTS DES CLOCHES ET DE BISSECTION DE LIGNES, CHEZ DES SUJETS ATTEINTS D'UN ACCIDENT VASCULAIRE CÉRÉBRAL, PRÉSENTANT OU NON UNE NSU.	115
	BIBLIOGRAPHIE	133

Liste des tableaux

Tableau 1. Caractéristiques des tests de barrage les plus courants	14
Tableau 2. Caractéristiques de différents tests de bissection de lignes	17
Tableau 3. Exemple de différentes catégories de tests utilisés pour l'évaluation de la NSU	23
Tableau 4. Qualités métrologiques des tests les plus couramment utilisés pour l'évaluation de la NSU	27
Tableau 5. Nombre de réversions perçues, normalisé sur 90 secondes, pour chaque mode de présentation du stimulus	48
Tableau 6. Temps de réponse moyenne au test de Kayahara en fonction de la position du personnage non-bistable latéral et de la main utilisée pour répondre	62
Tableau 8. Caractéristiques sociodémographiques des sujets	95
Tableau 9. Jugement des participants concernant le type de traitement (Sham versus Actif) reçu à chaque séance	96
Tableau 10. Comparaison des performances aux tests de bissection de lignes et de Kayahara, avant, immédiatement après et 30 minutes après la stimulation tDCS.	97
Tableau 11. Performances individuelles au test de bissection de lignes et en fonction du traitement et de la session.	98
Tableau 12. Caractéristiques des patients	118
Tableau 13. Résultats des patients AVC aux tests des cloches, de bissection de lignes et de Kayahara	121
Tableau 14. Comparaison des rangs des sujets en fonction de leurs performances aux tests.	124
Tableau 15. Proportion de réponses en fonction de la position du personnage non-bistable latéral	125

Liste des figures

Figure 1. Exemple de comportements et de productions de patients atteints de NSU gauche.....	6
Figure 2. Représentation schématique des différents secteurs de l'espace pouvant être affecté par la NSU ...	8
Figure 3. Illustration du modèle de déséquilibre interhémisphérique.....	11
Figure 4. Exemples de performance de patients atteints de NSU gauche sur une épreuve de barrage sans (a) et avec (b) distracteurs.....	13
Figure 5. Exemple de performance d'un patient atteint de NSU gauche sur une épreuve de bissection de lignes (Schenkenberg <i>et al.</i> , 1980).....	17
Figure 6. Exemple de figures ambiguës ou multistables classiques.....	30
Figure 7.Principe de l'illusion de Kayahara	39
Figure 8. Effet d'une présentation intermittente du stimulus sur le sens de rotation perçu d'une sphère en rotation autour un axe horizontal	42
Figure 9. Procédure expérimentale utilisée pour les blocs 1 et 2 de l'expérience 1	44
Figure 10. Pourcentage d'essais perçus dans le sens horaire (bleu) et antihoraire (rouge) pour chaque participant, en fonction du mode de présentation	47
Figure 11. Effet du sens de rotation dominant durant la phase d'entraînement sur le sens de rotation perçu durant la phase de test	50
Figure 12. Illustration du principe du test de Kayahara : représentation d'un essai.....	55
Figure 13. Stimuli composant le test de Kayahara et perception attendue.....	56
Figure 14. Illustration du test de Kayahara au niveau des voies visuelles	57
Figure 15. Test de Kayahara. Représentation d'une séquence de deux essais	58
Figure 16. Test de Kayahara : calcul du biais attentionnel	59
Figure 17. Test de Kayahara : représentation d'une séquence de deux essais et durée des essais.....	60
Figure 18. Variabilité interindividuelle du biais attentionnel mesuré au test de Kayahara.	63
Figure 19. Procédure expérimentale de l'étude 2.....	91
Figure 20. Illustration de la variabilité interindividuelle dans les performances au test de bissection de lignes et dans la réponse à la stimulation	98
Figure 21. Déviation moyenne (en mm) au test de bissection de lignes, en fonction du type de Traitement (actif vs Sham) et de la Session (PréStim, PostStim immédiat et PostStim 30 min).....	99
Figure 22. Effet de la position horizontale de la ligne sur la déviation moyenne (en mm) au test de bissection de lignes.....	100
Figure 23. Temps de réponse moyen (en ms) au test de bissection de lignes, en fonction de la position horizontale de la ligne et de la session	101
Figure 24. Biais attentionnel moyen (compris entre -1 et 1) au test de Kayahara, en fonction du type de traitement et de la session.....	102
Figure 25. Relation régissant les tests de Kayahara, de bissection de lignes et des cloches.....	123

Liste des sigles et abréviation

AnG	anglais, Angular Gyrus (Gyrus Angulaire)
ANOVA	anglais, ANalysis Of Variance (Analyse de variance)
AVC	Accident Vasculaire Cérébral
AVQ	Activités de la Vie Quotidienne
BA	anglais, Brodmann Area (Aires de Brodmann)
CPP	Cortex Pariétal Postérieur
D	Droit
DLPFC	anglais, Dorsolateral Prefrontal Cortex (Cortex Préfrontal-Dorsolatéral)
<i>e.g.</i>	latin, exempli gratia (Par exemple)
ET	Ecart-type
G	Gauche
<i>i.e.</i>	latin, id est (C'est-à-dire)
IFG	anglais, Inferior Frontal Gyrus (Gyrus Frontal Inférieur)
IPL	anglais, Inferior Parietal Lobule (Lobule Pariétal Inférieur)
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique
IRMf	Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle
M	Moyenne
Md	Médiane
MFG	anglais, Middle Frontal Gyrus (Gyrus Frontal Moyen)
MTG	anglais, Middle Temporal Gyrus (Gyrus Temporal Moyen)
NSU	Négligence Spatiale Unilatérale
SFG	anglais, Superior Frontal Gyrus (Gyrus Frontal Moyen)
SLF	anglais, Superior Longitudinal Fasciculus (Faisceaux Longitudinal Supérieur)
SMG	anglais, Supramarginal Gyrus (Gyrus Supramarginal)
SMT	Stimulation Magnétique Transcrânienne
STG	anglais, Superior Temporal Gyrus (Gyrus Temporal Supérieur)
tDCS Continu)	anglais, transcranial Direct Current Stimulation (Stimulation transcrânienne par Courant Continu)
TPJ	anglais, Temporo-Parietal Junction (Jonction Temporo-Pariétale)
TR	Temps de Réponse

Remerciements

J'aimerais exprimer ma reconnaissance envers l'ensemble des personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à l'aboutissement de ce projet, initialement de thèse, adapté finalement en projet de maîtrise. Je remercie les membres du jury d'avoir accepté de lire, et de relire à nouveau, ce manuscrit. Je tiens à remercier, tout particulièrement, Dr Philip Jackson et Dr Laurent Bouyer pour leurs commentaires, conseils et encouragements.

Durant mes premières années d'étude, j'ai eu la chance d'obtenir des bourses d'étude de l'Université Laval, et du Centre Interdisciplinaire de Recherche en Réadaptation et Intégration Sociale (CIRRIIS), ainsi qu'une bourse de soutien de fin de doctorat du CIRRIIS. Je remercie donc ces différents organismes, ainsi que Dr Luc Noreau, pour ce support financier.

Merci également aux membres professionnels du CIRRIIS pour les mots d'encouragement et pour le soutien logistique. Merci à M. Jean Leblond pour son aide en statistiques.

Un grand merci aux participants... d'avoir participé.

MERCI à ma famille et à mes amis pour leur soutien sans faille, surtout ces dernières années. Merci tout particulièrement à ceux qui ont accepté de relire les x versions de mes manuscrits de thèse ou de mémoire!

Merci également à ceux que j'ai oublié de remercier et qui se reconnaissent à cette dernière ligne.

Avant-propos

Le présent ouvrage comporte les résultats principaux de certains de mes travaux de recherche réalisés au cours de mes années d'étude sous la direction de Dr Julien Voisin et la codirection de Dr Désirée Maltais.

L'objectif général du projet présenté était de développer un nouveau test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial à partir de l'adaptation d'un type particulier d'illusion optique, appelé stimulus bistable. Ce document discute de la pertinence de ce test à devenir éventuellement à plus long terme un outil de dépistage de la négligence spatiale unilatérale.

Dans cette étude, j'ai participé à la conception de l'étude, au recrutement des participants, à la cueillette, la saisie et l'analyse des données, ainsi qu'à l'interprétation des résultats. Dr Julien Voisin a participé à la conception de l'étude, à l'interprétation des résultats et à la relecture du présent document. Dr Désirée Maltais a participé à la relecture du présent document. Les membres du service de soutien statistique de l'Université Laval, ainsi que Jean Leblond, statisticien au CIRRS, ont également apporté leur aide concernant l'analyse des résultats.

Chapitre 1. Introduction

1.1. Introduction générale

1.1.1. Contexte, problématique et objectif général

S'orienter dans l'espace, rechercher des objets ou des personnes, imaginer mentalement un objet physiquement absent, éviter un danger imminent sont toutes des actions reposant sur les processus attentionnels visuo-spatiaux. L'attention visuo-spatiale est un processus cognitif, complexe (Brain, 1941), indispensable à l'individu. Lorsque ces processus sont endommagés, suite à des lésions cérébrales par exemple, il peut arriver que les personnes atteintes deviennent incapables d'orienter ou réorienter leur attention vers une partie de l'espace ou de leur corps (généralement opposé au site lésionnel) (Heilman *et al.*, 1993). Ces personnes pourront ainsi ignorer leur interlocuteur lorsque celui-ci est placé du côté gauche, ignorer les aliments situés à gauche de leur assiette ou encore ne se raser qu'un côté du visage (Brain, 1941). Ce trouble neurologique, appelé négligence spatiale unilatérale (NSU), toucherait plus d'un tiers des patients ayant subi un accident vasculaire cérébral (Appelros *et al.*, 2002; Beis *et al.*, 2004; Pedersen *et al.*, 1997; Ringman *et al.*, 2004), soit plusieurs milliers de nouveaux cas par an au Canada. Par ailleurs, du fait du vieillissement de la population et de la prévalence accrue des facteurs de risque, il est attendu que l'incidence des accidents vasculaires cérébraux, et de ce fait de la NSU, augmente de manière substantielle dans les années à venir (Kerkhoff et Schenk, 2012). Il est important de souligner que même sous ses formes les moins sévères, ou après une certaine rémission du déficit, la NSU peut avoir un impact important sur la capacité du sujet à réaliser les tâches de la vie quotidienne, telle que conduire (Menon-Nair *et al.*, 2006) ou s'orienter dans l'espace par exemple. Ce syndrome neurologique est d'ailleurs reconnu comme un facteur prédictif négatif majeur de la récupération fonctionnelle après lésion cérébrale par plusieurs auteurs (e.g., Buxbaum *et al.*, 2004; Jehkonen *et al.*, 2000; Jehkonen *et al.*, 2006). Il a notamment été démontré que la durée de séjour en centre de réadaptation des patients présentant un déficit de NSU serait significativement augmentée en comparaison avec des patients ne présentant pas ce trouble (Denes *et al.*, 1982). D'autres études suggèrent, en outre, que la NSU diminue l'efficacité des traitements (Kalra *et al.*, 1997) et augmente les risques de chute ou d'accident (Ugur *et al.*, 2000; Vallar, 2007).

Une variété de tests standardisés et non standardisés ont été développés pour évaluer le syndrome de NSU (Menon et Korner-Bitensky, 2004). Ces tests peuvent être classés en deux grandes classes, à savoir les tests dits *papier-crayon* et les batteries de test. La plupart des outils d'évaluation de la NSU sont des tests papier-crayon permettant d'identifier la présence d'une asymétrie (*i.e.*, biais attentionnel) dans le niveau d'attention alloué à un hémispace ou l'autre. Généralement les patients atteints de NSU présentent un biais attentionnel en direction de l'hémispace droit (et donc une négligence de l'hémispace gauche). Il s'agit d'épreuves

généralement simples, pouvant être administrées au lit du patient. Ces épreuves ne prennent en général que quelques minutes et sont relativement faciles et rapides à coter. Elles permettent de détecter de manière rapide l'éventuelle présence du déficit, et sont particulièrement adaptées à une utilisation en contexte clinique nécessitant des tests simples et rapides. Cependant, malgré l'existence de près d'une soixantaine de tests (Menon et Korner-Bitensky, 2004), il est démontré que la plupart d'entre eux présentent des qualités métrologiques limitées (Azouvi *et al.*, 2002). Tout d'abord, ces instruments diffèrent substantiellement dans leur sensibilité (Azouvi *et al.*, 2002; Menon et Korner-Bitensky, 2004; Stone *et al.*, 1993; Stone *et al.*, 1991), c'est-à-dire dans leur capacité à détecter la présence du déficit (chez des personnes effectivement atteintes). Beaucoup, ne détectent par exemple que les signes les plus sévères du syndrome (Azouvi *et al.*, 2003; Azouvi *et al.*, 2002). De surcroît, les épreuves d'évaluation les plus courantes ne permettent pas toujours de prédire le retentissement de la NSU dans la vie quotidienne (Azouvi, 2011). En effet, certains patients obtiennent des performances normales ou presque lors de l'évaluation clinique, et continuent pourtant de présenter dans la vie de tous les jours des signes du déficit (Azouvi, 2006, 2011; Azouvi *et al.*, 2006; Azouvi *et al.*, 2002; Bergego *et al.*, 1995; Paillard et Badan, 1997). Ces résultats seraient la conséquence d'effets d'apprentissage. Autrement dit, les patients ayant appris à compenser leur déficit, et ayant « l'habitude » de réaliser ces tests, s'améliorent aux épreuves cliniques, mais continuent de présenter les signes d'une atteinte fonctionnelle en dehors de ce cadre (Azouvi, 2006; Azouvi *et al.*, 2002; Bartolomeo et Chokron, 2002; Ugur *et al.*, 2000).

Les batteries de tests, quant à elles, sont des outils regroupant généralement plusieurs tests papier-crayon associés à une évaluation des performances des patients dans la réalisation de différentes tâches de la vie quotidienne (e.g., s'habiller, manger, se déplacer). Ces batteries permettent d'appréhender un plus large spectre de la NSU ou différentes sous-dimensions, ne pouvant pas toujours être détecté à travers l'utilisation d'un test unique. Elles ont également l'avantage d'être plus écologiques que les tests papier-crayon, et de présenter une meilleure sensibilité (Menon et Korner-Bitensky, 2004). Les batteries nécessitent cependant beaucoup plus de temps pour l'évaluation des patients, puisque leur durée de passation excède souvent les 30-40 minutes, et demandent généralement une certaine expertise. Ainsi, bien que les batteries de tests, tel que la BIT (*behavioural inattention test*) par exemple, semblent être les plus efficaces dans la détection des signes de NSU, leur longueur d'administration fait qu'elles seraient moins fréquemment utilisées que les tests papier-crayon.

Ces exemples suggèrent la nécessité de développer de nouveaux outils de mesure de la NSU, à la fois suffisamment sensible pour détecter les signes les moins sévères du syndrome, et à la fois, simple et rapide à administrer et coter. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce projet de maîtrise, dont le but général était de développer et décrire un nouveau test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial, créé à partir de l'adaptation d'un type particulier d'illusion optique, appelé stimulus bistable; test qui potentiellement, pourrait devenir à plus long terme un outil de mesure de la NSU. Ce mémoire propose une description de l'illusion optique sur lequel

repose le nouveau test, ainsi qu'une description du test en tant que tel. Nous pensons que la nature relativement automatique des processus sur laquelle repose cette tâche permettra de diminuer les effets d'apprentissage observés avec les tests papier-crayon classiques.

1.1.2. Organisation du mémoire

Le mémoire comprend trois chapitres, incluant ce premier chapitre d'introduction. Après l'introduction générale, le **Chapitre 1** se poursuit par une revue de la littérature pertinente (section 1.2). Cette section se compose, plus spécifiquement, d'une revue des connaissances sur la NSU et propose une discussion concernant les besoins en termes de nouveaux tests de mesure du biais attentionnel visuo-spatial. Elle présente également une présentation succincte du phénomène de perception bistable et une présentation de l'illusion sur laquelle repose le nouveau test développé. Ce chapitre se termine par la présentation des objectifs généraux et spécifiques du mémoire (sections 1.3 et 1.4.).

Le **Chapitre 2** décrit la méthodologie utilisée dans le cadre de l'étude présentée aux chapitres 3 et 4.

Les **Chapitres 3 et 4** présentent l'étude réalisée dans le cadre de ce projet de mémoire. Le Chapitre 3 présente, spécifiquement, la première expérience de cette étude, et le Chapitre 4, la deuxième.

Le **Chapitre 5** présente une discussion générale de l'étude ainsi que les limites et les perspectives envisagées.

Les références citées dans l'ensemble du document sont regroupées par ordre alphabétique, dans la section « **Références** », à la fin du manuscrit.

Pour finir, la section « **Annexe** » présente certains éléments méthodologiques complémentaires. Elle introduit également deux études supplémentaires non présentées dans le cadre de ce mémoire.

1.2. Revue de la littérature pertinente

1.2.1. La négligence spatiale unilatérale (NSU)

1.2.1.1. Définition et terminologie

Le terme NSU est un terme générique décrivant un ensemble de symptômes neurologiques lié à un déficit du traitement de l'information attentionnelle et visuo-spatiale. Ces symptômes ont pour caractéristique commune l'incapacité du patient « à décrire verbalement, répondre ou s'orienter vers des stimulations (généralement) controlatérales à une lésion cérébrale » (Chokron *et al.*, 2008; Heilman *et al.*, 1993), sans que ces troubles puissent pour autant être attribuables à un déficit sensoriel ou moteur (Heilman et Valenstein, 1979). La NSU se caractérise par un biais comportemental dirigé du côté de la lésion cérébrale et est associée à une perte de la conscience de l'espace situé du côté (généralement) contralésionnel. En d'autres termes, les patients dits « héminégligents » agissent comme si une partie de leur environnement n'existait pas, et tendent à ignorer, ne pas prêter attention ou ne pas s'orienter vers les stimuli placés dans cet espace. Le syndrome de NSU peut se manifester dans chaque modalité perceptive. Il peut, par exemple, être mis en évidence par une incapacité du patient à réagir ou orienter son attention vers des stimuli sensoriels (visuels, auditifs, tactiles) présentés dans l'espace contralésionnel (négligence sensorielle (Heilman *et al.*, 2000; Rode et Pisella, 2011)). Il peut également toucher les modalités de sortie motrice: manuelle, oculaire, locomotrice et verbale (Laine, 2012). Il est, ici, caractérisé par une non-utilisation ou une sous-utilisation des membres controlatéraux à la lésion, ou par une lenteur d'initiation ou d'exécution des mouvements réalisés en direction de l'espace contralésionnel (négligence motrice (Laplane et Degos, 1983)). Enfin, la NSU peut se manifester lors de la réalisation de tâche d'exploration mentale, d'images visuelles notamment. Dans ce cas, le patient présente des difficultés à explorer mentalement la partie gauche d'images ou de scènes (négligence représentationnelle (Bisiach et Luzzatti, 1978)). Il est important de souligner que la NSU n'est pas la conséquence d'un déficit sensoriel (tel que l'hémianopsie par exemple), ou moteur (tel qu'une hémiparésie), ni la conséquence d'une détérioration des fonctions intellectuelles (Halligan *et al.*, 2003; Heilman *et al.*, 2000; Rode et Pisella, 2011; Vallar, 1998). Elle résulte de lésions corticales et/ou sous-corticales affectant des structures impliquées dans l'intégration des informations spatiales utilisées pour le codage de l'action et de l'attention (Rode et Pisella, 2011), et certainement également de lésions touchant les faisceaux de substance blanche pariéto-frontaux reliant ces structures entre elles (Bartolomeo *et al.*, 2007; Doricchi *et al.*, 2008; Thiebaut de Schotten *et al.*, 2005; Vallar *et al.*, 2014).

Comme nous pouvons l'observer, la NSU n'est pas syndrome unitaire. Il s'agit, au contraire, d'un trouble présentant une symptomatologie variée et dont les caractéristiques peuvent être très différentes d'un sujet à l'autre. Cette variabilité des symptômes se traduit dans la littérature par une terminologie tout aussi variée. En effet, depuis la première description d'une « agnosie de la moitié gauche de l'espace » en 1941 (Brain, 1941),

de nombreux termes ont été utilisés et sont employés de manière interchangeable pour référer au syndrome de NSU. Les plus courants sont les termes de « négligence » et « d'inattention » (Bowen *et al.*, 1999). Ces mots sont souvent accompagnés du préfixe « héli- » ou suivis du mot « unilatérale », désignant le fait que le déficit touche une seule partie (droite ou gauche) de l'espace (exemple : héli-négligence, héli-inattention, négligence unilatérale). La NSU touchant la modalité visuelle est la forme de NSU la plus décrite dans la littérature (Stone *et al.*, 1993) et la plus évaluée en clinique. Dans le cadre de ce mémoire, je me suis intéressée spécifiquement à ce sous-type ; le terme de « NSU », dans le reste du document, réfèrera donc à la NSU pour la modalité visuelle.

1.2.1.2. Manifestations cliniques

Les signes de NSU peuvent être mis en évidence, chez le patient, grâce à l'observation du comportement spontané de celui-ci dans les activités de la vie quotidienne (AVQ), ou grâce à l'utilisation d'outil de mesure permettant d'explorer ses capacités attentionnelles visuo-spatiales.

La NSU étant un trouble à la symptomatologie très variée (tous les patients ne présentent pas les mêmes signes cliniques, et celle-ci peut évoluer au cours du temps chez un même sujet), il est difficile d'établir un tableau clinique précis des manifestations caractérisant ce syndrome. Dans les formes les plus sévères cependant, par exemple, dans les jours qui suivent la survenue d'un AVC, il sera possible d'observer un certain nombre de manifestations caractéristiques. Durant l'observation du patient dans les AVQ, il sera ainsi fréquent d'observer que la personne présente une déviation spontanée des yeux et de la tête vers le côté ipsilatéral de la lésion (Figure 1a; Azouvi *et al.*, 2002; Fruhmann-Berger et Karnath, 2005). Il est important de mentionner que ces patients sont physiquement capables d'orienter leur regard ou de tourner leur tête dans n'importe quelle direction. Comme nous le verrons dans la section traitant des modèles explicatifs, cette déviation est vraisemblablement due à une incapacité du patient à désengager son attention du côté ipsilésionnel ou à la réengager vers le côté contralésionnel et/ou à l'existence d'un biais dans la représentation de son corps l'espace. En plus de cette déviation s'ajoute d'ailleurs classiquement un défaut de localisation des stimuli situé de manière contralésionnelle. Le patient aura ainsi tendance à ne répondre à aucune stimulation visuelle ou auditive en provenance de l'héli-espace contralésionnel. Par exemple, lorsqu'on lui parle, il tendra à tourner systématiquement sa tête vers sa droite, même si l'interlocuteur se trouve à sa gauche (*e.g.*, Brain, 1941). D'ailleurs, s'il est demandé au sujet de rechercher de manière active un stimulus particulier, il sera possible d'observer que les saccades oculaires ainsi que les mouvements des mains se concentrent uniquement ou principalement sur la partie ipsilésionnelle de l'espace (Figure 1b; Fruhmann-Berger *et al.*, 2008; Karnath *et al.*, 1998; Karnath et Perenin, 1998). Pour les patients ayant repris la marche, il sera possible d'observer que ces derniers se heurtent aux objets et meubles présents dans la pièce ou aux chambranles des portes situés du côté contralésionnel. Le biais attentionnel observable dans les activités précédemment décrites pourra

également être manifeste dans les épreuves de lecture. Il arrive, par exemple, que la personne atteinte commence à lire au milieu d'une ligne ou ne lit que l'extrémité droite des textes. Ce phénomène de *paralexie* pourra s'accompagner ou non de *paragraphie*, c'est-à-dire d'une tendance, à n'écrire que du côté ipsilésionnel de la page (Figure 1c). Concernant la prise des repas, il sera classique d'observer que le patient ignore les aliments placés de manière contralésionnelle de l'assiette et ne mange que ceux de la partie droite. Pour finir, il sera également possible que le patient oublie de se laver, se raser ou se maquiller la partie contralésionnelle du corps ou présente des difficultés à s'habiller du côté contralésionnel de l'hémicorps.

Les performances attentionnelles des patients et l'existence d'un biais vers une partie de l'espace sont également observables à travers les performances de ces derniers à des tests cliniques. Par exemple, certains sujets ayant reçu pour consigne de reproduire un dessin ou d'en réaliser un spontanément omettent des détails localisés à gauche de la figure ou des éléments situés à gauche de la feuille (Figure 1d). Dans une tâche d'identifications de cibles, ces patients présentent la plupart du temps des difficultés à détecter les cibles situées du côté contralésionnel, particulièrement lors de la présence d'autres figures autour (Azouvi *et al.*, 2006).

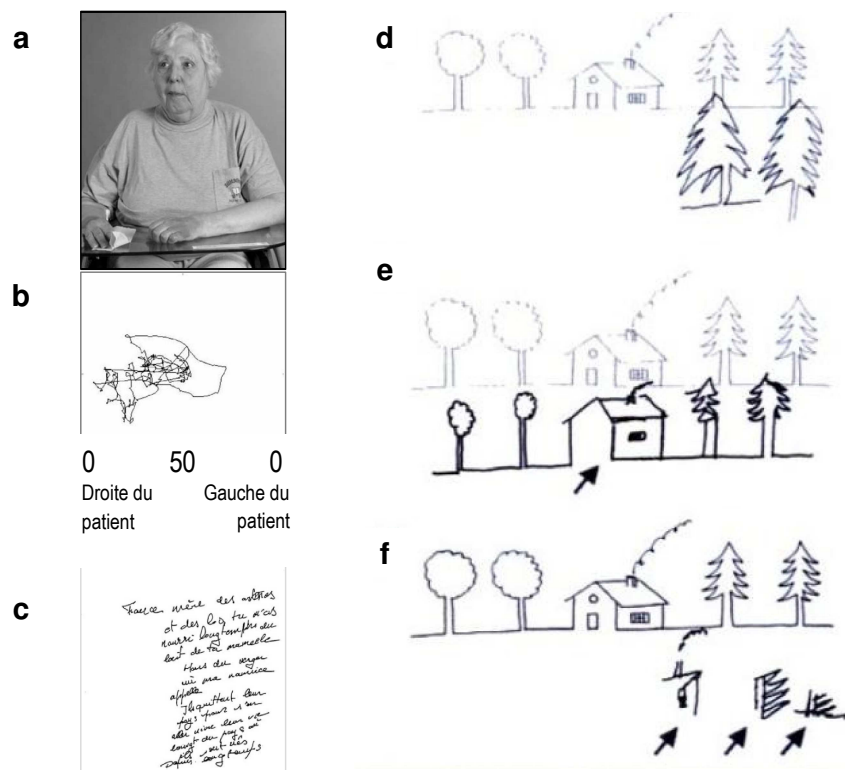


Figure 1. Exemple de comportements et de productions de patients atteints de NSU gauche

(a) Exemple d'orientation spontanée des yeux et de la tête d'une patiente atteinte de NSU faisant suite à une lésion de l'hémisphère droit lorsque demandé de « ne rien faire ». La patiente oriente les yeux et la tête spontanément vers le côté droit ipsilésionnel. À noter que la pièce était vide avec seulement le photographe placé juste en face de la patiente. (b) Exploration visuelle spontanée de la même patiente enregistrée à l'aide d'un eye-tracker : seul le côté droit de l'espace est exploré par le patient (tiré et traduit de Fruhmann-Berger et Karnath (2005)). À noter que les données sont représentées de la perspective du patient (*i.e.*, le côté droit du patient est illustré à gauche). (d) à (f) Copie d'une frise de 5 éléments (Gainotti *et al.*, 1972), représentant un déficit égocentré (d), un déficit centré sur l'objet (e) et les deux déficits associés (f) (tiré de Rode et Pisella (2011)).

1.2.1.3. Incidence et importance d'évaluer la NSU

La NSU est un trouble fréquent après un AVC (Vallar, 2007) cependant son incidence exacte reste difficile à déterminer. Les raisons principales en sont que le pourcentage absolu dépend du critère diagnostique ou de l'outil utilisé pour l'évaluer (Halligan *et al.*, 1991; Stone *et al.*, 1991) et du délai écoulé entre la survenue de l'accident vasculaire et l'évaluation (Halligan *et al.*, 1991). Ainsi, dans une revue systématique de la littérature, Bowen *et al.* (1999) ont trouvé que la fréquence d'occurrence de la NSU reportée par les études variait de 13% à 82%. Comme mentionné, cette variabilité résulte principalement du manque de consistance entre les études concernant le test utilisé pour évaluer la NSU. En effet, étant donné qu'il n'existe aucun consensus vis-à-vis du test à utiliser pour diagnostiquer la NSU (Azouvi *et al.*, 2002; Menon-Nair *et al.*, 2006), son incidence peut varier de manière importante d'une étude à l'autre. Par ailleurs, le fait d'utiliser un ou plusieurs tests peut également influencer ces chiffres. Stone *et al.* (1993) ont ainsi montré qu'en utilisant une large batterie de test (*i.e.*, 10 tests), 82% des patients atteints de lésions touchant l'hémisphère droit et 65% de ceux atteints de lésions touchant l'hémisphère gauche présentaient des signes de NSU (atteinte dans au moins un des tests). Ces chiffres sont en adéquation avec une étude plus récente d'Azouvi *et al.* (2002) montrant que 85% des patients avec lésion de l'hémisphère droit présentaient au moins une forme de NSU quand plusieurs tests étaient utilisés. Dans les études utilisant 4 tests ou moins (et portant sur de larges échantillons de sujets), l'incidence s'étend plutôt entre 20 et 50% (e.g., Appelros *et al.*, 2002; Buxbaum *et al.*, 2004; Karnath *et al.*, 2004; Pedersen *et al.*, 1997; Ringman *et al.*, 2004). Plusieurs études suggèrent également que l'incidence de la NSU après lésion de l'hémisphère droit est supérieure à celle des lésions de l'hémisphère gauche (e.g., Bowen *et al.*, 1999; Fullerton *et al.*, 1986; Pedersen *et al.*, 1997; Ringman *et al.*, 2004; Stone *et al.*, 1993). Par exemple, Pedersen *et al.* (1997) montre dans une étude portant sur 602 patients que parmi l'ensemble des sujets 42% présentent une NSU après lésion de l'hémisphère droit contre seulement 8% après lésions de l'hémisphère gauche. Cette différence pourrait être due à la dominance de l'hémisphère droit pour les processus attentionnels (Heilman et Van Den Abell, 1980). Ces observations sont cependant contestées par d'autres études (e.g., Halligan *et al.*, 1992), particulièrement quand le trouble est évalué dans les jours ou semaines qui suivent l'épisode lésionnel (Denes *et al.*, 1982).

Quel que soit l'incidence exacte de la NSU après AVC ou traumatisme crânien, il est largement accepté que son évaluation en clinique et la prise en charge des patients touchés est primordiale. Plusieurs études démontrent par exemple que la NSU est un facteur péjoratif de récupération après lésion cérébrale (e.g., Buxbaum *et al.*, 2004; Denes *et al.*, 1982; Gillen *et al.*, 2005; Jehkonen *et al.*, 2000; Jehkonen *et al.*, 2006; Katz *et al.*, 1999). Katz *et al.* (1999) montrent dans une étude portant sur 40 patients atteints de lésions de l'hémisphère droit, que la présence d'une NSU est associée avec des performances plus faibles sur les échelles fonctionnelles (sensori-motrices et cognitives) et aux incapacités reliées aux AVQ. Cette étude indique également que la récupération chez les personnes cérébrolésées avec NSU était plus lente ou plus atténuée,

en comparaison avec le groupe de sujets présentant des lésions cérébrales mais en l'absence de NSU, et ceux malgré la présence d'une amélioration fonctionnelle chez ces deux groupes après 5 mois. Ces résultats corrélaient avec les observations faites par Gillen *et al.* (2005) qui montra que les patients atteints de NSU passaient en moyenne plus de temps en centre de réadaptation et montraient des améliorations moins rapides. D'autres études suggèrent également que la NSU pourrait contribuer à diminuer l'efficacité des interventions (Kalra *et al.*, 1997) et augmenterait les risques de chute ou d'accident (Ugur *et al.*, 2000; Vallar, 2007). L'ensemble de ces exemples souligne l'importance d'évaluer la NSU chez les patients cérébrolésés et de prendre en compte ce déficit dans les approches thérapeutiques ou rééducatives.

1.2.1.4. Notion d'espace et de cadre de référence

L'étude des patients hémiparétiques a permis de révéler très tôt que différents secteurs de l'espace pouvaient être affectés. La NSU peut ainsi toucher de manière différentielle la capacité du sujet à porter son attention sur une partie de son corps (espace personnel), sur l'espace situé à distance de préhension (espace péri-personnel), sur l'espace hors-préhension (espace extrapersonnel), ou encore sur l'espace imaginé (espace représentationnel; Figure 2). Chaque patient pourra présenter une atteinte dans une ou plusieurs de ces différentes dimensions de l'espace (Guariglia et Antonucci, 1992).

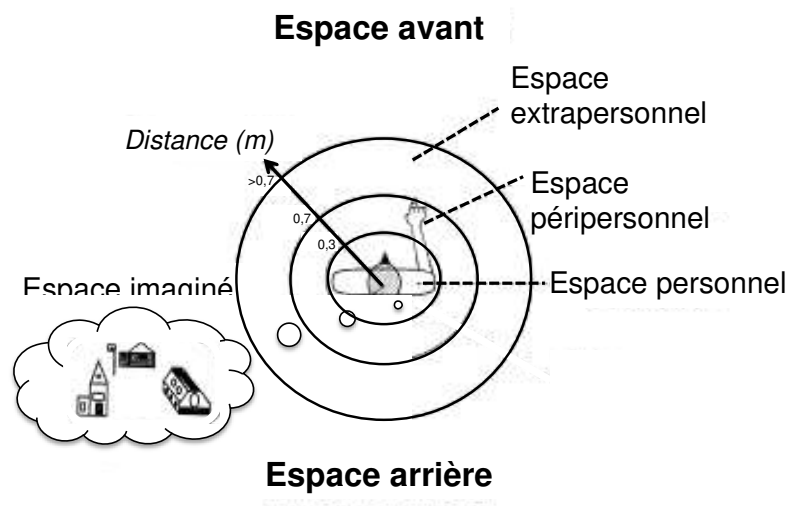


Figure 2. Représentation schématique des différents secteurs de l'espace pouvant être affecté par la NSU
Adapté et traduit de Kerkhoff (2001).

Les performances à des tâches de la vie quotidienne ou à des tests cliniques de mesure de la NSU varient en fonction de la dimension de l'espace touchée par le déficit. Halligan et Marshall (1991) ont reporté par exemple le cas d'un patient qui présentait une déviation systématique et importante vers la droite en réalisant un test de bissection de lignes classique (espace péri-personnel) alors même que celui-ci était capable de réaliser parfaitement cette même tâche lorsque les lignes étaient situées à plusieurs mètres de distance (espace

extrapersonnel). Diverses études ont depuis démontré des dissociations entre plusieurs dimensions (e.g., Bisiach *et al.*, 1986; Buxbaum *et al.*, 2004). Certains types de dissociations se rencontreraient cependant plus rarement que d'autres. Il semble ainsi peu fréquent de rencontrer des cas de négligence personnelle en l'absence de négligence péri-personnelle ou extrapersonnelle (Guariglia et Antonucci, 1992). Dans une étude réalisée sur 166 patients ayant subi un AVC touchant l'hémisphère droit, Buxbaum et collaborateurs (2004) ont par exemple montré que 27% des patients présentaient une NSU touchant l'espace péri-personnel, alors que seul 1% des patients présentait une atteinte de l'espace personnel sans atteinte de l'espace péri-personnel.

L'incidence de la NSU dans l'espace péri-personnel par rapport aux autres espaces justifie l'utilisation de tests évaluant cette dimension de l'espace de manière prioritaire. Cependant, peu d'études ont été réalisées sur le sujet. De plus, la majorité des tests actuels concernent spécifiquement l'espace péri-personnel. Il est donc possible que l'incidence des troubles de négligence touchant spécifiquement l'espace personnel soit sous-évaluée.

1.2.1.5. Modèles explicatifs

Depuis sa première description qui daterait de 1885 (Kinsbourne, 1987), diverses théories ont été proposées pour expliquer les mécanismes de la NSU. L'hypothèse d'un déficit sensoriel primaire fut l'une des premières interprétations avancées (Battersby *et al.*, 1956; Denny-Brown et Banker, 1954; Hecaen, 1962). Elle était alors perçue comme une sorte « d'amputation » du champ visuel (Battersby *et al.*, 1956; Hecaen, 1962), suggérant une atteinte purement visuelle ou somato-sensorielle. Il est cependant rapidement apparu évident qu'une double dissociation entre déficit sensoriel primaire (hémianopsie latérale homonyme) et NSU existait (Chokron *et al.*, 2008). Aujourd'hui, la grande majorité des experts dans le domaine s'accordent pour dire que le fondement de la NSU est un trouble affectant la capacité à diriger son attention vers la partie (généralement) contralésionnelle de l'espace (Parton *et al.*, 2004). Les théories explicatives classiques sont généralement classées en deux grandes catégories, à savoir, les théories attentionnelles et les théories représentationnelles.

Les premières considèrent que la NSU reflète un biais intrinsèque à diriger son attention vers l'hémichamp contralésionnel (Kinsbourne, 1987), ou une incapacité à désengager son attention du côté ipsilésionnel (Postner et Driver, 1992). Les théories représentationnelles postulent, quant à elles, que la NSU résulte d'une détérioration de la représentation de l'espace, affectant ainsi la capacité des sujets à représenter correctement leur corps dans l'espace ou les objets issus de leur environnement (Bisiach *et al.*, 1981; Bisiach et Luzzatti, 1978; Rizzolatti, Fadiga, *et al.*, 1997; Rizzolatti, Fogassi, *et al.*, 1997). Ces différentes théories ont toutes été étayées par des données probantes. Par ailleurs, compte tenu de la pluralité du syndrome de NSU elles ne sont pas mutuellement incompatibles (Parton *et al.*, 2004). Cependant, à côté de la capacité à engager ou désengager son attention, et/ou à se représenter l'espace, les études actuelles, grâce notamment aux progrès

réalisés en neuroimagerie et au développement des techniques de stimulation non-invasives, démontrent le rôle critique que joue le niveau d'équilibre des relations neuronales dans l'expression du trouble de NSU. Ce syndrome est de ce fait, aujourd'hui, de plus en plus perçu en termes de dysfonction ou de déséquilibre des réseaux intra- et interhémisphériques, impliqués dans le traitement des processus attentionnels (Hesse *et al.*, 2011). Les premières évidences sur le sujet sont issues des études de neuroimagerie démontrant, chez l'Homme, que des lésions cérébrales unilatérales sont corrélées à une augmentation pathologique de l'activité provenant de l'hémisphère sain, et à une hypoactivité des régions périlésionnelles (Corbetta *et al.*, 2005; He *et al.*, 2007). Un débalancement de l'activité neuronale similaire a été observé dans des modèles animaux de NSU suite à la désactivation du CPP (Rushmore *et al.*, 2006). Par ailleurs, le modèle de (dés)équilibre interhémisphérique (également appelé modèle de *compétition interhémisphérique*) est supporté par plusieurs études réalisées chez le chat montrant qu'une NSU induite après désactivation du CPP peut être abolie après une désactivation subséquente du CPP controlatéral (Lomber et Payne, 1996; Lomber *et al.*, 2002; Payne *et al.*, 2003; Payne et Rushmore, 2003).

Chez l'Homme, les dernières évidences en faveur de ce modèle sont issues des études utilisant les techniques de stimulation non-invasives. Ces méthodes reposant sur l'application de courant électrique ou de champ magnétique à travers le scalp permettent de moduler l'activité neuronale de manière transitoire et ainsi d'étudier des relations de causalité entre des régions stimulées et des réponses comportementales (Miniussi *et al.*, 2013). Des études portant sur l'utilisation de la stimulation magnétique transcrânienne (SMT), démontrent qu'il est possible de diminuer les symptômes de négligence chez des patients cérébrolésés en diminuant le niveau d'activité de l'hémisphère sain par l'intermédiaire d'applications de stimulations inhibitrices (e.g., Brighina *et al.*, 2003; Nyffeler *et al.*, 2009; Oliveri *et al.*, 2001). Ces stimulations résultent en une diminution de l'hyperactivation de l'hémisphère et par conséquent en une diminution du niveau d'influence (principalement inhibition) de l'hémisphère lésé. D'autres études montrent au contraire, chez des sujets sains, qu'il est possible de reproduire les signes d'une NSU en inhibant l'activité neuronale d'un des deux hémisphères (e.g., Dambeck *et al.*, 2006; Fierro *et al.*, 2000; Ghacibeh *et al.*, 2007; Gobel *et al.*, 2006; Hilgetag *et al.*, 2001; Muggleton *et al.*, 2006). Ces résultats ont également été confirmés avec l'utilisation de courants électriques (tDCS) (Giglia *et al.*, 2011; Ko *et al.*, 2008; Sparing *et al.*, 2009; Sunwoo *et al.*, 2013).

L'hypothèse d'un déséquilibre dans la balance des excitations et inhibitions neuronales comme facteur explicatif de la NSU n'est pas une hypothèse récente. Cette théorie avait déjà été formulée dans les années 70 par Kinsbourne (Kinsbourne, 1977). L'auteur suggérait à l'époque que les deux hémisphères pariétaux exercent une inhibition réciproque et que le bon fonctionnement neurologique dépend de l'équilibre entre leurs relations. La NSU résultait alors, selon lui, d'un déséquilibre interhémisphérique (Knapen *et al.*, 2011). Plus spécifiquement, une lésion cérébrale unilatérale s'accompagnerait d'une hyperactivation de l'hémisphère intact (Calautti et Baron, 2003; Calautti *et al.*, 2003; Calautti *et al.*, 2007) expliquée par le fait que l'inhibition

interhémisphérique provenant de l'hémisphère lésé n'est plus assurée. Ce déséquilibre se traduirait ainsi par un biais de l'attention vers le côté ipsilatéral de l'espace (Figure 3). Le modèle de déséquilibre interhémisphérique avait d'ailleurs très tôt été étayé par une étude montrant, chez un patient, la disparition des symptômes de négligence après une lésion de l'hémisphère gauche subséquente à une première lésion de l'hémisphère droit (Vuilleumier *et al.*, 1996), suggérant une restauration de la balance interhémisphérique. Très probablement, les avancées réalisées en neuroimagerie et le développement des techniques de neurostimulation, cette dernière décennie, expliquent la réapparition de ce modèle comme théorie explicative de la NSU.

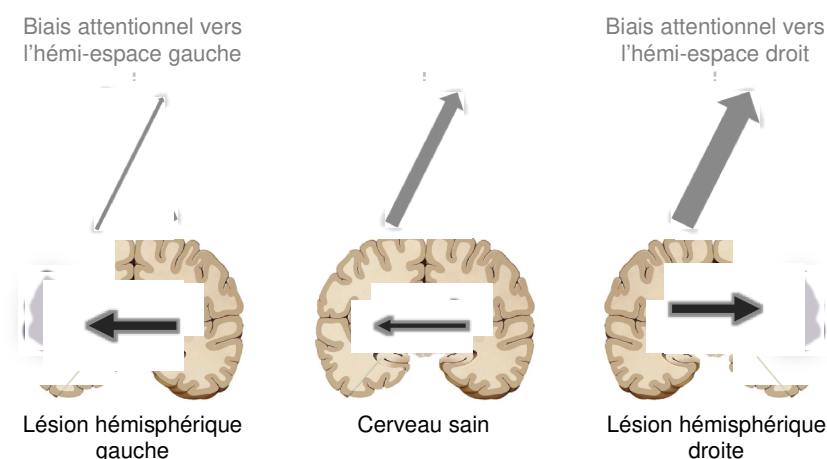


Figure 3. Illustration du modèle de déséquilibre interhémisphérique

1.2.2. Les outils de mesure de la NSU et leurs limites

L'évaluation clinique de la NSU passe tout d'abord par l'observation des comportements spontanés du patient dans son milieu. Ces observations portent principalement sur :

- L'orientation de la tête et du tronc;
- L'orientation du regard;
- La posture;
- L'orientation vers les stimuli provenant du côté contralésionnel;
- Les déplacements et les conduites d'exploration;
- Les comportements dans les AVQ (toilette, repas, habillage, déplacements, etc.).

Comme mentionné précédemment, en phase aigüe, il est souvent observable que les patients présentent une déviation de la tête et du tronc du côté ipsilésionnel et une réduction des comportements d'exploration visuelle du côté contralésionnel. Les patients ont également tendance à ignorer les éléments localisés dans l'hémichamp contralésionnel (*e.g.*, aliments dans l'assiette) ou à sous-utiliser la partie du corps opposée à la lésion.

Il arrive cependant souvent que les patients ne présentent pas de signes cliniques évidents ou repérables lors de l'observation clinique (Urbanski *et al.*, 2007). Chez ces patients, la NSU peut passer inaperçue si elle n'est pas évaluée à travers l'utilisation de tests adaptés (Urbanski *et al.*, 2007).

Une variété de tests standardisés et non standardisés a été développée pour évaluer la NSU. Dans une revue de la littérature, Menon et Korner-Bitensky (2004) en ont recensé plus de 60 (dont moins de la moitié étaient standardisés). Il est possible de regrouper ces tests en deux grandes classes, à savoir les tests dits *papier-crayon* et les batteries de test. La plupart des outils d'évaluation de la NSU sont des tests papier-crayon évaluant la NSU dans l'espace extrapersonnel proche (cf. section 1.2.1.4; Potet *et al.*, 2011). Il s'agit d'épreuves, généralement simples, pouvant être administrées au lit du patient. Ces épreuves ne prennent en général que quelques minutes et sont relativement faciles et rapides à coter. Elles permettent de détecter de manière rapide l'éventuelle présence du déficit, et sont particulièrement adaptées à une utilisation en contexte clinique nécessitant des tests simples et rapides. Les batteries de tests sont des outils regroupant généralement plusieurs tests papier-crayon couplés à la cotation des performances des patients dans la réalisation de différentes tâches de la vie quotidienne (e.g., s'habiller, manger, se déplacer). Ces batteries permettent d'appréhender un plus large spectre de la NSU ou différentes sous-dimensions ne pouvant pas toujours être détectées à travers l'utilisation d'un test unique. Les batteries nécessitent cependant beaucoup plus de temps pour l'évaluation des patients, puisque leur durée de passation excède souvent les 30-40 minutes, et demandent généralement une certaine expertise.

1.2.2.1. Les tests papier-crayon

Les épreuves papier-crayon d'évaluation de la NSU peuvent être sous-divisées en trois grandes catégories : les épreuves visuo-perceptives, les épreuves visuo-graphiques et les épreuves représentationnelles (d'après Potet *et al.*, 2011).

Les épreuves visuo-perceptives explorent l'aspect « perceptif » de la NSU. Les plus classiques sont les tâches de description d'images, d'identification de figures entremêlées, de dénombrement et de pointage d'objets, ou de lecture. Les épreuves visuo-graphiques explorent à la fois l'aspect « perceptif » et « intentionnel » de la NSU, c'est-à-dire incluant une composante motrice. Les plus classiques sont les tests de barrage d'objets, de dessin, de bissection de lignes, ou d'écriture. Les épreuves représentationnelles visent à explorer la dimension imaginée de l'espace. Les tests les plus classiques sont les tâches de description d'un lieu connu par le sujet et de dessin spontané ou de mémoire.

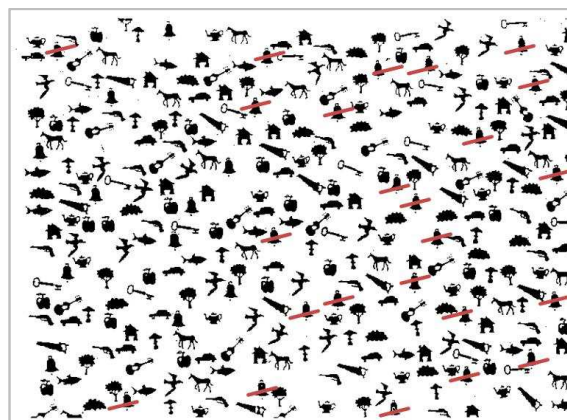
1.2.2.1.1. Les épreuves visuo-graphiques

Les tests de barrage de cibles

Les tests de barrage tiennent une place prépondérante dans l'évaluation de la NSU puisqu'ils font partie des tests les plus couramment utilisés (Albert, 1973; Diller et Weinberg, 1977; Molenberghs *et al.*, 2012). Il en existe plusieurs, avec des caractéristiques structurelles différentes. Ces tests consistent tous, pour le sujet, à devoir repérer et entourer ou barrer des stimuli cibles répartis sur une feuille de papier présentée en format paysage. Ces stimuli cibles peuvent être des lignes (Albert, 1973; Figure 4a), des lettres (e.g., Ben-Yishay *et al.*, 1974; Halligan *et al.*, 1989) ou des formes spécifiques, tel que des étoiles (Wilson *et al.*, 1987a), des cercles (Ota *et al.*, 2001) ou des cloches (Gauthier *et al.*, 1989; Figure 4b). Ces items peuvent être dissimulés parmi des *distracteurs*, c'est-à-dire d'autres figures, qui en fonction de leur nombre vont augmenter le niveau de difficulté du test (Azouvi, 2006; Figure 4b).



(a) Test de barrage de lignes (Albert, 1973)



(b) Test des cloches (Gauthier *et al.*, 1989)

Figure 4. Exemples de performance de patients atteints de NSU gauche sur une épreuve de barrage sans (a) et avec (b) distracteurs.

Les tests de barrage sont des tests faisant intervenir une dimension perceptivo-motrice, ils évaluent simultanément les composantes attentionnelle et intentionnelle de la NSU. La détection des cibles fait en effet appel à des processus attentionnels et d'exploration visuelle, alors que l'acte de barrage explore un versant plus moteur.

La variable mesurée est généralement le nombre ou le pourcentage d'omissions d'items cibles réalisées dans chaque partie (e.g., gauche versus droite) de la feuille. Les patients hémiparétiques omettent classiquement dans ce test les items cibles situés dans l'hémichamp contralésionnel. Au-delà d'un certain seuil, c'est-à-dire nombre d'omissions, le patient est considéré comme atteint de NSU (*cf.* tableau 1). Le nombre d'items oubliés dans cette partie de l'espace peut renseigner sur la sévérité du déficit. Le temps de complétion du test et la

stratégie d'exploration sont également fréquemment mesurés, car ils permettent de renseigner sur la manière dont le sujet déploie son attention et de détecter la présence d'éventuels comportements de persévération (*i.e.*, explorations à plusieurs reprises d'items déjà parcourus). Les caractéristiques des tests de barrage les plus courants sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1. Caractéristiques des tests de barrage les plus courants

Auteur (date)	Nature des cibles	Taille des cibles	Nombre de cibles	Nombre de distracteurs	Seuil pathologique
Albert (1973)	Lignes	20 mm	40	0	2
Gauthier <i>et al.</i> (1989)	Cloches	9 mm	35	280	6
Halligan <i>et al.</i> (1989)	Lettres (E, R)	6 mm	40	127	8
Wilson <i>et al.</i> (1987a)	Étoiles	8 mm	56	84	3

L'avantage des tests de barrage est que la consigne est très simple et qu'ils sont simples et rapides à coter. La première limite de ces tests est que les patients doivent être en mesure de tenir un crayon. La présence d'apraxie peut de ce fait compromettre les capacités de ces derniers à réaliser le test. Il s'agit cependant d'une limite commune à la plupart des tests papier-crayon. Deuxièmement, l'acuité visuelle des patients peut également être un élément problématique puisque les stimuli sont de petite taille. Troisièmement, concernant les tests de barrage d'étoiles et de cloches, ces épreuves nécessitent que les patients soient capables de discriminer différents stimuli (petites étoiles vs. grandes étoiles, différentes images composant les distracteurs). Il est donc important de s'assurer au préalable que les patients ne souffrent pas de trouble de la reconnaissance (gnosie). Quatrièmement, il n'est pas possible de dissocier les dimensions sensorielle et motrice de la NSU puisque ces tests intègrent à la fois une composante de recherche visuelle et à la fois une composante motrice à travers l'acte de barrage (Làdavas, 1994). Cinquièmement, les tests de barrage sont sensibles aux troubles attentionnels non latéralisés. Il est donc important de déterminer un critère seuil adéquat afin de déterminer une NSU de troubles attentionnels généralisés.

La plupart des tests de barrage ont fait l'objet d'une forme de validation ou de normalisation, soit lors de leur élaboration, soit dans le cadre du développement de batterie de tests dans lesquels ces tests sont inclus.

Selon plusieurs auteurs, les différents tests de barrage n'ont pas les mêmes degrés de sensibilité¹. Il semblerait, d'après différentes études (e.g., Halligan *et al.*, 1990; Halligan *et al.*, 1991; Jehkonen *et al.*, 1998) que parmi les tests de barrage de lignes, d'étoiles et de lettres, le test de barrage d'étoiles soit le plus sensible. Plusieurs études ont également montré que le test de barrage d'étoiles est un des plus sensibles parmi l'ensemble des tests papier-crayon (e.g., Bailey *et al.*, 2000; Halligan *et al.*, 1990; Halligan *et al.*, 1991; Jehkonen *et al.*, 1998). Bailey *et al.* (2000) montrèrent par exemple que parmi les épreuves suivantes : barrage d'étoiles, Albert, test du

¹ La sensibilité réfère à la probabilité que le test soit positif si la personne testée est atteinte de la maladie (ici NSU).

plateau de cuisson, exploration motrice, copie de dessin de fleur, horloge, les tests de bissection de lignes et des cloches étaient les deux tests les plus sensibles pour détecter la présence de NSU (76,4%) comparativement aux autres tests. Le test de barrage d'étoiles est un sous-test de la BIT. Selon Halligan et al. (1990) parmi les 15 sous-tests qu'elle comprend (*cf.* Tableau 3 pour une liste), le test de barrage d'étoiles est la mesure la plus sensible.

Il existe dans la littérature moins d'étude ayant comparé le niveau de sensibilité du test des cloches avec celui des autres tests de barrage. Certainement parce que ce test n'est inclus dans aucune batterie. D'après une étude de Bergego *et al.* (1995) le test des cloches est plus sensible que certaines tâches de copie de dessin (scène d'Ogden et fleur), de lecture et que les autres épreuves de barrage (lettres et lignes). Dans une étude plus récente, Ferber et Karnath (2001) ont mesuré la probabilité de quatre tests de barrage (lettres, étoiles, lignes et cloches) et du test de bissection de lignes de déceler la présence de NSU chez 35 patients héminégligents. Les patients étaient considérés comme atteints de NSU s'ils présentaient les signes suivants : une déviation du regard ou de la tête vers le côté ipsilésionnel, orientaient leur regard vers la droite quand l'interlocuteur s'adressait à eux par la gauche, ignoraient les objets ou personnes localisées contralésionnellement. En plus de ces signes, pour être inclus les sujets devaient présenter au moins 25% d'omission à un des tests suivants : tâche de copie de dessin, test de l'horloge et test du plateau de cuisson. Les résultats montrèrent que le test des cloches était le test le plus sensible. Le test de bissection manquait 40% des patients alors que les tests de barrage d'étoiles et des cloches manquaient 6% des cas. Plusieurs critiques peuvent cependant être faites de cette étude. Premièrement, pour le test de bissection de lignes, l'ensemble des lignes était alignées sur la marge droite de la feuille. Ceci pourrait potentiellement avoir contribué à réduire l'amplitude de la déviation. Deuxièmement, le seuil utilisé pour ce test était celui proposé par Schenkenberg *et al.* (1980) dont les caractéristiques du test étaient différentes (*e.g.*, longueur des lignes, position horizontale). Troisièmement, pour les tests de barrage, les auteurs ont considéré l'ensemble des omissions indépendamment de si celles-ci étaient localisées à droite ou à gauche de la feuille. Les auteurs n'ont donc pas discriminé les patients présentant un trouble attentionnel latéralisé de ceux présentant un trouble attentionnel généralisé. Ces deux éléments ont pu avoir un impact sur la sensibilité des différents tests utilisés dans cette étude.

Hormis le niveau de sensibilité, la validité, c'est-à-dire la capacité d'un test à mesurer ce qu'il vise à mesurer, peut également être mesurée à travers le niveau de corrélation entre les scores du test étudié et les scores obtenus à d'autres tests mesurant le même construit. Ainsi, il a été montré que les tests des cloches et d'Albert présentaient une très bonne corrélation avec des échelles de mesure fonctionnelle, telle que l'échelle Catherine Bergego (Azouvi, 1996; Azouvi *et al.*, 2002; Bergego *et al.*, 1995). Le test des cloches présenterait également une bonne corrélation avec les épreuves de lecture et de copie de dessin (Azouvi *et al.*, 2002). Les tests de barrage de lignes (Sea et Henderson, 1994) et d'étoiles (Bailey *et al.*, 2004) présenteraient une bonne fidélité

test-retest, c'est-à-dire que les performances des sujets sont stables dans le temps. Aucune information n'existe à ce sujet concernant les tests des cloches ou de barrage de lettres.

Les tests de bissection de lignes

Les tests de bissection de lignes consistent à déterminer et marquer, à l'aide d'un stylo, le centre d'une ligne horizontale affichée sur une feuille de papier présentée au format paysage, face au sujet. Dans ce test, la variable mesurée est traditionnellement l'écart (en mm) entre la marque de bissection et le centre réel de la ligne. Les patients présentant une NSU gauche placent généralement la marque plus à droite que le centre réel des lignes. Les sujets sains auront, au contraire, tendance à placer la marque légèrement plus à gauche du centre réel, phénomène connu sous le nom de *pseudonégligence* (Jewell et McCourt, 2000; McCourt et Jewell, 1999).

Il existe de nombreuses versions du test de bissection de lignes, comportant une ou plusieurs lignes par feuille, une ou plusieurs feuilles de passation, et des lignes de caractéristiques différentes (*i.e.*, longueur, largeur, etc.). Le Tableau 2, présente les caractéristiques des tests de bissection les plus courants. La plupart des versions présentées dans la littérature sont des versions non-validées. L'épreuve de Schenkenberg *et al.* (1980) qui est un des tests de bissection les plus cités dans la littérature (Figure 5), est une des rares exceptions. Ce test a été validé sur une population de 80 sujets : 20 avec lésions cérébrales droites (dont 34% présentant une NSU), 20 avec lésions cérébrales gauches, 20 avec lésions diffuses et 20 contrôles hospitalisés non-cérébrolésés. Les résultats montrèrent que les sujets contrôles présentaient en moyenne une légère déviation vers la gauche (environ 1%) alors que les patients atteints de NSU présentaient au contraire une déviation vers la droite de l'ordre de 11%, ainsi que l'oubli de lignes sur la gauche (en moyenne 6,6 lignes omises). Selon les auteurs, ce test présente une bonne fiabilité test-retest (comprise entre 0,84 et 0,93 selon les groupes) ; confirmé plus tard par d'autres auteurs (Bailey *et al.*, 2004; Sea et Henderson, 1994). D'après Schenkenberg *et al.* (1980), les performances au test permettaient de discriminer les patients atteints de lésions gauches des patients atteints de lésions diffuses et les patients atteints de lésions droites des sujets contrôles, suggérant une bonne validité. Bailey *et al.* (2000) montrèrent que comparé à d'autres tests de barrage, le test de Schenkenberg *et al.* (1980) montrait une sensibilité de 76,4% pour détecter la présence de NSU chez des patients cérébrolésés âgés. Il semblerait qu'aucune étude n'ait cherché à étudier le degré de corrélation entre le test de Schenkenberg *et al.* (1980) et d'autres tests de NSU (validité convergente). Différentes études ont cependant évalué la validité convergente avec d'autres versions du test de bissection. Agrell *et al.* (1997) ont reporté une très bonne corrélation entre le test de bissection étudié et le test d'Albert (Agrell *et al.*, 1997) et une corrélation moyenne avec le test de barrage d'étoiles (Agrell *et al.*, 1997). D'autres auteurs n'ont trouvé aucune corrélation entre les tests de bissection étudiés et les tests de barrage de lettres (Binder *et al.*, 1992) ou d'étoiles (Schubert et Spatt, 2001).

Les principales limites des tests de bissection de lignes sont: un temps de correction long (nécessité de mesurer les déviations par rapport au centre réel), la présence d'une variabilité interindividuelle importante (même chez les sujets sains), et l'existence d'un effet de la longueur des lignes pouvant influencer les performances (plus les lignes sont longues plus l'effet de déviation est important). Par ailleurs, il faut également mentionner qu'il est très courant que les cliniciens ou chercheurs utilisent des versions non publiées du test de bissection de lignes. Dans une étude (non publiée), Wiat (1998) et collaborateurs ont observé par exemple que sur les différents centres interrogés, seulement quinze d'entre eux utilisés un test de bissection de lignes. Parmi eux, quatre utilisaient la version de Schenkenberg *et al.* (1980), trois celle de Halligan *et al.* (1989), un celle de Harvey *et al.* (1995), et sur l'ensemble sept utilisaient en plus ou uniquement un test « maison » non publié. Quand le test est utilisé dans un but de dépistage, cette pratique entraine le risque de ne pas détecter certains patients, à cause de l'absence d'un critère seuil. En recherche, bien que le développement d'un test « maison » permette souvent de mieux adapter l'épreuve aux objectifs, l'inconvénient est qu'il limite la comparabilité entre les études.

Tableau 2. Caractéristiques de différents tests de bissection de lignes

Auteur	Nombre de lignes par feuille	Nombre de feuilles	Longueur des lignes (cm)	Position des lignes	Seuil pathologique
Schenkenberg <i>et al.</i> (1980)	20	1	10 à 20	D, G, C	6 mm (ou 11%) ou au moins 2 omissions
Halligan <i>et al.</i> (1989)	4	1	5, 10, 15, 20		20%
Halligan <i>et al.</i> (1991)	3	1	21		7 mm
Ferber et Karnath (2001)	10	1	24	Marge D	14%

Note. D = droite, G = gauche, C = centre

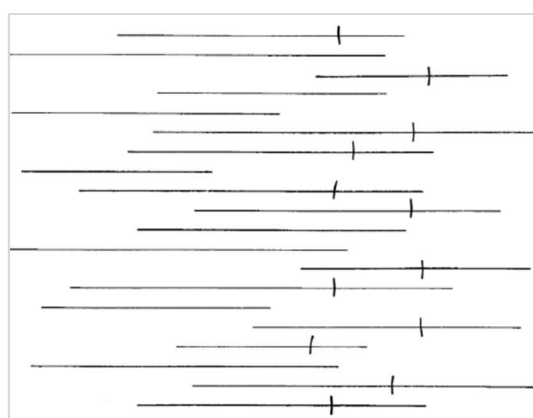


Figure 5. Exemple de performance d'un patient atteint de NSU gauche sur une épreuve de bissection de lignes (Schenkenberg *et al.*, 1980)

Les tests de copie de dessin

Dans les tests de copie de dessin le patient reçoit pour consigne de reproduire un dessin d'après un modèle. Il peut s'agir d'un objet unique (*e.g.*, une maison, une fleur) ou d'une scène (*e.g.*, Gainotti *et al.*, 1972; Ogden, 1985). Ces tests permettent de mettre en évidence la présence d'asymétries et d'omissions dans la reproduction, la transposition vers la gauche d'éléments normalement situés à droite, l'utilisation d'un seul côté de la feuille. Ils permettent également de distinguer entre une NSU centrée sur l'objet ou une NSU centrée sur le sujet (*cf.* section 1.2.1.4). Les patients atteints de NSU gauche tendent à omettre ou distordre les éléments situés à gauche de la feuille (NSU centrée sur le sujet, ou égocentrée), ou à omettre les détails situés à gauche de chaque figure (NSU centrée sur l'objet, ou allocentrée).

Parmi d'autres tests de NSU, tel que les épreuves de barrage, de lecture et bissection de lignes, les tests de copie de dessin ont la plupart du temps été considérés comme moins sensibles pour détecter une NSU (*e.g.*, Agrell *et al.*, 1997; Bergego *et al.*, 1995). Azouvi *et al.* (2002) ont trouvé une bonne corrélation entre l'épreuve de copie de scène (Ogden, 1985) et les tests : de bissection de lignes, de figures enchevêtrées, de lecture, d'écriture et l'échelle de Catherine Bergego, mesurant un aspect plus fonctionnel de la NSU.

L'inconvénient principal des épreuves de dessin est que leur cotation reste difficile et comporte une part de subjectivité. De plus, ces tests ne peuvent pas être considérés comme des tests quantitatifs.

Les épreuves d'écriture

Dans les épreuves d'écriture il est généralement demandé au patient d'écrire son nom et son prénom sur une première ligne, son adresse sur la ligne suivante, et pour finir, sa profession sur la dernière ligne (ou la date du jour). Les patients atteints de NSU gauche tendent à écrire dans la partie droite de la feuille. Il peut également arriver d'observer des erreurs sur la partie gauche des mots (*e.g.*, omission ou substitution de lettres). Selon Azouvi *et al.* (2002), la tâche de lecture présenterait une bonne corrélation avec les épreuves de copie de dessin, le test de bissection de lignes et la tâche de lecture.

1.2.2.1.2. Les épreuves visuo-perspectives

L'identification de figures enchevêtrées (Gainotti *et al.*, 1991)

Le test des figures enchevêtrées consiste en cinq planches contenant cinq objets/fruits enchevêtrés : deux objets à droite, deux à gauche et un central, placé face au patient. Ce dernier reçoit pour consigne de dénommer à voix haute les différentes figures superposées au sein d'un même contenant. Le score s'appuie sur le nombre d'omissions totales, le nombre d'omissions à droite et à gauche, l'index de latéralité d'omission droite-gauche, et le nombre de fois où la première figure identifiée est à gauche. Les patients présentant une NSU gauche

tendent à omettre les objets situés à gauche de la feuille, ou font de erreurs de reconnaissance en se focalisant sur la partie droite des objets présentés à gauche de la feuille.

Dans leur étude, Azouvi *et al.* (2002) ont trouvé une bonne corrélation de ce test avec les tests de copie de dessin, de bissection et les épreuves de lecture et d'écriture. La corrélation était cependant faible avec le test de barrage des cloches.

L'illusion de Wundt-Jastrow (Massironi *et al.*, 1988)

L'illusion de Wundt-Jastrow (Massironi *et al.*, 1988) est une illusion optique représentant deux figures géométriques incurvées, de taille identique, mais donnant l'impression d'être de taille différente. Beaucoup de patients héminégligents ne perçoivent pas cet effet. La fidélité inter-juge et la sensibilité de ce test ont été analysées par les auteurs sur 47 patients présentant des lésions de l'hémisphère droit, sur 19 patients présentant des lésions de l'hémisphère gauche et 21 sujets sains. Les auteurs montrèrent que 40,4% (sur 47) des patients avec lésion de l'hémisphère droit montraient un comportement inconsistant, contre 0% pour les patients cérébrésés gauche (n=17) ou les sujets contrôles (n=19). D'après cette étude le test montrait une bonne fidélité inter-juge, et une bonne corrélation avec les tests de barrage d'Albert.

Les tâches de lecture

Les épreuves de lecture peuvent concerner la lecture de texte, de phrase, de mots isolés ou de non-mots. Plusieurs patterns peuvent s'observer chez les patients présentant une NSU gauche tel que : l'omission des mots isolés situés à gauche de la feuille (NSU égocentrée), l'omission de la partie gauche des mots (pour les mots composés ; NSU centrée sur l'objet) ou encore, la non-lecture du début des phrases et des difficultés à retrouver le début des lignes. Les épreuves de lecture seraient bien corrélées avec les tâches de copie de dessin, de figures enchevêtrées, de bissection de lignes et d'écriture (Azouvi *et al.*, 2002).

1.2.2.1.3. Les épreuves représentationnelles

Tel que mentionné à la section 1.2.1.4, la NSU peut se manifester dans différentes dimensions de l'espace, incluant l'espace imagé (*i.e.*, représentationnel). Dans cette dimension le syndrome est généralement évalué en demandant au patient de réaliser un dessin de mémoire ou à travers des tâches nécessitant une évocation mentale de l'espace, tel que la description d'un lieu connu.

Les tâches de description d'un lieu connu

Dans cette épreuve, il est demandé au patient de décrire un lieu connu, tel que le lieu où il vit. Ce test a été rendu célèbre grâce à l'expérience réalisée par Bisiach et Luzzatti (1978) dans laquelle les auteurs ont demandé

aux patients de décrire de mémoire la place de la cathédrale de Milan à partir d'un point donné. Les patients omettaient les détails de la place situés à gauche. Toutefois, quand ils recevaient pour consigne d'inverser leur point de vue de 180°, les détails précédemment omis étaient correctement rappelés alors que les détails initialement cités étaient omis. Il n'existe pas d'évidence de la validité ou de la fidélité de ce test.

Les tâches de dessin spontané ou de mémoire

Durant les épreuves de dessin spontané ou de mémoire il est demandé au patient de produire un dessin de mémoire après avoir visualisé un dessin pendant quelques minutes (e.g., figure de Rey) ou bien de dessiner spontanément ou de compléter un dessin simple (e.g., test de l'horloge). Dans l'épreuve de l'horloge, par exemple, il est demandé au sujet de placer les chiffres des heures à l'intérieur d'un cercle de 10 cm de diamètre représenté sur une feuille de papier, placée face à lui. Dans ce test les patients héminégligents gauches tendent à omettre les chiffres situés à gauche du cadran ou à les placer au milieu. La sensibilité et la validité du test de dessin spontané ont été investiguées par Halligan *et al.* (1991) dans une étude de validation de la BIT. Les auteurs observèrent que, parmi les six tests papier-crayon, l'épreuve de dessin spontané était le test identifiant le moins de sujets comme héminégligents. Les performances des sujets atteints de lésion de l'hémisphère gauche étaient cependant significativement différentes de celles des sujets sains. Les performances au test de l'horloge seraient également corrélées avec celle des figures enchevêtrées (Azouvi *et al.*, 2002).

1.2.2.2. Les batteries de tests et les échelles écologiques

L'observation de dissociations entre les performances des patients aux tests traditionnels (*i.e.*, tests papier-crayon) et le fonctionnement de celui-ci dans la vie quotidienne a motivé le développement d'outils d'évaluation plus « écologiques », permettant entre autres aux cliniciens de proposer des exercices rééducatifs adaptés aux troubles observés.

La Behavioural Inattention Test (BIT)

La Rivermead Behavioural Inattention Test, aussi appelée Behavioural Inattention Test (ou BIT; Halligan *et al.*, 1991; Wilson *et al.*, 1987a; Wilson *et al.*, 1987b) consiste en une batterie standardisée de 15 tests comprenant six tests papier-crayon traditionnels et neuf tâches dites *comportementales*. Les tests papier-crayon sont les suivants: barrage de lignes (Albert, 1973), barrage de lettres, barrage d'étoiles, copie de dessin, bissection de lignes, dessin spontané (test de l'horloge, dessin d'un homme ou d'une femme, dessin d'un papillon). La section comportementale de la batterie inclut : la description de trois photographies, la composition d'un numéro de téléphone, la lecture d'un menu, la lecture d'un article de journal, la lecture de l'heure (sur le cadran d'une montre) et mettre une pendule à l'heure, le tri de pièces de monnaie, la copie d'une adresse et d'une phrase, le

classement de cartes et suivre une route sur une carte. La passation de l'ensemble de la batterie prend environ 30 à 40 minutes, selon les auteurs.

Les auteurs reportèrent une bonne fidélité test-retest, à 15 jours d'intervalle, ainsi qu'une excellente fidélité inter-juge (Halligan *et al.*, 1991; Wilson *et al.*, 1987a). Concernant la validité de la batterie, les auteurs ont déterminé les tâches à inclure à partir des observations faites de cas cliniques publiés, de l'observation des patients, et en discutant avec différents cliniciens côtoyant cette population. Ce procédé permettait de s'assurer d'une bonne validité de contenu de la batterie. Dans une étude, portant sur 50 patients cérébrolésés Jehkonen *et al.* (2000) montrèrent que les performances des patients à la BIT était un excellent prédicteur des capacités fonctionnelles à 3, 6 et 12 mois post-AVC. L'analyse de régression linéaire indiquait que les performances à la BIT expliquaient 73%, 64% et 61% de la variance totale. La validité de construit du test a été étudiée par Halligan *et al.* (1991) en comparant les performances d'une population de 80 patients cérébrolésés avec à un groupe de 50 sujets sains. Les résultats démontrèrent que les patients héminégligents performaient significativement moins bien que les sujets sains ; suggérant que la BIT est capable de distinguer entre des groupes connus. Selon cette même étude, la BIT possédait également une excellente corrélation avec les résultats d'un questionnaire rempli par des ergothérapeutes (suggérant une bonne validité convergente).

L'échelle Catherine Bergego

L'échelle Catherine Bergego (ECB; Azouvi *et al.*, 2003; Bergego *et al.*, 1995) est une échelle, en langue française, d'évaluation fonctionnelle de la NSU. Elle vise l'évaluation, par un thérapeute, des capacités du patient dans différentes situations de la vie quotidienne. Son deuxième objectif est d'évaluer la conscience que le patient a lui-même de son trouble, en comparant les observations faites par le clinicien aux réponses fournies par un questionnaire d'auto-évaluation. L'ECB comprend dix items portant sur des activités élémentaires, chacun étant coté de 0 (normal) à 3 (négligence sévère). Le test donne au final un score compris entre 0 et 30.

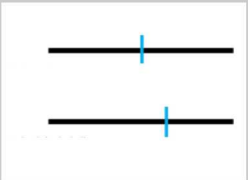

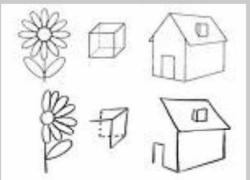
Les auteurs de l'échelle montrèrent que l'ECB possédait une bonne consistance interne. Chaque question montrait en effet une bonne ou une excellente corrélation avec les score total du test (Azouvi, 1996; Bergego *et al.*, 1995). Les corrélations (avec le score total) les plus fortes étaient celles liés aux collisions et à l'habillage. L'item relatif à l'habillage était d'ailleurs un des deux items les plus sensibles parmi les dix, avec celui relatif à la reconnaissance ou l'oubli du membre gauche du corps. Les auteurs font remarquer que l'évaluation fonctionnelle de la NSU, mesurée à travers l'ECB, est plus sensible que les évaluations conventionnelles. En effet, aucun des tests papier-crayon uniques n'a détecté la présence de NSU chez plus de 50% des sujets, alors que trois des items de l'ECB (sur dix) ont révélé entre 50 et 60% de cas. Selon les auteurs, il est possible que les mécanismes attentionnels volontaires (mesuré par les tests conventionnels) et automatiques (mesurés par l'ECB) soient différents.

De manière intéressante, on observe dans l'étude de Bergego *et al.* (1995) que l'item le moins sensible est celui portant sur la déviation du regard. Ce qui appuie l'idée que les manifestations peuvent être très différentes d'un patient à l'autre et que la déviation du regard n'est pas un critère systématique de la NSU, particulièrement lorsque plusieurs semaines se sont écoulées après la survenue de l'accident vasculaire (dans cette étude en moyenne 17,5 semaines après AVC).

Selon des études, l'ECB montrait également une bonne corrélation avec les tests papier-crayon suivant : barrage de cloches (Azouvi, 1996; Azouvi *et al.*, 2003; Azouvi *et al.*, 2002; Bergego *et al.*, 1995), test d'Albert (Azouvi, 1996), copie de scène d'Odgen (Azouvi, 1996; Bergego *et al.*, 1995), lecture (Azouvi, 1996; Azouvi *et al.*, 2003; Azouvi *et al.*, 2002; Bergego *et al.*, 1995), écriture (Azouvi *et al.*, 2002) et bissection de lignes (Azouvi *et al.*, 2002; Bergego *et al.*, 1995; Luukkainen-Markkula *et al.*, 2011), et une corrélation bonne ou moyenne avec l'indice de Barthel mesurant le niveau d'indépendance des patients (Azouvi, 1996; Goedert *et al.*, 2012). Pour finir, Bergego *et al.* (1995) montrèrent que l'échelle présentait une bonne fidélité inter-juge.

Le Tableau 3 synthétise les caractéristiques de trois tests papier-crayon parmi les plus couramment utilisés en clinique et en recherche (test des cloches, de bissection de lignes et copie de dessin), ainsi que celles de la BIT et celles de l'échelle de Catherine Bergego.

Tableau 3. Exemple de différentes catégories de tests utilisés pour l'évaluation de la NSU

	Tests de bissection de lignes	Tests de barrage	Copie de dessin et dessin spontané	BIT	ECB
Temps de passation	< 5 min	< 5 min	< 5 min	> 45 min	> 30 min
Type (format)	Papier-crayon (feuille A4)	Papier-crayon (feuille A4)	Papier-crayon (feuille A4)	Batterie de tests (papier-crayon + observation AVQ)	Batterie (observation AVQ)
Description	Indiquer le centre de lignes horizontales dessinées sur une feuille, placée devant le sujet	Encercler des stimuli cibles (exemple : cloches) réparties sur une feuille et dissimulées parmi des « distracteurs »	Copier un dessin ou réaliser un dessin spontané	Comporte une partie tests papiers-crayon et une partie observation AVQ	Evaluation 10 actes AVQ par thérapeute
Mesure	Écart (en mm) par rapport au centre réel de la ligne	Nombre d'omission; temps d'exécution	Asymétrie; présence d'éléments oubliés	Score (maximum = 227)	Score allant de 0 à 30 (3 points par acte)
Illustration				Papier-crayon (sous-tests conventionnels): <ul style="list-style-type: none"> • Barrage de lignes • Barrage de lettres • Barrage d'étoiles • Copie de figure • Bissection de lignes • Dessin représentationnel AVQ (sous-tests comportementaux): <ul style="list-style-type: none"> • Décrire 3 photos • Composer un numéro • Lire un menu • Lire un article • Lire et régler l'heure • Compter la monnaie • Copie de phrase • Suivre une route sur une carte • Ranger des cartes 	<ul style="list-style-type: none"> • Toilette • Habillage • Repas • Orientation du regard • Conscience de l'hémicorps gauche • Attention auditive • Déplacements • Orientation • Recherche d'objets courants
Exemples (si applicable)		<ul style="list-style-type: none"> • Test des cloches • Test d'Albert • Barrage de lettre • Barrage d'étoiles 	<ul style="list-style-type: none"> • Figure de Rey • Dessin de fleur, maison, etc. • Dessin de l'horloge 		

Note. BIT = Behavioural Inattention Test ; ECB = Échelle Catherine Bergego; AVQ = Activité de la Vie Quotidienne.

1.2.2.3. Les limites des tests d'évaluation de la NSU

Tel que décrit précédemment, il existe une variété importante d'épreuves permettant l'évaluation et le diagnostic de la NSU. Ces tests, aux caractéristiques variées, mesurent des aspects plus ou moins différents (e.g., égocentrique vs. allocentrique) ou reliés du syndrome. Chacun de ces outils possède également un certain nombre de forces et de faiblesses qu'il convient de connaître afin de faire le choix le plus approprié. Nous verrons dans cette section que le chercheur ou le clinicien cherchant à évaluer un sujet est confronté à un certain nombre de limites inhérentes aux méthodes d'évaluation de la NSU.

Une première limite, et certainement la plus évidente, est la **variabilité des tests disponibles**. Cette diversité couplée à l'absence de consensus concernant le ou les test(s) à utiliser pour diagnostiquer ou suivre l'évolution clinique entraîne le risque d'utilisation de critères seuils différents d'un clinicien à l'autre, de ne pas prendre en charge certains patients dont la NSU serait restée non-détectée du fait d'un mauvais choix de test. De manière plus générale, elle contribue également probablement à sous-estimer l'incidence réelle de la NSU. Pour la recherche, la diversité de versions existantes de certaines épreuves (e.g., barrage de cloches vs. barrage de lettres ; différentes versions du test de bissection de lignes) rend également difficile une comparaison entre les études. Un aspect positif de la variété de tests disponibles cependant est que la NSU, étant un trouble non-unitaire, l'existence de multiples tests offre la possibilité théoriquement de pouvoir appréhender les différents aspects du déficit (e.g., exploratoire vs. perceptif vs. représentationnel ; égocentrique vs. allocentrique). Cependant, il reste à déterminer à quel point ces tests sont interchangeables, et s'ils ont tous le même degré d'efficacité dans l'évaluation de la NSU.

Une deuxième limite est qu'une grande partie des tests utilisés pour mesurer la NSU n'ont fait l'objet d'**aucune forme de validation**. Dans la revue de la littérature reportée par Menon et Korner-Bitensky (2004) sur l'ensemble des 62 tests identifiés seul 28 étaient des épreuves validées ou normalisées. Par ailleurs, à côté de ces tests non validés mais publiés existe également une variété d'épreuves utilisées en clinique mais non reportés dans la littérature, comme c'est le cas pour le test de bissection de lignes par exemple. Pourtant, la détermination des qualités métrologiques d'un test est un élément primordial puisqu'elle permet de s'assurer que l'outil permet de mesurer fidèlement ce qu'il est censé mesurer (*validité*), qu'il détecte la présence de changement de statut clinique (sensibilité au changement) et que les scores du test ne varient pas si ce dernier reste stable (*fidélité test-retest*) ou en fonction de l'examineur (*fidélité inter-juge*). La détermination du niveau de sensibilité dudit test ainsi que sa comparaison avec d'autres épreuves similaires est également un élément indispensable afin d'évaluer son degré d'efficacité (*validité convergente*). La non évaluation des qualités métrologiques des tests de mesure entraîne le risque que ces outils soient non ou peu efficaces. La *validité*, la *fidélité* (ou *fiabilité*) et la *sensibilité* sont les caractéristiques psychométriques auquel tout test de mesure doit répondre afin de constituer un outil d'évaluation valable.

Par ailleurs, un problème fréquemment rencontré dans les études de validations des tests de NSU est que la sensibilité de ces derniers est souvent caractérisée chez des patients cérébrolésés chez lesquels la présence de NSU n'a pas été déterminée à priori par l'utilisation de critère diagnostique de référence (il n'est donc théoriquement pas possible de déterminer si ces tests dépistent adéquatement la présence de NSU). En d'autres termes, le niveau de sensibilité d'un test x est établi en fonction de l'incidence de la NSU reportée par celui-ci relativement à celle reportée par les autres tests avec lesquels il est comparé. Ces études considèrent alors que le test le plus sensible est celui dont l'incidence reportée de la NSU est la plus élevée. Par exemple, dans leur étude Agrell *et al.* (1997) comparaient le degré de sensibilité de cinq tests (Albert, étoiles, bissection de lignes, horloge et dessin) en mesurant l'incidence de la NSU reportée par chacun d'entre eux chez 57 patients cérébrolésés droits ou gauches. Les auteurs concluaient que le test de barrage d'étoiles et de bissection de lignes étaient les tests les plus sensibles, car le taux de patients classifiés comme atteints de NSU (respectivement, 54% et 55%) était supérieur à celui des autres tests (*i.e.*, 27% à 42%). Avec cette méthode, il est théoriquement impossible de déterminer la capacité des tests évalués à dépister la présence d'une NSU puisqu'aucun indice ne permet de déterminer l'existence ou le taux de *faux-positifs* et de *faux-négatifs* (*i.e.*, respectivement, patients classifiés à tort comme héminégligents alors qu'ils sont sains, *vis-versa*). Bien entendu, le problème soulevé ici reste discutable étant donné la pluralité du syndrome de NSU. Il est en effet très difficile de trouver des critères de références permettant de s'assurer de repérer l'ensemble des patients présentant des signes de NSU (et qui n'incluent pas les tests évalués). En conclusion, il faut être conscient que le niveau de sensibilité d'un test reportés dans la littérature est relatif et qu'il est dépendant des tests avec lequel il est comparé et des critères seuils préétablis (d'ailleurs parfois variables d'une étude à l'autre).

Une troisième limite est le dilemme qui se pose entre le choix d'utiliser un ou quelque test(s) unique(s) permettant de poser un diagnostic rapidement ou plutôt une batterie de tests, plus sensible, mais beaucoup plus couteuse en temps. Il est reconnu que les qualités métrologiques des tests papier-crayons diffèrent considérablement d'un test à l'autre (*e.g.*, Azouvi *et al.*, 2002; Halligan *et al.*, 1989; Stone *et al.*, 1993; Stone *et al.*, 1991; cf. Tableau 4), et que la combinaison de plusieurs tests permet d'améliorer la sensibilité (Menon et Korner-Bitensky, 2004).

Une quatrième et dernière limite importante de nombreux tests de NSU, et particulièrement des tests papier-crayon, est l'existence de **dissociation entre les performances des patients en situation de test et dans la vie quotidienne**. Beaucoup d'entre eux montrent par exemple des effets d'apprentissage. En d'autres termes, les patients s'améliorent aux tests (parce qu'ils ont eu l'occasion de les réaliser plusieurs fois et/ou parce qu'ils ont appris à compenser leurs troubles), sans qu'aucune amélioration effective des symptômes ne soit observable dans la vie quotidienne (Azouvi *et al.*, 2003; Menon et Korner-Bitensky, 2004). Par ailleurs, comme la plupart des épreuves neuropsychologiques, le rôle primordial des tests papier-crayon de la NSU est le diagnostic (Azouvi, 2006; Azouvi *et al.*, 2002; Bartolomeo et Chokron, 2002; Ugur *et al.*, 2000). Ces outils n'ayant

pas été conçus dans une optique de mesure écologique des performances, il est fréquent d'observer des dissociations entre les scores aux tests et les comportements des sujets dans la vie quotidienne (Halligan *et al.*, 1991).

C'est dans le but de proposer un test plus proche de la réalité que Wilson *et al.* (1987b) ont développé la BIT, associant à la fois des tests papier-crayon et à la fois des épreuves de la vie quotidienne. Cependant, bien que la BIT propose une forme d'évaluation plus écologique de la NSU (Azouvi, 1996; Seron *et al.*, 1989), comme les épreuves papier-crayon, elle met le patient en situation de test et donc ne l'évalue pas dans la vie quotidienne. D'après Azouvi (1996), les tests de NSU évalueraient davantage l'orientation volontaire de l'attention alors que les signes cliniques observables dans les AVQ concerneraient davantage les processus automatiques de l'attention.

L'échelle Catherine Bergego représente une alternative intéressante à la BIT puisqu'elle repose sur l'évaluation des comportements des patients dans différentes AVQ par des cliniciens et par l'entourage. Elle est ainsi, de ce point de vue, plus susceptible de repérer les difficultés et les améliorations réelles des patients. Le point faible de cette échelle cependant est qu'elle est couteuse en temps, puisque les évaluations doivent se faire à différentes périodes de la journée (et/ou sur plusieurs journées) et qu'elle nécessite la disponibilité des cliniciens et de l'entourage. Par ailleurs, il est probable que l'inclusion des personnes de l'entourage des patients puisse entraîner une part de subjectivité dans la cotation. Une dernière limite est que le score global ne désigne pas toujours bien les performances à une sous-composante spécifique.

Pris dans leur ensemble ces résultats soulignent les limites existantes concernant les tests actuellement disponibles en clinique pour mesurer la NSU, et suggèrent la nécessité de développer des tests rapides et simples à administrer et coter, mais également suffisamment sensibles pour détecter les signes les moins sévères du syndrome.

Tableau 4. Qualités métrologiques des tests les plus couramment utilisés pour l'évaluation de la NSU

(adapté de Menon et Korner-Bitensky, 2004; StrokeEngine, 2014)

Nom du test	Dimension	Fidélité	Validité	Compétences requises
Bissection de lignes (Schenkenberg, Bradford, & Ajax, 1980)	Espace extrapersonnel proche	Test-retest $r = 0,84-0,93$ <i>(Schenkenberg, Bradford et Ajax, 1980)</i> $r = 0,93$ <i>(Chen-Sea et Henderson, 1994)</i> Inter-juge Aucune évidence Consistance interne Aucune évidence	Validité de construit $r = -0,44$ avec lésion moyenne au CT-scan $r = -0,59$ avec lésions CT-scan du lobe temporal $r = -0,37$ avec lésions du lobe pariétal $r = -0,42$ avec lésions du lobe occipital <i>Validité convergente</i> $r = 0,85$ avec le test d'Albert $r = -0,33$ avec le test des barrages d'étoiles <i>Validité divergente</i> $r = 0,44$ (AVC droit vs gauche) Validité de critère <i>Sensibilité</i> 76,4% (comparé autres tests de barrages)	Compétences Tenir un stylo Temps <5 min
Test d'Albert (Albert, 1973)	Espace extrapersonnel proche	Test-retest $r = 0,79$ Inter-juge Aucune évidence Consistance interne Aucune évidence	Validité de construit <i>Validité convergente</i> $r = 0,85$ avec le test de bissection de lignes $r = 0,63$ avec le test de barrage d'étoiles <i>Validité divergente</i> $r = 0,36$ (AVC droit vs gauche) Validité de critère <i>Validité prédictive</i> Scores des tests administrés dans les 48h fortement associés avec mesures fonctionnelles à 6 mois post-AVC	Compétences Tenir un stylo Temps <5 min
Test de barrage d'étoiles (Wilson, Cockburn, & Halligan, 1987a)	Espace extrapersonnel proche	Test-retest Aucune évidence Inter-juge Aucune évidence Consistance interne Aucune évidence	Validité de construit <i>Validité convergente</i> $r = 0,55$ avec les scores d'AVQ $r = 0,68$ avec le test de barrage de lignes $r = -0,40$ avec le test de bissection de lignes $r = 0,48$ avec l'Index de Barthel (AVQ) Validité de critère <i>Sensibilité</i> 100% (comparé avec d'autres tests de barrage) 76,4% (comparé avec d'autres tests de barrage)	Compétences Tenir un stylo, discrimination visuelle Temps <5 min

Nom du test	Dimension	Fidélité	Validité	Compétences requises
Test des cloches <i>(Gauthier, Dehaut, & Joannette, 1989)</i>	Espace extrapersonnel proche	Test-retest Aucune évidence Inter-juge Aucune évidence Consistance interne Aucune évidence	Validité de construit 38,3% des patients étaient diagnostiqué avec NSU en utilisant le test des cloches, comparé à 10,6% avec le test d'Albert Différence dans les scores entre CVA droite et CVA gauche statistiquement significatif Validité de critère Pourcentage significativement plus élevé de cibles omises comparé aux autres tests de barrage (barrage d'étoile et barrage de lignes)	Compétences Tenir un stylo, discrimination visuelle Temps <5 min
Dessin d'une horloge <i>(Ishiai et al., 1993)</i>	Espace extrapersonnel proche	Test-retest Aucune évidence Inter-juge Aucune évidence Consistance interne Aucune évidence	Validité de construit $r = -0,10$ avec test de barrage de lignes $r = 0,05$ avec test de bissection de lignes $r = 0,03$ avec copie $r = 0,22$ avec subtests de la WAIS-r $r = 0,39$ avec WAIS $r = 0,75$ avec les tout les subtests verbaux de la WAIS-r $r = -0,47$ avec test de barrage d'étoiles $r = -0,34$ avec test de bissection de lignes Validité de critère <i>Sensibilité</i> 55,3% CDT était moins sensible pour détecter une NSU, comparé aux tests de barrage, de copie et aux tâches de dessin, et aux tests de lecture 42% (comparé avec test d'Albert, de barrage d'étoiles et de bissection de lignes)	Compétences Tenir un stylo Temps <5 min
Rivermead Behavioral Inattention test (RBIT) <i>(Wilson, Cockburn, & Halligan, 1987b)</i>	Espace extrapersonnel proche et lointain	Test-retest $r = 0,99$ Inter-juge $r = 0,99$ Consistance interne $r = 0,83$	Validité de construit <i>Validité convergente</i> $r = 0,92$ avec subtests conventionnel et comportementaux de la RBIT Corrélation entre subtests BIT total et les items d'un questionnaire d'AVQ $r = 0,64$ avec l'Index de Barthel à 1 mois Validité de critère <i>Validité prédictive</i> Subtests comportementaux prédisent mauvaises capacités fonctionnelles au Frenchay Activities Index (FAI) à 3 mois ($r = -0,57$), à 6 mois ($r = -0,73$), à 12 mois ($r = -0,71$).	Compétences Écrire, lire, reconnaître des lettres, tenir un stylo, mémoire visuelle, discrimination visuelle, mouvements volontaires unilatéraux et contrôle de l'épaule, du coude et des doigts Temps >30 min

Nom du test	Dimension	Fidélité	Validité	Compétences requises
Rivermead Behavioral Inattention test (RBIT) shortened version	Espace extrapersonnel proche et lointain	Test-retest Aucune évidence Inter-juge Deux examinateurs étaient en accord sur la présence ou absence de NSU dans 7 tests sur 8 Consistence interne Aucune évidence	Validité de construit <i>Validité convergente</i> 16 patients atteints de NSU sur 17 sur le RBIT-court avaient une NSU d'après le questionnaire des AVQ utilisait pas les ergothérapeutes Validité de critère Aucune évidence	Compétences Écrire, lire, reconnaître des lettres, tenir un stylo, mémoire visuelle, discrimination visuelle, mouvements volontaires unilatéraux et contrôle de l'épaule, du coude et des doigts Temps 11 min
Échelle de Catherine Bergego (Azouvi et al., 2003)	Espace personnel et extrapersonnel proche et lointain	Test-retest Aucune évidence Inter-juge Coefficient Kappa pour chaque item s'étend de 0,59 à 0,99; Rho de Spearman = 0,96 Consistence interne Rho de Spearman = 0,58-0,88 entre chaque score d'item et score total Hygiène personnelle = 0,58 Tous les autres items > 0,69 Mobilité = 0,88 Habillage = 0,86 Analyse en composante principale : 1 facteur expliquait 65,85 de la variance totale	Validité de construit <i>Validité convergente</i> Rho de Spearman : avec le test d'Albert = 0,73 $r = 0,76$ avec le test des cloches $r = 0,70$ avec copie de figures Validité de critère <i>Sensibilité</i> 96% (en utilisant le test des cloches, de copie de figures et la lecture de texte comme référence)	Compétences Mouvements volontaires unilatéraux et contrôle de l'épaule, du coude et des doigts Temps >30 min

Note. AVQ = Activité de la Vie Quotidienne

1.2.3. Pertinence de l'utilisation de perceptions bistables dans la mesure du biais attentionnel visuo-spatial de la NSU

Une perception bistable est un phénomène se produisant lorsqu'un input sensoriel permet plusieurs interprétations perceptives concurrentes, pouvant entraîner une fluctuation de la perception des observateurs au fil du temps (Levin *et al.*, 1979).

Ce phénomène s'explique par le fait que la perception est un processus actif par lequel le cerveau cherche à interpréter et donner du sens aux informations issues de notre environnement (Knapen *et al.*, 2011). La perception humaine des objets et des scènes est en effet normalement stable et robuste (Leopold *et al.*, 2002), cependant, lorsque ces informations sont ambiguës ou permettent plusieurs interprétations contradictoires, la perception tend à fluctuer spontanément entre les différentes interprétations possibles (Eagleman, 2001; Kanai *et al.*, 2010; Kanai *et al.*, 2011; Knapen *et al.*, 2011; Levin *et al.*, 1979), c'est alors que l'on parle de perception bistable ou multistable (dépendamment que le nombre d'interprétations possibles soit égal ou supérieur à deux). Les perceptions bistables ou multistables permettent de mettre en évidence des changements perceptifs dans un contexte où les stimuli physiques restent inchangés. Ces changements ne peuvent ainsi être attribués qu'à un phénomène cognitif interne. Les cubes de Necker ou les vases de Rubin (Figure 6) sont des exemples connus de figures ou stimuli bistables (*i.e.*, entraînant un phénomène de perception bistable).

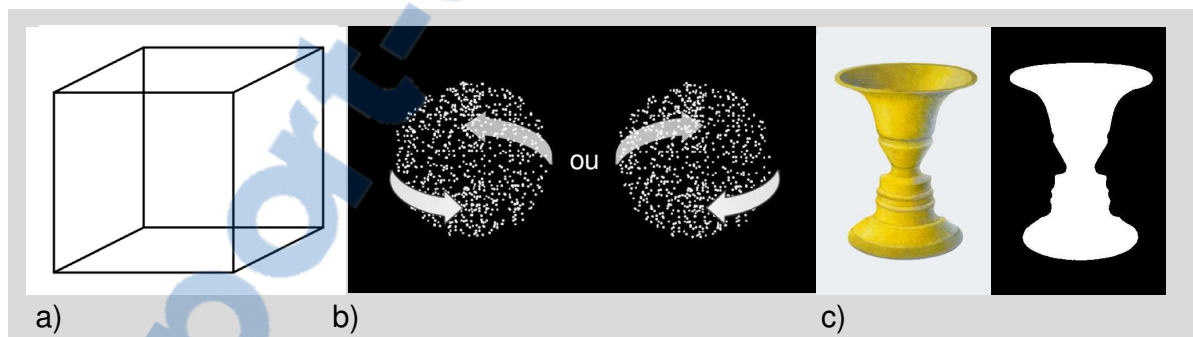


Figure 6. Exemple de figures ambiguës ou multistables classiques

Le cube de Necker est un dessin représentant les arêtes d'un cube en perspective cavalière, sans indice de profondeur. Il peut être perçu comme vu à partir de la droite et du dessus ou à partir de la gauche et du dessous. (b) L'illusion des sphères en rotation est un stimulus bistable dans laquelle une sphère tournant autour d'un axe vertical peut être perçue comme tournant dans le sens horaire ou antihoraire. (c) L'illusion des vases de Rubin repose sur une distinction figure-fond. La figure peut être perçue soit comme un vase, soit comme deux visages. Figures a et c tirées et adaptées de Wikipédia.

Les changements perceptifs expérimentés par un observateur face à une figure bistable sont des changements occurrence de manière automatique et dont la fréquence et le délai d'apparition sont difficiles ou impossibles à contrôler par le sujet. Construire un test de mesure du biais attentionnel créé à partir de ce type de stimuli offrirait ainsi l'avantage de diminuer les risques d'effet d'apprentissage classiquement observés avec les tests traditionnels de NSU.

1.2.4. L'illusion de la ballerine

L'illusion de la ballerine créée par le designer japonais Nobuyuki Kayahara (Kayahara, 2003; voir Troje et McAdam, 2010 pour une présentation) est un autre exemple de stimulus bistable.

Il s'agit d'une figure, décrite comme une illusion optique, représentant la silhouette d'un personnage en rotation sur lui-même autour d'un axe vertical. La silhouette apparaît en noir sur un fond gris dégradé. Le personnage se tenant debout, en appui sur un pied alors que l'autre jambe est tendue et allongée vers l'avant. La rotation est centrée sur la jambe sur laquelle la figure prend appui. Le personnage peut être perçu par les observateurs comme tournant dans le sens horaire ou antihoraire (de manière exclusive). Comme pour les cubes de Necker, l'illusion est créée par le manque de repères visuels pour la profondeur et l'interprétation en trois dimensions d'une image qui n'en a que deux. L'illusion de Kayahara repose sur le phénomène de perception bistable puisqu'un même stimulus physique (*i.e.*, une séquence d'images présentant un personnage statique dans différentes positions) peut donner lieu à deux interprétations s'excluant mutuellement, à savoir, la perception que le personnage est en rotation sur lui-même et tourne dans le sens horaire ou dans le sens antihoraire.

Ce phénomène peut s'expliquer par le fait qu'en l'absence d'une troisième dimension, le cerveau tente d'interpréter l'image, en s'appuyant sur des informations disponibles issues de l'environnement entourant la figure, ou en regard des connaissances du sujet. Ainsi, certains observateurs perçoivent le personnage comme tournant dans un sens alors que d'autres le perçoivent dans le sens inverse. Bien souvent, la perception a tendance à changer au cours du temps, et un même observateur passe d'une interprétation à une autre, sans qu'aucun élément n'ait changé dans la scène visuelle.

1.2.5. Le biais de perspective dans l'illusion de la ballerine

L'illusion de la ballerine a connu un fort intérêt populaire à travers internet il y a quelques années (Troje et McAdam, 2010). Ceci est dû au fait que les observateurs tendraient à percevoir de manière plus fréquente le stimulus dans le sens horaire que dans le sens antihoraire (Troje et McAdam, 2010), un effet incorrectement popularisé comme résultant d'un biais hémisphérique. En observant attentivement l'animation ayant permis de composer l'illusion, Troje et McAdam (2010) ont constaté que la perception du stimulus dans le sens horaire suggéré également un point de vue où l'observateur est au-dessus, alors qu'au contraire, le sens de rotation antihoraire est associé à un point de vue du dessous. Troje et McAdam (2010) ont testé cette hypothèse en reproduisant l'illusion et en faisant varier l'élévation de la caméra sur le plan horizontal. Ils ont démontré que lorsque la caméra était élevée de 10 degrés, les participants percevaient la figure dans le sens horaire 60% du temps, et donc selon un point de vue du dessus. Au contraire, lorsque la caméra était 10 degrés en-dessous du plan horizontal, les participants percevaient la figure dans le sens antihoraire, et donc d'en dessous. Selon les

auteurs, le fait que davantage de personnes perçoivent la figure dans le sens horaire serait dû à une préférence naturelle du système visuel pour la position du dessus. Cette préférence avait été reportée antérieurement avec le cube de Necker (Sundareswara et Schrater, 2008).

1.3. Rappel de la problématique

La revue précédente souligne les limites existantes concernant les tests actuellement disponibles en clinique pour mesurer le syndrome de NSU. Elle suggère la nécessité de développer de nouveaux tests, rapides et simples à administrer et coter, mais également suffisamment sensibles pour détecter les signes les moins sévères du syndrome. Les effets d'apprentissage sont une des limites fréquemment rapportées avec les tests de NSU. Ils résultent du fait que les patients apprennent souvent à compenser leur déficit et montrent ainsi une amélioration de leurs performances aux tests au fil du temps malgré la persistance des troubles dans la vie quotidienne.

Par ailleurs, les figures ou stimuli bistables, comme le cube de Necker ou l'illusion de la ballerine, sont des stimuli sollicitant les processus visuo-spatiaux et qui sont difficilement contrôlables par le sujet. En effet, les changements perceptifs expérimentés par un observateur face à une figure bistable sont des changements occursifs de manière automatique et dont la fréquence et le délai d'apparition sont difficiles ou impossibles à contrôler. De ce fait, construire un test de mesure du biais attentionnel créé à partir de ce type de stimuli offrirait potentiellement l'avantage de diminuer les risques d'effet d'apprentissage classiquement observés avec les tests traditionnels de NSU.

1.4. Objectifs et hypothèses

L'**objectif général** de l'étude était de développer et décrire un nouveau test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial créé à partir d'une version simplifiée et adaptée de l'illusion de la ballerine. Cette version a été créée de manière à être exempt du biais de perspective présent dans la version initiale de l'auteur. Ce nouveau stimulus bistable a été nommé « illusion de Kayahara » en l'honneur de l'auteur et sera décrit comme tel dans le reste du document. Pour répondre à cet objectif, deux expériences ont été menées. La première visait à décrire les performances des participants face à l'illusion de Kayahara et permettait de répondre aux deux premiers objectifs spécifiques présentés dans la section qui suit. La deuxième expérience présentait le nouveau test et les performances des participants face au test. Elle répondait aux quatre derniers objectifs de cette étude.

Les **objectifs spécifiques** de l'étude étaient, chez des sujets sans trouble neurologique :

Pour l'illusion de Kayahara (expérience 1) :

- 1) Décrire la perception spontanée des sujets face à l'illusion de Kayahara;
- 2) Mesurer si le mode de présentation du stimulus influence le pourcentage de réversions perceptives.

Pour le test de Kayahara (expérience 2) :

- 3) Décrire le nouveau test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial créé à partir de l'illusion de Kayahara;

- 4) Déterminer la valeur d'un biais attentionnel visuo-spatial caractéristique d'une population sans trouble neurologique et identifier la présence d'un éventuel biais attentionnel en faveur de l'hémi-espace gauche caractéristique d'une dominance de l'hémisphère droit pour les processus attentionnels visuo-spatiaux;
- 5) Mesurer si la main utilisée pour répondre influence les performances au test.

Chacun de ces objectifs, ainsi que les hypothèses générales s'y rattachant, sont développés dans la section qui suit.

Objectif spécifique 1. Décrire la perception spontanée des sujets face à l'illusion de Kayahara

Le premier objectif était de mesurer l'effet de cette nouvelle perception bistable sur les performances de sujets sans trouble neurologique. Les performances évaluées étaient le pourcentage de stimuli perçus selon une interprétation ou son contraire ainsi que le pourcentage de persévérations perceptives, c'est-à-dire d'essais où l'interprétation restait la même. Ces résultats seront discutés avec ceux présentés dans la littérature avec d'autres formes de figures ou de stimuli bistables.

Population. Des sujets ne présentant aucun trouble neurologique ou psychiatrique.

Objectif spécifique 2. Mesurer si le mode de présentation du stimulus de Kayahara influence le pourcentage de réversions perceptives

Plusieurs facteurs peuvent influencer le nombre de changements perceptifs induits par un stimulus bistable ou la durée de persévération d'une interprétation particulière. Ces facteurs sont par exemple le degré de contraste entre la forme et le fond, la rapidité de présentation du stimulus (e.g., Brouwer et van Ee, 2006) ou encore son mode de présentation (Maier *et al.*, 2003). Nous nous sommes intéressés dans cette étude à mesurer l'influence du mode de présentation du stimulus. Plus spécifiquement, nous avons évalué si une présentation du stimulus, sur une période continue versus de manière intermittente, influençait le pourcentage de réversions perceptives, c'est-à-dire le nombre de changements de sens de rotation perçu.

Variables. La variable dépendante était le pourcentage de réversions perceptives. La variable indépendante était le mode de présentation (Continu vs. Intermittent).

Hypothèse générale. Le pourcentage de réversions perceptives serait moins important quand le stimulus était présenté en mode intermittent que lorsqu'il était présenté en mode continu.

Objectif spécifique 3. Décrire le nouveau test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial créé à partir de l'illusion de Kayahara

Le troisième objectif de l'étude était de montrer comment la perception spontanée des sujets, mesurée à l'illusion de Kayahara, pouvait être manipulée en vue de créer un test capable de mesurer une asymétrie entre le traitement de l'information visuo-spatial pour les héli-espaces gauche versus droit.

Population. Des participants adultes ne présentant aucun trouble neurologique ou psychiatrique.

Objectif spécifique 4. Déterminer la valeur d'un biais attentionnel visuo-spatial caractéristique d'une population sans trouble neurologique et identifier la présence d'un éventuel biais attentionnel en faveur de l'héli-espace gauche, caractéristique d'une dominance de l'hémisphère droit pour les processus attentionnels visuo-spatiaux

Plusieurs études démontrent que les performances de sujets sains à des tâches visuo-spatiales montrent une asymétrie en fonction de l'héli-espace visuel dans lequel est présenté le stimulus (e.g., Casco et Spinelli, 1988; McCourt et Garlinghouse, 2000; Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011; Varnava *et al.*, 2002). Il est notamment reconnu que les performances au test de bissection de lignes démontrent fréquemment l'existence d'une légère déviation en faveur l'héli-espace gauche chez les sujets sains (Bowers et Heilman, 1980; Jewell et McCourt, 2000; McCourt et Jewell, 1999). Cet effet de pseudo-négligence est interprété comme résultant de la dominance de l'hémisphère droit dans le traitement de l'information visuo-spatiale. Ces effets ont également été observés avec d'autres formes de stimuli visuo-spatiaux (e.g., Jewell et McCourt, 2000, pour une revue, ; Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). Le quatrième objectif de l'étude était ainsi d'évaluer si la valeur du biais attentionnel, mesuré avec le nouveau test, était proche de 0 ou si elle reflétait une asymétrie en faveur de l'héli-espace gauche tel qu'observé avec des tâches décrites antérieurement.

Variables. Les variables dépendantes étaient la proportion de réponses moyenne (en %) dans un sens donné (ex. horaire) et le temps de réponse moyen (en ms). La variable indépendante était la position du stimulus (côté droit de l'écran vs. côté gauche de l'écran).

Hypothèse générale. Les performances varieraient en fonction de la position du stimulus à l'écran et reflèteraient la présence d'un biais attentionnel en faveur de l'héli-espace gauche.

Objectif spécifique 5. Mesurer si la main utilisée pour répondre influence les performances au test

Plusieurs études suggèrent l'influence de la main utilisée pour répondre sur les performances à des tâches attentionnelles (Brodie et Pettigrew, 1996; Fukatsu *et al.*, 1990; Hausmann *et al.*, 2002; Scarisbrick *et al.*, 1987). La vitesse avec laquelle un sujet appuie sur un bouton lors d'une tâche de détection visuelle peut par exemple être réduite lorsque la réponse est donnée avec la main gauche, indépendamment de l'héli-espace dans lequel est présenté le

stimulus (Brodie et Pettigrew, 1996). Les données à ce sujet sont cependant contradictoires (cf. Jewell et McCourt, 2000 pour un exemple). Le cinquième objectif de l'étude était de mesurer la présence d'une asymétrie entre les performances produites avec la main gauche versus la main droite.

Variables. Les variables dépendantes étaient la proportion de réponses moyenne (en %) et le temps de réponse moyen (en ms). La variable indépendante était la main utilisée pour répondre (main droite vs. main gauche).

Hypothèse générale. La main utilisée pour répondre influencerait les performances.

Chapitre 2. Méthodologie générale

Le présent chapitre décrit la méthodologie utilisée dans l'étude (Chapitre 3), de manière plus détaillée. Les caractéristiques des stimuli utilisés seront, par exemple, davantage développées.

2.1. Population cible et échantillon

La population cible de l'étude était les sujets sains. L'échantillon de participants a été sélectionné à partir des critères d'inclusion et d'exclusion suivants:

2.1.1. Critères d'inclusion

- Être âgé entre 18 et 65 ans,
- Être droitier

2.1.2. Critères d'exclusion

- Présenter un antécédent de trouble neurologique (auto-reporté),
- Présenter un antécédent de trouble psychiatrique (auto-reporté),
- Présenter une déficience oculomotrice ou visuelle non corrigée (auto-reporté)

L'admissibilité des participants était vérifiée par l'expérimentateur par téléphone ou par courriel, ainsi qu'une seconde fois en début de séance expérimentale.

2.2. Procédure de recrutement et d'échantillonnage

Un échantillon de 15 participants a été sélectionné pour l'étude. Ces participants ont été sélectionnés selon un échantillonnage de convenance, par l'intermédiaire des listes de diffusion de l'université Laval, d'annonces affichées à l'Université Laval et à l'IRD PQ (Institut de réadaptation en déficience physique de Québec), et parmi l'entourage de l'expérimentateur. La période de recrutement a eu lieu d'août à septembre 2011.

2.3. Approbation éthique et consentement du participant

Le protocole expérimental réalisé dans le cadre du mémoire a été approuvé par le comité d'éthique de l'Institut de réadaptation en déficience physique de Québec (IRD PQ). Le formulaire ayant servi aux différentes expériences est présenté à l'Annexe 1. Le consentement libre et éclairé de chaque participant a été obtenu par écrit avant qu'il ne prenne part à l'expérimentation.

2.4. Tests et mesures

2.4.1. Caractéristiques démographiques et personnelles des participants

Pour chaque participant, les caractéristiques démographiques suivantes étaient recueillies : âge, sexe, latéralité manuelle. La latéralité manuelle était évaluée grâce à une version révisée et traduite en français de l'Index de Latéralité manuelle d'Edinburgh (Oldfield, 1971). L'index était auto-administré. Cet index consiste à recueillir, pour une série de dix actions (e.g., écrire, dessiner, tenir un couteau), la main utilisée préférentiellement par la sujet (*cf.* Annexe 2). Le participant était invité à indiquer, pour chaque action désignée, s'il utilisait: "toujours la main gauche", "préférentiellement la main gauche", "préférentiellement la main droite", "toujours la main droite", ou s'il n'a "pas de préférence". Un score sur 100 a ensuite été calculé et indiquait le degré de latéralité manuelle du participant.

2.4.2. Lieu de d'expérimentation

L'étude a été réalisée dans un des laboratoires du Centre interdisciplinaire de recherche en réadaptation et intégration sociale (CIRIS) de l'IRD PQ. Les différentes tâches expérimentales composant cette étude ont été réalisées dans une cabine insonorisée.

2.4.3. Principe de l'illusion de Kayahara

L'illusion de Kayahara, utilisée dans le présent projet repose sur une adaptation de l'illusion de la ballerine créée par le designer Nobuyuki Kayahara (Kayahara, 2003; voir Troje et McAdam, 2010 pour une présentation), tel qu'indiqué dans le chapitre d'introduction. Il s'agit d'une illusion optique représentant la silhouette d'un personnage en rotation sur lui-même, pouvant être perçue par les observateurs comme tournant dans le sens horaire ou antihoraire. L'illusion est créée par le manque de repères visuels pour la profondeur et l'interprétation en trois dimensions d'une image qui n'en a que deux. Une description du principe de cette illusion est illustrée Figure 8. La série centrale de la figure, présente une partie de la séquence d'images ayant permis de créer le stimulus. Neuf images issues de la série des 36 images composant le stimulus sont représentées. Les séries supérieures et inférieures représentent une version non bistable du même stimulus, en trois dimensions, tournant respectivement, dans les sens : antihoraire et horaire. Chaque image de la série centrale correspond à chaque image des séries supérieure et inférieure. De telle manière, la série centrale présentée dans son ensemble (en mode vidéo), suggère un personnage en rotation, tournant soit dans le sens horaire, soit dans le sens antihoraire.

En observant la première image de la série centrale de la Figure 7, on observe qu'aucun indice ne permet de déterminer si la silhouette est présentée de face ou de dos. La jambe droite de la silhouette, par exemple, peut aussi bien correspondre à la jambe gauche ou à la jambe droite du personnage (présentées respectivement, sur la séquence du haut et du bas). La silhouette peut ainsi être perçue comme tournant, respectivement, dans le sens antihoraire (séquence en haut) ou horaire (séquence en bas).



Figure 7. Principe de l'illusion de Kayahara

Neuf images issues de la série de 36 composants le stimulus sont représentées. Les séries supérieure et inférieure présentent le même personnage tournant dans un sens explicite, respectivement, antihoraire et horaire. Chaque silhouette, présentée dans la série du milieu, correspond aussi bien à chaque personnage présenté dans la série du haut que celle du bas. De telle manière, la série (du milieu) présentée dans son ensemble peut être perçue comme un mouvement ambigu, pouvant être perçue comme tournant soit comme horaire soit comme antihoraire.

L'illusion est ainsi créée, grâce à la présentation de la séquence des 36 images statiques du stimulus dans différents degrés de rotation, à une vitesse de 0,5 Hz. Ce mode de présentation donne l'illusion que le personnage est en rotation sur lui-même. En présentant la séquence d'images en boucle, il est possible, de donner l'impression à l'observateur que le personnage est en rotation sans discontinuité.

2.4.4. Caractéristiques du stimulus composant l'illusion de Kayahara

Le stimulus composant l'illusion de Kayahara représente une silhouette noire présentée sur un fond blanc. Ses caractéristiques, à l'écran, sont les suivantes:

- Taille: 9 cm
- Largeur: approximativement de 4 cm, au point le plus large

Ce personnage représente approximativement la même hauteur que le stimulus composant l'illusion de la ballerine. Contrairement au stimulus de la ballerine, représentant un stimulus plausible, pour le présent stimulus, les proportions des différentes parties du corps sont disproportionnées. La taille des mains est, par exemple, proportionnellement beaucoup plus grosse que le reste du corps. De la même manière, les jambes paraissent beaucoup plus moins larges et courtes. Le personnage apparaît debout en appui sur une jambe. Plus spécifiquement, sur la jambe de droite, si le personnage est considéré comme de face, ou sur la jambe gauche dans le cas contraire (*cf.*, première image, séquence centrale de la Figure 7). La deuxième jambe est tendue, avec le pied fléchi, face à lui. Les bras sont écartés du corps, positionnés de chaque côté du plan médian, en supination, avec les mains ouvertes.

2.4.5. Caractéristiques du stimulus non bistable

La forme non bistable du stimulus, présentée sur les séquences supérieures et inférieures de la Figure 7, a également été utilisée dans l'étude. Les caractéristiques du stimulus sont identiques en ce qui concerne la taille, la largeur et la posture et l'arrière-plan. De manière plus spécifique, le stimulus représente un personnage masculin, chauve, avec des lunettes. Il est habillé d'une chemise blanche, d'une cravate rouge à rayures plus foncées, d'un pantalon bleu et porte des chaussures noires. L'expression faciale est neutre.

2.4.6. Appareillage

Les stimuli étaient présentés sur un ordinateur de 17 pouces d'une résolution de 1024 x 768 pixels, avec un taux de rafraîchissement de 85 Hz. Les stimuli étaient présentés à l'aide du logiciel E-Prime (version 2.0, Psychology Software Tools, Inc.). Les participants étaient installés dans une chaise, à environ 80 cm de l'écran. Aucun repose-menton n'était utilisé pour maintenir la position de la tête du sujet. L'étude a été réalisée dans une cabine insonorisée. Les réponses ont été recueillies au moyen d'une souris d'ordinateur ou des flèches directionnelles d'un clavier d'ordinateur.

2.4.7. Devis de l'étude

Un devis quasi expérimental de type transversal et à mesures répétées ainsi qu'un devis non expérimental de type descriptif et transversal ont été utilisés dans cette étude.

Les 15 participants ont réalisé une séance unique d'une durée approximative de 2h. Durant cette séance, ils étaient amenés à réaliser quatre tâches expérimentales, présentées dans le même ordre pour l'ensemble des participants.

Chapitre 3. Expérience 1 : perception spontanée à l'illusion de Kayahara

3.1. Introduction

Les figures ou stimuli bistables sont des objets capables d'induire un phénomène de perception bistable d'est-à-dire, un changement de perceptif spontané entre deux ou plusieurs interprétations exclusives sans qu'aucun élément de la scène visuelle n'ait changé (Kanai *et al.*, 2011). Ces changements perceptifs démontrent que le traitement cortical des informations visuo-spatiales est un processus actif tentant de donner du sens à l'information entrant (Eagleman, 2001). Il y a plusieurs années le designer Nobuyuki Kayahara créa une nouvelle forme de stimuli bistable appelée illusion de la ballerine. Ce stimulus consiste en une silhouette de personnage en rotation et dont le sens est ambigu. Le personnage paraît en effet tourner dans le sens horaire pour certains sujets et antihoraire pour d'autres. Il peut également changer au cours du temps pour un même sujet, sans qu'aucun élément de la scène visuelle n'ait changé. L'illusion de la ballerine connaît un grand intérêt populaire sur internet, en partie parce que le sens horaire est plus fréquemment perçu par les observateurs que le sens antihoraire (Troje et McAdam, 2010), un effet incorrectement popularisé comme résultant d'un biais hémisphérique. Il a depuis été démontré scientifiquement que cet effet est dû à un biais de perspective (Troje et McAdam, 2010). Plus spécifiquement, les auteurs montrèrent que le stimulus pouvait être perçu soit dans le sens horaire et du dessus, soit dans les sens antihoraire et du dessous. Le fait que plus de personnes perçoivent la figure comme tournant dans le sens horaire est dû à une préférence naturelle du système visuel pour la position du dessus. Préférence déjà reportée quelques années auparavant avec le cube de Necker (Sundareswara et Schrater, 2008). Dans le cadre de ce projet de mémoire, nous avons utilisé une version simplifiée et adaptée de l'illusion de la ballerine exempte de biais de perspective. Avant de créer le test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial à proprement parlé il semblait important d'étudier les caractéristiques de l'illusion en elle-même. Illusion dont la version utilisée ici n'avait jamais été décrite dans la littérature auparavant. Le premier objectif de l'expérience 1, présenté dans ce chapitre, était ainsi de décrire la perception spontanée de sujets face à l'illusion de Kayahara (objectif 1).

Un deuxième objectif était de mesurer si le mode de présentation de l'illusion de Kayahara influence le nombre de réversions perceptives (objectif 2). Dans le cadre de cette étude, nous nous sommes intéressés spécifiquement à mesurer si le fait de présenter le stimulus de manière continue ou intermittente, c'est-à-dire avec des disparitions temporaires de celui-ci du champ visuel, modifierait le nombre de réversions perceptives, tel que le suggère plusieurs études (*e.g.*, Leopold *et al.*, 2002; Maier *et al.*, 2003). Il a en effet été démontré que quand une figure ou un stimuli bistable est regardé de manière intermittente, soit par une présentation répétitive, soit par une fermeture périodique des yeux, la perception peut devenir comme « figée » dans une configuration particulière. Selon certains auteurs, cette

persévération de la perception pourrait s'expliquer par la présence d'une mémoire perceptive persistante durant les périodes où le stimulus est absent (Leopold *et al.*, 2002; Pastukhov et Braun, 2008; Pearson et Brascamp, 2008). En d'autres termes, le fait de présenter le stimulus de manière continue contribuerait à augmenter le nombre de changements ou réversions perceptives alors qu'au contraire, le présenter de manière intermittente contribuerait à le réduire. Leopold *et al.* (2002) ont montré que présenter un stimulus bistable de manière intermittente permettait de diminuer drastiquement la proportion de persévérations perceptives (Figure 8).

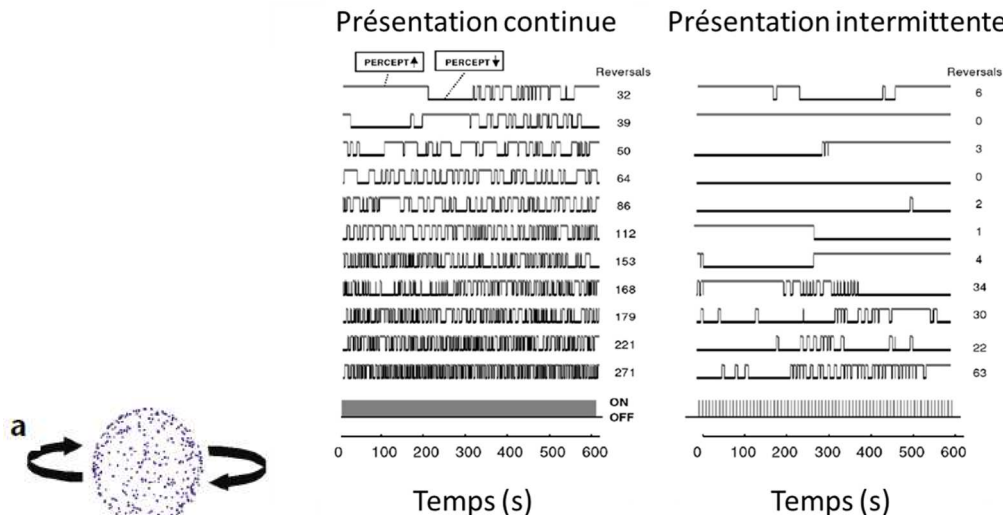


Figure 8. Effet d'une présentation intermittente du stimulus sur le sens de rotation perçu d'une sphère en rotation autour un axe horizontal

Les alternances dans le sens de rotation perçue sont présentées comme une fluctuation entre le niveau supérieur (gris) et inférieur (noir), correspondant aux sens de rotation perçues vers le bas et le haut, respectivement. Chaque ligne compare la condition lorsque le stimulus était présent en permanence (à gauche) à la condition lorsqu'il était présenté par intermittence (à droite). La période intermittente était composée de 3s de périodes d'affichage suivi de 5s d'absence du stimulus. Le nombre total de réversions pour chaque sujet est affiché sur la droite de chaque figure.

Conformément aux observations faites avec d'autres formes de figures et stimuli bistables (e.g., Leopold *et al.*, 2002; Maier *et al.*, 2003), notre hypothèse était que le nombre de réversions perceptives serait moins important quand le stimulus est présenté en mode intermittent que lorsqu'il est présenté en mode continu.

3.2. Matériel et méthode

3.2.1. Approbation éthique et consentement du participant

Le protocole expérimental réalisé dans le cadre du projet de maîtrise a été approuvé par le comité d'éthique de l'IRDPO. Le consentement libre et éclairé de chaque participant a été obtenu par écrit avant qu'il ne prenne part à l'étude.

3.2.2. Participants

Quinze participants (neuf femmes, âge : 20-55 ans, âge moyen: 26 ans) ont pris part à l'Expérience 1. Tous étaient droitiers, tel que confirmé par l'Index de Latéralité manuelle d'Edinburgh (Oldfield, 1971 ; cf. Annexe 2), avait une vision normale ou corrigée, et aucun antécédent de troubles neurologique ou psychiatrique (auto-reporté).

3.2.3. Appareillage

Les stimuli étaient présentés sur un ordinateur portable de 17 pouces d'une résolution de 1600 x 900 pixels, avec un taux de rafraîchissement de 60 Hz. Les stimuli étaient présentés à l'aide du logiciel E-Prime (version 2.0, Psychology Software Tools, Inc.). Les participants étaient installés dans une chaise, à environ 120 cm de l'écran. Aucun repose-menton n'était utilisé pour maintenir la position de la tête du sujet. Les réponses étaient recueillies au moyen des flèches directionnelles droite et gauche d'un clavier d'ordinateur et d'une souris d'ordinateur.

3.2.4. Stimuli

Le stimulus utilisé dans l'expérience 1, était créé à partir d'une séquence vidéo montrant la silhouette d'un personnage en rotation présenté sur un fond blanc. Cette séquence était créée à partir de 36 images statiques du stimulus dans différents degrés de rotation, présenté à une vitesse de 0,5Hz (cf. chapitre de méthodologie; section 2.4.3. et 2.4.4.).

3.2.5. Procédure expérimentale

Chaque sujet réalisait trois blocs successifs d'essais. L'ordre de présentation de ces blocs était le même pour tous les participants. Avant la présentation des blocs expérimentaux, un bloc d'entraînement était administré afin de familiariser les participants avec le stimulus et de leur permettre, entre autres, d'identifier correctement le sens de rotation correspondant à chacune des flèches directionnelles.

Bloc d'entraînement. Chaque participant réalisait deux séries d'essais d'entraînement avant de commencer les blocs expérimentaux. Dans la première série, la tâche consistait à indiquer le sens de rotation d'un personnage non-bistable. Après dix bonnes réponses consécutives, les participants réalisaient la même tâche avec le personnage bistable, pendant 10 essais supplémentaires. Les participants ont été informés de la réversibilité de la figure. Le personnage bistable présenté pendant la phase d'entraînement était le même que celui présenté durant les blocs expérimentaux.

Bloc 1 : Présentation intermittente, position de départ identique à travers les essais (Intermittent 1). Chaque participant réalisait un bloc de 30 essais. Chaque essai commençait par la présentation d'une croix de fixation localisée au centre de l'écran. 500 ms plus tard, la croix était remplacée par le personnage bistable, présenté pendant 6 secondes. Pour chaque essai, le stimulus commençait par la même image de la séquence des 36 images constituant

le stimulus (image numéro 1, sur la Figure 7, correspondant à une orientation complètement de face ou de dos des personnages non-bistables (Figure 7, séries supérieures et inférieures). Les participants recevaient pour consigne de maintenir leur regard sur la figure présentée au centre de l'écran et d'indiquer le plus rapidement possible, la direction du sens de rotation perçu (*i.e.*, horaire ou antihoraire), en appuyant sur la flèche correspondante. Si aucune réponse n'était enregistrée avant un temps limite de 3 secondes, l'essai suivant était présenté. La Figure 9 illustre la procédure expérimentale utilisée pour le bloc 1.

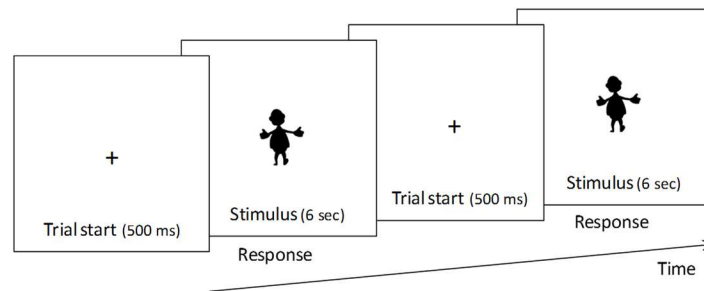


Figure 9. Procédure expérimentale utilisée pour les blocs 1 et 2 de l'expérience 1

Présentation d'une séquence de deux essais. Chaque essai commence par la présentation d'une croix de fixation présentée au centre de l'écran, suivi 500 ms plus tard par le personnage bistable. Le participant avait pour consigne d'indiquer le sens de direction perçu, pendant et avant la fin de l'essai. Le personnage bistable commençait soit toujours de la même position (Bloc 1), soit d'une des 36 différentes positions (Bloc 2).

Bloc 2 : Présentation intermittente, position de départ différente à travers les essais (Intermittent 2). Chaque participant réalisait un bloc de 36 essais. Chaque essai commençait par la présentation d'une croix de fixation localisée au centre de l'écran. 500 ms plus tard, la croix était remplacée par le personnage bistable, présenté pendant 6 secondes. Pour chaque essai, le stimulus était présenté dans une des 36 orientations possibles (voir Figure 7, pour neuf exemples des points de départ possibles). L'ordre des essais était randomisé. Les participants recevaient pour consigne de maintenir leur regard sur la figure présentée au centre de l'écran et d'indiquer le plus rapidement possible, la direction du sens de rotation perçu (*i.e.*, horaire ou antihoraire), en appuyant sur la flèche correspondante. Si aucune réponse n'était enregistrée avant un temps limite de 3 secondes, l'essai suivant était présenté.

Bloc 3 : Présentation continue. Les participants réalisaient un essai unique présentant le Personnage Bistable en rotation en continue pendant 90 secondes. Le stimulus était présenté au centre de l'écran et commençait avec l'image numéro 1 de la séquence (Figure 7). Les participants avaient pour consigne de maintenir leur regard sur le stimulus et d'appuyer sur le bouton de la souris d'ordinateur à chaque fois qu'ils percevaient un changement de sens de rotation.

3.3. Méthode d'analyse

Pour l'objectif 1, des analyses descriptives ont été réalisées afin d'étudier le pourcentage d'essais perçus dans chaque sens de rotation (Horaire vs. Antihoraire) et pour chaque participant. Ces analyses ont été faites pour les modes de

présentation Intermittent 1 et Intermittent 2. Un test signé de Wilcoxon pour échantillon unique a été réalisé afin de déterminer si ces pourcentages étaient significativement différents de ce qui aurait été obtenu par chance. Ainsi, le pourcentage médian pour le sens horaire a été comparé à un pourcentage médian hypothétique d'une valeur de 50%. Le d de Cohen a été calculé afin de déterminer les tailles d'effet. Les tailles d'effets ont été interprétées en fonction de la grille proposée par Cohen (1988). Traditionnellement, un d proche de 0,2 est considéré comme un effet « faible », un d proche de 0,5 comme « moyen » et un d proche de 0,8 comme « fort ».

Pour l'objectif 2, les variables, hypothèses opérationnelles et la méthode statistique est décrite dans la section qui suit.

3.3.1. Variables

La variable dépendante était le nombre de réversions perceptives. La variable indépendante était le MODE DE PRÉSENTATION (Continue vs. Intermittent 1 vs. Intermittent 2).

3.3.2. Hypothèses opérationnelles

Notre hypothèse était que le nombre de réversions perceptives serait significativement moins important quand le stimulus est présenté de manière intermittente (Bloc 1 ou 2) que quand il est présenté de manière continue (Bloc 3). Par ailleurs, il était également attendu que le nombre de réversions perceptives soit significativement différent en fonction que le stimulus commence par une image de la séquence différente à travers les essais (bloc 2) ou toujours par la même image (bloc 1).

3.3.3. Méthode statistique

Étant donné que la durée des blocs 1 et 2 (conditions intermittentes) variait selon les participants (dépendamment du temps de réponse à chaque essai), le nombre de réversions perceptives a été normalisé comme le nombre de réversions mesurés en 90 secondes, correspondant à la durée du bloc 3.

Une Analyse de variance (ANOVA) à mesures répétées a été utilisée afin de mesurer l'effet du mode de présentation du stimulus sur la proportion de réversions perceptives. L'ANOVA comprenait les facteurs intrasujets suivants: MODE DE PRÉSENTATION [trois niveaux: Continu vs. Intermittent 1 vs. Intermittent 2]. Le test de Mauchly a été utilisé afin d'évaluer la sphéricité des données. Le test de Bonferroni a été utilisé pour les comparaisons post hoc. Les différences étaient considérées comme significatives au seuil $p < 0,05$. Pour les données non-sphériques, une correction de Greenhouse–Geisser a été utilisée.

Toutes les analyses statistiques ont été effectuées avec la version 22.0 du logiciel SPSS pour Macintosh (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

3.4. Résultats

Perception spontanée des sujets face à l'illusion de Kayahara (objectif 1)

La Figure 10 présente le pourcentage d'essais perçus dans le sens *horaire* versus *antihoraire* pour chaque sujet, pour les modes de présentation *Intermittent 1* et *Intermittent 2*. La condition *Intermittent 1*, montre qu'en moyenne pour 98,4% des essais le stimulus étaient perçus dans le même sens de rotation ($ET = 3,9$). 12 des 15 sujets n'ont jamais perçu la figure dans l'autre sens de rotation. Pour les trois sujets restants, 3,3%; 6,7% et 16,7% des essais seulement ont été perçus dans le sens de rotation opposé au sens dominant. Pour deux tiers des sujets, le sens de rotation dominant était le sens *antihoraire*. Le test de rang signé de Wilcoxon pour un échantillon unique indique que le nombre d'essais perçus dans le sens *horaire* ($Md = 3,33$; $ET = 47,7$) n'était pas significativement différent de la médiane hypothétique ($Md = 50$), $W_s = 47,5$; $p = 0,45$. La taille d'effet était faible ($d = 0,19$). Pour la condition *Intermittente 2*, en moyenne pour 87,7% des essais le stimulus était perçu dans le même sens de rotation ($ET = 18,1$), soit une diminution de 10,7% comparé à la condition *Intermittent 1*. Cette différence était significative, tel que révélé par le test t , $t(14) = 2,392$; $p = 0,04$; $r = 0,54$. Le test de rang signé de Wilcoxon pour un échantillon unique indique que le nombre d'essais perçus dans le sens *horaire*, pour la condition *Intermittente 2*, ($Md = 47,2$; $ET = 42,77$) n'était pas significativement différent de la médiane hypothétique ($Md = 50$), $W_s = 66,5$; $p = 0,7$. La taille d'effet était faible ($d = 0,1$).

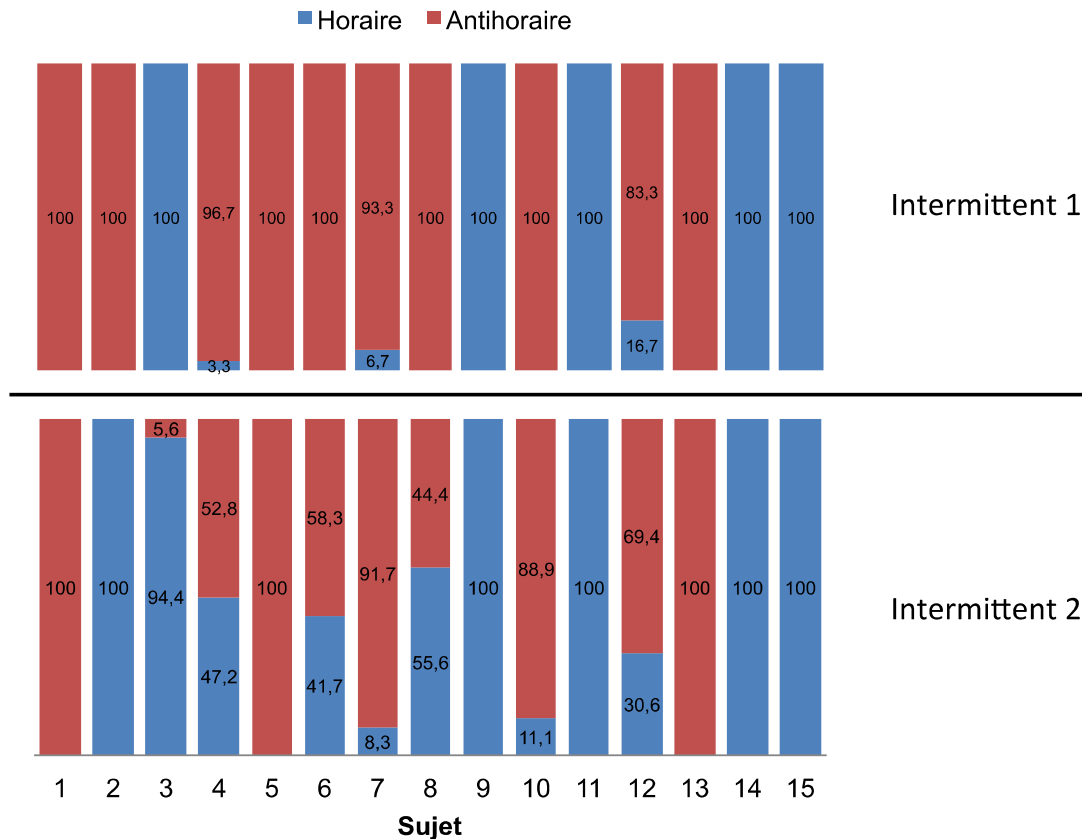


Figure 10. Pourcentage d'essais perçus dans le sens horaire (bleu) et antihoraire (rouge) pour chaque participant, en fonction du mode de présentation

Le mode Intermittent 1 représente le mode pour lequel le stimulus commençait toujours par la même image de la séquence (image numéro 1), et donc paraissait, pour le participant commencer toujours de la même position. Le mode Intermittent 2, représente le mode pour lequel le stimulus commençait par un numéro d'image différent d'un essai à l'autre (36 positions différentes), et donc paraissait pour le sujet commencer d'une position différente d'un essai à l'autre.

Effet du mode de présentation sur le nombre de réversions perceptives (objectif 2)

Pour la condition Intermittente 1, la durée moyenne du bloc d'essai était de 42 secondes ($ET = 13,1$; Étendue: 28-78), et de 51 secondes ($ET = 12,6$; Étendue: 32-82), pour la condition Intermittente 2. Le Tableau 5 présente le nombre de réversions perçues pour chaque sujet et chaque mode de présentation du stimulus. Les analyses descriptives montrent que la proportion moyenne de réversions reportée pour le mode de présentation continue était de 1,27 ($ET : 1,67$; $Md=1$); de 0,99 ($ET : 2,58$; $Md=0$) pour le mode Intermittent 1, et de 9,79 ($ET : 17,35$; $Md=0$) pour le mode Intermittent 2. Pris dans leur ensemble, les données montrent une variabilité interindividuelle importante. Parmi les quinze sujets quatre non jamais perçu de changement de sens de direction de stimulus, quel que soit le mode de présentation. De manière plus spécifique, pour la condition intermittente 1, 12 des 15 sujets n'ont jamais vu le stimulus changer de sens; 8 pour la condition intermittente 2 et 7 pour la condition continue. Les tableaux montrent les taux de réversions les plus élevés sont observés dans la condition Intermittente, et particulièrement Intermittente 2 (Étendue : 0 - 61) plutôt que

dans la condition continue (Étendue : 0 - 5). L'ANOVA révèle un effet non significatif du mode de présentation sur le nombre de réversions, $F(1,025;14,35) = 3,96$, $p = 0,07$ (le test de Mauchly ayant indiqué une violation de la sphéricité, $p < 0,001$, les degrés de liberté ont été corrigés à l'aide d'une estimation de Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0,51$)).

Tableau 5. Nombre de réversions perçues, normalisé sur 90 secondes, pour chaque mode de présentation du stimulus

Sujet	Intermittent 1	Intermittent 2	Continu
1	0	0	1
2	0	0	0
3	0	7	0
4	3	38	1
5	0	0	0
6	0	61	4
7	2	9	0
8	0	12	1
9	0	0	3
10	0	10	0
11	0	0	1
12	10	11	5
13	0	0	0
14	0	0	3
15	0	0	0
Moyenne	0,99	9,79	1,27
ET	2,58	17,35	1,67
Min	0	0	0
Max	10	61	5
Médiane	0	0	1
Nombre de 0	12	8	7

3.5. Discussion

L'objectif de la présente expérience était de décrire la perception spontanée des sujets face à l'illusion de Kayahara, et de mesurer si le mode de présentation de l'illusion de Kayahara influence le nombre de réversions perceptives. Les résultats ont montré que les participants tendaient à percevoir le stimulus dans le même sens de rotation à travers les essais, mais que cet effet de persévération diminuait lorsque la position de départ du stimulus variait. Bien qu'une des deux interprétations était dominante pour plusieurs participants, les analyses descriptives ne semblent pas montrer de dominance d'une interprétation sur l'autre au niveau du groupe. Ceci suggère que, contrairement à l'illusion de la ballerine, la nouvelle version de l'illusion de Kayahara serait exempte de biais de perspective. Ces résultats renforceraient l'interprétation de Troje et McAdam (2010) suggérant que le biais de rotation observé avec l'illusion de la ballerine est dû à une préférence du système visuel pour percevoir les stimuli du dessus (et dans le sens horaire) plutôt que d'en dessous (et dans le sens antihoraire). Un échantillon plus grand de participants est cependant nécessaire afin de confirmer cette observation.

L'expérience 1 a également montré que, contrairement à notre hypothèse, la proportion de réversions n'était pas moins élevée avec le mode intermittent qu'avec le mode continu. Ces observations vont à l'encontre des résultats reportés dans la littérature avec d'autres figures bistables (e.g., Leopold *et al.*, 2002; Maier *et al.*, 2003), montrant une diminution des changements perceptifs lorsque le stimulus est présenté de manière intermittente. Plusieurs sujets ont d'ailleurs, au contraire, montré une augmentation du nombre de réversions en mode intermittent. À l'échelle du groupe, ces différences étaient non significatives ; cependant, la valeur du *p* suggère qu'une erreur de type 2, dû à la taille de l'échantillon, aurait pu empêcher de voir cet effet.

Plusieurs raisons pourraient expliquer la stabilité plus forte de l'illusion de Kayahara et les différences avec la littérature. Une première raison pourrait être que le nombre de réversions mesurées en condition continue étant très faible, il est possible que le manque de différences entre cette condition et les conditions intermittentes soient en partie dues à un effet plancher. Un élément en faveur de cette hypothèse est le fait que lorsque l'on compare le nombre moyen de réversions normalisé pour une période de une minute avec celui reporté par Leopold *et al.* (2002), par exemple, il est possible de constater que ce taux est significativement plus faible dans notre étude, avec le stimulus de Kayahara. Leopold *et al.* (2002), ont en effet reporté en moyenne 12,5 réversions par minutes avec la sphère en rotation ($ET = 7,95$; Étendue : 3,2 - 27,1) quand le stimulus était présenté en mode continu alors que la moyenne, dans notre étude, était de 1,27. Présenter le stimulus pendant une période de temps plus longue, pour le mode continu, et pendant plus d'essais, pour les modes intermittents, permettrait de tester cette hypothèse. Une deuxième explication pourrait être que l'illusion de Kayahara est un stimulus naturellement plus stable que les autres formes de perceptions bistables communes telles que les cubes de Necker, et entraîne peu de changements perceptifs. Notamment, peut-être que le caractère continu du stimulus conduit à plus de persistance mnésique visuelle plus forte. Cette idée est renforcée par le fait que changer la position initiale du stimulus conduit à significativement diminuer la proportion de stabilisation. Cette explication ne justifierait cependant pas la différence entre les conditions continues et intermittentes. Une troisième explication pourrait être liée aux mouvements oculaires et aux saccades visuelles. Dans une étude, Hancock *et al.* (2012) démontrent par exemple que la fréquence des saccades oculaires pouvait prédire la fréquence des changements perceptifs. Ces résultats supposent, selon les auteurs, un lien entre ces deux mécanismes. Baker et Graf (2010) n'ont trouvé aucun effet des saccades sur la fréquence des changements perceptifs, mais proposent que ces facteurs pourraient aider à prolonger une interprétation particulière. Dans des études futures, il serait pertinent de mesurer, à l'aide d'un eye-tracker, si la direction ou la fréquence des saccades oculaires prédit la fréquence des changements d'interprétation. Une autre série d'explications, pourrait être le manque de familiarisation des participants avec la figure, l'effet de la consigne donnée, et l'effet de l'ordre de présentation des blocs. Concernant les deux premiers points, les participants étaient tous informés de la réversibilité de la figure, cependant beaucoup ont reportés, à la fin de l'expérience, avoir eu des difficultés à voir la figure changer de sens. Certains ont d'ailleurs indiqué ne pas comprendre comment un stimulus dont l'apparence ne changeait pas pouvait entraîner une variation perceptive. Notre objectif étant d'observer la perception naturelle des sujets soumis à l'illusion, nous avons délibérément choisi de ne

pas entraîner les sujets à apprendre à reverser leur perception. Cependant, ce manque de familiarisation pourrait avoir biaisé la perception, pour la plupart des sujets, dans le même sens perçu pour le premier essai. Un argument étayant cette hypothèse est que, pour l'ensemble des sujets, le percept dominant durant la phase de test était le même que celui qui dominait durant la phase d'entraînement, présentée quelques minutes avant (cf. Figure 11).

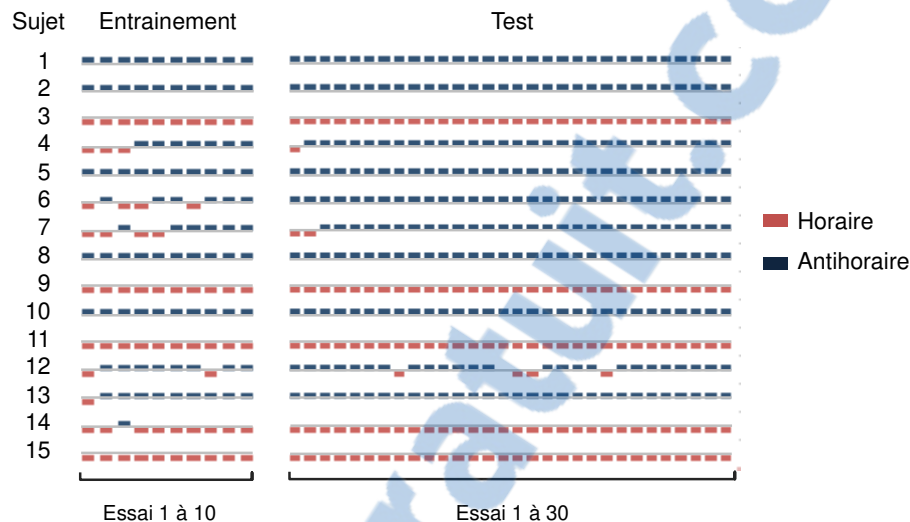


Figure 11. Effet du sens de rotation dominant durant la phase d'entraînement sur le sens de rotation perçu durant la phase de test

Les essais pour lesquels le personnage bistable était perçu dans le sens horaire sont représentés en rouge, et ceux pour lesquels il était perçu dans le sens antihoraire en bleu. Le test de Spearman indique une corrélation parfaite entre le sens dominant durant la phase d'entraînement et celui dominant durant la phase de test ($r=1$; $p<0,0001$).

Il a, par exemple, été reporté que la connaissance de la réversibilité d'une figure bistable pouvait influencer la proportion des changements perceptifs (Girgus *et al.*, 1977). Girgus *et al.* (1977) montrent par exemple que, contrairement aux sujets avertis, la moitié des sujets n'exprimait aucun changement perceptif lorsqu'ils n'étaient pas avertis de la réversibilité de la figure. Refaire l'expérience en, premièrement, mélangeant les blocs expérimentaux et, deuxièmement, laissant un délai interstimuli plus long ou en utilisant un « masque » entre chaque essai (afin d'abolir l'effet de mémorisation perceptive) permettrait de vérifier cette hypothèse. Le fait que le bloc Intermittent 2 entraîne une augmentation du nombre de réversions s'explique probablement par le fait que changer la position initiale du stimulus d'un essai à l'autre a permis d'abolir l'effet initial de persévération en induisant un changement dans l'input visuel. Ce changement a permis en quelque sorte de « repartir à zéro » dans l'évaluation faite par le cerveau de la figure et l'interprétation du sens de rotation. Comme nous l'avons dit antérieurement, le cerveau utilise les informations issues de l'environnement ainsi que les connaissances du sujet afin d'interpréter les figures et stimuli bistables. Le fait que les participants expérimentent toujours la même interprétation du stimulus à travers les essais, dans la condition Intermittent 1, s'expliquerait par le fait qu'avec le manque d'entraînement permettant d'être capable de percevoir les deux sens de rotation, la perception serait biaisée seulement dans un sens; à savoir, celle de la première interprétation

faite par le cerveau. La diminution de cet effet, observé avec le mode intermittent 2, serait due au fait que sous le changement induit par le changement de position initiale du stimulus, le cerveau repartirait d'une nouvelle « perspective », rendant ainsi possible une interprétation nouvelle.

Dans des études futures, il serait pertinent de comparer les performances de mêmes sujets soumis à l'illusion de Kayahara et à différentes autres figures bistables. Ceci permettrait de déterminer si les performances des sujets au test de Kayahara sont similaires aux performances observées avec d'autres figures bistables déjà décrites dans la littérature. D'autres études sont également nécessaires afin de mieux caractériser cette nouvelle forme de stimulus bistable et déterminer l'impact de facteurs tels que la vitesse de présentation du stimulus, la taille, la forme ou le contraste entre le fond et la forme.

Chapitre 4. Expérience 2 : effet du test de Kayahara chez des sujets sains

4.1. Introduction

Des variations interindividuelles face à des figures bistables ont été démontrées en ce qui concerne la fréquence à laquelle un sujet passe d'une interprétation à une autre (Hancock *et al.*, 2012). Les mécanismes neurologiques impliqués dans ces changements perceptifs et dans les différences entre les individus restent cependant mal connus. Différents auteurs suggèrent que les mêmes structures seraient impliquées pour des figures bistables de natures différentes (e.g., Brascamp *et al.*, 2005; Kanai *et al.*, 2011; Miller *et al.*, 2000). Plusieurs études semblent notamment s'accorder pour un rôle prédominant du cortex pariétal (e.g., Kanai *et al.*, 2010; Kanai *et al.*, 2011). Ces données sont étayées par les observations faites chez des patients atteints de lésions neurologiques touchant cette région et montrant les difficultés de ces patients à observer des changements perceptifs (Bonneh *et al.*, 2004). Par ailleurs, des études plus récentes démontrent des rôles opposés de régions distinctes au sein du cortex pariétal. Par exemple, dans une étude de lésions virtuelles, Kanai *et al.* (2011) ont montré que l'inhibition de la partie antérieure du lobule pariétal supérieur droit diminuait les persévérations perceptives et augmentait donc la fréquence des changements. L'inhibition de la partie postérieure de cette région, au contraire, diminuait la fréquence des changements. D'autres régions impliquant les lobes frontaux ont, cependant, également été identifiées (e.g., Knapen *et al.*, 2011; Meenan et Miller, 1994). Des patients ayant subi une lobectomie touchant le cortex préfrontal dorsolatéral peuvent montrer par exemple une incapacité à expérimenter des changements perceptifs (Meenan et Miller, 1994).

Quels que soient les mécanismes impliqués dans les changements perceptifs des figures bistables, il est démontré que ces changements peuvent être contrôlés grâce à l'ajout, dans la scène visuelle, d'indices permettant de diminuer l'ambiguïté de la figure (e.g., Baker et Graf, 2010; Mamassian et Wallace, 2010). Baker et Graf (2010) ont montré, par exemple, que l'ajout d'un stimulus, partageant les mêmes caractéristiques de vitesse que le stimulus bistable, permettait de biaiser la perception des sujets dans la même direction que ce stimulus. Dans une autre étude, Mamassian et Wallace (2010) ont montré que cet effet de biais envers une interprétation particulière pouvait perdurer pendant plusieurs jours. Les auteurs interprètent ce biais comme un exemple de mémoire perceptuelle. L'amorçage est une autre méthode permettant de biaiser la perception d'un individu selon une interprétation particulière. L'effet d'amorçage définit l'influence d'un stimulus (amorce) sur le traitement d'un stimulus présenté de manière subséquente. Cette influence se traduit classiquement par une baisse de la latence nécessaire pour traiter le stimulus subséquent ou par une augmentation de la probabilité de l'identifier correctement. L'effet d'amorçage a été largement décrit dans la littérature. Il a également été décrit pour le phénomène de perception bistable (e.g., Blake *et al.*, 2003; Jiang *et al.*, 2002; Jiang *et al.*, 1998; van Dam et Ernst, 2010). Dans le cas de stimulus bistable, l'amorce permet traditionnellement

de diminuer l'ambiguïté d'une forme bistable du même stimulus présenté quelques secondes après. Jiang *et al.* (1998) ont montré, par exemple, que la présentation d'un objet tridimensionnel en rotation biaisait le sens de rotation perçu d'une forme bistable de ce même stimulus.

Dans la présente expérience (expérience 2), nous montrons que l'effet de persévération perceptive observée dans l'expérience 1 peut être renversée grâce à l'utilisation d'une amorce et à l'effet d'un stimulus non bistable présenté dans le même environnement spatial. Cette manipulation a permis la construction d'un test identifiant une asymétrie entre le degré d'influence du stimulus influenceur quand celui-ci est présenté à droite ou à gauche de l'hémi-espace visuel. Théoriquement, l'idée est que chez des personnes atteintes de NSU, le degré d'influence du stimulus non bistable devrait être significativement atteint lorsque celui-ci est présenté dans l'hémi-espace gauche. L'asymétrie entre les deux hémi-espaces pourrait ainsi se traduire par un score en faveur de l'hémi-espace controlatéral. L'expérience 2 visait ainsi, premièrement, à répondre à l'objectif 3 de l'étude, à savoir décrire un nouveau test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial développé à partir de l'illusion de Kayahara. Le nouveau test présenté dans ce chapitre, sera désigné sous le terme de « *test de Kayahara* ».

L'expérience 2 visait, deuxièmement, à mesurer les performances de sujets sains à ce nouveau test. Dans l'optique d'une application clinique du test. Il est en effet nécessaire de déterminer une valeur seuil reflétant des performances normales à la tâche. Les résultats présentés dans la deuxième partie de l'expérience 2 représentent une étape exploratoire vers cet objectif, réalisé sur un petit échantillon de sujets. Nous étions, par ailleurs, intéressés à étudier si le nouveau test permettait de détecter la présence d'une asymétrie entre les hémi-espaces gauche et droit, tel que cela est décrit dans la littérature avec d'autres tâches visuo-spatiales. Tel qu'il a été discuté dans le chapitre d'introduction, les patients hémiparétiques montrent une déviation vers la droite au test de bissection de lignes ou de Landmark (Schenkenberg *et al.*, 1980). Cette déviation serait la conséquence des lésions des structures cérébrales impliquées dans le traitement des informations visuo-spatiales. Alors qu'il pourrait être attendu que des sujets sans atteinte neurologique placent la marque de bissection exactement au centre, il est classiquement observé que ces sujets montrent une déviation en faveur de l'hémi-espace gauche (Bowers et Heilman, 1980; Jewell et McCourt, 2000; McCourt et Garlinghouse, 2000; McCourt et Jewell, 1999). Le phénomène de pseudo-négligence, observé aux tests de test de bissection et de Landmark, est un phénomène largement rapporté dans la littérature. Les analyses d'une méta-analyse réalisée par Jewell et McCourt (2000) et portant sur plus de 70 études et impliquant plus de 2000 sujets ont révélé qu'il s'agissait d'un phénomène relativement robuste. Son incidence pourrait atteindre, selon McCourt (2001), jusqu'à 91% des individus. Bien que bien moins décrit, cette asymétrie entre hémi-espaces gauche et droit a également été observée avec d'autres formes de tâches visuo-spatiales (e.g., Casco et Spinelli, 1988; Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). Thiebaut de Schotten *et al.* (2011) ont montré, par exemple, dans une tâche de détection visuelle, que les participants détectaient plus rapidement des stimuli présentés à gauche qu'à droite de l'écran. Par ailleurs, le temps de réaction était corrélé avec la magnitude de la déviation au test de bissection de lignes. D'autres études ont

confirmé une dominance en faveur de l'hémi-espace gauche dans des tâches de détection visuelle ou de pointage de cibles (e.g., Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011; Varnava *et al.*, 2013) ou impliquant des figures bistables (Casco et Spinelli, 1988). L'étude de Casco et Spinelli (1988) suggèrent que cet effet est dépendant de la préférence manuelle des sujets. L'objectif 4 était ainsi de déterminer la valeur d'un biais attentionnel visuo-spatial caractéristique d'une population sans trouble neurologique et d'identifier la présence d'un éventuel biais attentionnel, en faveur de l'hémi-espace gauche, caractéristique d'une dominance de l'hémisphère droit pour les processus attentionnels visuo-spatiaux. Notre hypothèse était que les performances varieraient en fonction de la position du stimulus à l'écran et reflèteraient la présence d'un biais attentionnel en faveur de l'hémi-espace gauche.

Pour terminer, l'expérience 2, visait, troisièmement, à répondre à l'objectif 5 de l'étude, à savoir à mesurer si la main utilisée pour répondre influençait les performances au test. Plusieurs études suggèrent, l'influence de la main utilisée pour répondre dans les tâches visuo-spatiales sur les performances (e.g., Barthelemy et Boulinguez, 2001; Brodie et Dunn, 2005; Brodie et Pettigrew, 1996; Fukatsu *et al.*, 1990; Scarisbrick *et al.*, 1987). Pour les tests de bissection de lignes, Fukatsu *et al.* (1990) ont montré, par exemple, sur un groupe de 24 participants droitiers, que les sujets plaçaient leur marque significativement plus à gauche lorsqu'ils utilisaient leur main gauche pour répondre, comparativement à lorsqu'ils utilisaient leur main droite. Cette pseudo-négligence plus forte avec de la main gauche, au test de bissection de lignes ou de Landmark, a été confirmée par d'autres auteurs (Bradshaw *et al.*, 1986; Brodie et Pettigrew, 1996; Hausmann *et al.*, 2002; Scarisbrick *et al.*, 1987). Plusieurs études ont également montré un effet de dominance de la main gauche pour des tâches de pointage de cibles (Barthelemy et Boulinguez, 2001, 2002; Johnstone et Carey, 2016; Neely *et al.*, 2005) ou de détection visuelles (Boulinguez *et al.*, 2000). D'autres études ont, cependant, montré une absence d'asymétrie (Mieschke *et al.*, 2001) ou un effet de dominance de la main droite (Casco et Spinelli, 1988; Hodges *et al.*, 1997; Tremblay *et al.*, 2005).

4.2. Description du test de Kayahara

4.2.1. Description des stimuli

Les stimuli non bistables (tournant dans un sens explicite).

Les stimuli non bistables ont été créés à partir d'une séquence vidéo montrant un personnage en 3 dimensions en rotation présenté sur un fond blanc. Cette séquence était créée à partir de 36 images statiques du stimulus dans différents degrés de rotation et présenté à une vitesse de 0,5 Hz. Le personnage avait une hauteur de 9 cm (à l'écran).

Le stimulus bistable (dont le sens de rotation est ambigu)

Le stimulus bistable était créé à partir d'une séquence vidéo montrant la silhouette d'un personnage en rotation présenté sur un fond blanc, ayant les mêmes caractéristiques (hauteur, largeur, forme) que les stimuli non bistables. Cette

séquence était créée à partir de 36 images statiques du stimulus dans différents degrés de rotation, présentées à une vitesse de 0,5 Hz. L'ambiguïté du personnage résidait dans le sens de rotation qui pouvait être perçu par le sujet comme dans le sens horaire ou antihoraire.

4.2.2. Principe du test

Le test de Kayahara, consiste à demander au sujet d'indiquer quand il perçoit les deux personnages comme dans le même sens. Le test débute par la présentation de deux personnages non-bistables tournant dans des directions opposées (correspondants aux séries inférieures et supérieures de la Figure 8, présenté dans le chapitre 2 de méthodologie), présentés respectivement les héli-espaces gauche et droit. 500 ms plus tard, un de ces deux personnages se transforme en une version bistable du stimulus (série centrale de la Figure 8). La Figure 12 illustre un essai classique.

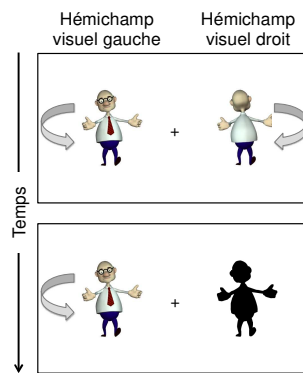


Figure 12. Illustration du principe du test de Kayahara : représentation d'un essai

Comme indiqué précédemment, le cerveau essaye d'utiliser les informations disponibles dans l'environnement pour désambigüiser les figures bistables. Dans le cas présent, c'est le personnage non bistable, tournant dans un sens non équivoque qui va apporter cette désambigüisation. Ici deux influences sont possibles : celle du personnage non-bistable présenté avant le personnage bistable (amorçage) ou celle du personnage non-bistable présenté en même temps que le personnage bistable et dans l'héli-espace visuel contralatéral. La première influence désigne un effet d'amorçage. Le fait de présenter un personnage non-bistable juste avant le personnage bistable (et possédant ici, les mêmes caractéristiques de formes et de tailles), va provoquer chez l'observateur l'impression de continuité entre ces deux stimuli.

Le personnage non-bistable présenté à côté du personnage bistable (en même temps), représente une autre source d'influence (*i.e.*, spatiale), en compétition avec l'amorçage, puisque le sens de rotation y ait opposé (voir Figure 13).

L'intérêt du test est ainsi de mesurer le délai nécessaire pour que l'effet d'amorçage soit aboli sous l'effet du personnage non-bistable latéral (*i.e.*, influence spatiale).

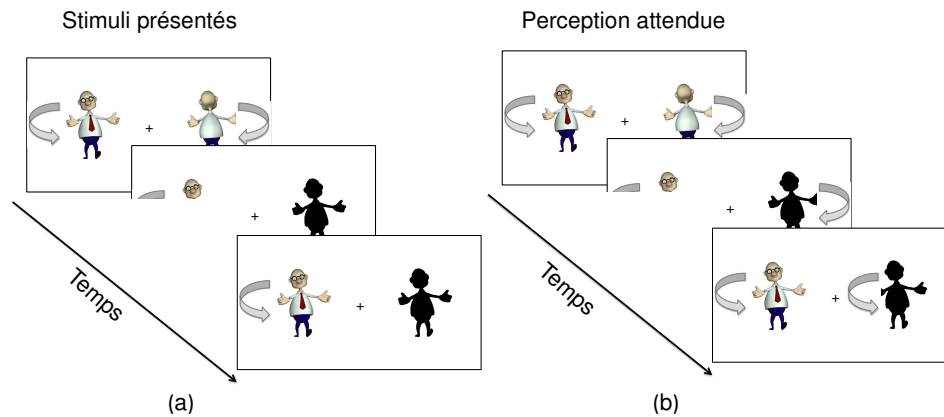


Figure 13. Stimuli composant le test de Kayahara et perception attendue

(a) Représentation des stimuli tels que présentés dans la tâche. (b) Représentation des stimuli tels que les sujets devraient les percevoir dans le cas d'une influence spatiale (influence du personnage non-bistable latéral sur le personnage bistable).

Placer le personnage non-bistable latéral à droite ou à gauche du personnage bistable permet ainsi de mesurer pour quel héli-espace l'influence de celui-ci est la plus forte (temps nécessaire avant que la perception change sous l'influence du personnage non-bistable latéral). La NSU reflétant un déséquilibre dans le traitement des informations visuo-spatiales issues de l'héli-espace droite versus gauche, l'influence du personnage non-bistable latéral devrait être significativement différente quand placée dans l'héli-espace visuel droit ou l'héli-espace visuel gauche. Plus particulièrement, une NSU gauche devrait entraîner un effet d'influence du personnage non-bistable latéral quand placé à gauche moins importante que quand placé à droite. Chez des sujets sans troubles neurologiques, il serait attendu que le test révèle, au contraire, une légère dominance en faveur de l'héli-espace gauche, reflétant la dominance de l'hémisphère droit pour les processus attentionnels visuo-spatiaux (e.g., test de bissection de lignes; Jewell et McCourt, 2000).

4.2.3. Implication du champ visuel dans le test de Kayahara

Le champ visuel représente la partie de l'espace visuel couverte par la rétine d'un seul œil lorsque le regard est fixé vers un point éloigné (Bear *et al.*, 2007a). Cet espace est calculé en degrés d'angle visuel. Le champ visuel complet représente l'espace visible quand les deux yeux regardent droit devant (Bear *et al.*, 2007b). Chez un individu dont la vision est normale, le champ visuel couvre plus ou moins 180 degrés. Lorsqu'un individu fixe le regard sur un point face à lui, une ligne verticale passant par ce point diviserait l'espace visuel en deux moitiés, droite et gauche. Par définition les objets situés à gauche de la ligne de partage se trouvent dans l'hémichamp visuel gauche, et vice-versa (Bear *et al.*, 2007b). Les axones des cellules ganglionnaires de chaque rétine, chargés de la détection des stimuli visuels dans

The diagram illustrates the visual pathway. At the top, a stick figure and a man in a suit are shown in the 'Left visual field' and 'Right visual field' respectively, separated by a '+' sign. Light from these fields enters the eyes, which are labeled 'Temporal' and 'Nasal'. The optic nerves lead to the 'Optic chiasm'. From there, the pathway splits into two main routes: one through the 'Lateral geniculate nucleus' and 'Superior colliculus' to the 'Visual cortex' (labeled 'Visual cortex' at the bottom right), and another through the 'Pulvinar nucleus' and 'Amygdala' (labeled 'Amygdala' and 'Pulvinar nucleus' on the left). The 'Optic radiation' is also labeled. The diagram uses color-coding: blue for the temporal pathway and red for the nasal pathway.

4.2.4. Déroulement d'un essai

57

d'indiquer le plus rapidement possible si/quand les deux personnages tournent dans le même sens. Le sens de rotation du personnage non-bistable latéral est horaire dans 50% des essais et antihoraire dans les 50 autre %. La Figure 14 illustre une séquence de deux essais.

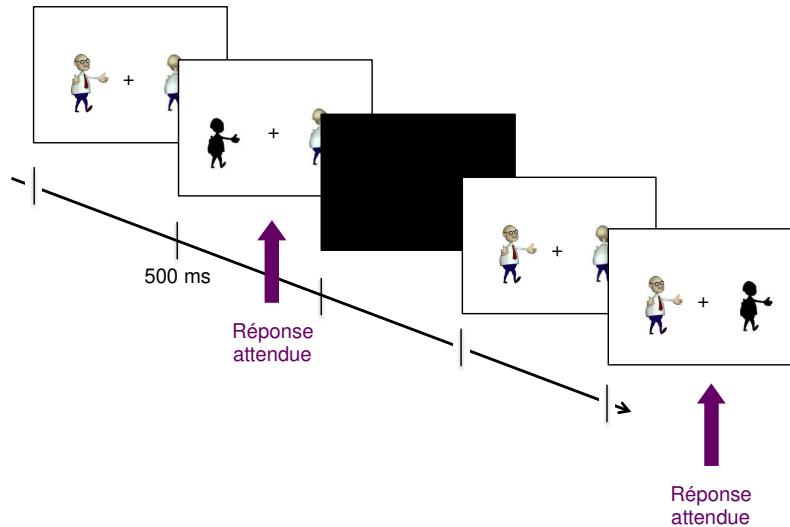


Figure 15. Test de Kayahara. Représentation d'une séquence de deux essais

4.2.5. Calcul du biais attentionnel

Le biais attentionnel mesuré par le test de Kayahara évaluait si le délai moyen nécessaire avant que l'influence du personnage non-bistable latéral s'exerce sur le personnage bistable était différent en fonction que le personnage non-bistable latéral était placé à droite ou à gauche sur l'écran (Figure 15). Il était calculé en mesurant la différence entre les temps de réponse moyens quand le personnage non-bistable latéral était placé à droite versus à gauche de l'écran, divisé par la somme des deux. Le biais attentionnel pouvait être compris entre -1 et 1. Une valeur positive indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace droit alors qu'une valeur négative indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace gauche. Une valeur de 0 indiquait une absence de biais attentionnel en faveur d'un espace particulier.

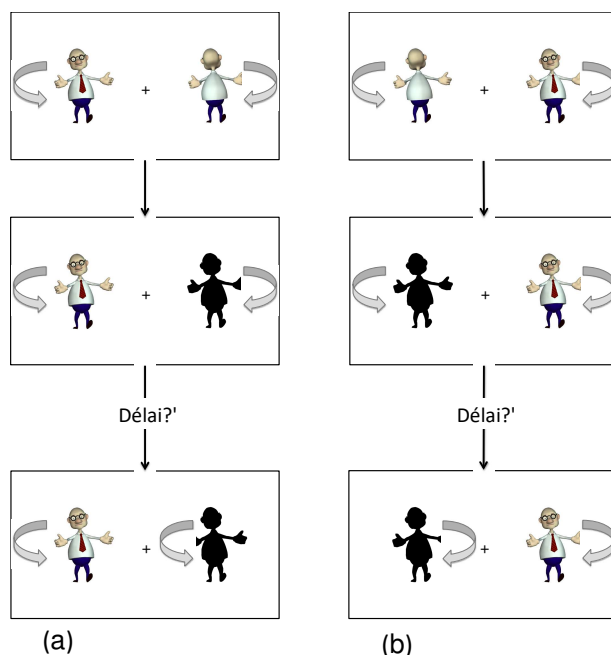


Figure 16. Test de Kayahara : calcul du biais attentionnel

Le biais attentionnel reflète la différence entre le niveau d'influence du personnage non-bistable latéral quand celui-ci est placé dans l'hémiespace visuel droit (a) ou gauche (b).

4.3. Performances des sujets au test

4.3.1. Matériel et méthode

4.3.1.1. Participants

Quatorze des quinze participants inclus dans l'Expérience 1 ont pris part à cette expérience (neuf femmes, âge : 20-55 ans, âge moyen: 29 ans). Tous étaient droitiers, tels que confirmés par l'Index de Latéralité manuelle d'Edinburgh (Oldfield, 1971), avaient une vision normale ou corrigée, et ne présentaient aucun antécédent de troubles neurologique ou psychiatrique.

4.3.1.2. Appareillage

Les stimuli étaient présentés sur un ordinateur de 17 pouces d'une résolution de 1024 x 768 pixels, avec un taux de rafraîchissement de 85 Hz. Les stimuli étaient présentés à l'aide du logiciel E-Prime (version 2.0, Psychology Software Tools, Inc.). Les participants étaient installés dans une chaise, à environ 80 cm de l'écran. Aucun repose-menton n'était utilisé pour maintenir la position de la tête du sujet. L'étude a été réalisée dans une cabine insonorisée. Les réponses étaient recueillies au moyen d'une souris d'ordinateur.

4.3.1.3. Stimuli et Procédure expérimentale

Chaque essai commençait avec la présentation de deux personnages non bistables tournant dans des directions opposées (0,5Hz). Les deux personnages étaient présentés au même moment et à droite versus à gauche de l'écran. Après un cycle de rotation (environ 1 seconde), aléatoirement le personnage non bistable de droite ou de gauche se transformait en personnage bistable. Les participants avaient pour consigne de maintenir leur regard sur une croix de fixation située au centre de l'écran (entre les deux personnages) et d'appuyer sur le bouton gauche de la souris, si et dès qu'ils percevaient les deux personnages tourner dans le même sens (Figure 16). Les sujets avaient un temps limite d'environ 5 secondes pour répondre (équivalent à 4 cycles). Le test comprenait deux blocs de 20 essais dans lesquels les sujets devaient répondre, soit avec la main droite, soit avec la main gauche. Chaque bloc comprenait 10 essais pour lesquels le personnage bistable était présenté à gauche de l'écran, et 10 essais pour lesquels il était présenté à droite de l'écran. Le sens de rotation du personnage explicite latéral était horaire pour 50% des essais et antihoraire pour les 50 autres %. L'ordre des blocs était randomisé entre les participants. Le bouton gauche de la souris permettait d'enregistrer les réponses de la main droite et le bouton droit celles de la main gauche. Le biais attentionnel était calculé en mesurant la différence entre les temps de réponse moyens quand le personnage non-bistable latéral était placé à droite versus à gauche de l'écran, divisé par la somme des deux. Le biais attentionnel pouvait être compris entre -1 et 1. Une valeur positive indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace droit alors qu'une valeur négative indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace gauche. Une valeur de 0 indiquait une absence de biais attentionnel en faveur d'un espace particulier. Les participants étaient informés du caractère réversible du stimulus bistable.

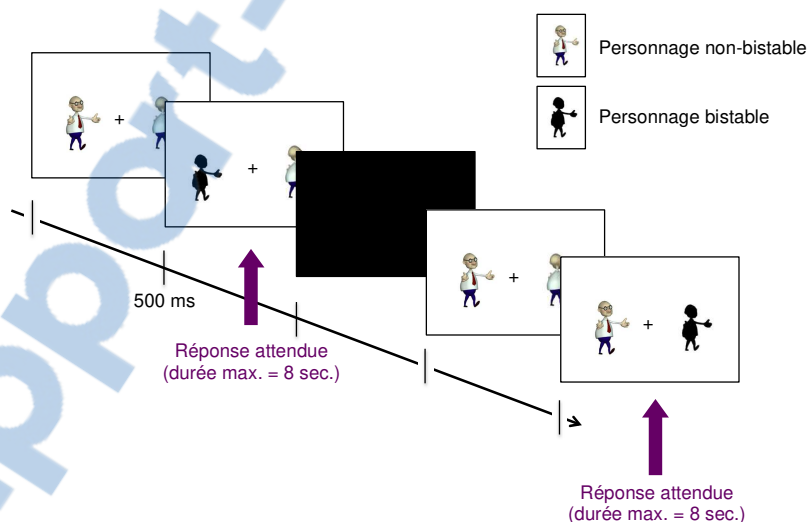


Figure 17. Test de Kayahara : représentation d'une séquence de deux essais et durée des essais

4.3.2. Méthode d'analyses

4.3.2.1. Variables

Les variables dépendantes étaient la proportion de réponses moyenne (en %) et le temps de réponse moyen (en ms); c'est-à-dire, le délai moyen nécessaire pour que le participant observe les deux personnages (bistable et non bistable latéral) tourner dans le même sens. Les variables indépendantes étaient : la POSITION du personnage non-bistable latéral (côté droit de l'écran versus côté gauche de l'écran) et la MAIN utilisée pour répondre (main droite versus main gauche).

4.3.2.2. Hypothèses opérationnelles

La première hypothèse était que la proportion de réponses moyenne (en %) devrait être significativement plus importante et/ou le temps de réponse moyen (en ms) significativement plus court lorsque le personnage non-bistable latéral est placé à gauche de l'écran que lorsqu'il est placé à droite. La deuxième hypothèse était que la proportion de réponses moyenne (en %) et/ou le temps de réponse moyen (en ms) devrait être significativement différent en fonction que la réponse est donnée avec la main gauche ou la main droite.

4.3.2.3. Méthode statistique

Une ANOVA à mesures répétées à deux facteurs a été utilisée afin de mesurer l'effet de la Position du personnage non-bistable latéral et de la Main utilisée pour répondre sur le temps de réponse moyen. Une deuxième ANOVA à mesures répétées à deux facteurs a été utilisée afin de mesurer l'effet de la Position du personnage non-bistable latéral et de la Main sur la proportion de réponse. Les ANOVA comprenaient les facteurs intrasujets suivant : POSITION du personnage non-bistable latéral [deux niveaux: côté droit de l'écran versus côté gauche de l'écran], et MAIN [deux niveaux: main droite versus main gauche]. Les différences étaient considérées comme significatives au seuil $p < 0,05$. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec la version 22,0 du logiciel SPSS pour Macintosh (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

4.3.2.4. Traitement des valeurs « extrêmes »

Les valeurs extrêmes (ou aberrantes) représentent des observations ou des mesures considérées comme suspectes parce qu'elles sont beaucoup plus faibles ou élevées que la vaste majorité des observations (Cousineau et Chartier, 2010). Ces observations sont problématiques, car elles peuvent ne pas représenter le phénomène que l'on cherche à évaluer (Cousineau et Chartier, 2010), et peuvent fausser les résultats en augmentant de manière artificielle la moyenne du groupe par exemple. L'influence de telles observations serait d'ailleurs d'autant plus importante que le nombre d'essai dans l'étude est faible (Cousineau et Chartier, 2010). Plusieurs auteurs s'accordent pour dire que les observations considérées comme aberrantes devraient simplement être éliminées des données (e.g., Cousineau et Chartier, 2010; Leys *et al.*, 2013; Miller, 1991; Simmons *et al.*, 2011). Cependant, une des difficultés est qu'il n'existe aucun consensus vis-à-vis de la méthode à utiliser pour déterminer si une observation doit être considérée comme

aberrantes ou non (Cousineau et Chartier, 2010). Puisque classiquement une observation est considérée comme extrêmes lorsqu'elle est inférieure ou supérieure à 2, 2,5 ou 3 écart-types (Cousineau et Chartier, 2010; Leys *et al.*, 2013), un seuil de 2,5 écart-type a été utilisé dans la présente étude. Dans la présente étude, les essais pour lesquels le temps de réponse était supérieur à 2,5 fois l'écart-type par rapport à la moyenne du groupe ont ainsi été exclus.

4.3.3. Résultats

Les essais avec erreur (non-réponse) ont été exclus des analyses (soit 0,5% des données totales). Par ailleurs, tel qu'expliqué précédemment, les essais, pour lesquels le temps de réponse était supérieur à 2,5 fois l'écart-type par rapport à la moyenne du groupe ont été également exclus.

4.3.3.1. Proportion de réponses

En moyenne, et quel que soit les conditions (*i.e.*, position du personnage non-bistable latéral et main utilisée pour répondre), les sujets ont répondu dans 46,7% des essais. Le calcul du biais attentionnel et du temps de réponse a donc été mesurés sur environ 18 essais, pour chaque participant.

L'ANOVA n'a révélé aucun effet principal de la Main utilisée pour répondre, $F(1, 14) = 0,82$; $p = 0,38$; $\eta^2 = 0,06$, ni de la Position du personnage non-bistable latéral, $F(1, 14) = 2,8$; $p = 0,12$; $\eta^2 = 0,17$; sur la proportion de réponses moyenne. Aucune interaction significative entre ces facteurs n'a été trouvée, $F(1, 14) = 0,49$; $p = 0,5$; $\eta^2 = 0,03$.

4.3.3.2. Temps de réponse

Le Tableau 6 présente le temps de réponse moyen de chaque sujet en fonction de la position spatiale du personnage non-bistable latéral et de la main utilisée pour répondre. Le temps de réponse moyen, quel que soit la condition était de 2525 ms. Ce qui signifie qu'il fallait en moyenne 2,5 secondes pour que l'influence du personnage non-bistable latéral sur le personnage bistable s'exerce.

L'ANOVA n'a révélé aucun effet principal de la Main utilisée pour répondre, $F(1, 12) = 4,5$; $p = 0,06$; $\eta^2 = 0,27$; ni de la Position du personnage non-bistable latéral, $F(1, 12) = 0,27$; $p = 0,61$; $\eta^2 = 0,02$; sur le temps de réponse moyen. Par ailleurs, aucune interaction significative entre ces facteurs n'a été trouvée, $F(1, 12) = 2,24$; $p = 0,16$; $\eta^2 = 0,16$.

Tableau 6. Temps de réponse moyenne au test de Kayahara en fonction de la position du personnage non-bistable latéral et de la main utilisée pour répondre

Sujet	Main gauche		Main droite	
	Position gauche	Position droite	Position gauche	Position droite
1	1602	1818	2040	2539
2	dm	4034	2704	3404
3	2582	2185	2405	2152

4	3650	3598	4327	3765
5	2172	1697	2472	1474
6	2806	3271	3238	3197
7	1371	2398	1683	2201
8	3746	3313	3365	3572
9	2069	2395	2486	2869
10	2614	2786	2776	2962
11	1993	2185	1854	1956
12	2790	3186	2551	2867
13	1170	952	1680	1210
14	1549	2235	2556	2282
15	4456	dm	2152	1799
Moyenne	2469	2575	2552	2550
Écart-type	968	836	698	768

Note. dm = donnée manquante

4.3.3.3. Biais attentionnel

Le biais attentionnel moyen pour l'ensemble des sujets était de 0 ($ET = 0,13$). En considérant uniquement la magnitude de la réponse, c'est-à-dire, indépendamment de la direction du biais, le score moyen était de 0,1 ($ET = 0,07$), indiquant un biais en faveur de l'espace droit. Le biais attentionnel minimum était de 0,02 et le biais maximum de 0,24 (en faveur de l'espace droit). La Figure 17 présente le biais attentionnel moyen mesuré pour chacun des sujets. La figure montre que sur les 15 sujets, 9 ont un biais en faveur de l'hémi-espace visuel gauche et 6 en faveur de l'hémi-espace visuel droit.

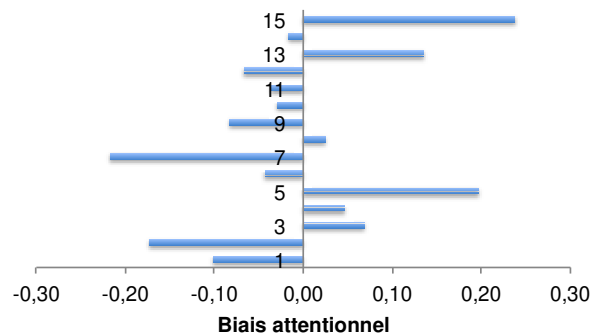


Figure 18. Variabilité interindividuelle du biais attentionnel mesuré au test de Kayahara.

Les valeurs négatives représentent un biais vers l'hémi-espace visuel gauche et les valeurs positives, un biais en faveur de l'hémi-espace visuel droit.

4.3.4. Discussion

L'objectif de l'expérience était, premièrement, de décrire un nouveau test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial développé à partir de l'illusion de Kayahara (objectif 3). Grâce à l'utilisation d'une forme non bistable du stimulus, nous avons démontré qu'il était possible de biaiser la perception des participants à l'illusion de Kayahara. Cette manipulation permettait par ensuite de développer un test mesurant des différences entre les temps de réaction pour des stimuli affichés à droite ou à gauche de l'écran, et détecter d'éventuelles asymétries entre les deux hémi-espace visuels.

L'expérience visait également à déterminer la valeur d'un biais attentionnel visuo-spatial caractéristique d'une population sans trouble neurologique et identifier la présence d'un éventuel biais attentionnel en faveur de l'hémi-espace gauche, caractéristique d'une dominance de l'hémisphère droit pour les processus attentionnels visuo-spatiaux (objectif 4). Contrairement à notre hypothèse, les résultats n'ont montré aucune influence de la position spatiale du personnage non-bistable latéral sur la proportion de réponse ou la rapidité de réponse. Ces résultats ne permettent donc pas de confirmer les résultats obtenus par d'autres auteurs suggérant une augmentation du niveau d'attention porté vers l'espace gauche chez les sujets sains, pour les tâches visuo-spatiales (e.g., Cicek *et al.*, 2009; Jewell et McCourt, 2000; McCourt et Jewell, 1999; Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). Le phénomène de pseudo-négligence ayant principalement été décrit à l'aide de tests de bissection, il est possible que la nature de la tâche utilisée dans cette étude explique notre incapacité à observer une dominance de l'hémi-espace gauche. Le test de Kayahara pourrait être moins sensible que les tests de bissection ou de Landmark pour mettre en évidence une telle asymétrie. Une deuxième explication pourrait être liée à la composante motrice impliquée dans la tâche. Par exemple, dans leur méta-analyse, Jewell et McCourt (2000) ont observé que l'incidence de la pseudo-négligence était plus importante dans les protocoles utilisant des choix forcés, tel que c'est le cas avec le test de Landmark, en comparaison avec une méthode nécessitant une réponse manuelle (*i.e.*, test de bissection). Cette distinction pourrait expliquer la discordance entre les études portant sur des tâches de détection visuelle ou de pointage de cible. Une troisième explication pourrait être liée au format de présentation du test. En effet, dans la majorité des études, le test de bissection utilisé était en format papier. Dellatolas *et al.* (1996) ont en effet démontré l'influence de présenter le test de bissection sous une forme informatisée ou papier. Les auteurs ont trouvé chez des sujets sains un biais dans des directions opposées lorsque la tâche était réalisée sur papier comparativement à lorsqu'elle était réalisée par ordinateur. Les auteurs expliquent cette contradiction par la différence existante dans la distance de présentation des stimuli par rapport au sujet. En effet, avec le test papier, les lignes sont présentées en général à une distance d'environ 30 cm du sujet, alors que sur ordinateur celle-ci avoisinerait les 60 cm. Cette hypothèse est étayée par Varnava *et al.* (2002) qui ont montré que la distance de présentation des stimuli modulait de manière significative les performances à la tâche de bissection de lignes. Plus spécifiquement, l'étude a montré un biais vers la gauche lorsque les lignes étaient présentées dans l'espace proche et un biais vers la droite lorsque les lignes étaient présentées dans un espace plus lointain. Ces études confirment les observations antérieures montrant des différences entre l'espace proche et lointain (e.g., Cowey *et al.*, 1994; Halligan et Marshall, 1991), et appuient l'hypothèse d'une dissociation fonctionnelle entre ces deux types d'espaces. Dans la présente étude, les stimuli étaient présentés à une distance moyenne de 80 cm des yeux des participants, ce facteur pourrait donc être une explication de nos résultats. Pour terminer, une dernière explication pourrait être la faible taille de notre échantillon. Ce facteur, couplé à une forte variabilité interindividuelle dans les réponses pourrait avoir, en effet, causé une erreur de type 2. Bien que de nombreuses études portant sur des tâches visuo-spatiales comportent moins de quinze sujets, il est possible, que dans notre cas, le test de Kayahara ne soit pas aussi sensible que d'autres tâches

pour montrer une telle différence. Augmenter la taille de l'échantillon ainsi que le nombre d'essais permettrait d'améliorer la puissance statistique.

Le dernier objectif de l'expérience 2, était de mesurer si la main utilisée pour répondre influençait les performances au test (objectif 5). Contrairement à notre hypothèse, les résultats n'ont pas montré d'influence de la main utilisée pour répondre sur la proportion de réponse ou la rapidité de réponse. Cependant, en ce qui concerne la rapidité de réponse, les résultats ont indiqué une valeur p marginale proche de 0,05, associée à une taille d'effet relativement grande. Ce résultat pourrait suggérer un manque de puissance statistique dû à la petite taille de l'échantillon. Il serait ainsi nécessaire de répliquer cette expérience en intégrant un échantillon plus important de sujets pour confirmer ou infirmer l'effet de la main utilisée pour répondre sur la rapidité de réponse.

Dans la littérature, l'influence de la main utilisée pour répondre sur les temps de réponse, dans les tâches visuo-spatiales, est un sujet débattu. Quelques études rapportent une absence d'asymétrie entre les mains droite et gauche (e.g., Carey *et al.*, 2015; Nisiyama et Ribeiro-do-Valle, 2014). La plupart des études rapportent cependant, soit un avantage en faveur de la main gauche (e.g., Barthelemy et Boulinguez, 2001; Barthelemy et Boulinguez, 2002; Boulinguez *et al.*, 2000; Hodges *et al.*, 1997; Johnstone et Carey, 2016) soit, moins fréquemment, de la main droite (e.g., Tremblay *et al.*, 2005). Concernant les études montrant un avantage de la main gauche, Barthelemy et Boulinguez (2001) ont montré par exemple, chez des sujets droitiers, que le temps de réaction était plus faible avec la main gauche, dans des tâches de détection visuelle et de pointage d'objets. Selon une autre étude des mêmes auteurs, les temps de réaction seraient également plus courts pour les stimuli présentés dans l'hémi-espace ipsilatéral comparativement à ceux présentés dans l'hémi-espace controlatéral (Boulinguez *et al.*, 2000). La dominance de la main gauche dans les tâches de pointage et de détection visuelle a été confirmée par plusieurs études (e.g., Barthelemy et Boulinguez, 2002; Hodges *et al.*, 1997; Johnstone et Carey, 2016; Mieschke *et al.*, 2001; Neely *et al.*, 2005).

Parmi les études montrant un effet de dominance de la main droite pour les tâches visuo-spatiales (Hodges *et al.*, 1997; Mieschke *et al.*, 2001; Tremblay *et al.*, 2005), il semblerait que cet avantage soit davantage associé à un meilleur temps d'exécution des mouvements. De ce fait, chez les sujets droitiers, la main gauche montrerait un avantage sur la main droite pour réagir aux stimulations visuelles, alors que la main gauche serait plus rapide pour exécuter les mouvements orientés vers un stimulus. Cette asymétrie est attribuée par les auteurs à la spécialisation de l'hémisphère droit pour le traitement des informations visuo-spatiales, à l'allocation de l'attention et à sa supériorité pour la planification du mouvement. Cette hypothèse pourrait expliquer la raison pour laquelle l'ajout de distracteurs a un impact plus important sur les performances lorsque la main gauche est utilisée pour répondre (e.g., Hodges *et al.*, 1997). La supériorité de la main droite est interprétée par Hodges *et al.* (1997) comme reflétant une dominance de l'hémisphère gauche pour l'exécution des mouvements. Une seconde raison, outre la taille de l'échantillon, pouvant expliquer que nous n'ayons pas détecté d'effet dans la présente expérience pourrait être la nature de notre tâche impliquant un traitement bilatéral

des informations visuelles, cet effet de compétition pourrait diminuer l'éventuelle asymétrie en faveur de l'hémi-espace gauche.

La limite principale de la présente expérience est la petite taille de l'échantillon, tel que discuté. Les études dans le domaine utilisant des échantillons parfois beaucoup plus petits, nous pensions qu'un échantillon de quinze participants serait suffisant pour cette étude exploratoire. La complexité des mécanismes en jeu dans cette tâche et la variabilité interindividuelle existante nécessiteraient certainement un échantillon beaucoup plus grand pour tester l'effet de facteurs tel que la main de réponse ou l'asymétrie entre les hémi-espaces gauche et droit. Une deuxième limite est l'effet potentiel de certaines variables sur nos résultats, tel que le maintien du regard sur la croix de fixation tout au long des essais ou la distance des sujets par rapport à l'écran.

Discussion générale

Ce projet de mémoire présente une nouvelle forme de test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial basé sur une adaptation de l'illusion optique de la ballerine, développé par Nobuyuki Kayahara (*cf.* Troje et McAdam, 2010). Nous pensions que la nature relativement automatique des processus sur laquelle repose cette tâche permettrait le développement futur potentiel d'un nouvel outil de mesure du biais attentionnel visuo-spatial complémentaire aux tests déjà existants. Le présent chapitre présente une synthèse des différents résultats observés dans cette étude exploratoire. Il discute également des limites principales du projet et propose quelques perspectives.

La première étape du projet était de décrire la perception spontanée de sujets sains face à l'illusion de Kayahara (objectif 1) et de mesurer si le mode de présentation du stimulus influençait le nombre de réversions perceptives (objectif 2). La deuxième étape était de développer et décrire le test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial créé à partir de l'illusion de Kayahara (objectif 3), de déterminer la valeur d'un biais attentionnel visuo-spatial caractéristique d'une population sans trouble neurologique et d'identifier la présence d'un éventuel biais en faveur de l'hémi-espace gauche (objectif 4), ainsi que de mesurer si l'effet de la main utilisée pour répondre influençait les performances au test (objectif 5).

5.1. Synthèse des résultats

Les résultats ont montré dans la première expérience que lorsque le stimulus était présenté de manière continue le nombre de changements perceptifs spontanés avec l'illusion de Kayahara était inférieur au nombre reporté dans la littérature avec d'autres formes de stimulus bistables (*e.g.*, Leopold *et al.*, 2002; Maier *et al.*, 2003). Cependant, de manière consistante avec ces études, il a été observé que la proportion de réversions tendait à diminuer quand le stimulus était présenté de manière intermittente. Les résultats ont montré également qu'une même interprétation semblait dominer à travers les essais pour la plupart des participants. Modifier la position de départ du stimulus, d'un essai à l'autre, permettait toutefois de diminuer significativement cet effet. Ces résultats suggèrent que la persévération perceptive, initialement observée, ne reflétait pas une préférence individuelle pour une interprétation particulière (*ex. le sens horaire*) mais provenait de l'effet d'influence de l'essai précédent. Ces résultats suggèrent également l'implication de processus mnésiques sensoriels dans cette tâche.

L'expérience 2 a démontré d'ailleurs que l'interprétation du stimulus bistable pouvait être biaisée par la présentation d'une amorce partageant les mêmes caractéristiques de forme, de taille et de vitesse, mais dont le sens de rotation est explicite. Cet effet d'amorçage était fort chez tous les sujets sauf un, avec plus de 90% des essais biaisés dans le sens de l'amorce. Ces résultats semblent confirmer que l'effet de persévération perceptive observée dans l'expérience 1 résultait plus probablement d'un effet de persistance mnésique plutôt qu'une préférence des sujets pour une interprétation spécifique. Par ailleurs, cette expérience montra également que l'effet d'amorçage pouvait être renversé

à son tour par l'influence spatiale d'un autre stimulus non bistable présenté latéralement, et en même temps, que le stimulus bistable. En utilisant ce design, moins de la moitié des sujets exprimaient une persévération perceptive.

Pris dans leur ensemble, les différents résultats de cette étude suggèrent que l'illusion de Kayahara est un stimulus pouvant être adapté en vue d'évaluer l'existence de biais attentionnel visuo-spatial. Des études sur les performances de ce test chez des sujets atteints de NSU permettra de vérifier cette hypothèse. Avant cette étape de validation clinique, des études additionnelles chez les sujets sains permettront tout d'abord de mieux caractériser les effets de l'illusion chez les sujets sains. Des études seront également nécessaires afin de déterminer le seuil caractérisant des performances pathologiques au test. Dans cette perspective, il semble également important d'investiguer les mécanismes neurologiques impliqués dans l'illusion de Kayahara, et identifier si ces mécanismes sont similaires aux autres figures bistables. Ces observations permettront de mieux prédire le comportement de patients hémiparétiques. Comme nous le verrons dans la section suivante, les mécanismes neurologiques impliqués dans les phénomènes de perception bistable font encore aujourd'hui l'objet de débat.

5.2. Discussion à propos des mécanismes neurologiques impliqués dans les phénomènes de perception bistable

Pour comprendre les différences entre les études présentées dans la littérature et les différences inter- et intra-individuelles il est indispensable de comprendre les mécanismes neurologiques sous-tendant le traitement de ce type de stimuli. A l'heure actuelle, ces mécanismes restent cependant largement inconnus (Eagleman, 2001). Par ailleurs, il n'est pas clair si les différentes formes de figures bistables partagent les mêmes mécanismes (Meng et Tong, 2004). Nous verrons et discuterons dans les sections suivantes des principaux résultats issus de la littérature traitant des mécanismes responsables des changements perceptifs associés au phénomène de perception bistable.

5.2.1. Apport des études des patients cérébrlésés

Les premières données portant sur les mécanismes responsables des changements perceptifs dans les phénomènes de perception bistable proviennent des études des patients cérébrlésés. Ricci et Blundo (1990) ont montré par exemple que les patients frontaux lésés avaient significativement plus de difficulté à identifier la seconde interprétation d'une figure bistable, comparativement aux sujets sains et aux sujets présentant une lésion du cortex pariétal. Les performances des sujets s'amélioraient cependant lorsque l'expérimentateur leur indiquait le nom de l'image à identifier. Les auteurs n'ont trouvé aucune différence entre les groupes fronto-lésés droits et gauches. Contrairement à ces derniers auteurs, Meenan et Miller (1994) ont montré que seul les patients cérébrlésés droits montraient significativement plus de difficulté à percevoir la deuxième interprétation, comparativement aux sujets sains et aux sujets cérébrlésés gauches. Les auteurs ont utilisé une tâche similaire. Dans une étude plus récente, Windmann et

al. (2006) mesurèrent la capacité de patients présentant des lésions focales du cortex préfrontal à maintenir une interprétation dominante ou, au contraire, à induire le plus de changements possibles. Les résultats ont montré que ces patients présentaient un taux de changements perceptifs équivalents aux sujets contrôles et que leurs performances pour maintenir une interprétation dominante le plus longtemps possible était équivalente. Cependant, ils avaient significativement plus de difficultés à induire des changements. Selon les auteurs, ces résultats suggèrent que les atteintes du cortex préfrontal impacteraient le contrôle volontaire des changements perceptifs.

5.2.2. Apport des études de neuroimagerie

Le développement des méthodes de neuroimagerie a également permis d'identifier, chez des sujets sans troubles neurologiques l'implication de plusieurs autres régions cérébrales dans les changements perceptifs. Les principales sont les cortex visuels extrastriés (*e.g.*, Hsieh *et al.*, 2006; Hsieh et Tse, 2009, 2010; Lumer *et al.*, 1998; Meng *et al.*, 2005) et striés (*e.g.*, Hsieh *et al.*, 2006; Hsieh et Tse, 2010; Polonsky *et al.*, 2000), et le lobule pariétal supérieur (*e.g.*, Lumer *et al.*, 1998; Megumi *et al.*, 2015; Vernet *et al.*, 2015). En outre, de plus en plus d'évidences indiquent que des réseaux neuronaux impliquant les lobes frontaux et pariétaux seraient responsables d'initier les altérations perceptives en envoyant des signaux top-down guidant l'activité du cortex visuel en faveur d'une représentation ou d'une autre (*e.g.*, Leopold et Logothetis, 1999; Meng et Tong, 2004; Sterzer et Rees, 2008). Kanai *et al.* (2010) ont également démontré une corrélation entre l'épaisseur et le volume de la substance grise corticale du lobule pariétal supérieur avec la fréquence des changements perceptifs.

5.2.3. Apport des études de neurostimulation

La réapparition et le développement ces dernières années des techniques de stimulation cérébrales non-invasives permet aujourd'hui de déterminer des relations de causalité entre des régions corticales spécifiques et des fonctions ou des comportements donnés (Miniussi *et al.*, 2013). La stimulation magnétique transcrânienne permet, dans l'étude du phénomène de perception bistable, de mesurer l'effet de l'activation ou de l'inhibition transitoire des régions corticales spécifiques sur la fréquence des changements perceptifs. La plupart des études de TMS, suggèrent l'implication de plusieurs régions pariétales distinctes. Des discordances existent cependant en ce qui concerne les régions spécifiquement impliquées. Kanai *et al.* (2010) montrèrent que l'inhibition transitoire du lobule pariétal supérieur, au niveau de l'hémisphère droit ou gauche, diminuait significativement le taux de changements perceptifs comparativement à la condition contrôle. Cet effet était plus marqué pour le lobule pariétal supérieur droit. À l'aide du même type de stimulation mais d'un stimulus différent, Carmel *et al.* (2010) observèrent des effets opposés à ceux obtenus par Kanai *et al.* (2010). Plus spécifiquement, les résultats ont montré que l'inhibition du cortex pariétal supérieur droit, tel que décrit par les auteurs, qui comprend les lobules pariétaux supérieur et inférieur, entraînait à l'opposé des résultats de Kanai *et al.* (2010) une augmentation de la fréquence des changements. Kanai *et al.* (2011) ont identifié

plus tard l'existence de zone distinctes au sein du lobule pariétal supérieur jouant des rôles opposés et expliquant certainement les discordances entre ces deux études. Plus spécifiquement, les auteurs démontrèrent que l'application d'une stimulation TMS inhibitrice, au niveau de la partie la plus antérieures du lobule pariétal supérieur droit, correspondant au site sélectionné par Carmel *et al.* (2010), augmentait la fréquence des changements. Au contraire, l'inhibition transitoire de la partie la plus postérieure, diminuait la fréquence des changements. La tâche utilisée était la même que dans Kanai *et al.* (2010). Selon les auteurs, la partie antérieure du lobule pariétal supérieur aurait ainsi un rôle stabilisateur, alors que la partie postérieure serait responsable des changements perceptifs. L'étude de Kanai *et al.* (2011) étayent d'autres études suggérant que des figures bistables différentes impliquent des mécanismes similaires (Lumer *et al.*, 1998). Les résultats de Kanai *et al.* (2010) sont cependant en désaccord avec les observations faites par d'autres auteurs (Zaretskaya *et al.*, 2010). Zaretskaya *et al.* (2010) montrèrent en effet, que l'application de trains de stimulation TMS inhibitrice au niveau d'une zone proche du lobule pariétal supérieur droit réduisait la fréquence des changements perceptifs. L'effet était plus important pour l'hémisphère droit que l'hémisphère gauche. Il est à noter que dans cette étude, la stimulation était administrée pendant la tâche. Ce type de protocole, dit *on-line*, pourrait avoir influencé l'effet modulation de la stimulation (Kanai *et al.*, 2011).

Outre l'implication du cortex pariétal, plusieurs études TMS suggèrent l'implication de régions situées dans le cortex préfrontal. de Graaf *et al.* (2011) montrèrent par exemple que l'inhibition du cortex préfrontal dorsolatéral impactait le contrôle volontaire des changements perceptifs, c'est-à-dire la capacité et la rapidité à induire des changements. Cette stimulation n'avait pas d'effet sur les changements perceptifs passifs. Les stimulations du cortex pariétal ou d'une région associée au traitement des mouvements visuels n'avaient pas d'impact. Cette étude suggère que le cortex préfrontal dorsolatéral serait impliqué dans le contrôle volontaire des changements perceptifs (ex. vitesse de changement) mais pas dans le contrôle passif. Ces résultats contrediraient les observations faites par Meenan et Miller (1994) et Ricci et Blundo (1990), chez les patients cérébrolésés frontaux, suggérant que ces patients présentent des difficultés à initier des changements perceptifs et percevoir l'interprétation alternative, et celles de plusieurs auteurs en TMS (Carmel *et al.*, 2010; Kanai *et al.*, 2010; Kanai *et al.*, 2011; Vernet *et al.*, 2015). Elles confirmeraient cependant les conclusions de Windmann *et al.* (2006).

Plus récemment, Vernet *et al.* (2015) ont cherché à mettre en évidence l'existence d'une interaction entre la partie antérieure du lobule pariétal supérieur et le cortex préfrontal dorsolatéral. Ils ont spécifiquement cherché à mesurer si l'inhibition du DLPFC permettait d'annuler l'effet perturbateur préalable au niveau du lobule pariétal supérieur. En utilisant une tâche similaire aux cubes de Necker, les auteurs ont observé une augmentation des changements perceptifs (passifs) lors de l'inhibition de la partie antérieure du lobule pariétal supérieur, confirmant ainsi les observations de Carmel *et al.* (2010) et Kanai *et al.* (2010). Par ailleurs, les résultats ont montré que la perturbation de cette région pouvait être abolie lors de l'application d'une stimulation inhibitrice au niveau du cortex préfrontal dorsolatéral 10 ms plus tard. Ces derniers résultats confirmeraient le rôle du cortex préfrontal dorsolatéral dans le

déclenchement des changements perceptifs, en accord avec des observations faites chez les patients cérébrolésés (Meenan et Miller, 1994; Ricci et Blundo, 1990). Les auteurs concluent que la partie antérieure du lobule pariétal postérieur jouerait un rôle stabilisateur de la perception, en favorisant la persévération perceptive, alors que le cortex préfrontal dorsolatéral déclencherait les changements perceptifs ou modulerait l'activité du lobule pariétal postérieur. Ainsi, lorsque le monde visuel est ambigu la partie antérieure du lobule pariétal supérieur permettrait une stabilisation endogène de la perception. Les cortex pariétal et préfrontal étant liés, un signal du cortex préfrontal vers le lobule postérieur permettrait de diminuer le rôle stabilisateur de cette région et d'induire un changement perceptif. Les auteurs suggèrent par ailleurs que la stabilité passive de la perception pourrait dépendre de circuits fronto-pariétaux, alors que le contrôle volontaire toucherait davantage l'activité du cortex préfrontale, en adéquation avec les observations de de Graaf *et al.* (2011). Dans cet article, les auteurs ne discutent cependant pas du rôle potentiel de la partie postérieure du lobule pariétal supérieur dans les changements perceptifs. Il reste en effet à déterminer quelles sont les différences entre la région postérieure du lobule pariétal supérieur et les DLPFC dans le déclenchement des changements perceptifs? Une critique pouvant être adressée aux études réalisées en TMS est l'absence de consensus en ce qui concerne la méthode utilisée pour localiser la région à stimuler. En effet, certains auteurs utilisent les IRM anatomiques des participants assisté par l'utilisation d'un système de neuronavigation, alors que d'autres choisissent de se référer au système général de coordonnées d'électroencéphalographie internationale 10/20. Ces différences rendent difficile la comparaison entre les études, et sont certainement à l'origine de discordances entre plusieurs études. De la même manière, les termes utilisées pour référer à une région anatomique, étudiée ou stimulée, sont très disparates.

5.3. Pris dans leur ensemble ces différentes études suggèrent que des régions corticales distinctes, impliquant principalement le lobe frontal et le lobe pariétal, sont impliquées dans les changements perceptifs associés aux phénomènes de perception bistable. Les mêmes régions pourraient être impliquées pour les différentes formes de figures bistables, mais cette question reste encore largement à être explorée. Un autre élément à déterminer est si ces régions engendre elle-même les changements perceptifs ou si elles influencent la perception en modulant l'activité de d'autres régions, telles que les aires visuelles. Quel qu'en soit la réponse, il semble clair que le phénomène de perception bistable implique l'interaction de régions corticales distinctes. Cette hypothèse est étayée par les études réalisées chez le singe démontrant l'existence de larges faisceaux de substance blanche reliant les lobes frontaux, pariétaux, occipitaux. Les travaux de Schmahmann et Pandya (2006), par exemple, ont permis d'identifier que les connexions fronto-pariétales étaient organisées via de larges faisceaux de fibres orientées longitudinalement, désignés sous le terme de faisceau longitudinal supérieur (SLF). Ces faisceaux sont divisés en trois sous-branches. Le SLF I connecterait la région pariétale supérieure et le cortex pariétal médian adjacent avec l'aire prémotrice et l'aire motrice supplémentaire dans le lobe frontal. Le SLF II prend son origine dans la portion caudale du lobule pariétal inférieur (correspondant chez l'humain au gyrus angulaire) et l'aire occipitale et projette vers le cortex préfrontal dorsolatéral. Enfin, le SLF III connecte la portion rostrale du lobule pariétal inférieur (correspondant chez l'humain au

gyrus supra-marginal) avec l'aire prémotrice ventrale. Plusieurs études, incluant une étude de dissection post-mortem (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011), suggèrent une organisation similaire des projections pariéto-frontales chez l'humain (Catani *et al.*, 2002; Makris *et al.*, 2005; Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). Superposition des régions impliquées dans les perceptions bistables avec les réseaux attentionnels et implications

Plusieurs régions cérébrales associées aux changements perceptifs dans les phénomènes de perception bistable sont proches ou pourraient superposer des régions associées au traitement attentionnel (de Graaf *et al.*, 2011; Kanai *et al.*, 2010). Chez le sujet sain, le cortex pariétal postérieur, correspondant aux lobules pariétaux supérieurs et inférieurs, est classiquement associé au désengagement ou à la réorientation de l'attention visuo-spatiale (Corbetta *et al.*, 2000; Corbetta et Shulman, 2002; Corbetta *et al.*, 1995; Halligan *et al.*, 2003), particulièrement lorsque les stimuli sont saillants (Corbetta et Shulman, 2002) ou inattendus (Corbetta *et al.*, 2000; Corbetta et Shulman, 2002). Chez les patients cérébrólésés, le lobule pariétal supérieur pourrait être également associé à certaines formes de NSU (Revill *et al.*, 2011). Dans une étude couplant tractographie et stimulation électrique directe intra-opérative, Vallar *et al.* (2014) ont montré, dans une version informatisée du test de bissection de lignes, que l'inactivation du lobule pariétal supérieur entraînait une déviation vers la droite chez l'ensemble des sujets. L'inactivation du SLF II, reliant le lobule pariétal inférieur au cortex préfrontal dorsolatéral, entraînait également une déviation chez 6 des 7 sujets.

Ces différents résultats suggèrent que des régions proches ou communes pourraient être impliquées dans les processus d'allocation de l'attention visuo-spatiale et les changements perceptifs observés dans les phénomènes de perception bistable. Ces constatations ont d'ailleurs amené certains auteurs à se demander si les changements perceptifs observés avec les figures bistables n'étaient pas liés aux fonctions attentionnelles (*e.g.*, Schauer *et al.*, 2016). Selon cette hypothèse, le rôle stabilisateur associé à la partie antérieure du lobule pariétal supérieur pourrait ainsi s'expliquer par le fait que cette structure permet de maintenir l'attention. Cette hypothèse reste cependant à être étudiée. Par ailleurs, la seule étude semblant avoir étudié l'effet des différentes parties du lobule pariétal supérieur sur processus attentionnel a échoué à observer une différence entre ces deux régions (Schauer *et al.*, 2016).

Les différentes études présentées dans cette section et la section 5.2. suggèrent la pertinence, dans des études futures, de déterminer les mécanismes neurologiques impliquées dans l'illusion de Kayahara. Par ailleurs, la comparaison des résultats avec les données issues de la littérature pour d'autres figures bistables permettra d'établir si l'illusion de Kayahara partage des caractéristiques communes. Ces études aideront par ailleurs à mieux identifier les paramètres

permettant de maximiser l'effet de l'illusion dans l'optique d'une adaptation en test de mesure du biais attentionnel visuo-spatial. Il serait également intéressant d'étudier si le fait que le stimulus représente un personnage plutôt qu'un objet impact la perception.

5.4. Limites du projet et perspectives de recherche

5.4.1. Limites du projet

La principale limite de ce projet de recherche est certainement la taille des échantillons de participants, tel que discuté dans les chapitres 3 et 4. Bien que le nombre de sujets incluse dans chacune des expériences soit supérieures à la plupart des études portant sur les phénomènes de perception bistable, nos résultats suggèrent la nécessité de confirmer nos observations sur un échantillon plus large. Une seconde limite est l'absence de données en ce qui concerne les mouvements et les saccades oculaires. L'enregistrement de l'activité oculaire permet, entre autres, d'étudier la présence d'éventuelles stratégies d'exploration chez les participants. Un eye-tracker avait initialement été utilisé, malheureusement des problèmes techniques ont rendu non disponible une large partie de ces données (ex. impossibilité de calibrer l'appareil du au port de lentille de contact ou de lunette, perte de l'enregistrement au cours de la tâche). L'enregistrement de l'activité oculaire dans des études futures permettra de déterminer, pour l'illusion de Kayahara, si la fréquence des changements perceptifs est corrélée avec le type de stratégie exploratoire utilisée. Il permettra également de mesurer la présence éventuelle de différences entre des participants sans troubles neurologiques et les patients atteints de NSU. Pour finir, l'enregistrement de l'activité oculaire permettra de déterminer si les stratégies d'exploration à l'illusion ou au test de Kayahara sont semblables aux stratégies observées avec, respectivement, d'autres figures bistables, ou d'autres tests de NSU. Une troisième limite de ce projet de recherche, est le fait que la distance entre les participants et l'ordinateur, et la fréquence de rafraichissement étaient différentes entre les expériences 1 et 2. L'expérience 2 faisant partie initialement d'une étude plus large, pour lesquels les paramètres choisis étaient nécessaires. Il serait donc pertinent de reproduire cette étude en utilisant le même matériel entre les deux études afin de vérifier les résultats.

5.4.2. Perspectives de recherche

Deux perspectives de recherche principales peuvent être envisagées. Premièrement, de nombreuses questions restent encore en suspens en ce qui concerne les mécanismes impliqués dans les phénomènes de perception bistables. Une première perspective pourrait ainsi être de développer l'étude de l'illusion de Kayahara et ainsi contribuer à expliquer les mécanismes impliqués dans ce phénomène. Il serait également intéressant d'étudier si les caractéristiques spécifiques de cette figure (ex. personnage plutôt qu'objet; tridimensionnalité; mouvement) affectent la bistabilité. Également, en lien avec les études de stimulation, il pourrait être intéressant d'étudier si l'inhibition de la partie postérieure du lobe pariétal supérieur diminue la fréquence des changements perceptifs tel que montré avec d'autres

figures ou stimulus bistables (Carmel *et al.*, 2010; Kanai *et al.*, 2011) et/ou si la stimulation de la partie antérieure l'augmente (Kanai *et al.*, 2010; Kanai *et al.*, 2011).

La deuxième perspective de recherche concerne le test de Kayahara. Bien que le présent projet puisse suggérer la pertinence d'utiliser ce test dans l'évaluation de biais attentionnel visuo-spatiaux et de NSU plusieurs étapes sont nécessaires en vue d'une validation de ce test. Tout d'abord, il est nécessaire de mieux caractériser ce test chez les sujets sains. Des études comportant un échantillon plus grand sont notamment nécessaires. Par ailleurs, il serait pertinent de déterminer l'effet de certaines variables associées au sujet sur les performances à ce test. C'est le cas de la latéralité manuelle, de dominance oculaire, des stratégies visuelles durant le test, pour ne citer que quelques exemples. Mesurer l'effet des caractéristiques du stimulus permettra également de mieux adapter le test à l'évaluation de biais attentionnel. Ces variables pourront inclure notamment, la durée de présentation de l'amorce, la vitesse de présentation du stimulus, la taille du stimulus, la distance entre les deux stimuli, ou le degré de saillance. Une autre question à explorer serait : pour quelle raison l'influence du personnage non bistable latérale ne se fait pas dans 100% des essais? Une fois ces questions répondues, il sera également nécessaire de déterminer la valeur d'un seuil pathologique indicatif de la présence d'un biais attentionnel visuo-spatial. Les étapes suivantes de validation consisteront à mesurer les performances du test de Kayahara sur un large échantillon de sujets atteints d'un syndrome de NSU et de comparer les performances de ce test avec des tests utilisés en cliniques, notamment des batteries de tests (e.g., la BIT). Pour terminer, il sera important d'étudier, chez les sujets sains et les sujets héminégligents, l'effet de la main utilisée pour répondre, dans la mesure où les patients présentent fréquemment, en plus des signes cognitifs, une hémiparésie.

Conclusion

Le présent projet avait pour objectif de développer et décrire un nouvel outil de mesure du biais attentionnel visuo-spatial. Il démontra, dans l'ensemble, que ce nouveau test pourrait éventuellement représenter un outil pertinent pour l'évaluation du syndrome de NSU. Nous suggérons que des études plus approfondies sont maintenant nécessaires pour déterminer la pertinence de ce nouveau test à devenir un test clinique de la mesure de la SNU.

ANNEXE 1 : Formulaires de consentement

Projet de recherche approuvé par
le comité d'éthique de la recherche de l'IRDPQ, 22 juin 2011

Page 1



FEUILLET D'INFORMATION

N° DU PROJET : 2011-225 (réservé à l'administration)

TITRE DU PROJET :

Évaluation des qualités métrologiques d'un test novateur de l'équilibre hémisphérique.
(participants du groupe contrôle)

RESPONSABLE :

Julien Voisin, erg., Ph.D. Université Laval, Département de Réadaptation, Québec, G1K 7P4 et
CIRRI 525 boul. Hamel Québec, QC G1V 2P3. Tél : (418) 529-9141, poste 6598.
Julien.voisin@rea.ulaval.ca

INTRODUCTION :

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche portant sur l'évaluation d'un nouveau test de mesure de l'équilibre hémisphérique, c'est-à-dire l'équilibre entre les deux hémisphères cérébraux. Cependant, **avant d'accepter de participer** à ce projet de recherche, veuillez **prendre le temps de lire**, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire d'information et de consentement vous explique le but du projet de recherche, les procédures, les avantages, les risques et les inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le formulaire d'information et de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable du projet et aux autres membres du personnel affecté au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer ce qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE :

Vous êtes invité à participer à un projet de recherche qui sera réalisé au sein de l'IRDPQ. Ce projet concerne un test expérimental de mesure de l'équilibre hémisphérique. Le but du projet est de démontrer l'efficacité de ce test, notamment dans la détection de troubles tels que l'hémiparésie. Nous voulons également le comparer avec les tests cliniques existants. Pour atteindre notre but, nous recrutons des participants atteints (40) ou non (45) d'une lésion cérébrale.

DÉROULEMENT DE L'ÉTUDE :

2009-09-25



APPROUVE	N° VERSION	DATE
<u>2</u>	<u>2012 05 22</u>	

Nous divisons les participants sans lésion cérébrale en deux groupes égaux. Si vous acceptez de participer à l'étude et que vous êtes tiré au sort pour faire partie du premier groupe, votre participation consistera en deux séances d'une durée chacune de 2 à 3 heures maximum, espacées d'une semaine d'intervalle. Durant les deux séances vous passerez des tests cliniques et le test expérimental avant et après une séance de stimulation transcrânienne magnétique ou électrique. Cela consiste à envoyer une impulsion magnétique ou un courant électrique pour stimuler le cerveau.

Si vous acceptez de participer à l'étude et que vous êtes tiré au sort pour faire partie du deuxième groupe, votre participation consistera en deux séances d'une durée d'environ 2h (3 heures maximum). Ces deux séances seront espacées d'un intervalle d'environ 3 mois. Durant ces séances vous passerez des tests cliniques et comportementaux accompagnés d'un électroencéphalogramme. Un électroencéphalogramme consiste à enregistrer sur la tête les petits courants électriques que votre cerveau produit naturellement.

Par ailleurs, nous enregistrerons également l'activité de votre cerveau en mesurant l'absorption de lumière par votre cerveau (imagerie optique).

Nous devons également obtenir certains renseignements pour pouvoir réaliser le projet de recherche. Il s'agit de votre âge et des renseignements suivants :

- historique familiale ou personnel d'épilepsie,
- prise de médication diminuant le seuil épileptique,
- présence d'implants (implant cochléaire, stimulateur cardiaque, pompe médicamenteuse, stimulateur, électrodes intracérébrales ou tout autre implant métallique),
- possibilité de grossesse,
- problèmes cardiaques sévères ou récents.

RISQUES POTENTIELS ET AVANTAGES POSSIBLES :

Il vous faut savoir que la stimulation magnétique transcrânienne présente un risque très faible mais non nul d'évoquer une crise d'épilepsie ou des symptômes avant-coureurs d'une crise d'épilepsie (nausée, maux de tête, pleurs), auquel cas votre participation sera interrompue et un rapport d'incident émis. Si cela arrivait, vous seriez immédiatement sécurisé par une personne formée aux interventions d'urgence. Par la suite, vous seriez accompagné par le chercheur responsable à l'urgence ou chez votre médecin traitant. Finalement, l'absence de conséquence à long terme serait documentée en lien avec votre médecin. Bien que ce risque soit faible il est essentiel de s'assurer que vous ne présentiez aucun facteur de risque particulier, ce qui est la raison pour laquelle nous avons besoin des renseignements énumérés ci-dessus.

Il n'existe aucun effet à long terme connu et les rares épisodes épileptiques rapportés n'ont jamais persistés par la suite.

Par ailleurs, la lumière infrarouge utilisée pour l'imagerie optique peut être dangereuse pour les yeux si regardée directement.

Il est peu probable que vous retiriez un avantage direct en participant à ce projet. Cependant, par votre participation vous contribuerez à l'avancement des connaissances dans le domaine de la réadaptation.

INCONVÉNIENTS PERSONNELS :

2009-09-25



Approuvé par	N° VERSION	DATE
<i>[Signature]</i>	2	20/20523

Les inconvénients principaux sont liés au déplacement et au temps de participation.

Dans le cas des stimulations magnétiques et électriques, il est possible que vous ressentiez une sensation d'inconfort lors des stimulations (bruit et muscles qui bougent sous l'étendue de peau sur la tête où poussent les cheveux, sensation de titillement). Dans de rares cas, la stimulation électrique a été associée à des céphalées ou des sensations nauséuses. Dans le cas de l'électroencéphalographie et de l'imagerie optique, vous serez amené à avoir les cheveux mouillés. Vous aurez cependant la possibilité de vous laver les cheveux après l'expérience, du shampoing ainsi que des serviettes étant prévus.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET RETRAIT DE LA PARTICIPATION :

Votre participation à ce projet est **volontaire**. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser d'y participer, sans avoir à donner de raison et sans risque de préjudice. Vous êtes également libre de cesser votre participation à n'importe quel moment, sans préjudice et sans explication. Vous recevrez alors quand même la compensation de 15\$ pour votre déplacement. Votre accord à participer implique également que vous acceptez que l'équipe de recherche puisse utiliser aux fins de recherches (articles, conférences et communications scientifiques) les données non nominatives obtenues grâce à votre participation.

CLAUDE DE RESPONSABILITÉ :

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou les institutions impliquées de leurs obligations légales et professionnelles.

QUESTIONS AU SUJET DE L'ÉTUDE :

Vous pourrez joindre en tout temps Julien Voisin, responsable du projet de recherche, au (418) 529-9141, poste 6798 ou par courriel au julien.voisin@rea.ulaval.ca. Pour des questions au regard de vos droits et recours ou sur votre participation au projet, vous pourrez communiquer avec M^{me} Johanne Trahan au 529-9141 poste 6036 (les frais d'interurbain seront remboursés sur présentation d'une pièce justificative, le cas échéant) ou par courriel à l'adresse suivante : isabelle.deaudelin@irdpq.qc.ca

INDEMNITÉ COMPENSATOIRE :

Il est possible que votre participation à ce projet vous occasionne des dépenses (exemple, frais de transport, frais relatif au parc de stationnement). Si vous acceptez de participer, nous vous versons une compensation financière en guise de dédommagement de 15 dollars par séance.

CONFIDENTIALITÉ, CONSERVATION ET UTILISATION DES RÉSULTATS :

Afin de participer à cette étude vous devrez accepter que les données recueillies soient versées à une banque de données. Le chercheur et son équipe respecteront la confidentialité dans les limites permises par la loi.

Nous nous engageons à respecter la confidentialité des renseignements recueillis. Afin de protéger votre identité, vous serez désigné(e) par un numéro de code connu du seul chercheur principal. La correspondance entre votre numéro de code et vos renseignements personnels sera conservé dans un local sous clef. Toutes les données obtenues seront dénominalisées (codées) aux fins des analyses.

Nous ne dévoilerons aucun renseignement sur vous à une personne extérieure au projet sans votre consentement, à moins que la loi ou un tribunal nous y oblige. Toutefois, il est possible que

2009-09-25

COMITÉ D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE IRDPQ	APPROUVÉ CÉR	N° VERSION	DATE
		2	20120523

Projet de recherche approuvé par

le comité d'éthique de la recherche de l'IRDPQ, 22 juin 2011

Page 4

nous devons permettre l'accès à votre dossier aux autorités compétentes (par ex., agences gouvernementales, délégués du Comité d'Éthique à la Recherche), pour fin de vérification et de gestion internes. Celles-ci pourraient vouloir entrer en contact avec vous, dans le cadre de leurs activités. Par ailleurs, les résultats de ce projet de recherche pourront servir à des fins de publication ou de congrès scientifique sans que votre identité ne soit révélée.

Enfin, vous pouvez avoir accès aux renseignements que vous avez fournis en vue de les consulter ou de les faire rectifier. Vous pouvez également demander la suppression d'un renseignement qui ne serait plus valide ou justifié pour atteindre les objectifs du projet de recherche. Vous pouvez aussi être informé(e) de l'utilisation qui a été faite de vos renseignements et les communications qui ont eu lieu à des tiers.

2009-09-25



APPROUVE CER	N° VERSION	DATE
	2	20/20523



FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

N° de projet :

Titre du projet : Évaluation des qualités métrologiques d'un test novateur de l'équilibre hémisphérique.

Responsable du projet : Julien Voisin, erg., Ph.D.

- 1) Le responsable m'a informé de la nature et des buts de ce projet de recherche ainsi que de son déroulement;
- 2) Le responsable m'a informé des risques et inconvénients associés à ma participation;
- 3) Ma participation à cette étude est volontaire et je peux me retirer en tout temps sans préjudice;
- 4) Les données de cette étude seront traitées en toute confidentialité et elles ne seront utilisées qu'aux fins scientifiques et par les partenaires identifiés au formulaire d'information;
- 5) J'ai pu poser toutes les questions voulues concernant ce projet et j'ai obtenu des réponses satisfaisantes;
- 6) Ma décision de participer à cette étude ne libère ni les chercheurs, ni l'établissement hôte de leurs obligations envers moi;
- 7) Je sais qu'aucune rémunération n'est rattachée à ma participation;
- 8) Le responsable m'a remis un exemplaire du feuillet d'information et du formulaire de consentement;
- 9) J'ai lu le présent formulaire et je consens volontairement à participer à cette étude;
- 10) Je désire recevoir une copie des résultats de l'étude ☐ oui ☐ non
- 11) Je désire être recontacté pour des études ultérieures ☐ oui ☐ non

Pour me recontacter (facultatif): _____

Nom et prénom du sujet	Date de naissance	Numéro de téléphone
Signature du sujet	Date	
Nom du chercheur	Date	Signature

2009-09-25



APPROUVE	N° VERSION	DATE
IRDPQ	2	20/20523

ANNEXE 2 : Index de latéralité manuelle d'Edinburgh (révisé)

S'il vous plaît cocher la case qui décrit le mieux quelle main vous utilisez pour l'activité en question

	<i>Toujours Gauche</i>	<i>Généralement Gauche</i>	<i>Pas de Préférence</i>	<i>Généralement Droite</i>	<i>Toujours Droite</i>
1. Écrire					
2. Dessiner					
3. Lancer (un objet ou une balle)					
4. Tenir des ciseaux et découper					
5. Se brosser les dents					
6. Se servir d'un couteau (sans fourchette)					
7. Se servir d'une cuillère					
8. Balayer (main au-dessus)					
9. Frotter une allumette					
10. Ouvrir le couvercle d'une boîte					

ANNEXE 3 : Études supplémentaires

Évaluation de la capacité du test à détecter une « pseudonégligence » induite par stimulation transcrânienne par courant continu chez des sujets sains, et comparaison avec le test de bissection de lignes

Avant propos

Le but de cette étude était de mesurer la capacité du test de Kayahara à détecter une « pseudonégligence » induite par tDCS et comparer les performances de ce test avec celles d'un test de bissection de lignes.

1. Introduction

La stimulation transcrânienne à courant continu (ou *tDCS* pour *transcranial direct current stimulation*) est une méthode de stimulation non-invasive permettant de moduler l'excitabilité corticale grâce à l'application de courant de faible intensité (généralement 1-2 mA) à travers le scalp (Nitsche et Paulus, 2000). Bien que les mécanismes d'action de la tDCS ne soient pas encore totalement élucidés, il est généralement admis que la stimulation anodique augmente l'excitabilité de la région corticale sous-jacente en dépolarisant les membranes neuronales, tandis que la stimulation cathodique diminue l'excitabilité corticale en les hyperpolarisant (Lang *et al.*, 2007; Nitsche et Paulus, 2000). Comme les autres méthodes de stimulation non-invasive (e.g., stimulation magnétique transcrânienne, ou TMS), la tDCS induit une perturbation de l'activité cérébrale de manière transitoire et permet d'étudier les relations entre certaines régions cérébrales spécifiques et leurs fonctions cognitives ou comportementales (Miniussi *et al.*, 2013). Au cours des dernières années, la tDCS a gagné une grande popularité auprès des communautés neuroscientifiques et cliniciennes (Floel, 2014). Cet intérêt est en partie expliqué par le fait que ces types d'outil apparaissent comme des instruments prometteurs pour corriger une variété de troubles neurologiques et psychiatriques. La tDCS a par exemple démontré son efficacité dans le traitement ou la diminution des symptômes associés à la démence de type Alzheimer (Boggio *et al.*, 2012; Boggio *et al.*, 2009; Ferrucci *et al.*, 2008), la maladie de Parkinson (Boggio *et al.*, 2006; Fregni, Boggio, Santos, *et al.*, 2006), la dépression (Ferrucci *et al.*, 2009; Fregni, Boggio, Nitsche, *et al.*, 2006), la schizophrénie (Brunelin *et al.*, 2012) ou encore des troubles moteurs liés à un AVC (Hummel *et al.*, 2005). Plusieurs études suggèrent par ailleurs la possibilité d'utiliser cette technique pour améliorer les capacités cognitives chez les sujets sains (e.g., Antal *et al.*, 2004; Coffman *et al.*, 2014; Medina *et al.*, 2013; Nelson *et al.*, 2014; Vallar et Bolognini, 2011). Les méthodes de stimulation non-invasives font partie des rares méthodes en neurosciences permettant d'établir des liens de causalité entre un stimulus (la stimulation) et un comportement observé (Miniussi *et al.*, 2013). Ces méthodes offrent, pour finir, la possibilité de mieux comprendre certaines pathologies associées à des lésions cérébrales en permettant de créer des « lésions virtuelles » chez des sujets sains, comme cela est le cas notamment pour la négligence spatiale unilatérale (NSU).

La NSU est un déficit neurologique fréquemment observé après un AVC, dont la prévalence dépasserait les 40% lors d'une atteinte de l'hémisphère droit (Ringman *et al.*, 2004). Il s'agit d'un syndrome complexe pouvant être défini comme une incapacité des sujets à orienter, détecter, ou reporter des stimuli (généralement) présenté du côté controlatéral à une lésion cérébrale, et ne pouvant être attribué à un déficit des fonctions sensori-motrices (*i.e.*, hémianopsie ou hémiplégie) (Bultitude et Aimola Davies, 2006; Heilman et Valenstein, 1979). Ce trouble peut se produire après atteinte de régions variées du cerveau mais semble le plus fréquemment associé avec des lésions du cortex pariétal postérieur (CPP; Corbetta *et al.*, 2000; Halligan *et al.*, 2003; Husain et Rorden, 2003; Mort *et al.*, 2003). La NSU est un déficit ayant un impact important sur la qualité de vie des individus touchés ainsi que celle des aidants. De plus, il est reconnu qu'elle représente un facteur de pronostic défavorable à la réadaptation des patients concernés (Azouvi *et al.*, 2002). Notre compréhension actuelle du syndrome de NSU repose principalement sur l'observation de patients cérébrolésés. Cependant, l'hétérogénéité entre ces derniers concernant la localisation et l'étendue des lésions, représente une limite importante dans l'étude de ce déficit (Bowen *et al.*, 1999; Ghacibeh *et al.*, 2007; Giglia *et al.*, 2011). Les méthodes de stimulation non-invasives permettent de palier en partie ces limites, en permettant de créer chez des sujets sains, des modèles de NSU (Brighina *et al.*, 2002; Fierro *et al.*, 2000; Sparing *et al.*, 2009). Fierro *et al.* (2000) sont par exemple les premiers à avoir montré que l'application de trains de magnétique (*rTMS*), au niveau du CPP durant la réalisation d'une tâche visuo-spatiale, étaient capables d'induire une pseudonégligence transitoire chez des sujets sains. Depuis cette publication, plusieurs autres études ont montré que la TMS et la tDCS pouvaient, à la fois, améliorer les déficits visuo-spatiaux chez les patients atteints de NSU (e.g., Fierro, Brighina et Bisiach, 2006; Ko *et al.*, 2008; Sparing *et al.*, 2009; Sunwoo *et al.*, 2013), et à l'inverse, induire chez des sujets sains, des signes similaires aux symptômes rencontrés chez ces patients (e.g., Brighina *et al.*, 2002; Fierro, Brighina, Giglia, *et al.*, 2006; Filmer *et al.*, 2015; Loftus et Nicholls, 2012; Muggleton *et al.*, 2006; Nyffeler *et al.*, 2008; Roy *et al.*, 2015; Sparing *et al.*, 2009). Concernant les études de tDCS, Sparing *et al.* (2009) par exemple montrèrent que l'application d'une stimulation anodique du CPP droit ou gauche (1 mA pendant 10 minutes), chez un groupe de sujets sains, améliorait la détection des cibles visuelles dans l'hémichamp controlatéral. La stimulation cathodique, au contraire, diminuait les performances des sujets dans l'hémichamp controlatéral (cf. chapitre 1, section 1.2.6. pour une présentation plus détaillée de l'étude). Ces mêmes auteurs montrèrent chez un groupe de dix patients atteints de NSU gauche suite à des lésions corticales et/ou sous-corticales de l'hémisphère droit (délai post-AVC entre 15 jours et 1 an) que la stimulation cathodique (inhibitrice) du CPP gauche (hémisphère sain) ou la stimulation anodique (excitatrice) du CPP droit (hémisphère lésé) permettaient toutes deux de diminuer les signes de NSU mesurés au test de bissection de lignes.

Bien que ces deux méthodes (*i.e.*, tDCS et TMS) aient toutes deux montré leur efficacité pour diminuer les signes de NSU chez les patients et pour créer des modèles expérimentaux de NSU, la tDCS présente plusieurs avantages par rapport à la TMS. Les principaux avantages sont qu'elle est simple à utiliser et requière moins d'expertise ou de pratique que la TMS, elle est relativement peu coûteuse, non-douloureuse et permet d'induire des effets de polarité opposés de manière simultanée dans des régions cérébrales différentes (facilitation vs. inhibition) (Miniussi *et al.*, 2008). Il est

également beaucoup facile de créer une condition placebo avec la tDCS qu'avec la TMS, assurant des protocoles de double-aveugle plus fiables (Gandiga *et al.*, 2006). À condition cependant que l'intensité de la stimulation n'excède pas 1 mA (e.g., O'Connell *et al.*, 2012). La tDCS est également beaucoup plus mobile que la TMS, et peut de ce fait facilement être utilisée au cours d'une séance de réadaptation (Boggio *et al.*, 2007; Fregni *et al.*, 2005; Hummel *et al.*, 2005). Pour finir, elle est plus sécuritaire (Floel, 2014). En effet, à ce jour, contrairement à la TMS, aucun effet secondaire sévère n'a été reporté avec la tDCS (Jung *et al.*, 2013; Nitsche *et al.*, 2008; Williams *et al.*, 2009). L'ensemble de ces raisons fait que la tDCS semble être un outil plus adapté à une application clinique. Cependant, à ce jour, très peu d'études ont étudié l'effet de la tDCS sur le CPP (Utz *et al.*, 2010) et sur les modèles de NSU induits chez des sujets sains.

Le but de notre étude était d'étudier les effets d'une stimulation tDCS appliquée bilatéralement au niveau du CPP chez les sujets sains, sur les réponses au test de bissection de lignes (en version informatisée) et au test de Kayahara.

Le test de bissection de ligne est un des tests les plus classiquement utilisés pour mesurer l'allocation asymétrique de l'attention spatiale (Giglia *et al.*, 2011; Jewell et McCourt, 2000; Rueckert *et al.*, 2002; Varnava *et al.*, 2013). Dans cette tâche, les sujets ont pour consigne de déterminer le centre de lignes horizontales présentée sur une feuille de papier ou un écran. Les sujets atteints d'une lésions pariétale droite et de NSU classiquement estiment ou perçoivent la partie gauche du segment comme plus court que ce qu'il n'est réellement, et bissectent la ligne trop loin à droite de sont centre réel (e.g., Bowers et Heilman, 1980; Dellatolas *et al.*, 1996; Luh, 1995; Rueckert *et al.*, 2002), contrairement aux sujets sains relativement plus précis. Il est cependant classiquement observé que ces derniers présentent un léger biais vers la gauche, un phénomène connu sous le nom de *pseudonégligence*² (Bowers et Heilman, 1980; Pour une revue voir: Jewell et McCourt, 2000). Elle est interprétée comme reflétant la dominance de l'hémisphère droit pour les tâches attentionnelles visuo-spatiales (Kinsbourne, 1970; Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). Les études de stimulation montrent que l'inhibition du CPP droit à l'aide de la tDCS ou la combinaison d'une stimulation inhibitrice du CPP droit et excitatrice du CPP gauche (Giglia *et al.*, 2011), ou encore l'application de trains de TMS inhibiteurs au niveau du CPP droit (Fierro, Brighina, Giglia, *et al.*, 2006; Fierro *et al.*, 2000; Gobel *et al.*, 2006; Oliver *et al.*, 2009) entraînent un changement significatif de la latéralisation du biais chez les sujets sains, le passant d'un biais vers la gauche à un biais vers la droite, comme une « NSU gauche virtuelle » (Giglia *et al.*, 2011).

Bien que le test de bissection de lignes présente un certain nombre de limites tel que nous avons pu le discuter dans le chapitre d'introduction, nous avons fait le choix de comparer le test de Kayahara avec ce test pour plusieurs raisons. La première, tel qu'indiqué précédemment, est que cette tâche fait parti des outils les plus utilisés dans l'évaluation de la NSU et de l'asymétrie attentionnelle visuo-spatiale (e.g., Giglia *et al.*, 2011). La deuxième raison est que la durée des effets de la tDCS après arrêt de celle-ci est limitée. Bien que des auteurs affirment que l'effet de la tDCS puisse durer jusqu'à 60 minutes après l'arrêt de la stimulation (Nitsche et Paulus, 2001), la durée exacte des effets de la tDCS reste encore largement peu connue. Pour cette raison nous avons choisi de faire en sorte que l'ensemble des tâches

² À noter que ce phénomène décrit un phénomène différent de la pseudonégligence induite par les méthodes de stimulation.

n'excèdent pas les 10 minutes, et de ce fait n'avons pas comparé le test de Kayahara avec le test de bissection uniquement. Le but étant de s'assurer que les derniers essais de la tâche bénéficient toujours d'un effet de la tDCS. Pour finir, une dernière raison du choix du test de bissection de lignes est que la majorité des autres tests de NSU (*e.g.*, test des cloches, copie de dessin, BIT) entraînent un effet plafond chez les sujets sains, qui masquerait certainement les effets de la tDCS. L'effet de la tDCS sur les performances au test de Kayahara et de bissection de lignes a été mesuré immédiatement après l'arrêt de la stimulation, ainsi que 30 minutes plus tard afin de vérifier si ces effets étaient toujours présents.

L'hypothèse générale de la présente étude était que la l'application d'une stimulation tDCS bilatérale au niveau des CPP droit et gauche (*i.e.*, CPP droit : anodique, excitateur ; CPP gauche : cathodique, inhibiteur, droit) entraînerait un biais attentionnel en faveur de l'hémichamp visuel droit ou une diminution du phénomène de pseudonégligence (*i.e.*, réduction du biais attentionnel gauche, c'est-à-dire de la déviation moyenne au test de bissection de lignes).

2. Matériel et méthode

Le protocole de recherche a été approuvé par le comité d'éthique local et est conforme à la Déclaration d'Helsinki. Tous les participants ont donné un consentement écrit avant de participer à l'étude.

2.1. Participants

Vingt adultes sains (10 hommes et 10 femmes) ont participé à l'étude. L'ensemble des sujets a été recruté selon un échantillonnage de convenance par l'intermédiaire des listes de diffusions de l'université Laval, d'annonces affichées à l'Université Laval et à l'IRD PQ, et parmi l'entourage de l'expérimentateur. L'âge moyen des participants était de 28 ans (*ET* : 9,6; étendue : 20-55 ans). Tous étaient droitiers, tel que confirmé par l'Index de Latéralité manuelle d'Edinburgh (Oldfield, 1971), avaient une vue normale ou corrigée et ne présentaient aucun antécédent de troubles neurologiques ou psychiatriques, ni de contre-indication à la tDCS tel que reporté par le questionnaire de non-contre-indication à la tDCS (voir Annexe 4). Tous les participants étaient naïfs en ce qui concerne le but de l'étude. Trois avaient une expérience préalable avec la tDCS. Chaque participant recevait une compensation financière de 30\$ pour leur participation à l'issue de l'étude. Le choix de recruter des sujets droitiers uniquement a été basé sur le fait que des études démontrent que les sujets gauchers présentent une plus forte variabilité interindividuelle en ce qui concerne l'organisation anatomique cérébrale (Grabowska *et al.*, 1994).

2.2. Appareillage

Les stimuli étaient présentés sur un ordinateur portable de 17" d'une résolution de 1024 x 768 pixels et d'un taux de rafraîchissement de 85 Hz. Les stimuli étaient présentés à l'aide du logiciel E-Prime (version 2.0, Psychology Software Tools, Inc.). Les réponses étaient recueillies au moyen d'une souris d'ordinateur. Aucun repose-menton n'était utilisé pour maintenir la position de la tête du sujet.

2.3. Tests de mesure

Durant l'expérimentation, les sujets étaient assis confortablement dans un fauteuil incliné. L'écran était placé à une distance d'environ 80 cm des yeux des participants. Les tests de bissection de lignes et de Kayahara ont été réalisés dans un même bloc au sein duquel les essais étaient randomisés. Un bloc d'essais comprenait, respectivement, 30 essais du test de bissection de lignes et 40 essais du test de Kayahara. Le nombre d'essais a été calculé afin que le test ait une durée fixe de 10 minutes.

2.3.1. Test de bissection de lignes

Pour les essais de bissection, il était demandé aux participants d'indiquer le plus rapidement et précisément possible le centre de plusieurs lignes horizontales présentées à l'écran. Pour répondre, les sujets devaient déplacer horizontalement un curseur vertical et cliquer sur le bouton gauche de la souris à l'endroit où ils pensaient que le curseur était placé au centre. Le curseur ne pouvait être déplacé qu'horizontalement. La position de départ du curseur variait aléatoirement d'un essai à l'autre entre l'extrême gauche ou droite de l'écran. Les sujets étaient informés qu'ils devaient répondre dans un temps limite de 7 secondes. Les lignes mesuraient 1 mm de large, et avaient une longueur comprise entre 10 et 20 cm (*i.e.*, 10, 12, 14, 16, 18 et 20 cm). La position du centre réel variait entre les essais, horizontalement et verticalement. Sur l'axe horizontal, les positions possibles étaient les suivantes: 30, 40, 50, 60, 70% de l'écran ; 0% correspondant à la bordure extrême gauche et 100% la bordure extrême droite. Ce qui correspond respectivement, à partir du centre de l'écran, à : -8,5 cm; -4,2 cm; 0 cm (centre exact); +4,2 cm et +8,5 cm. Sur l'axe vertical, les positions possibles étaient: 20, 30, 40, 50, 60, 70 or 80% de l'écran. 0% correspondant à la bordure extrême supérieure et 100% à la bordure extrême inférieure de l'écran. Ce qui correspond respectivement par rapport au centre de : 7,1 cm, -4,8 cm; -2,4 cm; 0 cm; +2,4 cm; +4,8 cm et +7,1 cm. Dans chaque bloc, la longueur des lignes, et leurs positions verticales ou horizontales été randomisées. Dans un même bloc, les participants recevaient toutes les longueurs et toutes les positions horizontales possibles, ainsi qu'aléatoirement cinq des sept positions verticales. Les écarts en pixels par rapport au véritable centre de la ligne ont été moyennés et convertis en millimètres. Les valeurs négatives reflétaient des déviations vers la gauche.

2.3.2. Test de Kayahara

Concernant les essais du test de Kayahara, il s'agissait de la même tâche que celle présentée aux Chapitres 2 et 3. De manière succincte, chaque essai commençait avec la présentation de deux personnages non bistables tournant dans des directions opposées (0,5Hz). Les deux personnages étaient présentés au même moment, mais dans des positions différentes (côtés droit et gauche de l'écran). Après un cycle de rotation (environ 1 seconde), aléatoirement le personnage non bistable de droite ou de gauche se transformait en personnage bistable. Le personnage non bistable latéral était placé à droite dans 50% des essais et à gauche pour le reste. Son sens de rotation était horaire pour 50% des essais et antihoraire pour les 50 autres %. Les sujets avaient pour consigne de maintenir leur regard sur une croix de fixation située au centre de l'écran (entre les deux personnages) et d'appuyer sur le bouton gauche de la souris, si

et dès qu'ils percevaient les deux personnages tourner dans le même sens. Les sujets répondaient avec leur main droite. Le biais attentionnel était calculé en mesurant la différence entre les temps de réponse moyens quand le personnage non-bistable latéral était placé à droite versus à gauche de l'écran, divisé par la somme des deux. Le biais attentionnel pouvait être compris entre -1 et 1. Une valeur positive indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace droit alors qu'une valeur négative indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace gauche. Une valeur de 0 indiquait une absence de biais attentionnel en faveur d'un espace particulier.

2.4. Procédure expérimentale

Dans cette étude un paradigme randomisé à bras croisé avec condition placebo a été utilisé. La Figure 19 illustre le design expérimental de l'étude. Tous les sujets ont participé à deux séances expérimentales, au cours desquelles ils recevaient une session de stimulation active ou sham (placebo). Les séances étaient séparées d'un intervalle d'au moins une semaine afin d'éviter tout effet de contamination. Les séances expérimentales différaient uniquement sur le type de traitement appliqué, à savoir une stimulation active (tDCSactive) ou une stimulation placebo (tDCSsham). L'ordre des traitements (tDCSactive ou tDCSsham) était contrebalancé entre les participants, et établi avant le recrutement, par un administrateur indépendant. Plus spécifiquement, l'administrateur indépendant, associait à chaque sujet, deux codes, l'un pour la première séance et l'autre pour la deuxième, correspondant à l'un des deux traitements (*i.e.*, tDCSactive ou tDCSsham). L'expérimentateur possédait donc au final une liste de code, pour chaque sujet et séance, et devant être entrés dans le stimulateur afin de démarrer la stimulation. L'administrateur indépendant s'assurait également de faire en sorte que 50% des hommes de l'échantillon commencent par une stimulation sham et l'autre active. De même pour les femmes. Ni le participant, ni l'expérimentateur n'avaient connaissance du type de traitement devant être administré durant la séance. Durant chaque séance, les participants devaient effectuer trois blocs d'essais : un premier avant la stimulation (PréStim), le deuxième, immédiatement après la stimulation (PostStim immédiat), et le troisième, 30 minutes après l'arrêt de la stimulation (PostStim 30 min).

Chaque bloc incluait 30 essais pour la tâche de bissection et 40 pour le test de Kayahara. Tous les essais étaient randomisés. Chaque bloc avait une durée exacte de 10 minutes. La durée des délais interstimuli variait afin que chaque essai ait la même durée de présentation.

Les participants recevaient 10 essais d'entraînement (6 du test de bissection et 4 du test de Kayahara) avant de commencer le premier bloc expérimental.

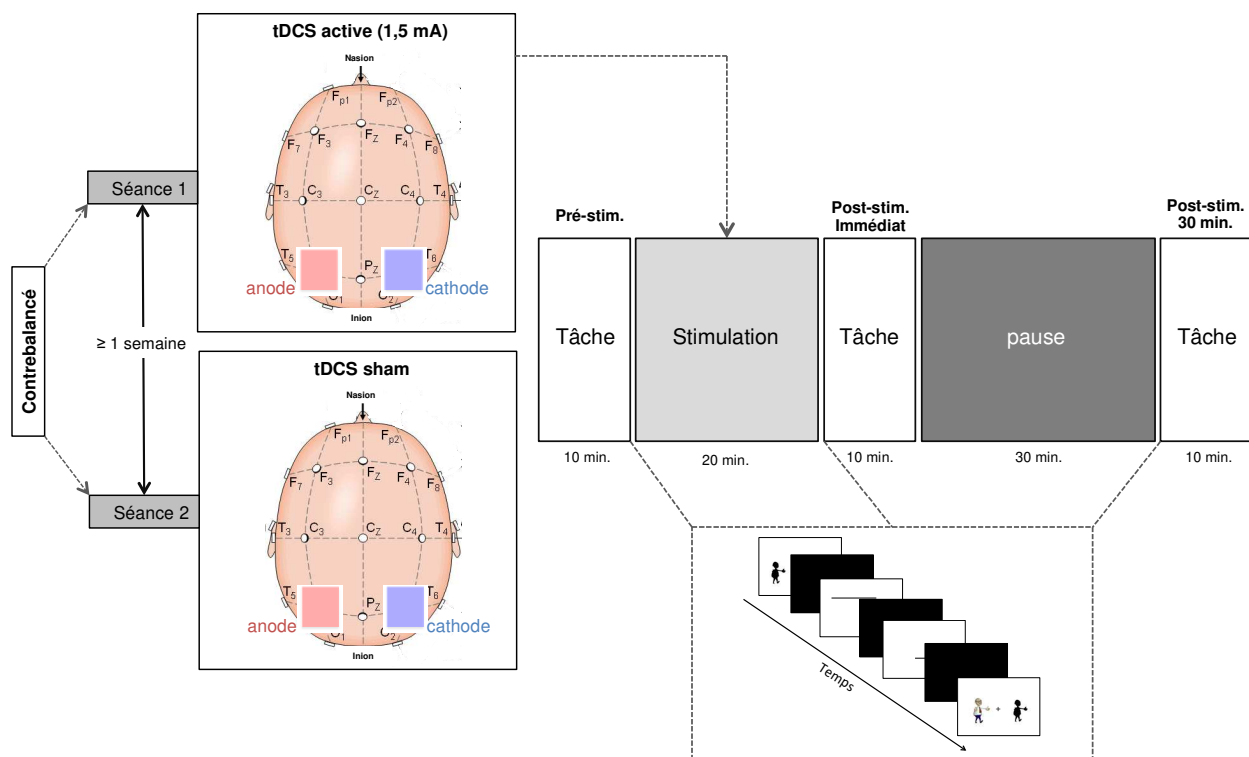


Figure 19. Procédure expérimentale de l'étude 2.

La figure à gauche représente une représentation du système international 10/20 et de la position des électrodes de stimulation utilisée dans l'étude. La figure représente une vue du dessus. L'anode (positive), représentée en rouge sur le schéma, était placée au niveau de P3 et la cathode (négative), représentée en bleu, au niveau de P4. Adapté de Malmivuo et Plonsey (1995) avec autorisation.

2.5. Paramètres de stimulation

La stimulation tDCS a été administrée à l'aide d'un stimulateur à courant constant (NeuroConn, Grenzhammer, Allemagne) en utilisant une paire d'électrodes à éponge de dimension 7 x 5 cm, trempées dans une solution de 110 mMol de NaCl. La concentration de cette solution a été choisie afin de procurer une bonne conductance du courant, tout en limitant les sensations d'inconfort lors du démarrage de la stimulation (pour une explication sur le lien entre confort perçu et concentration de NaCl voir Dundas *et al.*, 2007). Pour les deux types de traitement (tDCSactive et tDCSsham), l'anode (électrode positive) était placée en regard du CPP gauche; centrée sur la position P3 selon le système international 10/20 de placement des électrodes EEG (Figure 19). La cathode (électrode négative) était placée en regard du CPP droit controlatéral, centrée sur la position P4. Cette méthode de localisation du CPP a été utilisée précédemment dans des études de TMS ou tDCS (*e.g.*, Cazzoli *et al.*, 2009; Dambeck *et al.*, 2006; Hilgetag *et al.*, 2001; Sparing *et al.*, 2009), a été confirmée comme fiable (Herwig *et al.*, 2003). La correspondance entre les positions P3/P4 et les cortex pariétaux postérieurs droit et gauche a, par ailleurs, été confirmée par une étude de neuroimagerie (Hilgetag *et al.*, 2001). Les paramètres de stimulation ont été choisis basés sur l'étude de Sparing *et al.* (2009) qui montrait qu'une stimulation cathodique de 1 mA appliquée au niveau du CPP droit était capable d'entraîner une diminution du niveau attentionnel porté vers héli-espace visuel gauche (cf. chapitre 1, section 1.2.6. pour une

présentation plus détaillée de l'étude). L'intensité de la stimulation a été augmentée en prévision que les effets de la tDCS en seraient augmentés. De la même manière, il était attendu que l'utilisation d'un mode de stimulation bilatéral plutôt qu'unilatéral (comme Sparing et al. (2009) notamment) augmenterait les effets de la stimulation. Ce mode de stimulation a été reconnu comme efficace dans les protocoles visant à agir sur les déséquilibres de l'activité interhémisphérique, tel qu'associés aux AVC par exemple (e.g., Nowak *et al.*, 2009; Williams *et al.*, 2010).

Avant de placer les électrodes l'expérimentateur vérifiait que le participant ne possédait aucune lésion du cuir chevelu au niveau de l'emplacement à stimuler. Afin d'améliorer la conductance de la peau, les cheveux étaient écartés du site de stimulation et la zone ciblée nettoyée avec de l'alcool à friction afin de retirer toute trace de sébum ou matière grasse. L'expérimentateur identifiait ensuite la position des marques P3 et P4 en se fondant sur les mesures du système international 10/20 (pour la procédure détaillée cf. chapitre 2, section 2.3.2.2). Lors de la première séance l'expérimentateur enregistrait les sites de stimulations identifiés dans un *système de neuronavigation* (Brainsight, Rogue Research Inc., Montréal, Canada). Ceci permettait de s'assurer, lors de la deuxième séance, que les électrodes de stimulation étaient positionnées exactement à la même position. Les électrodes étaient maintenues à l'aide de sangles élastiques. Dans la condition tDCSactive un courant constant d'une intensité de 1,5 mA était appliqué pendant 20 minutes, conformément aux directives de sécurité reportées dans la littérature (Nitsche *et al.*, 2003; Poreisz *et al.*, 2007). L'intensité de la stimulation augmentait de manière progressive durant les 30 premières secondes jusqu'à atteindre 1,5 mA. A la fin de la stimulation, l'intensité diminuait également graduellement sur un laps de temps de 5 secondes. Afin d'assurer le confort des participants, l'impédance était maintenue en dessous de 5 KOhm tout au long de la session de stimulation. L'expérimentateur vérifiait également l'impédance (affichée sur le stimulateur) tout au long de la session de stimulation et réinjectait de la solution saline au niveau des éponges si celle-ci s'approchait de la valeur limite (note : l'augmentation de l'impédance est généralement dû à une sécheresse des éponges, et peut causer une irritation du scalp). Pour la condition tDCSsham les paramètres étaient similaires à la condition tDCSactive exceptée que la stimulation s'arrêtait après 30 secondes. Ceci permettait de s'assurer que tous les sujets percevaient les sensations initiales de démangeaisons au début de la tDCS mais sans recevoir de courant actif, ce qui permettait théoriquement de s'assurer que les sujets restaient naïfs vis-à-vis du type de stimulation qu'ils recevaient (Gandiga *et al.*, 2006). Gandiga *et al.* (2006) ont montré l'efficacité de la stimulation sham pour une intensité de 1 mA, et une incapacité des sujets à différencier la stimulation active de la stimulation placebo. Cependant, d'autres auteurs ont montré l'inefficacité de ce protocole avec des intensités plus élevées (O'Connell *et al.*, 2012; Palm *et al.*, 2013). Dans la présente étude, la consigne donnée laissait sous-entendre que les sensations perçues pour les deux conditions étaient similaires et qu'il ne serait possible pour les sujets de faire la différence entre la stimulation active et le sham. Afin de déterminer l'efficacité de la stimulation sham, l'expérimentateur demandait à la fin de chaque séance aux sujets d'indiquer s'ils pensaient avoir reçu la stimulation active (« pensez-vous avoir reçu la vraie stimulation? ») et d'évaluer leur degrés de confiance vis-à-vis de leur réponse (« sur une échelle de 1 à 10 à combien évaluez-vous votre niveau de confiance par rapport à cette affirmation? »). Le degré de confort ou d'inconfort associé à la stimulation était

également évalué à la fin de chaque séance (« sur une échelle de 0 à 10 à combien évaluez-vous le degré de confort (vis-à-vis de la stimulation)? 10 = totalement confortable et 0 totalement inconfortable »).

3. Méthode d'analyses

3.1. Analyses préliminaires

Des analyses préliminaires ont été réalisées afin de mesurer un éventuel effet de l'ordre de passation des traitements (*i.e.*, sham vs. actif) ou du sexe sur la déviation au test de bissection de lignes et sur le ratio attentionnel au test de Kayahara. Les tests statistiques comprenaient des tests t indépendants à deux facteurs. D'autres analyses ont également été réalisées afin de mesurer d'éventuelles corrélations entre l'âge, la latéralité manuelle ou la dominance oculaire et la déviation au test de bissection de lignes ou le ratio au test de Kayahara. Les analyses statistiques consistaient en des corrélations de Pearson. L'ensemble de ces analyses a été réalisé sur la session pré-stimulation du traitement Sham.

3.2. Effet de la tDCS sur le test de bissection de lignes

3.2.1. Variables

La variable dépendante pour le test de bissection de ligne était la déviation moyenne par rapport au centre réel de la ligne (en mm). Une déviation positive reflétait une déviation vers la droite. Les variables indépendantes étaient : le type de TRAITEMENT (tDCSactive versus tDCSsham); et la SESSION (PréStim versus PostStim immédiat versus PostStim 30min).

3.2.2. Hypothèses

L'hypothèse opérationnelle était que pour le traitement tDCSactive, la déviation moyenne au test de bissection serait significativement différente entre les sessions PostStim immédiate et PréStim. Plus spécifiquement il était attendu que la déviation moyenne soit plus importante pour la session PostStim immédiate et qu'elle serait dirigée vers la droite, indiquant une diminution de l'attention portée à l'hémiespace gauche (*i.e.*, pseudonégligence gauche).

3.3. Effet de la tDCS sur le test de Kayahara

3.3.1. Variables

La variable dépendante, pour le test de Kayahara, était le biais attentionnel moyen (valeur comprise entre -1 et 1). Les variables indépendantes étaient : le type de TRAITEMENT (tDCSactive versus tDCSsham); et la SESSION (PréStim versus PostStim immédiate versus PostStim 30min).

3.3.2. Hypothèses

Concernant le biais attentionnel, l'hypothèse opérationnelle était que pour le traitement tDCSactive le test de Kayahara indique un biais attentionnel significativement plus positif comparativement au traitement tDCSsham, reflétant un biais en faveur de l'hémispace droit (*i.e.*, pseudonégligence gauche).

3.4. Méthode statistique

L'effet de la tDCS sur la déviation moyenne a été évalué en comparant les traitements tDCSactive versus tDCSsham, et les sessions pré- et post-stimulation. L'absence de différence dans les scores mesurés durant les sessions PréStim des traitements tDCSactive versus tDCSsham a également été vérifiée. Cette méthode a été reportée par plusieurs auteurs, pour le test de bissection (Ko *et al.*, 2008; Sparing *et al.*, 2009).

Une ANOVA à mesures répétées à deux facteurs a été utilisée pour mesurer l'effet de la tDCS sur la déviation moyenne au test de bissection de lignes et comprenait les facteurs intra-sujets suivants : TRAITEMENT [deux niveaux: tDCSactive versus tDCSsham]; SESSION [deux niveaux: PostStim immédiate versus PostStim 30min]. Cette méthode statistique était similaire à celle utilisée par Ko *et al.* (2008).

Le test de Mauchly a été utilisé afin d'évaluer la sphéricité des données. Le test de Bonferroni a été utilisé pour les comparaisons post hoc. Les différences étaient considérées comme significatives au seuil $p < 0,05$. Pour les données non-sphériques, une correction de Greenhouse–Geisser a été utilisée. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec la version 22,0 du logiciel SPSS pour Macintosh (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

3.5. Traitement des valeurs « extrêmes »

Puisque classiquement une observation est considérée comme extrêmes lorsqu'elle est inférieure ou supérieure à 2, 2,5 ou 3 écart-types (Cousineau et Chartier, 2010; Leys *et al.*, 2013), un seuil de 2,5 écart-type a été utilisé dans la présente étude. Voir section 3.3.4. du chapitre 3 pour une justification.

4. Analyses préliminaires

En ce qui concerne le sexe et l'ordre de passation des traitements.

L'analyse des données indique que la déviation moyenne au test de bissection de lignes chez les hommes est de -0,04 mm ($ET = 1,45$) et de 0,06 mm ($ET = 1,4$) chez les femmes. La différence entre les deux groupes est non significative; $t(18) = 0,15$; $p = 0,88$. Le biais moyen au test de Kayahara chez les femmes était de -0,01 ($ET = 0,11$) et chez les hommes de 0,02 ($ET = 0,17$). La différence entre les deux groupes est non significative; $t(18) = -0,5$; $p = 0,62$. En ce qui concerne l'ordre d'administration des traitements, les tests t n'ont révélé aucune différence significative dans la déviation moyenne des groupes ayant reçu le traitement actif à la première séance ($M = 0,1$; $ET = 1,5$) et ceux l'ayant reçu à la deuxième séance ($M = -0,09$; $ET = 1,3$); $t(18) = -0,3$; $p = 0,77$. Par ailleurs, aucune différence significative

dans le ratio moyen au test de Kayahara des groupes ayant reçu le traitement actif à la première séance ($M = 0,01$; $ET = 0,13$) et ceux l'ayant reçu à la deuxième séance ($M = -0,02$; $ET = 0,16$); $t(18) = -0,55$; $p = 0,59$.

En ce qui concerne l'âge, l'œil dominant et le score de latéralité manuelle.

Concernant le test de bissection de lignes, le test de Pearson n'a révélé aucune corrélation entre magnitude de la déviation et : l'âge des participants ($r = -0,28$; $p = 0,24$), l'œil dominant ($r = 0,15$; $p = 0,54$), ou la latéralité manuelle ($r = 0,2$; $p = 0,38$). Le test de Pearson n'a révélé aucune corrélation non plus entre le sens de la déviation et : l'âge des participants ($r = -0,05$; $p = 0,85$), l'œil dominant ($r = -0,3$; $p = 0,2$), ou la latéralité manuelle ($r = 0,08$; $p = 0,74$).

Concernant le test de Kayahara, le test de Pearson n'a révélé aucune corrélation entre magnitude de la déviation et : l'âge des participants ($r = -0,12$; $p = 0,6$), l'œil dominant ($r = 0,08$; $p = 0,72$), ou la latéralité manuelle ($r = -0,16$; $p = 0,49$). Le test de Pearson n'a révélé aucune corrélation non plus entre le sens de la déviation et : l'âge des participants ($r = -0,18$; $p = 0,44$), l'œil dominant ($r = 0,2$; $p = 0,4$), ou la latéralité manuelle ($r = 0,13$; $p = 0,76$).

Étant qu'aucune corrélation n'a été trouvée entre les variables âge, dominance oculaire, latéralité manuelle avec les score au test de bissection de lignes ou au test de Kayahara, ni aucun effet des variables ordre d'administration des traitements et sexe, ces variables n'ont pas été considérées dans les analyses subséquentes. Le Tableau 7 présente les caractéristiques sociodémographiques des participants.

Tableau 7. Caractéristiques sociodémographiques des sujets

Sujet	Sexe	Age	Latence entre séance 1 et 2 (en jours)	Condition session 1	Condition session 2	Expérience préalable avec la tDCS?	Œil Dominant	Main dominante*
1	F	24	7	active	sham	non	droit	55
2	H	31	7	sham	active	oui	droit	40
3	F	27	8	sham	active	non	gauche	90
4	F	22	6	sham	active	non	gauche	70
5	F	20	9	active	sham	non	droit	70
6	H	23	9	sham	active	non	gauche	80
7	F	24	6	sham	active	non	droit	80
8	F	24	10	active	sham	non	droit	80
9	F	55	7	active	sham	non	droit	95
10	H	24	4	active	sham	oui	droit	55
11	H	25	7	sham	active	non	droit	100
12	F	24	7	active	sham	non	droit	100
13	H	25	7	active	sham	non	gauche	65
14	F	21	6	sham	active	non	droit	40
15	H	26	13	active	sham	non	droit	60
16	H	43	8	active	sham	non	droit	90
17	H	26	7	sham	active	non	droit	90
18	H	50	7	active	sham	non	droit	85
19	H	23	7	sham	active	non	droit	100
20	F	27	7	sham	active	oui	droit	100
Moyenne		28,2						
SD		9,6						
Min.		20						
Max.		55						

* Indice allant de -100 à +100 avec -100 correspondant à une dominance manuelle gauche exclusive et + 100 à une dominance manuelle droite exclusive.

5. Résultats

5.1. Tolérance de la tDCS et mise en aveugle

5.1.1. Tolérance

Tous les participants ont complété l'expérience dans sa totalité et ont bien toléré la tDCS. Aucun effet secondaire notable n'a été reporté. Certains participants ont cependant reporté avoir ressenti au début ou pendant la stimulation, des sensations de picotements ou de démangeaisons au niveau des deux électrodes, ou plus souvent de l'anode.

5.1.2. Effet de la mise en aveugle

À chaque séance expérimentale, et donc pour chaque type de traitement (tDCS_{sham} et tDCS_{active}), il était demandé aux participants, à la fin de la stimulation, d'indiquer s'ils pensaient avoir reçu la stimulation active ou la stimulation placebo. Les participants devaient également indiquer le degré de certitude de leur réponse sur une échelle visuelle analogue s'étant de 1 (« pas du tout confiant ») à 10 (« complètement confiant »). Le Tableau 8 présente ces résultats pour chaque séance et traitement effectivement reçu.

À la première séance, 87,5% des participants ayant reçu la stimulation active, et 75% des participants ayant reçu la stimulation placebo, ont correctement jugé le type de traitement reçu. Au total, 16 sujets sur 20 (80%) ont correctement déterminé quel type de stimulation ils venaient de recevoir. Ce taux était plus élevé que ce qu'il aurait été attendu par chance, $\chi^2(1) = 7,2$; $p = 0,007$. À la deuxième séance, 75% des participants ayant reçu la stimulation active, et 66,7% des participants ayant reçu la stimulation placebo, ont correctement jugé le type de traitement reçu. Au total, 14 sujets sur 20 (70%) ont correctement déterminé quel type de stimulation ils avaient reçu. Ce taux n'était pas plus élevé que ce dont il aurait été attendu par chance, $\chi^2(1) = 3,2$; $p = 0,07$. Le niveau de confiance des participants dans leur jugement du type de traitement reçu était plus élevé à la séance 2 (Md = 7) comparativement à la séance 1 (Md = 5,5). Cette différence n'était cependant pas significative (test de rang de Wilcoxon, $z = -0,87$; $p = 0,39$).

Ces résultats suggèrent, à première vue, que la procédure expérimentale échoue à induire des conditions rendant les sujets aveugles concernant le type de traitement qu'ils reçoivent. Cet effet sera donc pris en considération dans les analyses subséquentes.

Tableau 8. Jugement des participants concernant le type de traitement (Sham versus Actif) reçu à chaque séance

		Type de traitement		Total
		Stimulation Sham	Stimulation Active	
Séance 1	Jugé « oui »	1	7	8
	Jugé « non »	9	3	12

	Total	10	10	20
	Nombre bonnes réponses	9	7	16
Séance 2	Jugé « oui »	2	6	8
	Jugé « non »	8	4	12
	Total	10	10	20
	Nombre bonnes réponses	8	6	14

Note. « Oui », indique que les sujets pensaient avoir reçu la stimulation active et « non » qu'ils pensaient avoir reçu la stimulation placebo. Les cellules bleues identifient le nombre de sujets ayant correctement trouvé le type de stimulation

5.1.3. Effet de la tDCS sur la déviation moyenne au test de bissection de lignes

Les essais avec erreur (non-réponse) étaient exclus des analyses (1,17% des essais). Par ailleurs, les essais, pour lesquels la déviation ou le temps de réponse étaient supérieurs à 2,5 fois l'écart-type autour de la moyenne étaient également exclus. Les analyses ont ainsi été réalisées sur 99,04% des données initiales. Le Tableau 9 présente les scores moyens pour le test de Kayahara, de bissection de lignes et de cloches, en fonction du type de traitement et de la session de stimulation.

Tableau 9. Comparaison des performances aux tests de bissection de lignes et de Kayahara, avant, immédiatement après et 30 minutes après la stimulation tDCS.

	tDCSsham			tDCSactive		
	PréStim	PostStim immédiat	PostStim 30	PréStim	PostStim immédiat	PostStim 30
Déviation (bissection)	0,01 (1,4)	-0,15 (1,41)	-0,33 (1,56)	-0,11 (1,4)	-0,11 (1,8)	-0,08 (1,24)
TR (bissection)	1839 (435)	1893 (433)	1798 (454)	1876 (502)	1773 (460)	1681 (404)
Biais attentionnel (Kayahara)	0,00 (0,14)	0,03 (0,11)	0,02 (0,14)	0,00 (0,16)	0,01 (0,13)	-0,02 (0,08)

Note. Les valeurs représentent les moyennes (ET). TR = temps de réponse. PostStim 1 = PostStim 1min; PostStim 30 = PostStim 30 min. Déviation en mm ; TR en ms ; Biais attentionnel de -1 à 1.

Comparaison des sessions pré-stimulation pour les traitements tDCSsham versus tDCSactive. La déviation moyenne durant la session pré-stimulation était de 0,01 mm ($ET=1,4$) pour le traitement tDCSsham et de -0,1 mm ($ET=1,8$) pour le traitement tDCSactive. Le test t n'a révélé aucune différence entre ces moyennes, $t(19) = 0,81$; $p = 0,43$.

Effet du traitement et de la session. Le Tableau 10 présente les performances individuelles au test de bissection de lignes en fonction du type de traitement et de session. La Figure 20 présente la variabilité interindividuelle par rapport à la réponse au test de bissection de lignes et à l'effet de la stimulation.

Tableau 10. Performances individuelles au test de bissection de lignes et en fonction du traitement et de la session.

Subject	tDCSsham			tDCSactive		
	PréStim	PostStim immédiat	PostStim 30	PréStim	PostStim immédiat	PostStim 30
1	0,10	0,33	-0,90	-0,40	0,57	0,57
2	-0,86	-1,34	-1,10	-0,50	-1,07	-1,43
3	-1,93	-1,03	-1,33	-1,40	-1,13	-0,03
4	-0,73	0,03	-1,33	-2,73	-2,30	-0,93
5	0,63	DM	0,73	0,37	0,03	0,90
6	1,13	-0,40	0,97	1,60	1,03	1,69
7	1,77	0,10	1,38	1,40	1,07	0,77
8	-2,03	-2,80	-3,27	-1,00	-1,77	-1,43
9	0,30	-0,07	0,40	0,27	0,23	0,00
10	1,73	1,66	1,17	1,71	1,43	1,03
11	0,63	1,52	0,70	0,83	-0,37	-0,03
12	2,50	2,59	3,14	1,77	2,80	2,27
13	-1,63	-0,30	-0,79	-2,27	-0,60	-1,03
14	0,07	0,13	-1,34	0,43	0,13	-1,20
15	-1,66	-1,97	-2,50	-1,07	-0,43	-0,76
16	1,36	1,17	0,93	1,07	0,73	1,20
17	-2,13	-2,17	-1,67	-2,23	-2,00	-1,67
18	-0,27	-1,17	-1,05	-0,23	-0,67	-0,97
19	1,27	1,33	0,93	1,17	1,10	1,27
20	-0,10	-0,50	-1,66	-1,04	-1,03	-1,89
Moyenne	0,01	-0,15	-0,33	-0,11	-0,11	-0,08
Écart-type	1,40	1,41	1,56	1,40	1,28	1,24

Note. DM = donnée manquante

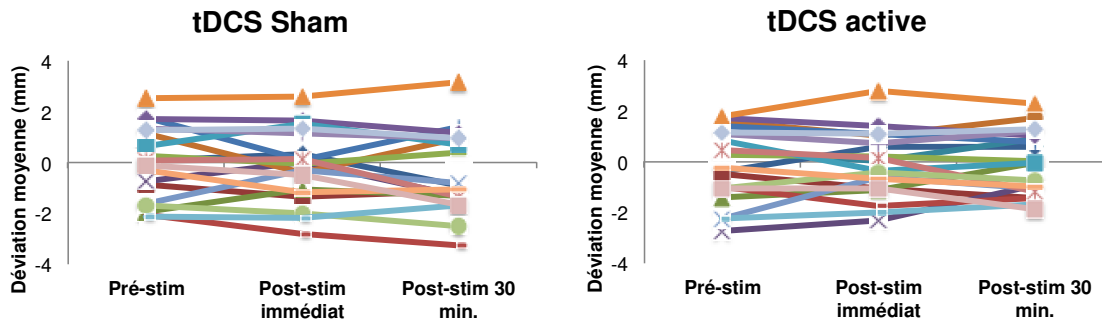


Figure 20. Illustration de la variabilité interindividuelle dans les performances au test de bissection de lignes et dans la réponse à la stimulation

L'ANOVA n'a révélé aucun effet principal du Traitement, $F(1, 18) = 0,69$; $p = 0,42$; $\eta^2 = 0,04$; ou de la Session, $F(1, 18) = 1$; $p = 0,33$; $\eta^2 = 0,05$; sur la déviation moyenne. Par ailleurs, les analyses n'ont pas révélé n'ont plus d'effet d'interaction entre ces facteurs, $F(1, 18) = 0,88$; $p = 0,36$; $\eta^2 = 0,05$. La Figure 21, illustre les scores de déviation en fonction du type de traitement et de session. Ces résultats suggèrent que la tDCS n'a eu aucun effet sur la déviation moyenne au test de bissection de lignes.

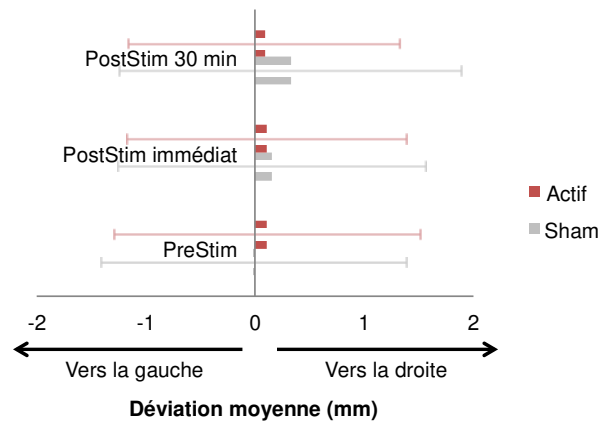


Figure 21. Déviation moyenne (en mm) au test de bissection de lignes, en fonction du type de Traitement (actif vs Sham) et de la Session (PréStim, PostStim immédiat et PostStim 30 min)

Les valeurs négatives représentent des déviations vers la gauche et les valeurs positives des déviations vers la droite. Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

5.1.4. Analyses secondaires : variabilité interindividuelle et fidélité intra-sujet concernant la réponse au test de bissection de lignes

Une corrélation intra-classe (ICC) a été réalisée afin d'évaluer le degrés d'accord entre les moyennes des trois sessions du traitement tDCSSham (à quel point les réponses sont équivalentes) (PréStim, PostStim immédiat et PostStim 30 min.) (Chew *et al.*, 2015). Une autre ICC a été réalisée afin de mesurer le degré d'accord entre les conditions préstimulation des deux traitements tDCS (*i.e.*, tDCSSham vs. tDCSActive). Selon Chew *et al.* (2015), un ICC supérieur ou égal à 0,75 indique un excellent accord ; un ICC compris entre 0,4 et 0,75 indique un accord moyen à bon ; et un ICC inférieur à 0,4 indique un manque de fidélité.

L'ICC a révélé une bonne fidélité des réponses à travers les différentes sessions du traitement Sham (ICC = 0,87 ; $p < 0,001$) et une bonne fidélité des réponses entre les deux sessions PréStim (ICC = 0,89 ; $p < 0,001$).

5.1.5. Analyses secondaires : effet de la position horizontale de la ligne sur la déviation moyenne et le temps de réponse au test de bissection de lignes

Des analyses secondaires ont été réalisées afin d'étudier l'effet potentiel de la position horizontale de la ligne sur la déviation moyenne et sur le temps moyen de réponse au test de bissection de lignes. L'objectif de mesurer l'effet de la position de la ligne sur le temps de réponse (et non sur la déviation seulement) était de voir premièrement, s'il existait une corrélation entre la rapidité de réponse et la justesse de la réponse (*i.e.*, est-ce que la déviation moyenne est plus faible pour les sujets les plus lents ?). Deuxièmement, de voir si la tDCS avait un éventuel effet sur la rapidité de réponse, tel que cela a déjà été démontré avec d'autres types de tâches visuo-spatiales (*e.g.*, tâche de détection visuelle de Sparing *et al.*, 2009).

5.1.5.1. Déviation

Une ANOVA à mesures répétées à un facteur a été utilisée afin de mesurer l'effet de la position horizontale de la ligne sur la déviation moyenne au test de bissection de lignes. Les analyses précédentes n'ayant montré aucun effet du traitement, ni de la session, l'effet de la position a été évalué en considérant tous les essais, sans distinction du type de traitement ou de session. L'ANOVA comprenait le facteur intra-sujet, POSITION horizontale de la ligne par rapport à la position centrale sur l'écran [cinq niveaux: -8,5cm; -4,2cm; 0cm; +4,2cm; +8,5cm].

Le test de Mauchly a indiqué que la condition de sphéricité des données n'était pas respectée, $\chi^2(9) = 34,9$; $p < 0,001$. Par conséquent, les degrés de liberté ont été corrigés à l'aide d'une estimation de Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0,49$).

L'ANOVA a révélé un effet significatif de la Position de la ligne, $F(4, 76) = 15,6$; $p < .001$; $\eta^2 = 0,45$, sur la déviation moyenne. L'observation de la Figure 22, montre que la position de la ligne sur l'écran, à un effet, premièrement, sur le sens de déviation de la ligne. En effet, quand la ligne était située à gauche de l'écran, la déviation moyenne est orientée vers la gauche du centre réel, alors que quand celle-ci est située à droite de l'écran, la déviation moyenne est orientée plus à droite par rapport au centre réel. Deuxièmement, la position horizontale de la ligne à un effet sur la magnitude de la déviation. En effet, plus la ligne était située à l'extrémité de l'écran, plus la déviation était importante. Inversement, plus la ligne était située proche du plan médian, moins la magnitude de déviation était importante.

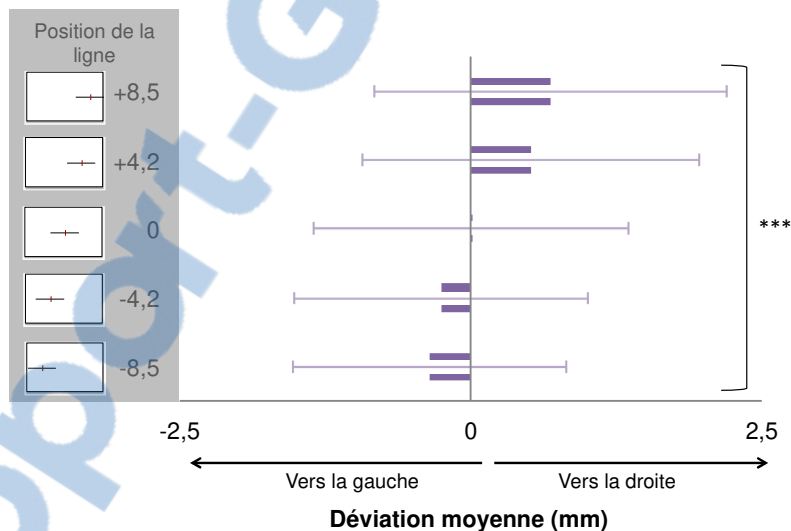


Figure 22. Effet de la position horizontale de la ligne sur la déviation moyenne (en mm) au test de bissection de lignes

Les barres d'erreur représentent les écarts-types. * $p < 0,001$.

Lorsque le facteur POSITION horizontale de la ligne était intégré comme co-variable dans les analyses (ANOVA à deux facteurs : Session et Traitement), les analyses ne révélèrent aucun effet principal du Traitement, $F(1, 93) = 0,49$; $p = 0,49$; $\eta^2 = 0,005$; ni d'interaction Traitement x Position, $F(1, 93) = 0,13$; $p = 0,72$; $\eta^2 = 0,001$. Aucun effet non plus de

la Session, $F(1, 93) = 0,7$; $p = 0,8$; $\eta^2 = 0,001$ ou d'interaction Session x Position, $F(1, 93) = 0,46$; $p = 0,5$; $\eta^2 = 0,005$ n'a été révélé non plus. Ni aucune autre interaction (tous les $p > 0,05$).

5.1.5.2. Temps de réponse

L'effet de la position de la ligne sur le temps de réponse moyenne a été mesuré à l'aide d'une ANOVA à mesures répétées à 2 facteurs. Les facteurs intrasujets étaient les suivants: POSITION horizontale de la ligne par rapport à la position centrale sur l'écran [cinq niveaux: -8,5cm; -4,2cm; 0cm; +4,2cm; +8,5cm]; et SESSION [trois niveaux: PréStim versus PostStim immédiat versus PostStim 30min]. Les analyses ont été réalisées sur les données non corrigées.

Le test de Mauchly a indiqué que la condition de sphéricité des données n'était pas respectée pour l'effet principal Session, $\chi^2(2) = 7,07$; $p = 0,03$. Par conséquent, les degrés de liberté ont été corrigés à l'aide d'une estimation de Greenhouse-Geisser ($\epsilon = 0,75$).

La Figure 23 montre le temps de réponse moyen mesuré pour chaque Session et Position. L'ANOVA a révélé un effet significatif de la Session, $F(1,5; 28,7) = 3,7$; $p = 0,048$; $\eta^2 = 0,16$; et de la Position de la ligne, $F(4, 76) = 15,59$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,45$, sur le temps de réponse. Comme illustré par la figure, le temps de réponse tend à suivre une représentation quadratique, en ce qui concerne l'effet de la position. C'est-à-dire, que plus la ligne était centrée sur les extrêmes (Ex. : Positions -8,5 et +8,5), plus le temps de réponse était élevé, a contrario, plus la ligne était proche du centre de l'écran, plus le temps de réponse était court. Les analyses n'ont par ailleurs révélé aucun effet d'interaction entre les facteurs Session et Position, $F(8; 152) = 0,31$; $p = 0,96$; $\eta^2 = 0,01$.

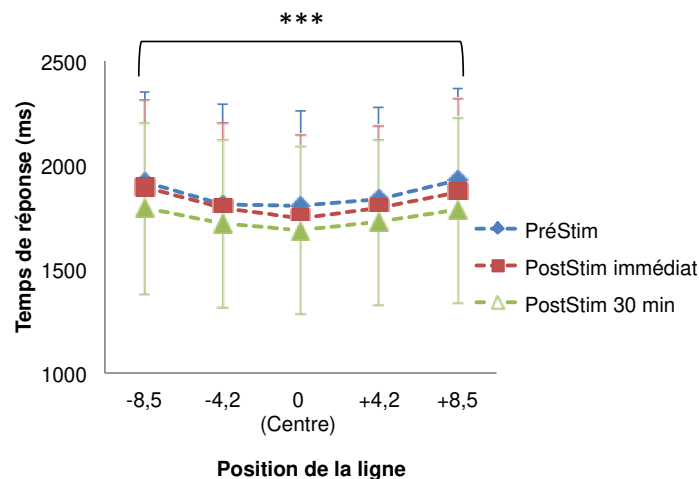


Figure 23. Temps de réponse moyen (en ms) au test de bissection de lignes, en fonction de la position horizontale de la ligne et de la session

Les barres d'erreur représentent les écarts-types. * $p < 0,001$.

5.1.6. Effet de la tDCS sur le biais attentionnel au test de Kayahara

Comparaison des sessions pré-stimulation pour les séances tDCS_{sham} versus tDCS_{active}. Le biais attentionnel moyen durant la session PréStim était de 0 ($ET=0,16$) pour le traitement tDCS_{sham}, tout comme pour le traitement tDCS_{active} ($ET=0,14$). Le test t n'a révélé aucune différence significative entre ces moyennes, $t(19) = -0,035$; $p = 0,97$.

Effet du traitement et de la session. L'ANOVA n'a révélé aucun effet principal du Traitement, $F(1, 17) = 0,31$; $p = 0,82$; $\eta^2 = 0,02$; ou de la Session, $F(1, 17) = 2,39$; $p = 0,14$; $\eta^2 = 0,12$; sur le biais attentionnel moyen. Par ailleurs, les analyses n'ont révélé aucune interaction entre ces deux facteurs, $F(1, 17) = 0,24$; $p = 0,63$; $\eta^2 = 0,01$. L'effet du traitement et de la session sur biais attentionnel moyen au test de Kayahara est illustré par la Figure 24.

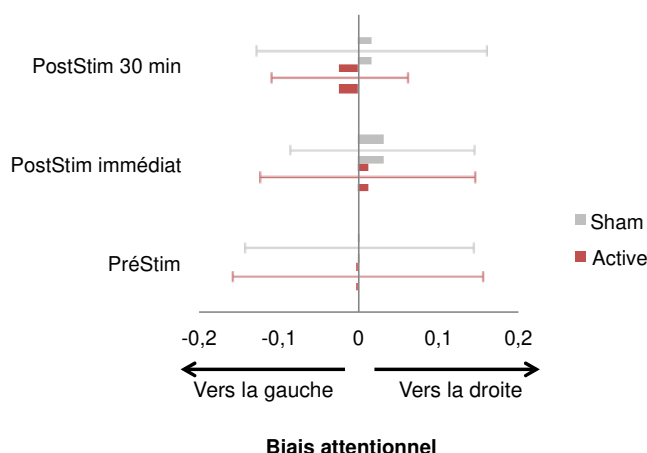


Figure 24. Biais attentionnel moyen (compris entre -1 et 1) au test de Kayahara, en fonction du type de traitement et de la session
Les barres d'erreur représentent les écarts-types.

5.1.7. Analyses secondaires : effet de la position du personnage non-bistable latéral sur le biais attentionnel au test de Kayahara

Des analyses secondaires ont été réalisées afin d'étudier l'effet potentiel de la position du personnage non-bistable latéral sur le biais attentionnel moyen.

Le test t n'a montré aucune différence significative entre le temps de réaction moyen quand le personnage non-bistable latéral était placé à droite ($M = 3781$, $ET = 761$) par rapport à quand il était placé à gauche de l'écran ($M = 3877$, $ET = 1035$); $t(19) = -0,55$; $p = 0,59$.

6. Discussion

Le but principal de l'étude était de créer, grâce à la tDCS, un modèle de NSU chez des sujets sains, permettant de moduler les processus attentionnels visuo-spatiaux de manière transitoire, et d'étudier la capacité du test de Kayahara



à détecter la présence de cette perturbation. Les performances obtenues par le nouveau test étaient comparées avec celles obtenues avec une version informatisée du test de bissection de lignes.

Les résultats n'ont montré aucune différence significative entre la stimulation placebo et la stimulation active, aussi bien pour le test de Kayahara, que pour le test de bissection de lignes. Ces résultats suggèrent que la tDCS, à travers le montage et les paramètres de stimulation choisis dans cette étude, a échoué à moduler les processus attentionnels d'une manière détectable par les tests utilisés. Dû au manque d'effet de la tDCS, cette étude ne permet pas de statuer sur la capacité du test de Kayahara à détecter la présence d'une pseudonégligence, et de répondre donc à la question de recherche.

La présente section discutera des différents facteurs pouvant expliquer l'absence d'effet de la tDCS (section 4.6.1.). Elle traitera ensuite de l'effet de la position horizontale de la ligne sur la déviation au test de bissection observé dans cette étude et comparera les données issues de la littérature à ce sujet (section 4.6.2.). Pour finir, elle discutera de la performance des sujets au test de Kayahara en lien avec les observations qui ont été faites dans l'étude 1 (chapitre 3) (section 4.6.3).

6.1. Effet de la tDCS et hypothèses concernant les résultats au test de bissection de lignes

Plusieurs facteurs pourraient expliquer l'absence d'effet de la tDCS observé dans cette étude. Le premier pourrait être lié aux choix méthodologiques réalisés (section 4.6.1.1.), tel que les paramètres de stimulation, le nombre d'essais, le nombre de participants, ou encore le choix du test de mesure. Par ailleurs, tel que l'affirment des études récentes (e.g., Horvath *et al.*, 2014; Learmonth *et al.*, 2015; Ridding et Ziemann, 2010; Wiethoff *et al.*, 2014) de nombreux autres facteurs intrinsèques, tels que les propriétés anatomiques des sujets et extrinsèques, tels que la position, la taille et la distance entre les électrodes, contribuent également à moduler les effets de la stimulation. Ces différentes variables peuvent d'ailleurs expliquer en grande partie les discordances existantes entre les études. Plusieurs de ces paramètres pourraient également potentiellement expliquer les résultats observés dans la présente étude (section 4.6.1.2.).

6.1.1. Choix méthodologiques

Paramètres de stimulation

Contrairement à Sparing *et al.* (2009) et à Giglia *et al.* (2011)³ aucun effet de la tDCS n'a été observé après stimulation bilatérale des CPP. Plusieurs raisons pourraient expliquer ces résultats. La première pourrait être la différence dans les paramètres de stimulation utilisés. En effet, dans la présente étude, nous avons choisi d'utiliser une stimulation bilatérale de 1,5 mA appliquée pendant 20 minutes, alors que Sparing *et al.* (2009) utilisèrent une stimulation de 1 mA

³ Ces deux publications sont les deux études publiées dans la littérature à l'époque où la présente étude a été mise en place, et portant sur le sujet de l'effet de la tDCS sur les processus attentionnels visuo-spatiaux chez des participants sains.

appliquée pendant 10 minutes et Giglia *et al.* (2011) une stimulation de 1 mA appliquée pendant 15 minutes. La raison pour laquelle nous avons fait le choix d'augmenter l'intensité de la stimulation par rapport à ces deux études est que nous pensions à l'époque que ceci permettrait d'augmenter l'effet de la stimulation. Cependant, bien que des études ont démontré que l'augmentation de l'intensité de la stimulation permettait d'améliorer les effets (e.g., Cuypers *et al.*, 2013; Iyer *et al.*, 2005; Moos *et al.*, 2012; Nitsche et Paulus, 2000) plusieurs études, notamment plus récentes, suggèrent qu'il n'existe pas de relations linéaires entre l'intensité de la stimulation et l'intensité de l'effet (Batsikadze *et al.*, 2013; Benwell *et al.*, 2015). Par exemple, Batsikadze *et al.* (2013) montrèrent dans une étude portant sur les processus moteurs, qu'une stimulation cathodique de 1 mA appliquée pendant 20 minutes au niveau du cortex moteur gauche entraînait un effet inhibiteur, tel que classiquement accepté (Nitsche et Paulus, 2000), mais qu'une stimulation cathodique de 2 mA entraînait les mêmes effets excitateurs que la stimulation anodique. Ces résultats suggèrent qu'augmenter l'intensité de la stimulation ne conduit pas forcément à une augmentation de son effet, et qu'il peut au contraire mener à un inversement de la direction de l'excitabilité.

Une autre différence avec Sparing *et al.* (2009) est que dans la présente étude nous avons d'utilisé un mode de stimulation bilatéral plutôt qu'unilatéral. Afin d'induire une pseudonégligence à l'aide de la tDCS nous avons le choix entre (d'après les montages classiquement utilisés):

- appliquer une stimulation unilatérale cathodique en regard du CPP droit dans le but de l'inhiber
- appliquer un mode de stimulation bilatérale associant une stimulation anodique de CPP gauche ayant un effet facilitateur et une stimulation cathodique du CPP droit ayant un effet inhibiteur

Nous avons choisi d'utiliser un mode bilatéral, car il était attendu que l'application d'une stimulation anodique excitatrice sur le CPP gauche en plus d'une stimulation cathodique inhibitrice sur le CPP droit augmenterait l'effet de la stimulation. Il est difficile de déterminer si le fait d'avoir choisi un mode bilatéral plutôt qu'unilatéral ait eu un effet délétère sur l'effet mesuré de la stimulation. Cependant, tel que le laisse présumer plusieurs études ayant comparé l'effet d'un mode unilatéral versus bilatéral de la tDCS, il semblerait que la combinaison des stimulations anodique et cathodique simultanée au niveau des régions homologues de chaque hémisphère permettent d'en augmenter les effets (Giglia *et al.*, 2011; Sunwoo *et al.*, 2013; Vines *et al.*, 2008).

Stimulation *on-line* versus *off-line* et durée de l'effet de la stimulation

Un autre facteur pouvant avoir influencé l'effet mesuré de la tDCS est la durée de l'effet de la stimulation.

L'effet de la tDCS peut être mesuré après utilisation de protocole dits « *on-line* » c'est-à-dire pour lesquels les performances des sujets sont mesurées durant l'application de la stimulation, s'opposant aux protocoles, « *off-line* », pour lesquels les performances sont mesurées après l'arrêt de la stimulation.

Giglia *et al.* (2011) utilisèrent un protocole *on-line* et observèrent une disparition des effets de la stimulation dès les cinq premières minutes après l'arrêt de cette dernière, quelque soit le mode (*i.e.*, uni- ou bilatéral) de stimulation. Bien

que Sparing *et al.* (2009) montrèrent un effet jusqu'à 20 minutes après l'arrêt de la stimulation, la durée de l'effet de la stimulation après arrêt de celle-ci est un paramètre qui potentiellement peu avoir un impact important sur les résultats et peu expliquer certaines contradictions observées entre les études de tDCS. Plusieurs études démontrent d'ailleurs que l'efficacité de la tDCS peut fluctuer au cours du temps. Par exemple, Furubayashi *et al.* (2008) montrèrent, dans une étude portant sur les processus moteurs, une fluctuation de l'efficacité de la stimulation au cours du temps. Les résultats révélèrent, en effet, un changement significatif à 1 et 15 minutes après le lancement de la stimulation, pour la stimulation anodique et 0 et 5 minutes pour le mode cathodique.

Ces résultats suggèrent que la différence d'efficacité des modes de stimulation on-line versus off-line ainsi que la durée de l'effet de la tDCS avec différents paramètres de stimulation et montages devraient faire l'objet de davantage d'investigation. Ils questionnent également sur l'impact potentiel que peut avoir le niveau d'activité (moteur, cognitif) du sujet et l'état d'activation cérébral au moment de l'application de la stimulation (voir section 4.6.1.2.).

Nombre d'essais et de participants

Il existe deux raisons pour lesquelles des résultats ne révèlent pas de différences significatives entre des groupes ou des conditions étudiées. Premièrement, parce qu'il n'existe effectivement pas de différences entre les groupes ou conditions. Deuxièmement, il existe une différence réelle mais la méthodologie ou le protocole utilisé ne permet pas de détecter ces différences (notamment lorsqu'il existe une variabilité interindividuelle importante). Ceci se produit souvent lorsque le nombre d'essais ou de participants est insuffisant. Une autre variable importante ayant pu influencer nos résultats et l'effet de la tDCS est donc la taille d'échantillon et le nombre d'essais utilisés dans chaque tâche. Le nombre de sujets inclus dans une étude influence notamment la puissance statistique (Cohen, 1962; Yergeau, 2009). Plus le nombre de participants est élevé plus la puissance sera élevée. Lorsque l'effet mesuré est petit (comme cela semble être le cas dans cette étude) il est nécessaire d'inclure un plus grand nombre de participants (Yergeau, 2009). Ces variables sont en lien avec le risque d'erreur de type 2, c'est-à-dire de conclure que des différences entre les moyennes des groupes ou des conditions n'existent pas alors qu'elles existent. Par ailleurs, ce risque est plus fort avec les petits échantillons (Brunoni *et al.*, 2012) et lorsque l'effet à observer est petit. Brunoni *et al.* (2012) font remarquer que les études de tDCS, utilisant généralement de petits échantillons, sont à risque d'observer ce type d'erreur.

Concernant la taille d'échantillon, dans la présente étude le nombre de participants était de 20. Il est possible que compte tenu de la variabilité interindividuelle existante dans les performances, notamment au test de bissection de lignes, ce nombre ait été insuffisant. À l'époque où l'étude a été mise en place, d'autres auteurs avaient cependant mis en évidence des effets de la tDCS sur les processus visuo-spatiaux chez les sujets sains, avec des échantillons de 20 sujets ou moins (Giglia *et al.*, 2011; Sparing *et al.*, 2009). D'autres études en TMS montraient également des effets de la stimulation avec des échantillons inférieurs (e.g., Brighina *et al.*, 2002; Fierro, Brighina, Giglia, *et al.*, 2006; Fierro *et al.*, 2000; Fierro *et al.*, 2001; Hilgetag *et al.*, 2001). Cependant, un calcul *a posteriori* de la taille d'échantillon nécessaire pour espérer observer une différence significative entre les conditions sham et active révèlent que le nombre de sujets

inclus était insuffisant. Le calcul a été réalisé (en utilisant le logiciel G*Power 3.1.) à partir des moyennes des conditions tDCSSham pour la session post-stim immédiat ($M = -0,15$; $ET = 1,41$) et tDCSActif pour la session post-stim immédiat ($M = -0,11$; $ET = 1,8$). Les résultats montrèrent que pour un alpha fixé à 0,05 et une puissance fixée à 0,8, la taille d'échantillon nécessaire pour détecter une différence significative entre les conditions sham et active est de 13199 sujets.

En ce qui concerne le nombre d'essais, nous voulions nous assurer que la durée des effets de la tDCS couvre la durée de la tâche (comprenant les essais pour les tests de Kayahara et de bissection de lignes). Pour cette raison nous avons calculé le nombre maximum d'essais pouvant être inclus pour une durée de 10 minutes (cette durée a été choisie de manière arbitraire), soit 40 essais pour le test de Kayahara et 30 pour celui de bissections. Par ailleurs, Giglia *et al.* (2011) avaient montrés des effets de la tDCS sur le test de Landmark avec le même nombre d'essais. Cependant, il est possible que pour le test de bissection de lignes, que l'effet de la position horizontale de la ligne sur la déviation ait pu potentiellement masquer l'effet de la tDCS. De plus, étant donné qu'il y a 5 positions différentes, cela revient à avoir seulement 6 essais par condition. Concernant le test de Kayahara, comme l'a révélé l'étude 1, les sujets répondent en moyenne à 45% des essais, ce qui signifie que les calculs sont réalisés sur 18 essais seulement. Il est donc possible qu'augmenter le nombre d'essais ait mené à des résultats plus concluants. Une alternative, par exemple, aurait été d'avoir un groupe supplémentaire et d'administrer le test de Kayahara à un groupe et le test de bissection à l'autre afin d'augmenter le nombre d'essais sans avoir à augmenter la durée de la tâche.

Test de mesure

Pour finir, il pourrait être pertinent de se questionner sur l'impact du test utilisé sur les résultats, et si avoir opté pour le test de Landmark plutôt qu'un test de bissection de lignes n'aurait pas donné de résultats différents. Il est reconnu, en effet, que le test de Landmark entraîne généralement un biais plus important qu'avec les tests de bissection. Ceci étant dû au fait que les sujets doivent réaliser un choix forcé. Cependant, du fait même de ce choix forcé le test de Landmark est moins précis que le test de bissection pour caractériser les biais attentionnels visuo-spatiaux. En outre, la raison principale nous avons fait le choix d'utiliser le test de bissection est que c'est ce test qui est généralement utilisé en clinique pour l'évaluation de la NSU. Nous souhaitions donc comparer les performances du test de Kayahara avec celle d'un test classiquement utilisé en clinique. Il n'est cependant pas à exclure que l'utilisation de ce test, et la sensibilité de ce dernier à différentes variables intrinsèques et extrinsèques (voir section 4.6.2) puisse avoir influencé nos résultats.

6.1.2. Autres facteurs

Variabilité interindividuelle

Tel qu'il a été mentionné dans le chapitre 1 (section 1.2.7.), de plus en plus d'études démontrent qu'il existe une forte variabilité interindividuelle de la réponse à la tDCS (e.g., Chew *et al.*, 2015; Kim *et al.*, 2014; Lopez-Alonso *et al.*, 2014; Ridding et Ziemann, 2010; Wiethoff *et al.*, 2014). Wiethoff *et al.* (2014) ont montré notamment dans une étude portant sur les processus moteurs chez un groupe de 53 sujets que la moitié ne répondaient pas à l'effet de la tDCS ou présentaient une réponse faible. Parmi les sujets sensibles à la stimulation, un tiers seulement répondaient à la stimulation d'une manière classique, c'est-à-dire présentaient une réponse augmentée après stimulation anodique et diminuée après une stimulation cathodique. Chez trois quarts des sujets l'anode avait un effet facilitateur et chez un tiers inhibiteur. Concernant la cathode, la proportion était environ de 60 : 40 (facilitateur : inhibiteur). Dans la présente étude il est difficile de définir s'il existe une forte entre les sujets face à l'effet de la tDCS compte tenu de la forte variabilité interindividuelle existante initialement en ce qui concerne la réponse au test de bissection. En effet, les résultats montrent que la réponse est très variable d'un individu à l'autre, aussi bien en ce qui concerne la magnitude de la déviation que la direction de celle-ci.

Variabilité/fidélité intra-individuelle

Plusieurs auteurs soulignent la variabilité intra-individuelle de la réponse à la tDCS (Chew *et al.*, 2015; Lopez-Alonso *et al.*, 2014). La présente étude révèle forte variabilité interindividuelle mais les analyses ont montré une bonne fidélité des réponses à travers les différentes sessions du traitement Sham et aussi une bonne fidélité des réponses entre les sessions PréStim mesurée à une semaine d'intervalle. Cela suggère que les réponses individuelles des sujets au test de bissection de lignes, tel que mesuré dans cette étude, étaient stables à travers le temps.

État d'activation initial

Les effets induits par la tDCS sur les fonctions corticales sont complexes (Miniussi *et al.*, 2008). Les modifications comportementales observées reflètent des changements dans l'activité corticale qui sont dépendants d'un certain nombre de variables intrinsèques et extrinsèques (cf. chapitre 1, section 1.2.7. pour une description). Par ailleurs, il devrait être gardé à l'esprit que le cerveau ne réagit pas de manière passive à la stimulation corticale, mais qu'au contraire la réponse engendrée dépend de son niveau d'activation initial (Miniussi *et al.*, 2008; Silvanto *et al.*, 2008). En effet, l'impact neuronal d'un stimulus externe (incluant une stimulation tDCS) n'est pas seulement déterminé par les propriétés de ce stimulus (e.g., paramètres de stimulation) mais également par la susceptibilité de la région corticale ciblée à être activée (ou inhibée) par le stimulus (Silvanto et Pascual-Leone, 2008). Ce facteur pourrait donc, au même titre que la variabilité inter-sujet face à l'effet de la stimulation, influencer le niveau d'efficacité d'une session de stimulation et pourrait être un facteur explicatif des résultats observés dans notre étude.

Contrairement aux études portant sur les processus moteurs, l'influence de l'état d'activation sur l'efficacité des méthodes de stimulation non-invasives a été peu étudiée dans les études portant sur des processus cognitifs (Silvanto *et al.*, 2008; Silvanto et Pascual-Leone, 2008). Ceci s'explique certainement en partie par le fait que l'impact de la

stimulation sur l'excitabilité cérébrale est beaucoup plus facilement appréhendable pour processus moteurs qui peut être évaluée avec des marqueurs physiologiques simple comme les potentiels évoqués moteurs. Cet effet est plus difficile à mesurer pour les processus cognitifs, car de nombreuses variables peuvent influencer l'état d'activation cérébral. C'est le cas par exemple, du niveau de fatigue, de la connaissance et du niveau d'expertise à la tâche (Silvanto *et al.*, 2008; Silvanto et Pascual-Leone, 2008; Tremblay *et al.*, 2014). Le fait qu'il est plus difficile de prendre en compte l'état d'activation initial des régions ciblées avant une séance de stimulation peut expliquer pourquoi la dichotomie anode excitatrice / cathode inhibitrice est plus fréquemment reportée dans les études portant sur les processus moteur que celles portant sur les processus cognitifs (Jacobson *et al.*, 2012; cf. chapitre 1, section 1.2.7. pour plus de détails). Il est cependant admis que le concept d'état d'activation cérébral initial peut renvoyer à plusieurs dimensions. Premièrement, il peut référer à l'état d'activation des réseaux neuronaux ciblés et au niveau d'activité en fonction des différences interindividuelles. Deuxièmement, il peut concerner le niveau de performance initial des sujets à une tâche (e.g., la stimulation aura un effet seulement sur les sujets avec des performances élevées).

En ce qui concerne le niveau d'activité cérébral des régions cibles, une étude récente suggère qu'il existerait une forme d'équilibre entre le niveau d'excitation et d'inhibition corticale, et que ce ratio excitation/inhibition pourrait varier entre les différentes aires cérébrales et entre les sujets (Krause *et al.*, 2013). Par exemple, l'application d'une stimulation anodique au niveau d'une région cérébrale avec une excitabilité neuronale élevée pourrait conduire à une *over-excitation* et à des performances non optimales, alors que la stimulation d'une région différente avec un niveau différent d'équilibre excitation/inhibition pourrait être plus bénéfique (Roy *et al.*, 2015). Sur le cortex moteur, il a notamment été démontré que des sessions préalables de tDCS (pré-conditionnement) modulent l'effet d'une session de TMS. Siebner *et al.* (2004) montrent par exemple dans une étude qu'une session de pré-conditionnement à l'aide de la tDCS reverse l'effet d'une stimulation TMS à 1 Hz, suggérant que la modulation de l'état d'activation initial modifiait l'effet de la stimulation.

Concernant l'influence du niveau de performance initiale, plusieurs études démontrent un niveau d'efficacité variable de la tDCS en fonction des performances individuelles aux tâches évaluées (e.g., Berryhill et Jones, 2012; Learmonth *et al.*, 2015; Li *et al.*, 2015). Learmonth *et al.* (2015) par exemple montrèrent un effet de la tDCS anodique du CPP dans une tâche de détection visuelle (*i.e.*, effet facilitateur : amélioration de la détection des cibles controlatérales) chez les « bon » performeurs uniquement. Ces résultats sont en adéquations avec les observations de Berryhill et Jones (2012) qui montrèrent une amélioration de la mémoire de travail après tDCS seulement chez les sujets avec un haut niveau d'éducation.

Si l'état d'activation cérébral a effectivement un impact sur l'efficacité de la tDCS, ce facteur pouvant être influencé par diverses variables, il pourrait donc être pertinent que les études prennent en considération ou contrôlent les variables reconnues pour moduler l'activité du cerveau. Parmi elles on notera notamment : le nombre d'heures et la qualité du sommeil, la consommation de substance à base de caféine ou d'alcool, la prise de médicaments, de drogue ou d'autres

substances pouvant avoir un effet psychotrope ou moduler le niveau d'attention ou de vigilance, la consommation de cigarette, la période du cycle menstruel, l'exercice régulier ou non d'activité physique, le fait d'avoir mangé avant l'étude ou le niveau de faim du sujet au moment de l'étude, ou encore le niveau d'anxiété du sujet face à la stimulation. Il pourrait être certainement également pertinent de tenir compte de la période de la journée à laquelle est appliquée la stimulation et dans le cas de devis croisés, de s'assurer que chaque sujet reçoit les sessions de stimulation à la même heure ou même période (ex : en matinée).

6.2. Effet de la position horizontale de la ligne sur la magnitude et le sens de la déviation au test de bissection

La présente étude a montré un effet de la position spatiale de la ligne sur la magnitude et le sens de la déviation au test de bissection de lignes chez des sujets sains. Les résultats ont montré que premièrement, la marque de bissection était placée plus à gauche que le centre réel lorsque la ligne était présentée dans l'hémiespace gauche, et *a contrario* plus à droite lorsqu'elle était présentée dans l'hémiespace droit. Et deuxièmement que la magnitude de la déviation augmentait avec la distance du centre de la ligne par rapport au plan médian du sujet (au centre de la feuille).

Il est aujourd'hui reconnu que plusieurs variables peuvent moduler les performances des sujets au test de bissection de lignes et au test de Landmark. C'est notamment le cas de la longueur (Manning *et al.*, 1990), de la largeur (Harvey *et al.*, 1995; Luh, 1995; Rueckert *et al.*, 2002; Varnava *et al.*, 2002) ou encore du contraste et de la luminance (Shuren *et al.*, 1997; Tegner et Levander, 1991) des lignes. Également, en ce qui concerne les variables liées aux caractéristiques du sujet, malgré l'existence de nombreuses contradictions, plusieurs études montrent que l'âge des participants (Fujii *et al.*, 1995), la main utilisée pour répondre (Bradshaw *et al.*, 1986; Brodie et Pettigrew, 1996; Fukatsu *et al.*, 1990) ou la direction du balayage visuelle (Bradshaw *et al.*, 1987; Chokron *et al.*, 1998; Reuter-Lorenz et Posner, 1990) peuvent avoir un effet sur la magnitude de la déviation.

Plusieurs études ont également reporté un effet de la position spatiale du stimulus sur le plan horizontal, sur la magnitude et le sens de la déviation au test de bissection ou de Landmark. Comme nous allons le voir les résultats reportés sont relativement contradictoires. Parmi les études ayant observé un effet de la position spatiale horizontale du stimulus, plusieurs d'entre elles ont observé que les sujets présentaient une déviation significativement plus à gauche du centre réel lorsque les lignes étaient situées dans l'hémichamp visuel gauche (*i.e.*, partie gauche de l'écran ou de la table par rapport à l'axe sagittal médian du sujet) et une déviation vers la droite lorsque les lignes étaient situées dans l'hémichamp visuel droit (Drago *et al.*, 2006; Milner *et al.*, 1992; Reuter-Lorenz *et al.*, 1990). Reuter-Lorenz *et al.* (1990) montrèrent cet effet sur un groupe de 8 sujets sains droitiers, à travers une présentation tachistoscopique du test de Landmark. Milner *et al.* (1992) utilisèrent une version papier du test de bissection de lignes, chez un groupe de 12 droitiers. Drago *et al.* (2006) quand à eux manipulèrent la position spatiale de la feuille plutôt que celle des stimuli sur la feuille. L'étude fut réalisée sur un groupe de 14 participants droitiers. Ils observèrent, que la déviation par rapport

au centre réel était significativement plus à gauche quand la feuille était située à gauche du plan médian du sujet et plus à droite lorsqu'elle était située à droite du plan médian. Cet effet était apparent uniquement lorsque les stimuli étaient localisés dans un espace proximal par rapport au sujet (*i.e.*, environ 10 cm. En comparaison avec l'espace distal situé à environ 40 cm du tronc du sujet). Ce biais de type centrifuge observé par ces différentes études est en accord avec les observations faites dans la présente étude. Ce biais attentionnel pourrait être attribuable, selon certains auteurs, à une tendance des sujets à répondre dans la direction contralatérale à l'hémisphère le plus activé (Milner *et al.*, 1992). En effet, selon l'hypothèse d'activation-orientation (Kinsbourne, 1987; Reuter-Lorenz *et al.*, 1990) le placement latéral (*i.e.*, hémichamp visuel droit ou gauche) d'un stimulus augmenterait le niveau d'activité dans l'hémisphère contralatéral. Ainsi, chez le sujet sain, la présentation du stimulus dans l'hémi-espace gauche augmenterait l'activation de structures de l'hémisphère droit impliquées dans les processus attentionnel visuo-spatiaux et ainsi augmenterait le « gain » de la distribution attentionnel en faveur de l'hémisphère droit (McCourt et Jewell, 1999), ce qui résulterait en une perception du centre de la ligne plus à gauche que le centre réel. Et inversement avec une présentation du stimulus dans l'hémichamp visuel gauche. Du fait des lésions cérébrales, il est observé chez les patients souffrant de NSU au contraire que la présentation des lignes dans l'hémichamp visuel gauche augmente davantage le biais attentionnel vers la droite (e.g., Mennemeier *et al.*, 1997; Nichelli *et al.*, 1989).

D'autres études, ont montré un effet de la position spatiale du stimulus sur la magnitude du phénomène de pseudonégligence (*i.e.*, biais vers la gauche) (Luh, 1995; McCourt et Jewell, 1999). Plus spécifiquement, ces études montrèrent que lorsque les lignes étaient placées dans l'hémichamp visuel gauche l'effet de pseudonégligence était augmenté. Au contraire, lorsqu'elles étaient placées dans l'hémichamp visuel droit cet effet diminué. Au contraire des précédentes études, la déviation restait orientée vers la gauche quelque soit la latéralisation du stimulus. McCourt et Jewell (1999) montrèrent, par exemple, chez un groupe de 27 participants droitiers à travers le test de Landmark, que la présentation des lignes dans l'hémichamp visuel gauche augmentait le phénomène de pseudonégligence (*i.e.*, déviation vers la gauche). Au contraire, celle-ci diminuait progressivement à mesure que la ligne passait dans l'hémichamp visuel droit. Cependant, cet effet a été observé par les auteurs uniquement quand les sujets répondaient avec leur main gauche. En effet, aucun effet de la position spatiale de la ligne n'a été observé quand les sujets répondaient avec leur main dominante. Luh (1995) montrèrent cet effet chez un group de 111 sujets droitiers et gauchers, à travers l'utilisation d'un test de bissection de lignes. Conformément aux études précédentes, ces études sont en faveur d'un effet centrifuge de la position spatiale horizontale de la ligne sur le biais au test de bissection ou de Landmark.

Contrairement aux études précédentes, Nichelli *et al.* (1989) ont observé un biais attentionnel de type centripète (*i.e.*, en direction du centre de la feuille ou du plan sagittal médian du sujet). Leurs résultats sont en adéquation avec les observations faites par Nielsen *et al.* (1999). L'étude de Nichelli *et al.* (1989) incluait un groupe de participants relativement âgé (en moyenne 64,3 ans). Il est possible selon certains auteurs (Mennemeier *et al.*, 1997; Milner *et al.*, 1992) que l'âge des participants expliquent les résultats contradictoires par rapport aux études présentées

précédemment. Plusieurs études ont par exemple montré que les sujets âgés le phénomène de pseudonégligence était beaucoup plus rarement observé, ou qu'au contraire les sujets présentaient un léger biais vers la droite. Cet effet a été observé au test de bissection de lignes (Failla *et al.*, 2003; Fujii *et al.*, 1995; Fukatsu *et al.*, 1990; Learmonth *et al.*, 2015), de Landmark (Schmitz et Peigneux, 2011), et également dans des tâches de détection visuelle latéralisée (Nagamatsu *et al.*, 2011; Nagamatsu *et al.*, 2009). Cette différence en comparaison avec les sujets sains pourrait être liée à une réduction de l'asymétrie cérébrale apparaissant avec l'âge. Les mécanismes physiologiques, expliquant cette modification restent cependant obscurs. Concernant l'étude de Nielsen *et al.* (1999), il faut noter que l'effet était observé lorsque la vue des sujets était restreinte uniquement à l'hémichamp visuel contenant le stimulus. En condition visuelle libre, c'est-à-dire lorsque les sujets avaient la possibilité de déplacer leur regard sur l'ensemble de l'écran, aucun biais attentionnel n'était observé (i.e., la déviation n'était pas significativement différente celle mesurée avec la ligne localisée au centre).

Pour finir, plusieurs études ont également reporté aucun effet de la position horizontale des lignes sur les performances des sujets (Brodie et Dunn, 2005; Butter *et al.*, 1988; Fukatsu *et al.*, 1990; Reuter-Lorenz et Posner, 1990).

En résumé, notre étude confirme l'hypothèse d'une influence de la position spatiale horizontale des lignes sur la performance au test de bissection de lignes. Elle étaye les études montrant soit, que la déviation est dirigée dans le même sens que la position du stimulus (i.e., hémichamp gauche vs. droit), soit, que la pseudonégligence augmente quand le stimulus est localisé à gauche et diminue quand il est localisé à droite (Drago *et al.*, 2006; McCourt et Jewell, 1999; Reuter-Lorenz *et al.*, 1990). Dans l'ensemble de ces études, l'effet de la position était étudié en utilisant seulement trois modalités, à savoir, droite, gauche ou centre. Seule l'étude de McCourt et Jewell (1999) ont étudiés cet effet sur plus de trois positions spatiales. Au delà de confirmer l'effet d'influence de la position spatiale horizontale du stimulus, notre étude démontre que le degré d'éloignement de la ligne par rapport au centre de l'écran ou de la feuille, influence la magnitude de l'effet. En terme d'implication clinique, cette étude suggère que les tests de bissection de lignes réalisés auprès de patient atteint de NSU devraient inclure des stimuli présentés dans différentes positions spatiales afin de cerner de la manière la plus complète possible les performances des sujets dans différentes conditions. En outre, les résultats de cette étude suggèrent également que la magnitude de la déviation seule ne devrait pas être considérée comme un index de la sévérité de la NSU étant donné que cette dernière est influencée par des caractéristiques du stimulus tel que sa position. Pour finir, cette étude souligne l'importance de mieux caractériser les performances des sujets sains au test de bissection de lignes afin de mieux en établir les normes et de mieux caractériser les performances pathologiques.

6.3. Incidence de la pseudonégligence

Le phénomène de pseudonégligence, qui décrit une tendance des sujets sains à présenter une déviation systématique légèrement vers la gauche du centre réel de la ligne au test de bissection de lignes ou de Landmark (Bowers et Heilman, 1980), est un phénomène largement reporté dans la littérature. Les analyses de la méta-analyse réalisée par Jewell et

McCourt (2000) portant sur plus de 70 études et impliquant plus de 2000 sujets révélèrent qu'il s'agissait d'un phénomène relativement robuste. Son incidence pourrait atteindre jusqu'à 91% (McCourt, 2001).

Dans la présente étude, environ 50% des sujets ont montré une déviation vers la gauche (mesuré pour les sessions de pré-stimulation, sham et active) et 50% une déviation vers la droite. Par ailleurs, la magnitude de la déviation pour les sujets présentant un biais vers la gauche n'apparaissait pas plus importante que celle mesurée chez les sujets avec un biais plus à droite du centre réel. En d'autre terme, la présente étude ne confirme pas la présence de pseudonégligence reportée dans de nombreuses études (e.g., Bradshaw *et al.*, 1986; Dellatolas *et al.*, 1996; Luh, 1995; McCourt, 2001; McCourt et Jewell, 1999).

Plusieurs facteurs pourraient expliquer l'incidence du phénomène de pseudonégligence observé dans cette étude. Tout d'abord, dans leur méta-analyse, Jewell et McCourt (2000) ont observé que l'incidence de la pseudonégligence était plus importante dans les protocoles utilisant des choix forcés, tel que c'est le cas avec le test de Landmark, en comparaison avec une méthode nécessitant une réponse manuelle (*i.e.*, test de bissection). Ceci pourrait être un premier facteur d'explication. Par ailleurs, une étude démontre l'influence de présenter le test de bissection sous une forme informatisée ou papier (Dellatolas *et al.*, 1996). Les auteurs trouvèrent en effet, chez des sujets sains, un biais dans des directions opposées lorsque la tâche est réalisée sur papier versus sur ordinateur. Selon les auteurs, cette contradiction s'expliquerait par la différence existante dans la distance de présentation des stimuli par rapport au sujet. En effet, avec le test papier les lignes sont présentées en général à une distance d'environ 30 cm du sujet alors que sur ordinateur elle avoisinerait plutôt les 60 cm. Cette hypothèse a été confirmée par Varnava *et al.* (2002) qui montrèrent que la distance de présentation des stimuli modulait de manière significative les performances à la tâche de bissection de lignes. Plus spécifiquement l'étude montra un biais vers la gauche lorsque les lignes étaient présentées dans l'espace proche et un biais vers la droite lorsque les lignes étaient présentées dans un espace plus lointain. Ces études confirment les observations antérieures montrant des différences entre l'espace proche et lointain (e.g., Cowey *et al.*, 1994; Halligan et Marshall, 1991), et appuie l'hypothèse d'une dissociation fonctionnelle entre ces deux types d'espaces. Dans la présente étude il est possible que l'incidence de pseudonégligence observée au sein de notre échantillon s'explique en partie par cet effet de la distance de présentation des stimuli. D'autant plus que dans notre étude l'écran était très éloigné du sujet (il était placé à une distance d'environ 80 cm des yeux des participants).

Un autre facteur ayant pu avoir une influence sur l'incidence du phénomène de pseudonégligence observé dans notre étude, est la position initiale du curseur permettant aux sujets de répondre. Plusieurs études démontrent en effet l'influence de la direction du balayage visuel sur les performances au test de bissection de lignes (Brodie et Pettigrew, 1996; Chokron *et al.*, 1998; Chokron et Imbert, 1993; Varnava *et al.*, 2002). Varnava *et al.* (2002) montrèrent notamment, dans une version informatisée du test de bissection de lignes, une interaction entre la position initiale du curseur à déplacer pour répondre (*i.e.*, situé à l'extrémité droite ou gauche de la ligne) et la distance de présentation du stimulus. Plus spécifiquement, les données montrèrent que lorsque la position de départ du curseur était à gauche (ce qui encourage un balayage de la ligne de gauche à droite) la déviation était située plus à gauche que le centre réel

et tendait à passer vers la droite à mesure que la distance entre le stimulus et le sujet augmentait. Lorsque le curseur était situé à droite cependant, la déviation était toujours localisée à gauche. Cette étude confirme la présence d'un biais vers la gauche, pour des lignes présentées dans un espace péri-personnel lorsque la stratégie de balayage ce fait de gauche à droite. Concernant l'effet du balayage de droite à gauche la littérature rapporte des résultats très variables. Une des raisons pouvant expliquer pourquoi le balayage gauche-droite donne des résultats plus consistant pourrait être le fait que dans les pays occidentaux la lecture et l'écriture se font de la droite vers la gauche, entraînant de ce fait une facilitation de cette stratégie de balayage (Chokron *et al.*, 1998; Chokron et De Agostini, 1995). Il est donc plausible que le fait de placer le curseur d'une extrémité à l'autre (droite ou gauche) comme cela a été le cas dans notre étude, ait influencé la direction du balayage (de droite vers la gauche ou contraire) et ainsi la magnitude et la direction du biais mesuré.

6.4. Position du personnage non bistable latéral au test de Kayahara et biais attentionnel

Dans la première étude, présentée au chapitre 3, nous avons vu que ni la proportion de réponses moyenne, ni le temps de réponse moyen, n'étaient influencés par la position du personnage non-bistable latéral. Les résultats de la présente étude confirment l'absence de biais attentionnel visuospatial envers un espace particulier chez les sujets sains.

6.5. Contribution de l'étude et perspectives

Bien que cette étude ne permette de répondre à l'objectif de départ, elle contribue à l'apport des connaissances en ce qui concerne le test de bissection de lignes (classiquement utilisé comme outil diagnostique de la NSU). Elle confirme en effet l'existence de l'influence de la position spatiale de la ligne sur les performances au test de bissection de lignes et démontre en outre que cette influence est proportionnelle à l'éloignement du stimulus par rapport à l'axe sagittal médian du sujet. Cette étude démontre également la forte variabilité interindividuelle existante au test de bissection de lignes et confirme que le phénomène de pseudonégligence, souvent rapporté comme un phénomène « classique » ne s'observe pas systématiquement chez les sujets sains. Ces questions sont importantes puisqu'une performance ne peut-être considérée comme pathologique que par rapport à une norme. Connaitre précisément les performances obtenues par la population « normale » est donc nécessaire afin de pouvoir établir des critères normatifs et des seuils de comparaison pour une population clinique. Malheureusement aujourd'hui, bien que le test de bissection reste un outil largement utilisé, il n'existe aucun consensus en ce qui concerne la forme des stimuli à utiliser (nombre de lignes, longueurs, position, etc.). Développer davantage études visant à étudier l'effet du test de bissection chez des sujets sains est donc indispensable.

Pour finir, la présente étude permet en outre d'apporter une contribution modeste en ce qui concerne l'effet de la tDCS sur les processus attentionnels visuo-spatiaux. Les mécanismes sous-jacents de la tDCS restent encore largement méconnus, et les études portant sur l'effet de la tDCS sur le cortex pariétal et sur les processus visuo-spatiaux étant

largement sous représentées, tout résultat, même négatif, est un apport important dans la compréhension des mécanismes.

Évaluation de la corrélation des performances du test de Kayahara avec celles des tests des cloches et de bissection de lignes, chez des sujets atteints d'un accident vasculaire cérébral, présentant ou non une NSU

Avant propos

Le but de cette étude était d'évaluer le degré de corrélation entre les scores obtenus au test de Kayahara et ceux obtenus au test des cloches et à un test de bissection de lignes, chez des patients atteints d'un AVC.

1. Introduction

La négligence spatiale unilatérale (NSU), également appelée négligence visuo-spatiale ou héli-inattention est un terme générique utilisé pour référer à une variété de signes cliniques ayant en commun l'incapacité du patient à reporter, répondre adéquatement, ou s'orienter volontairement vers les personnes ou objets présentés du côté (généralement) controlatéral à une lésion cérébrale (Heilman *et al.*, 1993; Mesulam, 1981). Ce trouble attentionnel peut être observé après lésions touchant différentes régions cérébrales, mais résulte généralement de l'atteinte du cortex pariétal postérieur (PPC) droit, particulièrement des aires au niveau du sillon intrapariétal ou de la jonction temporo-pariétale (Behrmann *et al.*, 2004; Behrmann *et al.*, 1997). La prévalence de la NSU s'étendrait entre un et deux tiers des patients atteint d'une lésion focale de l'hémisphère droit, dépendamment du type de test utilisé pour la diagnostiquer (Azouvi *et al.*, 2002; Bowen *et al.*, 1999; Buxbaum *et al.*, 2004). Selon certains auteurs (Corbetta *et al.*, 2005), chaque année environ 3 à 5 millions de patients souffriraient de NSU suite à un AVC. Il est en réalité très difficile d'évaluer l'incidence réelle de ce syndrome du fait tout d'abord, que la détermination de son incidence dépend de manière primordiale des critères et des tests utilisés pour l'évaluer, et d'autre part, de l'existence de variabilité importante dans l'expression de ce déficit d'un individu à l'autre dépendamment notamment de la forme et de l'étendue des lésions (Driver et Mattingley, 1998). Il est cependant attendu que l'incidence de la NSU augmente dans les années à venir en raison de l'augmentation croissante des maladies cérébro-vasculaires dans nos sociétés occidentales vieillissantes et aux changements des habitudes de vie des pays nouvellement industrialisés (Kerkhoff et Schenk, 2012). Quelque soit l'incidence exacte de la NSU, il est largement accepté que son évaluation en clinique et la prise en charge des patients touchés est primordiale. Plusieurs études démontrent par exemple que la NSU est un facteur péjoratif de récupération après lésion cérébrale (e.g., Buxbaum *et al.*, 2004; Denes *et al.*, 1982; Gillen *et al.*, 2005; Jehkonen *et al.*, 2000; Jehkonen *et al.*, 2006; Katz *et al.*, 1999). Sa présence, chez les patients atteints d'AVC ou de traumatisme crânien, est associée avec des performances plus faibles sur les échelles fonctionnelles (sensori-motrices et cognitives) et à des incapacités liées aux activités de la vie quotidienne (AVQ) (Denes *et al.*, 1982; Jehkonen *et al.*, 2000; Katz *et al.*, 1999). La récupération chez les sujets présentant des signes de NSU serait également plus lente ou plus atténuée que

chez les patients présentant une lésion cérébrale mais en l'absence de NSU (Gillen *et al.*, 2005; Katz *et al.*, 1999). Pour finir, la NSU pourrait contribuer à diminuerait l'efficacité des traitements (Kalra *et al.*, 1997) et augmenterait les risques de chute ou d'accident (Ugur *et al.*, 2000; Vallar, 2007). L'ensemble de ces exemples souligne l'importance d'évaluer la NSU chez les patients cérébrolésés et de la prise en compte de ce déficit dans les approches thérapeutiques ou rééducatives.

Une variété de tests standardisés et non standardisés ont été développés pour évaluer ce syndrome (Menon et Korner-Bitensky, 2004). Ces tests peuvent être classés en deux grandes classes, à savoir les tests dits *papier-crayon* et les batteries de test. La plupart des outils d'évaluation de la NSU sont des tests papier-crayon évaluant la NSU dans l'espace extrapersonnel proche (cf. chapitre 1; section 1.2.1.4; Potet *et al.*, 2011). Il s'agit d'épreuves généralement simples, pouvant être administrées au lit du patient. Ces épreuves ne prennent en général que quelques minutes et sont relativement facile et rapide à coter. Elles permettent de détecter de manière rapide l'éventuelle présence du déficit, et sont particulièrement adaptés à une utilisation en contexte clinique nécessitant des tests simples et rapides. Les batteries de tests sont des outils regroupant généralement plusieurs tests papier-crayon associés à une évaluation des performances des patients dans la réalisation de différentes tâches de la vie quotidienne (e.g., s'habiller, manger, se déplacer). Ces batteries permettent d'appréhender un plus large spectre de la NSU ou différentes sous-dimensions, ne pouvant pas toujours être détecté à travers l'utilisation d'un test unique. Les batteries nécessitent cependant beaucoup plus de temps pour l'évaluation des patients, puisque leur durée de passation excède souvent les 30-40 minutes, et demandent généralement une certaine expertise. Bien que les batteries de tests, tel que la BIT (*behavioural inattention test*) par exemple, semblent être les plus efficace dans la détection des signes de NSU, leur longueur d'administration fait qu'elles sont moins fréquemment utilisés que les tests papier-crayon. Un des désavantages des tests papier-crayon cependant est qu'ils présentent fréquemment des effets d'apprentissage. Des études montrent, en effet, que les patients s'améliorent souvent à un test auquel il a été soumis plusieurs fois sans qu'aucune amélioration effective des symptômes ne soit observable dans vie quotidienne (Azouvi, 2006; Azouvi *et al.*, 2002; Bartolomeo et Chokron, 2002; Ugur *et al.*, 2000).

Le but de la présente étude est de proposer un nouveau test de mesure du biais attentionnel visuospatial tel qu'observé dans le syndrome de NSU et de comparer les performances de ce test avec celles de tests de référence. Les performances du test ont été évaluées sur un groupe de patients atteint d'un AVC et présentant ou non des signes de NSU. L'intérêt de ce test par rapport aux outils déjà existants est qu'il est basé sur une illusion optique, appelé perception bistable, possédant l'avantage de reposer sur des processus automatiques. Nous pensons pour cette raison que ce test ne montrerait pas d'effets d'apprentissage, comme cela peut s'observer avec les tests papier-crayon.

Les tests de référence utilisés pour comparer les performances de ce nouveau test sont les tests de barrage de cloches (Gauthier *et al.*, 1989) et une version papier du test de bissection de lignes développé au sein de notre laboratoire. Le choix de ces tests de référence a été basé sur le fait que ces outils font parti des tests les plus utilisées en clinique pour le diagnostique de la NSU (Albert, 1973; Diller et Weinberg, 1977; Jewell et McCourt, 2000; Rueckert *et al.*, 2002;

Varnava *et al.*, 2013; Varnava *et al.*, 2002). Dans le test de barrage de cloches ou test des cloches (Gauthier *et al.*, 1989) le sujet a pour consigne de devoir repérer et entourer ou barrer des stimuli cibles (*i.e.*, cloches) répartis sur une feuille de papier présentée en format paysage. Il est classiquement observé dans ce test que les patients atteints de NSU tendent à omettre les cloches situées le plus à droite de la feuille. Concernant le test de bissection de lignes, il consiste à déterminer et marquer à l'aide d'un stylo le centre d'une ligne horizontale, présentée sur une feuille de papier présentée au format paysage face au sujet. Dans ce test, la variable mesurée est traditionnellement l'écart (en mm) entre la marque de bissection et le centre réel de la ligne. Les patients présentant une NSU gauche place généralement la marque plus à droite que le centre réel des lignes, contrairement aux sujets sains beaucoup plus précis, ou qui ont tendance à placer la marque légèrement plus à gauche du centre réel. Il existe de nombreuses versions du test de bissection de lignes, comportant une ou plusieurs lignes par feuille, une ou plusieurs feuilles de passation, et des lignes de caractéristiques différentes (*i.e.*, longueur, largeur, etc.). Dans cette étude nous avons fait le choix de développer notre propre test afin de présenter un test comportant des stimuli de différentes longueurs et surtout que la position spatiale des lignes varie. Concernant le choix de comparer le test de Kayahara avec deux tests papier-crayon plutôt qu'une batterie de tests, la raison principale était que nous souhaitions que l'expérience n'excède pas les 30 ou 40 minutes afin de limiter le risque de générer de la fatigue chez les patients. Le test de bissection utilisé dans cette étude n'étant pas un outil validé, la présence de signes de NSU chez les patients était évaluée en fonction de leurs performances au test des cloches, et selon les critères définis par les auteurs du test (Gauthier *et al.*, 1989). L'hypothèse générale de l'étude était que les scores du test de Kayahara présenteraient une bonne corrélation avec ceux des tests des cloches et de bissection de lignes, reflétant ainsi sa capacité à détecter un débalancement attentionnel visuospatial.

2. Matériel et méthode

Le protocole de recherche a été approuvé par le comité d'éthique local et est conforme à la Déclaration d'Helsinki. Tous les participants ont donné un consentement écrit avant de participer à l'étude.

2.1. Participants

Dix-huit patients (6 hommes, 11 femmes) présentant une lésion vasculaire corticale et/ou sous-corticale, touchant l'hémisphère droit ou gauche, ont été recrutés. L'ensemble des patients a été recruté au sein de l'institut de réadaptation en déficience physique de Québec (IRD PQ) et était en phase chronique. L'âge moyen des participants au moment de l'étude était de 59 ans (*ET* : 16; étendue : 19-82 ans). Trois patients étaient considérés comme atteints de NSU selon le test des cloches (au minimum 6 omissions). Quinze patients étaient droitiers tels que confirmés par le questionnaire de Latéralité manuelle d'Edinburgh (Oldfield, 1971); un patient était gaucher et un ambidextre. Les informations sur la latéralité manuelle d'un patient étaient manquantes. Les données d'un des patients ont été rejetées pour cause de « vision floue » (auto-reporté; S6). Les caractéristiques des patients sont détaillées dans le Tableau 11.

Tableau 11. Caractéristiques des patients

No.	Sexe	Âge (années)	Latéralité manuelle ²	Type de lésion	NSU?
1	F	69	100	Séquelle d'exérèse méningiome	Non
2	H	65	95	AVC sylvien D	Non
3	H	59	80	AVC embolique	Non
4	F	82	Abs ¹	AVC ischémique G	Non
5	H	60	-90	HIP capsulo-thalamique	Non
6	F	31	80	AVC cérébelleux bilatéral	Non
7	F	50	-10	HIV massive parenchymateuse G	Non
8	H	48	100	AVC sylvien D massif	Non
9	F	72	100	AVC sylvien D	Non
10	F	65	100	AVC frontal D	Non
11	H	42	100	HSA	Oui
12	F	80	100	AVC ischémique D	Non
13	F	52	100	AVC sylvien D	Non
14	F	19	50	HIP frontal D	Non
15	H	70	50	AVC D	Oui
16	F	65	100	AVC sylvien D	Oui
17	F	73	100	HIP fronto-pariétal D	Non
18	F	54	80	AVC sylvien D	Non

Note. HIP : Hémorragies Intra Parenchymateuses; HIV : Hémorragies Intra-Ventriculaire; HSA : Hémorragies Sous-Arachnoïdienne; D : Droit; G : Gauche; ¹ information manquante; ² Un score de -100 décrit une latéralité manuelle exclusivement gauche et +100 exclusivement droite.

2.2. Appareillage

Pour le test de Kayahara, les stimuli étaient présentés sur un écran d'ordinateur de 17" comportant une résolution de 1024 x 768 pixels et un taux de rafraichissement de 85 Hz pour 15 des 17 patients. Dû à l'impossibilité des 2 patients restant de se déplacer jusqu'au laboratoire d'étude, pour ces sujets les tests ont été administrés dans leur chambre. Dans ces cas, les stimuli étaient présentés sur l'écran d'un ordinateur portable de 17" comportant une résolution de 1600 x 900 et un taux de rafraichissement de 60 Hz. Les stimuli étaient présentés à l'aide du logiciel E-Prime (version 2.0, Psychology Software Tools, Inc.). Les réponses ont été recueillies au moyen d'une souris d'ordinateur.

2.3. Tests de mesure

Durant l'expérimentation, les participants étaient assis sur une chaise ou sur leur lit en face de l'écran d'ordinateur. Pour les participants ayant pu se déplacer jusqu'au laboratoire, l'expérience était réalisée dans une cabine insonorisée. Les participants pouvaient être testés à n'importe quel moment de la journée (donc heure variables d'un sujet à l'autre). Dans les deux cas, pour le test de Kayahara, l'écran était positionné à la hauteur des yeux, à une distance d'environ 80 cm du participant. Pour les tests de cloches et de bissection, les feuilles étaient positionnées sur la table face au sujet et alignées avec l'axe sagittal médian de ce dernier. Les feuilles étaient fixées sur la table afin que le participant ne puisse les déplacer.

2.3.1. Test de Kayahara

Le test de Kayahara utilisé dans cette étude était sensiblement le même que celui décrit dans chapitres précédents hormis que les participants avaient un temps limite d'environ 9 secondes pour répondre (équivalent à 8 cycles) au lieu de 5 comme pour l'étude 1 et 2 (Chapitres 3 et 4). De manière succincte, chaque essai commençait avec la présentation de deux personnages non bistables tournant dans des directions opposées (0,5Hz). Les deux personnages étaient présentés au même moment, mais dans des positions différentes (côtés droit et gauche de l'écran). Après un cycle de rotation (environ 1 seconde), aléatoirement le personnage non bistable de droite ou de gauche se transformait en personnage bistable. Le personnage non bistable latéral était placé à droite dans 50% des essais et à gauche pour le reste. Son sens de rotation était horaire pour 50% des essais et antihoraire pour les 50 autres %. Les sujets avaient pour consigne de maintenir leur regard sur une croix de fixation située au centre de l'écran (entre les deux personnages) et d'appuyer sur le bouton de la souris, si et dès qu'ils percevaient les deux personnages tourner dans le même sens. Les sujets répondaient avec leur main de préférence. Le biais attentionnel était calculé en mesurant la différence entre les temps de réponse moyens quand le personnage non-bistable latéral était placé à droite versus à gauche de l'écran, divisé par la somme des deux. Le biais attentionnel pouvait être compris entre -1 et 1. Une valeur positive indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace droit alors qu'une valeur négative indiquait un biais attentionnel en faveur de l'hémiespace gauche. Une valeur de 0 indiquait une absence de biais attentionnel en faveur d'un espace particulier. La tâche avait une durée maximale d'environ 4 minutes (dépendant de la rapidité de réponse de chaque sujet).

2.3.2. Test de bissection de lignes

Le test de bissection de lignes utilisé dans cette étude est une forme papier-crayon développée dans le cadre de cette étude. Les stimuli représentaient une série de 10 lignes présentées sur une feuille de format 21,6 × 27,9 cm, présentée au format paysage (horizontal). Les lignes mesuraient 3 mm de large et entre 57 mm et 210 mm de long. Chacune des 10 lignes avait une longueur différente. Pour chacune des lignes, le centre réel était différemment aligné sur le plan horizontal. Les patients avaient pour consigne de marquer le centre de la ligne à l'aide d'un crayon aussi précisément que possible, et ceux sans limites de temps. Les déviations par rapport au centre réel de la ligne étaient mesurées en utilisant une règle graduée au mm le plus proche; une valeur positive reflétait une déviation vers la droite et une valeur négative, une déviation vers la gauche. Le test de bissection de lignes est présenté Annexe 2b.

2.3.3. Test des cloches

Le test des cloches (Gauthier *et al.*, 1989) consiste en un ensemble de figures répartie de manière semi-aléatoire sur une feuille de papier de dimension 21,6 × 27,9 cm et orientée au format paysage. Dans ce test le sujet a pour consigne de retrouver et encercler au stylo des stimuli spécifiques (*i.e.*, cloches) disséminées parmi les autres figures appelées

distracteurs. Les cloches (au total 35) paraissent être distribuées de façon aléatoire au sein de l'ensemble des figurines, mais sont en fait réparties en 7 colonnes, chacune de ces colonnes contenant 5 cloches et 40 autres figurines. Les participants ont pour consigne d'encercler toutes les cloches le plus rapidement possible. Le test des cloches est présenté Annexe 2a.

Cotation. Parmi les sept colonnes, trois se situent dans la partie droite de la page, une en situation médiane et les trois dernières à gauche. Les auteurs estiment qu'un patient ayant omis d'entourer les cloches de la colonne située la plus à gauche présente une NSU modérée. Une omission dans des colonnes situées plus médialement sera interprétée comme un signe d'une NSU plus importante de l'espace gauche. Le nombre total de cloches entourées sera noté, ainsi que le temps qu'il a fallu au patient pour terminer la tâche. Le score maximal est de 35. L'oubli de 6 cloches ou plus à droite ou à gauche de la page indique une NSU. La distribution spatiale des cloches omises permet à l'examineur d'évaluer la sévérité de la négligence visuelle, ainsi que la latéralité de cette-ci (droite ou gauche).

Le test des cloches a également été utilisé comme critère diagnostique dans cette étude afin de déterminer la présence ou non de NSU chez les patients.

2.4. Procédure expérimentale

Les participants recevaient les tests de Kayahara, de bissection de lignes et des cloches durant une seule et même séance expérimentale et dans un ordre contrebalancé entre les participants.

Le test de Kayahara comprenait un bloc unique de 20 essais. Chaque participant recevait un bloc de 8 essais d'entraînement, avant de commencer le test, et si besoin pouvaient refaire le bloc d'entraînement plusieurs fois si plus de familiarisation avec la tâche était nécessaire.

Pour le test de bissection, chaque participant recevait deux feuilles dont une devait être réalisée avec la main droite et l'autre avec la main gauche. L'ordre de présentation des lignes (en fonction de leur longueur) et leur position étaient différents pour les deux feuilles. L'ordre d'administration des feuilles, ainsi que la main à utiliser pour répondre (droite ou gauche) avec la première feuille, était contrebalancé d'un participant à l'autre. Pour les sujets présentant une hémiparésie (dans notre échantillon = hémiparésie gauche uniquement) et donc incapable d'utiliser une de leur deux mains, la tâche était réalisée avec la main non atteinte pour les deux feuilles. L'ordre de passage des feuilles était contrebalancé entre les participants.

Pour le test des cloches, chaque participant recevait une feuille unique pour lequel il pouvait répondre avec la main de préférence.

Pour les tests des cloches et de bissection de lignes, les feuilles étaient fixées sur la table, face au sujet, et alignées avec le plan sagittal médian. Les mouvements de la tête et des yeux n'étaient pas restreints, cependant il n'était pas permis pour le participant de déplacer la feuille. Les mouvements de la tête et des yeux n'étaient pas restreints non plus pour le test de Kayahara.

3. Méthode d'analyses

3.1. Variables

Les variables dépendantes, pour le test de bissection de ligne, étaient la déviation moyenne par rapport au centre réel des lignes (en mm). Une déviation positive reflétait une déviation vers la droite. Pour le test des cloches, les variables dépendantes étaient le nombre d'omissions total, ainsi que le nombre d'omissions spécifiquement à droite, le nombre d'omissions spécifiquement à gauche, et le temps de réponse (en sec.). Pour le test de Kayahara, il s'agissait du biais attentionnel moyen (compris entre -1 et 1). La variable indépendante était le type de test (Kayahara versus Cloches versus Bissection).

3.2. Hypothèses

L'hypothèse opérationnelle était que si le test de Kayahara est un outil effectif pour détecter la présence de NSU ou, de manière plus générale un débailancement attentionnel visuospatial, alors le biais attentionnel moyen mesuré au test de Kayahara devrait corrélérer avec le nombre d'omissions au test des cloches et/ou avec la déviation moyenne au test de bissection de lignes.

3.3. Méthode statistique

La corrélation entre le test de Kayahara et les autres tests de référence a été mesurée à l'aide de coefficients de corrélation de Pearson ou de Spearman. Ces analyses visaient à mesurer la relation existante entre le biais attentionnel et respectivement, le nombre d'omissions total, ou spécifiquement à droite, ou spécifiquement à gauche au test des cloches; et entre le biais attentionnel et la déviation moyenne au test de bissection de lignes. Par ailleurs, des coefficients de corrélations ont également été calculés afin de mesurer la relation entre le nombre d'omissions au test des cloches et la déviation moyenne au test de bissection de lignes. Le test de Kolmogorov-Smirnov a été utilisé afin de déterminer si les données suivaient une distribution normale. Dans le cas inverse, le test de corrélation non-paramétrique de Spearman était utilisé plutôt que le test de Pearson. Toutes les analyses statistiques ont été réalisées avec la version 22,0 du logiciel SPSS pour Macintosh (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA). Les différences étaient considérées comme significatives au seuil $p < 0,05$.

4. Résultats

Le Tableau 12 présente les résultats obtenus par chaque participant aux trois tests. Pour le test des cloches, le nombre d'omissions totales, le nombre d'omissions à gauche, le nombre d'omissions à droite, ainsi que le temps de réponse (en sec.) est reporté. Le test de bissection indique la déviation moyenne (en mm) pour la main droite. Pour le test de Kayahara, est reporté le biais attentionnel moyen.

Tableau 12. Résultats des patients AVC aux tests des cloches, de bissection de lignes et de Kayahara

No.	Bissection	Cloches			Kayahara	
	Déviati moyenne (mm)	Omissions Totales	Omissions Gauches	Omissions Droite	Temps (s)	Biais attentionnel
1	-1,7	0	0	0	331	-0,02
2	-1,8	5	3	2	150	-0,33
3	0,1	2	2	0	89	-0,07
4	1,1	1	0	1	157	0,07
5	0,4	0	0	0	149	-0,11
7	0,3	2	0	1	85	-0,01
8	5,1	5	4	1	355	0,06
9	6,1	2	1	1	120	0,13
10	2,5	1	1	0	341	-0,07
11	2,9	11	10	0	133	-0,09
12	1,4	1	1	0	128	0,00
13	3,8	0	0	0	717	0,08
14	-0,2	0	0	0	192	-0,21
15	-2,3	7	6	0	191	0,15
16	11,9	30	15	10	96	0,04
17	-0,8	3	2	0	149	-0,14
18	4,9	0	0	0	301	-0,02
Moyenne	2,0	4,1	2,6	0,9	217	-0,03
Médiane	1,1	2	1	0	150	-0,02
Écart-type	3,6	7,3	4,2	2,4	157	0,12
Min.	-2,3	0	0	0	85	-0,33
Max.	11,9	30	15	10	717	0,15

Note. Les lignes orange représentent les trois patients considérés comme hémignégligents d'après le test des cloches

4.1. Corrélations entre les tests de références

Les données pour le test des cloches ne suivant pas la loi normale, le test de corrélation de Spearman a été utilisé pour comparer les relations entre le nombre d'omissions au test des cloches et la déviation moyenne au test de bissection ou le biais attentionnel au test de Kayahara. Le test de Pearson a été utilisé pour comparer les relations régissant la déviation moyenne au test de bissection et le biais attentionnel au test de Kayahara.

Les analyses ont montré qu'il n'existait pas de relation entre le nombre d'omissions total au test des cloches et la déviation moyenne au test de bissection de lignes; $r_s = 0,06$; $p = 0,8$ (Figure 25b). Aucune relation n'a été trouvée non plus entre la déviation moyenne au test de bissection et le nombre d'omissions, spécifiquement à gauche; $r_s = 0,1$; $p = 0,7$; ou spécifiquement à droite de la feuille; $r_s = 0,29$; $p = 0,26$; au test des cloches. Pour finir, aucune corrélation n'a été trouvée entre la déviation moyenne au test de bissection et le temps moyen de réponse au test des cloches; $r_s = -0,01$; $p = 0,98$.

4.2. Corrélation entre le test de Kayahara et les tests de référence

Les analyses de Spearman n'ont montré aucune relation entre le biais attentionnel et le nombre d'omissions total au test des cloches; $r_s = 0,12$; $p = 0,65$ (Figure 25a); à gauche; $r_s = 0,04$; $p = 0,87$; ou à droite; $r_s = 0,23$; $p = 0,37$. Aucune



corrélation n'a été trouvée non plus entre le biais attentionnel et le temps de réponse moyen au test des cloches; $r_s = 0,05$; $p = 0,86$. La relation mesurée entre le biais attentionnel moyen et la déviation moyenne au test de bissection, cependant, était plus forte qu'avec le test des cloches, et même davantage que la relation existante entre les tests des cloches et de bissection de lignes; $r = 0,4$; $p = 0,11$ (Figure 25c). Cette relation n'est cependant pas significative selon le test statistique.

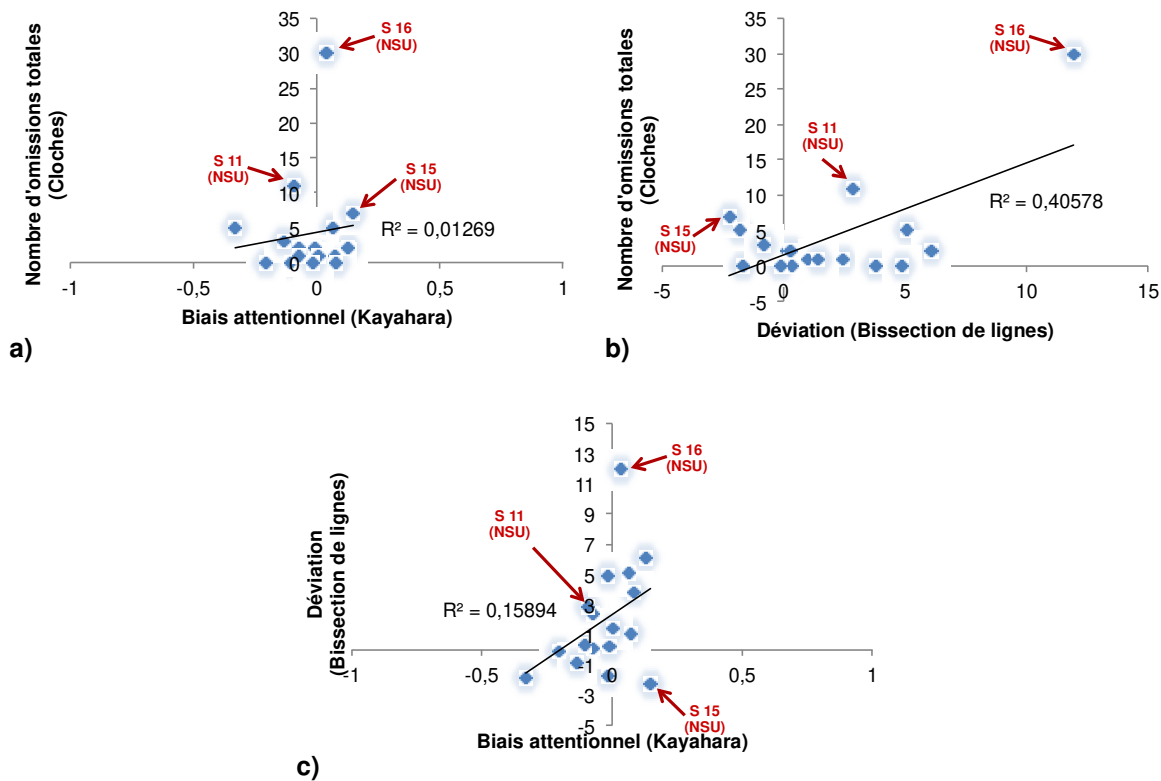


Figure 25. Relation régissant les tests de Kayahara, de bissection de lignes et des cloches

a) nombre total d'omissions au test des cloches (sur 35) et biais attentionnel au test de Kayahara (de -1 à 1) ; b) nombre total d'omissions (cloches) et déviation moyenne (bissection) ; c) déviation moyenne (bissection) et biais attentionnel (Kayahara). En rouge sont représentées les positions des trois patients héminégligents selon le test des cloches

4.3. Corrélations entre les tests, en considérant uniquement la magnitude des scores

En considérant uniquement la magnitude des scores pour les tests de bissection de lignes et de Kayahara, indépendamment du sens de la déviation ou du biais attentionnel, les analyses révèlent une augmentation de la corrélation entre la déviation au test de bissection et le nombre d'omissions total au test des cloches; $r_s = 0,32$; $p = 0,2$; le nombre d'omissions à gauche; $r_s = 0,4$; $p = 0,11$; le nombre d'omissions à droite : $r_s = 0,34$; $p = 0,18$; ou le temps de réponse : $r_s = 0,28$; $p = 0,28$. Les analyses de Pearson révèlent cependant une diminution de la corrélation entre le test de Kayahara et le test de bissection; $r = -0,2$; $p = 0,45$. De même la corrélation entre le biais attentionnel au test de Kayahara et le nombre d'omissions au test des cloches reste faible quand seule la magnitude des scores est

considérée (omissions totales : $r_s = 0,18$; $p = 0,49$; omissions à gauche : $r_s = 0,22$; $p = 0,4$; omissions à droite : $r_s = -0,05$; $p = 0,86$; temps de réponse : $r_s = 0,15$; $p = 0,68$).

4.4. Analyses descriptives des performances des patients atteints de NSU

En observant les scores des sujets atteints de NSU spécifiquement, il apparaît que pour le sujet 16, c'est-à-dire celui le plus sévèrement atteint selon le test des cloches, la déviation moyenne au test de bissection est aussi la déviation la plus élevée comparativement aux autres sujets (11,9 mm). Cette déviation est presque 8 fois plus élevée que la déviation moyenne pour l'ensemble des sujets non atteints de NSU (1,5mm; $ET = 2,6$). Pour ce sujet, le score du test de bissection semble assez bien corrélé avec celui du test des cloches. Cependant, l'observation des deux autres sujets héminégligents (sujets 11 et 15) indique, premièrement, que la magnitude de la déviation moyenne (respectivement, 2,9mm et -2,3mm) pour ces sujets n'est pas ou peu plus élevée que la magnitude moyenne de l'ensemble des sujets non-héminégligents (2,8mm; $ET = 2,6$), et deuxièmement, que quatre sujets non-héminégligents ont des déviations plus élevées que celles de ces deux sujets (comprises entre 4,9 et 6,1 mm).

Pour finir, en observant le score pour le test de Kayahara pour les trois sujets atteints de NSU, il apparaît que le biais attentionnel pour chacun de ces sujets n'est pas beaucoup plus élevé que le biais attentionnel moyen pour l'ensemble des sujets non atteints de NSU ($-0,03$; $ET = 0,1$) ou que la magnitude moyenne ($0,1$; $ET = 0,1$). D'ailleurs, si on examine spécifiquement le sujet 16, ayant fait le plus d'omissions et la plus forte déviation, on observe que la magnitude du biais attentionnel ($0,04$) est plus faible que celle de douze des dix-sept sujets de l'échantillon. Le Tableau 13 compare le classement des sujets AVC, du plus au moins atteint, en fonction du test. Ce tableau indique la position des cinq sujets présentant un biais attentionnel le plus important au test de Kayahara et identifie leur rang au test des cloches et de bissection de lignes.

Tableau 13. Comparaison des rangs des sujets en fonction de leurs performances aux tests.

Rang	Kayahara	Cloches	Bissection
1	S02	S16	S16
2	S14	S11	S09
3	S15	S15	S08
4	S17	S02	S18
5	S09	S08	S13
6	S05	S17	S11
7	S11	S03	S10
8	S13	S07	S15
9	S10	S09	S02
10	S04	S04	S01
11	S03	S10	S12
12	S08	S12	S04
13	S16	S01	S17
14	S01	S05	S05

15	S18	S13	S07
16	S07	S14	S14
17	S12	S18	S03

Note. Sont considérés la magnitude du biais attentionnel moyen pour le test de Kayahara, le nombre d'omissions totales au test des cloches et la magnitude de la déviation la moyenne au test de bissection de lignes. Les rangs classent les sujets des plus au moins atteints. Les cinq sujets présentant le biais attentionnel le plus important au test de Kayahara sont identifiés par une couleur distincte

4.5. Analyses additionnelles : Effet de la position du personnage non-bistable latéral sur la proportion de réponses au test de Kayahara

Des analyses additionnelles ont été réalisées afin de mesurer l'impact éventuel de la position du personnage non-bistable latéral (*i.e.*, hémichamp visuel droite vs. gauche) sur son degré d'influence sur le personnage bistable, et de ce fait sur la proportion de réponses au test de Kayahara. En d'autres termes le but était de voir si un biais attentionnel présentant chez les patients héminégligents notamment, pourrait s'exprimer à travers une différence dans le taux de réponse quand le personnage non-bistable est situé à gauche ou à droite de l'écran. Il est en effet possible d'émettre l'hypothèse que l'influence du personnage non-bistable latéral est moins forte quand ce dernier est situé dans l'hémiespace gauche, traduisant d'une diminution du niveau d'attention portée pour cette espace, chez les patients atteints de NSU.

Le taux de réponse médian pour le test de Kayahara était de 95% (min. = 35% ; max = 100%). Le test des rangs signés de Wilcoxon n'a montré aucun effet de placer les personnages non-bistable latéraux à droite ou à gauche de l'écran sur la proportion de réponses, $Z = -0,28$; $p = 0,88$. Le Tableau 14 présente le taux de réponse de chaque patient en fonction de la position du personnage non-bistable latéral, ainsi que le ratio entre ces deux valeurs, et compare ces scores avec les le nombre d'omissions totales au test des cloches, la déviation moyenne au test de bissection de lignes et le biais attentionnel au test de Kayahara. L'analyse de ce tableau montre que le déséquilibre entre le taux de réponse quand le personnage non-bistable était placé à droite versus à gauche de l'écran, le plus important, est celui du sujet 16, c'est-à-dire celui présentant la NSU la plus forte, et celui du sujet 18, possédant la quatrième valeur de déviation la plus forte au test de bissection. Pour ces deux sujets, la proportion de réponses était 40% plus faible quand le personnage non-bistable était situé à gauche de l'écran. Cependant, l'observation des valeurs des autres sujets ne semble pas confirmer la relation entre le ratio au temps de réponse et la magnitude de la déviation au test de bissection ou le nombre d'omissions au test des cloches.

Tableau 14. Proportion de réponses en fonction de la position du personnage non-bistable latéral

Sujet	Taux Réponse PNB ¹ à Gauche	Taux Réponse PNB ¹ à Droite	Ratio ² Taux Réponse	Déviation moyenne (mm)	Omissions Totales	Biais attentionnel
1	100	100	0,00	-1,7	0	-0,02
2	100	100	0,00	-1,8	5	-0,33
3	90	100	-0,05	0,1	2	-0,07
4	90	60	0,20	1,1	1	0,07
5	100	100	0,00	0,4	0	-0,11

7	80	60	0,14	0,3	2	-0,01
8	100	90	0,05	5,1	5	0,06
9	100	100	0,00	6,1	2	0,13
10	50	30	0,25	2,5	1	-0,07
11	100	90	0,05	2,9	11	-0,09
12	40	30	0,14	1,4	1	0,00
13	80	90	-0,06	3,8	0	0,08
14	100	100	0,00	-0,2	0	-0,21
15	100	100	0,00	-2,3	7	0,15
16	50	90	-0,29	11,9	30	0,04
17	70	40	0,27	-0,8	3	-0,14
18	50	90	-0,29	4,9	0	-0,02

Note. 1 PNBL = Personnage Non-Bistable Latéral. 2 le ratio des proportions de réponses est calculé avec la formule suivante ((Proportion PNBL à gauche - Proportion PNBL à droite)/(Proportion PNBL à gauche + Proportion PNBL à droite)).

5. Discussion

Cette étude visait à évaluer la corrélation entre le test de Kayahara et deux tests de références de la NSU.

Les résultats ont démontré une absence de corrélation entre le test des cloches et le test de bissection de lignes, ni entre le test de Kayahara et le test des cloches. Aucune différence entre les scores des sujets AVC atteints de NSU mesurés avec le test de Kayahara n'a été observée non plus, comparée aux scores des sujets AVC non atteint de NSU. En effet, contrairement à l'hypothèse de départ aucun biais attentionnel vers un hémiespace visuel spécifique n'a été observé chez ces patients. Par exemple, le patient le plus sévèrement atteint d'après le test des cloches et celui de bissection de lignes présentait un biais attentionnel très proche de 0, suggérant une absence de déséquilibre entre le niveau attentionnel alloué à un espace ou à l'autre. Également, bien que pour ce patient, la latéralisation du personnage non-bistable latéral a entraîné une diminution importante de la proportion de réponses, cette variable ne semblait pas ou peu corrélée avec les scores des autres sujets. Il faut d'autant plus garder à l'esprit que cette tâche ne comportait que 10 essais par condition. Il est ainsi difficile d'évaluer si le déséquilibre observé dans la proportion de réponses en fonction de la latéralisation du stimulus est bien dû à un effet du trouble attentionnel ou à une différence fortuite.

L'ensemble de ces résultats suggère plusieurs choses. Concernant le test de Kayahara, tout d'abord, que la magnitude ou la direction du biais attentionnel n'est pas spécifique de la présence ou non d'un trouble de NSU. Bien entendu, avec seulement trois patients hémiparétiques, cette étude offre une trop faible puissance statistique pour s'assurer de la validité des relations entre les tests. Malgré cette limite, la présente étude permet de donner un aperçu concernant les capacités du test de Kayahara à détecter la présence d'un déficit attentionnel, et suggère que des études supplémentaires, incluant un échantillon de patients hémiparétiques plus important et plus d'essais par condition, sont nécessaires afin d'évaluer la pertinence de ce test à être utilisé comme test clinique de l'évaluation de la NSU. Un calcul *a posteriori* de la taille d'échantillon nécessaire pour espérer observer une différence significative entre les

conditions test de Kayahara (bais attentionnel) et test des cloches (nombre d'omissions totales) révèle que pour un alpha fixé à 0,05 et une puissance fixée à 0,8, il faudrait au minimum 27 patients atteints de NSU. Pour obtenir une différence significative entre les conditions test de Kayahara et test de bissection de lignes, il un échantillon de 20 patients héminégligents serait nécessaire. Ces calculs ont été réalisés à partir des moyennes des sujets atteints de NSU uniquement (test de bissection : $M = 4,2$; $ET = 7,18$; test des cloches : $M = 16$; $ET = 12,29$; test de Kayahara : $M = 0$; $ET = 0,12$), à l'aide du logiciel G*Power 3.1.

Discussion à propos de l'absence de corrélation entre les tests des cloches et de bissection de lignes

L'absence de corrélation entre ces deux tests peut être expliquée par plusieurs éléments. La première explication est la petite taille de notre échantillon et le faible nombre de patients atteints de NSU. Le fait que les patients présentent une forte variabilité interindividuelle, en ce qui concerne le site et l'étendue des lésions, est également probablement un point important pouvant expliquer ces résultats. Par ailleurs, un autre argument semblant être étayé par la littérature est le fait que ces deux tests impliquent des aspects différents des processus attentionnels visuo-spatiaux. Binder *et al.* (1992) par exemple, ont montré dans une étude portant sur 34 patients atteint de lésion vasculaire touchant l'hémisphère droit une corrélation entre le test de bissection et un test de barrage semblable au test des cloches de 0,39 (proche de ce que l'on observe dans notre étude, considérant uniquement la magnitude des réponses). Les auteurs montrèrent dans cette étude l'existence d'une double dissociation entre les patients considérés comme héminégligents selon le test des barrages, mais pas le test de bissection, et inversement. Ces résultats ont été confirmés par des études plus récentes montrant que des sites lésionnels distincts étaient associés avec des déficits dans des tests de NSU différents (Karnath *et al.*, 2004; Molenberghs *et al.*, 2012; Verdon *et al.*, 2010) et impliquant des dimensions différentes de la NSU (Hillis *et al.*, 2005; Karnath et Rorden, 2012; Molenberghs *et al.*, 2012; Verdon *et al.*, 2010). Selon ces études la plupart des lésions associées au test de bissection seraient localisées dans des régions plus postérieures que celles associées avec les tests de barrage, tel que le test des cloches. Le test de bissection serait par exemple associé au lobule pariétal inférieur droit, au niveau du gyrus angulaire et du gyrus supramarginal (Fink *et al.*, 2000; Verdon *et al.*, 2010) ou au lobule pariétal supérieur droit (Revill *et al.*, 2011), et impliquerait un aspect de la NSU centré sur l'objet (Karnath et Rorden, 2012) ainsi que des performances perceptuelles (Bartolomeo *et al.*, 1998; Verdon *et al.*, 2010). Une étude publiée en 2014 montre une relation de causalité entre le lobule pariétal supérieur droit et la déviation au test de bissection de lignes (Vallar *et al.*, 2014). Les auteurs démontrent chez sept patients devant subir une intervention chirurgicale que la stimulation électrique du lobule pariétal supérieur droit entraîne une déviation vers la droite, indiquant une NSU gauche, chez six des sept sujets testés. Ces symptômes disparaissaient après l'arrêt de la stimulation.

Le test des cloches quant à lui, serait associé avec un aspect plus visuo-moteur de l'attention et de la NSU, corrélé anatomiquement avec le lobe frontal (Committeri *et al.*, 2007; Verdon *et al.*, 2010). Ces régions sont connues pour être impliquées dans les tâches d'exploration, dans celles demandant des ressources attentionnelles fortes, et avec la

capacité d'inhiber des informations non pertinentes issues de l'environnement. Des individus, dont la lésion touche cette région du cerveau, auront généralement plus de difficultés à réaliser des tâches impliquant la présence de distracteurs, comme c'est le cas avec le test des cloches. Un déficit au test des cloches peut être associé non seulement à une incapacité à orienter son attention, mais également à des difficultés de faire abstraction des stimuli distracteurs. Ceci serait en accord avec le rôle du cortex préfrontal dorsolatéral dans le contrôle exécutif, permettant à l'individu de sélectionner des informations pertinentes tout en ignorant celles non pertinentes durant la perception ou lors de la réalisation de tâches d'exploration. Cet aspect peut d'ailleurs être lié avec le fait que certains patients vont avoir tendance à explorer toujours la même région de la feuille lors de la réalisation du test, et repasser plusieurs fois sur des régions déjà explorées. Dans la présente étude, j'ai moi-même observé de tels comportements chez certains des patients. N'ayant pu obtenir les informations concernant le site exact de la lésion vasculaire de chacun des patients, il ne m'a malheureusement pas été possible de mesurer l'existence d'une éventuelle corrélation entre le site lésionnel et le comportement des sujets. Néanmoins, en observant les caractéristiques ayant pu être récupérées il apparaît que les lésions, associées aux sujets présentant des déviations les plus élevées ou le nombre d'omissions le plus important, touchent toutes l'artère cérébrale moyenne (artère sylvienne). Cette artère est reconnue pour irriguer une grande partie des régions fronto-pariétal du cerveau. À l'avenir, connaître les caractéristiques lésionnelles exactes de chaque sujet (*i.e.*, site, latéralisation, type) permettrait, premièrement, de mieux interpréter les performances aux tests (notamment, test de référence), et deuxièmement, de déterminer, pour le test de Kayahara, les corrélats anatomiques sous-tendus par les patients montrant les plus forts biais attentionnels.

Discussion à propos des performances au test de bissection de lignes

Le test de bissection de lignes est un des tests les plus utilisés pour évaluer la présence de biais attentionnel visuospatial relatifs à la NSU (Albert, 1973; Diller et Weinberg, 1977; Jewell et McCourt, 2000; Rueckert *et al.*, 2002; Varnava *et al.*, 2013; Varnava *et al.*, 2002) ou dans les protocoles de stimulation non-invasives visant à étudier les processus attentionnels visuo-spatiaux. Les patients atteints de NSU présentent classiquement, à ce test, une déviation plus à droite du centre réel de la ligne, contrairement aux sujets sains qui ne montreront aucun biais significatif ou une déviation légèrement plus à gauche que le centre réel, phénomène appelé *pseudonégligence*. Le biais attentionnel au test de bissection de lignes observé chez les patients héminégligents est expliqué par le fait la lésion cérébrale entraînant une diminution du niveau d'attention alloué à l'espace contralésionnel, la partie gauche de la ligne est perçue plus courte que ce qu'elle n'est réellement. Chez les sujets sains, le phénomène de pseudonégligence est interprété comme dû à la dominance de l'hémisphère droit dans les tâches attentionnelles visuo-spatiales (Thiebaut de Schotten *et al.*, 2011). Il est, cependant, aujourd'hui reconnu que la déviation au test de bissection de lignes peut-être influencé par divers facteurs, reliés aux caractéristiques du stimulus ou du sujet. Parmi les facteurs extrinsèques, c'est-à-dire reliés aux caractéristiques du stimulus, nous avons notamment démontré dans l'étude précédente (chapitre 4) que la position spatiale horizontale des lignes influençait le sens et la magnitude de la déviation chez des sujets sains jeunes (étendue d'âge : 20-55 ans). En ce qui concerne les caractéristiques reliées aux participants, plusieurs auteurs ont

démontré notamment un effet de l'âge sur les performances au test de bissection. Plusieurs études ont par exemple montré que chez les sujets âgés le phénomène de pseudonégligence est beaucoup plus rarement observé, ou qu'au contraire les sujets présentent un léger biais vers la droite (Failla *et al.*, 2003; Fujii *et al.*, 1995; Fukatsu *et al.*, 1990; Learmonth *et al.*, 2015). Cet effet de l'âge pourrait être liée à une réduction de la spécialisation hémisphérique apparaissant avec l'âge (Cabeza, 2002; Dolcos *et al.*, 2002). Dans la présente étude malgré une forte variabilité interindividuelle en ce qui concerne les performances (*i.e.*, sens et magnitude de la déviation) au test de bissection, aucune différence liée à l'âge ne semblait se dégager. Une analyse des performances de sujet sains ayant réalisés ce même test (résultats non présentés dans cette étude) indique cependant que la magnitude de la déviation de ces sujets était beaucoup plus faibles ($M = -0,25$; $ET = 0,3$). Il serait intéressant dans une étude ultérieure de caractériser les performances de sujets sains jeunes, de sujets sains plus âgés à cette version du test de bissection, afin d'identifier un éventuel effet de l'âge sur cette tâche.

Limites de l'étude

Plusieurs limites, notamment méthodologiques, peuvent être identifiées dans la présente étude. Un certains nombre d'entre-elles seront discutées dans la section qui suit.

Choix de la population d'étude

Dans une étude visant à étudier les capacités d'un test à évaluer ou dépister un trouble particulier, les performances de ce test sont généralement comparées avec celle de tests de références reconnus pour être capable d'identifier le trouble en question (*e.g.*, test des cloches pour la NSU). Les performances de ce nouveau test doivent normalement être testées chez une population présentant le trouble étudié.

Dans la présente étude, les performances du nouveau test on également été étudiées sur un échantillon de patients cérébrolésés présentant ou non des signes de NSU. Durant le développement de ce projet il était initialement prévu que les performances du test de Kayahara soient étudiées chez une population de patients atteints de NSU. Cependant, pour des raisons de problème de recrutement il a été décidé de réaliser cette étude sur une population de patients souffrant d'un AVC et présentant ou non des signes de NSU. L'objectif initial de la présente étude était en effet initialement de déterminer la capacité du test de Kayahara à détecter des patients atteints de NSU parmi une population de sujets cérébrolésés. Dans cette optique, nous avons prévu de recruter 40 sujets atteints d'un AVC, ce qui nous aurait permis d'obtenir, au vu de l'incidence rapportée de la NSU parmi les AVC, environ 12 patients héminégligents. Malheureusement, le recrutement ne s'étant passé comme prévu, nous n'avons pu recruter que 18 patients AVC, dont trois pouvant être considérés comme atteints de NSU. Bien qu'il n'est évidemment pas possible de déterminer adéquatement la validité d'un test avec seulement trois patients, mesurer le degré de corrélation entre le test de Kayahara et les deux tests de références, en considérant l'ensemble des sujets AVC, plutôt que ceux atteints de NSU uniquement, visait à apporter un aperçu concernant les performances de ce nouveau test et une première appréciation de sa pertinence en tant que test clinique. Par ailleurs, si le test de Kayahara présentait une forte sensibilité au biais

attentionnel visuospatial, il aurait pu être attendu que les analyses descriptives permettent de repérer une différence dans le score des patients hémisphériques en comparaison avec celui des autres patients AVC, ainsi que des similitudes (*i.e.*, magnitude du score) avec les tests de référence. Cependant, tel qu'indiqué précédemment, au vu des résultats obtenus dans cette étude, un échantillon minimum de 23 sujets atteints de NSU aurait été nécessaire pour pouvoir observer des différences significatives entre les groupes. A noter que l'échantillon initialement prévu ($n = 12$) aurait certainement été également insuffisant.

Choix des tests de référence et critère d'évaluation de la présence de NSU chez les patients

Tel qu'indiqué dans le chapitre introduction général (section 1.2.2.3.) il est reconnu que les qualités métrologiques des tests papier-crayons diffèrent considérablement d'un test à l'autre (e.g., Azouvi *et al.*, 2002; Halligan *et al.*, 1989; Stone *et al.*, 1993; Stone *et al.*, 1991), et que la combinaison de plusieurs tests permet d'améliorer la sensibilité de l'évaluation (Menon et Korner-Bitensky, 2004). Dans la présente étude, nous avons cependant fait le choix de n'utiliser que deux tests de références. En effet, afin de limiter au maximum le risque d'induire une fatigue chez les patients, nous avons opté pour ne pas utiliser de batteries de tests afin de déterminer, *à priori*, la présence ou non de NSU. Le choix du test des cloches et de bissection comme tests de référence a été basé sur le fait que ces outils sont considérés comme faisant parti des tests les plus utilisées en clinique pour le diagnostic de la NSU (Albert, 1973; Diller et Weinberg, 1977; Jewell et McCourt, 2000; Rueckert *et al.*, 2002; Varnava *et al.*, 2013; Varnava *et al.*, 2002). Utiliser uniquement le test des cloches comme outil de diagnostic a cependant potentiellement empêché de détecter la présence de NSU chez certains des patients. Ce point est d'autant plus important que cette étude a démontré que les performances du test des cloches n'étaient pas ou peu corrélées avec celles du test de bissection de lignes. L'utilisation d'une batterie de test, tel que la BIT, par exemple, aurait permis de s'affranchir de ce risque. Par ailleurs, bien qu'un test de bissection de lignes ait été utilisé dans cette étude, étant donné qu'il a été développé au sein de notre laboratoire et qu'il ne s'agit pas de ce fait d'un test validé, il ne pouvait pas être utilisé comme test diagnostique pour identifier les patients atteints de NSU. En effet étant donné que ce test n'a pas fait l'objet d'une normalisation ou d'une étude préalable avec des sujets sains, aucun critère seuil permettant de déterminer les performances normales des performances pathologiques n'existent pour cette tâche. Une meilleure alternative aurait pu être d'utiliser un test validé et régulièrement utilisé dans la littérature comme le test de Schenkenberg *et al.* (1980).

Nombre d'essais pour le test de Kayahara

Une même critique peut être apportée à la présente étude qu'aux études précédentes en ce qui concerne le nombre d'essais inclus dans la tâche de Kayahara (*i.e.*, 20 essais). La raison de ce faible nombre était que nous souhaitons avoir une tâche rapide afin de ne pas générer de fatigue chez les participants et de s'assurer qu'ils réalisent la tâche correctement jusqu'au bout. Bien que contrairement aux études précédentes, et de manière surprenante, le taux de réponse ait été beaucoup plus élevé dans la présente étude (95% dans cette étude contre 45% dans l'étude 1), la présence d'une forte variabilité intra-sujet a pu empêcher d'identifier correctement l'existence de biais attentionnel chez certains sujets. Augmenter le nombre d'essais aurait en effet pu mener à des résultats différents.

Âge de la population d'étude

Une autre limite potentielle de la présente étude est l'étendue d'âge des participants (19 à 82 ans). La variabilité dans l'âge des participants a pu contribuer à l'origine augmenter la variabilité interindividuelle dans les performances aux tests, notamment au test de bissection de lignes pour lequel il est reconnu que les performances de sujets jeunes peut différer de celles de sujets plus âgés (Failla *et al.*, 2003; Fujii *et al.*, 1995; Nagamatsu *et al.*, 2011; Nagamatsu *et al.*, 2009; Schmitz et Peigneux, 2011). Ceci représente d'ailleurs un commentaire pouvant être adressé à l'encontre de nombreuses études comparant les performances de patients par rapport à une valeur normative d'un test. En effet de nombreuses études visant à déterminer les performances normales à un test incluent des groupes de sujets sains jeunes, souvent recrutés sur les campus universitaires. Cet procédé présente une limite importante, dans le cas de tests pouvant présenter un effet du vieillissement cérébral, dans la mesure où les observations faites chez les sujets sains ne pourront être directement généralisables à des sujets sains plus âgés et encore moins à des patients cérébrolésés, qui bien souvent sont des sujets relativement âgés. Dans des études futures portant sur le test de Kayahara il sera donc important de comparer les sujets hémiparétiques avec un groupe de sujets sains appariés en âge.

Contrôle du regard et des saccades oculaires

Il est classique dans les études utilisant des tâches informatisées visant à mesurer des différences entre le traitement de stimuli latéralisés sur la partie droite versus gauche de l'écran d'utiliser un eye-tracker afin de contrôler le regard et les saccades oculaires durant la tâche. Particulièrement lorsque les sujets ont pour consigne durant la tâche de maintenir leur regard sur une croix de fixation. Les mesures de l'eye-tracker permettent alors notamment d'éliminer les essais pour lesquels la consigne n'a pas été respectée. Dans la présente étude un eye-tracker avait initialement été utilisé, et devait normalement servir à éliminer les essais où le regard n'était pas maintenu sur la croix de fixation. Cependant, pour la grande majorité des sujets l'enregistrement de l'activité oculaire n'a pas fonctionné (perte du regard au cours de tâche, problèmes de calibration, impossible de calibrer l'appareil du au port de lentille de contact ou de lunette, etc.). Cette limite n'a cependant eu aucun impact sur les résultats de l'étude dans le sens où il ne devrait pas être attendu à ce que les essais pour lesquels le regard était dévié de la croix de fixation soit différents en fonction que le personnage non-bistable latéral était localisé à droite ou à gauche de l'écran. Dans des études à venir, l'enregistrement de l'activité oculaire serait cependant utile afin de déterminer l'éventuelle présence de stratégie d'exploration différente en fonction des conditions (e.g., personnage non-bistable à droite vs. à gauche) ou du participant (e.g., avec NSU vs sans NSU), ou de voir si les stratégies d'exploration au test de Kayahara peuvent être corrélées avec celles utilisées dans d'autres tests, tel que les stratégies de balayage visuel au test de bissection par exemple.

Conclusion et perspectives

La NSU est un trouble complexe et multifactoriel pouvant présenter des caractéristiques très différentes d'un sujet à l'autre. Par exemple, elle peut affecter de manière différente divers cadres de référence, tel que le corps du sujet (négligence personnelle), l'espace de préhension (négligence péri-personnelle) ou l'espace plus lointain (négligence

extrapersonnelle) (Halligan *et al.*, 2003). En outre, elle peut être centrée sur l'objet ou le sujet (Marsh et Hillis, 2008). De ce fait, le meilleur moyen d'appréhender la NSU et de s'assurer de détecter de manière efficace ce syndrome chez un patient est d'utiliser une combinaison de test mesurant des aspects différents du déficit (e.g., allocentrique vs. égocentrique, espace extrapersonnel vs. personnel), puisque certains patients peuvent présenter des difficultés dans certaines tâches mais pas dans d'autres (Halligan *et al.*, 1991; Halligan et Marshall, 1991). L'objectif de la construction du test de Kayahara était de proposer une nouvelle forme de test d'évaluation de la NSU, comportant des caractéristiques différentes des tests actuellement disponibles pour diagnostiquer la NSU. Le test de Kayahara étant un test impliquant des processus automatiques (i.e., changement de percept, influence de l'amorce ou du personnage non-bistable latéral sur le personnage bistable), cette tâche pourrait éventuellement permettre de proposer un test d'évaluation ne présentant pas ou moins d'effet d'apprentissage que les tests papier-crayon classiques. La présente étude visait à comparer les performances de ce test avec des tests de références classiquement utilisés pour mesurer la NSU, à savoir les tests des cloches et de bissection de lignes. Étant donné le faible échantillon de patients atteints de NSU présentant dans cette étude, des études supplémentaires seront à l'avenir nécessaires afin de mieux caractériser les performances du test de Kayahara. Les performances de ce test devront par ailleurs être comparées avec un nombre plus diversifié de test, voir avec une évaluation plus écologique des patients dans les activités de la vie quotidienne.



Bibliographie

Références

- Agrell, B. M., Dehlin, O. I. et Dahlgren, C. J. (1997). Neglect in elderly stroke patients: a comparison of five tests. *Psychiatry and Clinical Neurosciences*, 51(5), 295-300.
- Albert, M. L. (1973). A simple test of visual neglect. *Neurology*, 23(6), 658-664.
- Antal, A., Nitsche, M. A., Kincses, T. Z., et al. (2004). Facilitation of visuo-motor learning by transcranial direct current stimulation of the motor and extrastriate visual areas in humans. *European Journal of Neuroscience*, 19(10), 2888-2892. doi: 10.1111/j.1460-9568.2004.03367.x
- Appelros, P., Karlsson, G. M., Seiger, A., et al. (2002). Neglect and anosognosia after first-ever stroke: incidence and relationship to disability. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 34(5), 215-220.
- Azouvi, P. (1996). Functional consequences and awareness of unilateral neglect: study of an evaluation scale. *Neuropsychological Rehabilitation*, 6(2), 133-150.
- Azouvi, P. (2006). Évaluation de la négligence spatiale en vie quotidienne Dans P. P. Pradat-Diehl, A (dir.), *Évaluation des troubles neurologiques en vie quotidienne* (Springer^e éd., p. 17-24). Paris.
- Azouvi, P. (2011). Évaluation écologique de la négligence spatiale unilatérale. Dans P. Azouvi, Y. Martin & G. Rode (dir.), *De la négligence aux négligences* (Neuropsychologie^e éd., p. 161-169). Marseille: Solal.
- Azouvi, P., Bartolomeo, P., Beis, J. M., et al. (2006). A battery of tests for the quantitative assessment of unilateral neglect. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 24(4-6), 273-285.
- Azouvi, P., Olivier, S., de Montety, G., et al. (2003). Behavioral assessment of unilateral neglect: study of the psychometric properties of the Catherine Bergego Scale. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84(1), 51-57. doi: 10.1053/apmr.2003.50062
- S0003999302048803 [pii]
- Azouvi, P., Samuel, C., Louis-Dreyfus, A., et al. (2002). Sensitivity of clinical and behavioural tests of spatial neglect after right hemisphere stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 73(2), 160-166.
- Bailey, M. J., Riddoch, M. J. et Crome, P. (2000). Evaluation of a test battery for hemineglect in elderly stroke patients for use by therapists in clinical practice. *NeuroRehabilitation*, 14(3), 139-150.
- Bailey, M. J., Riddoch, M. J. et Crome, P. (2004). Test-retest stability of three tests for unilateral visual neglect in patients with stroke: Star Cancellation, Line Bisection, and the Baking Tray Task. *Neuropsychological Rehabilitation*, 14(4), 403-419. doi: 10.1080/09602010343000282
- Baker, D. H. et Graf, E. W. (2010). Extrinsic factors in the perception of bistable motion stimuli. *Vision Research*, 50(13), 1257-1265. doi: S0042-6989(10)00192-6 [pii]
- 10.1016/j.visres.2010.04.016
- Barthelemy, S. et Boulinguez, P. (2001). Manual reaction time asymmetries in human subjects: the role of movement planning and attention. *Neuroscience Letters*, 315(1-2), 41-44.
- Barthelemy, S. et Boulinguez, P. (2002). Orienting visuospatial attention generates manual reaction time asymmetries in target detection and pointing. *Behavioural Brain Research*, 133(1), 109-116.
- Bartolomeo, P. et Chokron, S. (2002). Orienting of attention in left unilateral neglect. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(2), 217-234. doi: S0149763401000653 [pii]
- Bartolomeo, P., D'Erme, P., Perri, R., et al. (1998). Perception and action in hemispatial neglect. *Neuropsychologia*, 36(3), 227-237.
- Bartolomeo, P., Thiebaut de Schotten, M. et Doricchi, F. (2007). Left unilateral neglect as a disconnection syndrome. *Cerebral Cortex*, 17(11), 2479-2490. doi: 10.1093/cercor/bhl181
- Batsikadze, G., Moliadze, V., Paulus, W., et al. (2013). Partially non-linear stimulation intensity-dependent effects of direct current stimulation on motor cortex excitability in humans. *Journal of Physiology*, 591(7), 1987-2000. doi: 10.1113/jphysiol.2012.249730
- Battersby, W. S., Bender, M. B., Pollack, M., et al. (1956). Unilateral spatial agnosia (inattention) in patients with cerebral lesions. *Brain*, 79, 68-93.
- Bear, M. F., Connors, B. W. et Paradiso, M. A. (2007a). Oeil et vision (Traduit par A. Nieoullon). Dans W. Lippincott & Wilkins (dir.), *Neurosciences: à la découverte du cerveau* (p. 278-308). Baltimore.

- Bear, M. F., Connors, B. W. et Paradiso, M. A. (2007b). Vision: organisation anatomo-fonctionnelle des voies centrales. Dans W. Lippincott & Wilkins (dir.), *Neurosciences: à la découverte du cerveau* (p. 310-343). Baltimore.
- Behrmann, M., Ebert, P. et Black, S. E. (2004). Hemispatial neglect and visual search: a large scale analysis. *Cortex*, 40(2), 247-263.
- Behrmann, M., Watt, S., Black, S. E., et al. (1997). Impaired visual search in patients with unilateral neglect: an oculographic analysis. *Neuropsychologia*, 35(11), 1445-1458.
- Beis, J. M., Keller, C., Morin, N., et al. (2004). Right spatial neglect after left hemisphere stroke: qualitative and quantitative study. *Neurology*, 63(9), 1600-1605. doi: 63/9/1600 [pii]
- Ben-Yishay, Y., Diller, L., Mandleberg, I., et al. (1974). Differences in matching persistence behavior during block design performance between older normal and brain-damaged persons: a process analysis. *Cortex*, 10(2), 121-132.
- Benwell, C. S., Learmonth, G., Miniussi, C., et al. (2015). Non-linear effects of transcranial direct current stimulation as a function of individual baseline performance: Evidence from biparietal tDCS influence on lateralized attention bias. *Cortex*, 69, 152-165. doi: 10.1016/j.cortex.2015.05.007
- Bergego, C., Azouvi, P., Samuel, C., et al. (1995). Validation d'une échelle d'évaluation fonctionnelle de l'héminégligence dans la vie quotidienne: l'échelle CB. *Ann Réadaptation med Phys*, 38, 183-189.
- Berryhill, M. E. et Jones, K. T. (2012). tDCS selectively improves working memory in older adults with more education. *Neuroscience Letters*, 521(2), 148-151. doi: 10.1016/j.neulet.2012.05.074
- Binder, J., Marshall, R., Lazar, R., et al. (1992). Distinct syndromes of hemineglect. *Archives of Neurology*, 49(11), 1187-1194.
- Bisiach, E., Capitani, E., Luzzatti, C., et al. (1981). Brain and conscious representation of outside reality. *Neuropsychologia*, 19(4), 543-551.
- Bisiach, E. et Luzzatti, C. (1978). Unilateral neglect of representational space. *Cortex*, 14(1), 129-133.
- Bisiach, E., Perani, D., Vallar, G., et al. (1986). Unilateral neglect: personal and extra-personal. *Neuropsychologia*, 24(6), 759-767.
- Blake, R., Sobel, K. V. et Gilroy, L. A. (2003). Visual motion retards alternations between conflicting perceptual interpretations. *Neuron*, 39(5), 869-878. doi: S0896627303004951 [pii]
- Boggio, P. S., Ferrucci, R., Mameli, F., et al. (2012). Prolonged visual memory enhancement after direct current stimulation in Alzheimer's disease. *Brain Stimul*, 5(3), 223-230. doi: 10.1016/j.brs.2011.06.006
- Boggio, P. S., Ferrucci, R., Rigonatti, S. P., et al. (2006). Effects of transcranial direct current stimulation on working memory in patients with Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 249(1), 31-38. doi: 10.1016/j.jns.2006.05.062
- Boggio, P. S., Khoury, L. P., Martins, D. C., et al. (2009). Temporal cortex direct current stimulation enhances performance on a visual recognition memory task in Alzheimer disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*, 80(4), 444-447. doi: 10.1136/jnnp.2007.141853
- Boggio, P. S., Nunes, A., Rigonatti, S. P., et al. (2007). Repeated sessions of noninvasive brain DC stimulation is associated with motor function improvement in stroke patients. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25(2), 123-129.
- Bonneh, Y. S., Pavlovskaya, M., Ring, H., et al. (2004). Abnormal binocular rivalry in unilateral neglect: evidence for a non-spatial mechanism of extinction. *Neuroreport*, 15(3), 473-477.
- Boulinguez, P., Barthelemy, S. et Debu, B. (2000). Influence of the movement parameter to be controlled on manual RT asymmetries in right-handers. *Brain and Cognition*, 44(3), 653-661. doi: 10.1006/brcg.2000.1234
- Bowen, A., McKenna, K. et Tallis, R. C. (1999). Reasons for Variability in the Reported Rate of Occurrence of Unilateral Spatial Neglect After Stroke. *Stroke*, 30(6), 1196-1202. doi: 10.1161/01.str.30.6.1196
- Bowers, D. et Heilman, K. M. (1980). Pseudoneglect: effects of hemispace on a tactile line bisection task. *Neuropsychologia*, 18(4-5), 491-498.
- Bradshaw, J. L., Bradshaw, J. A., Nathan, G., et al. (1986). Leftwards error in bisecting the gap between two points: stimulus quality and hand effects. *Neuropsychologia*, 24(6), 849-855.
- Bradshaw, J. L., Nathan, G., Nettleton, N. C., et al. (1987). Why is there a left side underestimation in rod bisection? *Neuropsychologia*, 25(4), 735-738. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932\(87\)90067-4](http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932(87)90067-4)
- Brain, W. R. (1941). Visual disorientation with special reference to lesions of the right cerebral hemisphere. *Brain*, 64, 224-272.

- Brascamp, J. W., van Ee, R., Pestman, W. R., *et al.* (2005). Distributions of alternation rates in various forms of bistable perception. *J Vis*, 5(4), 287-298. doi: 10.1167/5.4.1
- Brighina, F., Bisiach, E., Oliveri, M., *et al.* (2003). 1 Hz repetitive transcranial magnetic stimulation of the unaffected hemisphere ameliorates contralesional visuospatial neglect in humans. *Neuroscience Letters*, 336(2), 131-133. doi: S0304394002012831 [pii]
- Brighina, F., Bisiach, E., Piazza, A., *et al.* (2002). Perceptual and response bias in visuospatial neglect due to frontal and parietal repetitive transcranial magnetic stimulation in normal subjects. *Neuroreport*, 13(18), 2571-2575. doi: 10.1097/01.wnr.0000052321.62862.7e
- Brodie, E. E. et Dunn, E. M. (2005). Visual line bisection in sinistrals and dextrals as a function of hemisphere, hand, and scan direction. *Brain and Cognition*, 58(2), 149-156. doi: 10.1016/j.bandc.2004.09.019
- Brodie, E. E. et Pettigrew, L. E. L. (1996). Is left always right? Directional deviations in visual line bisection as a function of hand and initial scanning direction. *Neuropsychologia*, 34(5), 467-470. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00130-1](http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932(95)00130-1)
- Brouwer, G. J. et van Ee, R. (2006). Endogenous influences on perceptual bistability depend on exogenous stimulus characteristics. *Vision Research*, 46(20), 3393-3402. doi: 10.1016/j.visres.2006.03.016
- Brunelin, J., Mondino, M., Gassab, L., *et al.* (2012). Examining Transcranial Direct-Current Stimulation (tDCS) as a Treatment for Hallucinations in Schizophrenia. *American Journal of Psychiatry*, 169, 719-724.
- Brunoni, A. R., Nitsche, M. A., Bolognini, N., *et al.* (2012). Clinical research with transcranial direct current stimulation (tDCS): challenges and future directions. *Brain Stimul*, 5(3), 175-195. doi: 10.1016/j.brs.2011.03.002
- Bultitude, J. H. et Aimola Davies, A. M. (2006). Putting attention on the line: investigating the activation-orientation hypothesis of pseudoneglect. *Neuropsychologia*, 44(10), 1849-1858. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2006.03.001
- Butter, C. M., Mark, V. W. et Heilman, K. M. (1988). An experimental analysis of factors underlying neglect in line bisection. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 51(12), 1581-1583.
- Buxbaum, L. J., Ferraro, M. K., Veramonti, T., *et al.* (2004). Hemispatial neglect: Subtypes, neuroanatomy, and disability. *Neurology*, 62(5), 749-756.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: The HAROLD model. *Psychology and Aging*, 17(1), 85-100. doi: 10.1037//0882-7974.17.1.85
- Calautti, C. et Baron, J. C. (2003). Functional neuroimaging studies of motor recovery after stroke in adults: a review. *Stroke*, 34(6), 1553-1566. doi: 10.1161/01.STR.0000071761.36075.A6
- Calautti, C., Leroy, F., Guincestre, J. Y., *et al.* (2003). Displacement of primary sensorimotor cortex activation after subcortical stroke: a longitudinal PET study with clinical correlation. *Neuroimage*, 19(4), 1650-1654.
- Calautti, C., Naccarato, M., Jones, P. S., *et al.* (2007). The relationship between motor deficit and hemisphere activation balance after stroke: A 3T fMRI study. *Neuroimage*, 34(1), 322-331. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.08.026
- Carey, D. P., Otto-de Haart, E. G., Buckingham, G., *et al.* (2015). Are there right hemisphere contributions to visually-guided movement? Manipulating left hand reaction time advantages in dextrals. *Frontiers in Psychology*, 6, 1203. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01203
- Carmel, D., Walsh, V., Lavie, N., *et al.* (2010). Right parietal TMS shortens dominance durations in binocular rivalry. *Current Biology*, 20(18), R799-800. doi: 10.1016/j.cub.2010.07.036
- Casco, C. et Spinelli, D. (1988). Left-right visual field asymmetry in bistable motion perception. *Perception*, 17(6), 721-727.
- Catani, M., Howard, R. J., Pajevic, S., *et al.* (2002). Virtual in vivo interactive dissection of white matter fasciculi in the human brain. *Neuroimage*, 17(1), 77-94.
- Cazzoli, D., Wurtz, P., Muri, R. M., *et al.* (2009). Interhemispheric balance of overt attention: a theta burst stimulation study. *European Journal of Neuroscience*, 29(6), 1271-1276. doi: 10.1111/j.1460-9568.2009.06665.x
- Chew, T., Ho, K. A. et Loo, C. K. (2015). Inter- and Intra-individual Variability in Response to Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) at Varying Current Intensities. *Brain Stimul*, 8(6), 1130-1137. doi: 10.1016/j.brs.2015.07.031
- Chokron, S., Bartolomeo, P., Perenin, M. T., *et al.* (1998). Scanning direction and line bisection: a study of normal subjects and unilateral neglect patients with opposite reading habits. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 7(2), 173-178.

- Chokron, S., Bartolomeo, P. et Siéroff, É. (2008). La négligence spatiale unilatérale : trente ans de recherches, de découvertes, d'espoirs et (surtout) de questions. *Revue Neurologique*, 164, S134-S142. doi: 10.1016/s0035-3787(08)73304-6
- Chokron, S. et De Agostini, M. (1995). Reading habits and line bisection: a developmental approach. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 3(1), 51-58.
- Chokron, S. et Imbert, M. (1993). Influence of reading habits on line bisection. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 1(4), 219-222.
- Cicek, M., Deouell, L. Y. et Knight, R. T. (2009). Brain activity during landmark and line bisection tasks. *Frontiers in Human Neuroscience*, 3, 7. doi: 10.3389/neuro.09.007.2009
- Coffman, B. A., Clark, V. P. et Parasuraman, R. (2014). Battery powered thought: enhancement of attention, learning, and memory in healthy adults using transcranial direct current stimulation. *Neuroimage*, 85 Pt 3, 895-908. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.07.083
- Cohen, J. (1962). The statistical power of abnormal-social psychological research: a review. *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 65, 145-153.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. New York, NY: Routledge Academic.
- Committeri, G., Pitzalis, S., Galati, G., et al. (2007). Neural bases of personal and extrapersonal neglect in humans. *Brain*, 130(Pt 2), 431-441. doi: awl265 [pii]
- 10.1093/brain/awl265
- Corbetta, M., Kincade, J. M., Ollinger, J. M., et al. (2000). Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 3(3), 292-297. doi: 10.1038/73009
- Corbetta, M., Kincade, M. J., Lewis, C., et al. (2005). Neural basis and recovery of spatial attention deficits in spatial neglect. *Nature Neuroscience*, 8(11), 1603-1610. doi: nn1574 [pii]
- 10.1038/nn1574
- Corbetta, M. et Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews: Neuroscience*, 3(3), 201-215. doi: 10.1038/nrn755
- Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M., et al. (1995). Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science*, 270(5237), 802-805.
- Cousineau, D. et Chartier, S. (2010). Outliers detection and treatment: a review. *Internal Journal of Psychological Research*, 3(1), 58-67.
- Cowey, A., Small, M. et Ellis, S. (1994). Left visuo-spatial neglect can be worse in far than in near space. *Neuropsychologia*, 32(9), 1059-1066.
- Cuyppers, K., Leenus, D. J., van den Berg, F. E., et al. (2013). Is motor learning mediated by tDCS intensity? *PloS One*, 8(6), e67344. doi: 10.1371/journal.pone.0067344
- Dambeck, N., Sparing, R., Meister, I. G., et al. (2006). Interhemispheric imbalance during visuospatial attention investigated by unilateral and bilateral TMS over human parietal cortices. *Brain Research*, 1072(1), 194-199. doi: 10.1016/j.brainres.2005.05.075
- de Graaf, T. A., de Jong, M. C., Goebel, R., et al. (2011). On the functional relevance of frontal cortex for passive and voluntarily controlled bistable vision. *Cerebral Cortex*, 21(10), 2322-2331. doi: 10.1093/cercor/bhr015
- Dellatolas, G., Vanluchene, J. et Coutin, T. (1996). Visual and motor components in simple line bisection: an investigation in normal adults. *Brain Research: Cognitive Brain Research*, 4(1), 49-56.
- Denes, G., Semenza, C., Stoppa, E., et al. (1982). Unilateral spatial neglect and recovery from hemiplegia: a follow-up study. *Brain*, 105 (Pt 3), 543-552.
- Denny-Brown, D. et Banker, B. O. (1954). Amorphosynthesis from left parietal lesion. *A.M.A. Archives of Neurology and Psychiatry*, 71, 302-313.
- Diller, L. et Weinberg, J. (1977). Hemi-inattention in rehabilitation: the evolution of a rational remediation program. *Advances in Neurology*, 18, 63-82.
- Dolcos, F., Rice, H. J. et Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry and aging: right hemisphere decline or asymmetry reduction. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26(7), 819-825.
- Doricchi, F., Thiebaut de Schotten, M., Tomaiuolo, F., et al. (2008). White matter (dis)connections and gray matter (dys)functions in visual neglect: gaining insights into the brain networks of spatial awareness. *Cortex*, 44(8), 983-995. doi: 10.1016/j.cortex.2008.03.006

- Drago, V., Crucian, G. P., Pisani, F., *et al.* (2006). Distribution of attention in normal people as a function of spatial location: Right-left, up-down. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 12(532-537).
- Driver, J. et Mattingley, J. B. (1998). Parietal neglect and visual awareness. *Nature Neuroscience*, 1(1), 17-22. doi: 10.1038/217
- Dundas, J. E., Thickbroom, G. W. et Mastaglia, F. L. (2007). Perception of comfort during transcranial DC stimulation: effect of NaCl solution concentration applied to sponge electrodes. *Clinical Neurophysiology*, 118(5), 1166-1170. doi: 10.1016/j.clinph.2007.01.010
- Eagleman, D. M. (2001). Visual illusions and neurobiology. *Nature Reviews: Neuroscience*, 2(12), 920-926. doi: 10.1038/35104092
- 35104092 [pii]
- Failla, C. V., Sheppard, D. M. et Bradshaw, J. L. (2003). Age and responding-hand related changes in performance of neurologically normal subjects on the line-bisection and chimeric-faces tasks. *Brain and Cognition*, 52(3), 353-363.
- Ferber, S. et Karnath, H. O. (2001). How to assess spatial neglect--line bisection or cancellation tasks? *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 23(5), 599-607. doi: 10.1076/jcen.23.5.599.1243
- Ferrucci, R., Bortolomasi, M., Vergari, M., *et al.* (2009). Transcranial direct current stimulation in severe, drug-resistant major depression. *Journal of Affective Disorders*, 118(1-3), 215-219. doi: 10.1016/j.jad.2009.02.015
- Ferrucci, R., Mameli, F., Guidi, I., *et al.* (2008). Transcranial direct current stimulation improves recognition memory in Alzheimer disease. *Neurology*, 71(7), 493-498. doi: 10.1212/01.wnl.0000317060.43722.a3
- Fierro, B., Brighina, F. et Bisiach, E. (2006). Improving neglect by TMS. *Behavioural Neurology*, 17(3-4), 169-176.
- Fierro, B., Brighina, F., Giglia, G., *et al.* (2006). Paired pulse TMS over the right posterior parietal cortex modulates visuospatial perception. *Journal of the Neurological Sciences*, 247(2), 144-148. doi: 10.1016/j.jns.2006.04.006
- Fierro, B., Brighina, F., Oliveri, M., *et al.* (2000). Contralateral neglect induced by right posterior parietal rTMS in healthy subjects. *Neuroreport*, 11(7), 1519-1521.
- Fierro, B., Brighina, F., Piazza, A., *et al.* (2001). Timing of right parietal and frontal cortex activity in visuo-spatial perception: a TMS study in normal individuals. *Neuroreport*, 12(11), 2605-2607.
- Filmer, H. L., Dux, P. E. et Mattingley, J. B. (2015). Dissociable effects of anodal and cathodal tDCS reveal distinct functional roles for right parietal cortex in the detection of single and competing stimuli. *Neuropsychologia*, 74, 120-126. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.038
- Fink, G. R., Driver, J., Rorden, C., *et al.* (2000). Neural Consequences of Competing Stimuli in Both Visual Hemifields: A Physiological Basis for Visual Extinction. *Annals of Neurology*, 47, 440-446.
- Floel, A. (2014). tDCS-enhanced motor and cognitive function in neurological diseases. *Neuroimage*, 85 Pt 3, 934-947. doi: 10.1016/j.neuroimage.2013.05.098
- Fregni, F., Boggio, P. S., Mansur, C. G., *et al.* (2005). Transcranial direct current stimulation of the unaffected hemisphere in stroke patients. *Neuroreport*, 16(14), 1551-1555.
- Fregni, F., Boggio, P. S., Nitsche, M. A., *et al.* (2006). Treatment of major depression with transcranial direct current stimulation. *Bipolar Disord*, 8(2), 203-204. doi: 10.1111/j.1399-5618.2006.00291.x
- Fregni, F., Boggio, P. S., Santos, M. C., *et al.* (2006). Noninvasive cortical stimulation with transcranial direct current stimulation in Parkinson's disease. *Mov Disord*, 21(10), 1693-1702. doi: 10.1002/mds.21012
- Fruhmann-Berger, M., Johannsen, L. et Karnath, H. O. (2008). Time course of eye and head deviation in spatial neglect. *Neuropsychology*, 22(6), 697-702.
- Fruhmann-Berger, M. et Karnath, H. O. (2005). Spontaneous eye and head position in patients with spatial neglect. *Journal of Neurology*, 252, 1194-1200.
- Fujii, T., Fukatsu, R., Yamadori, A., *et al.* (1995). Effect of age on the line bisection test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17(6), 941-944. doi: 10.1080/01688639508402443
- Fukatsu, R., Fujii, T., Kimura, I., *et al.* (1990). Effects of hand and spatial conditions on visual line bisection. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 161(4), 329-333.
- Fullerton, K. J., McSherry, D. et Stout, R. W. (1986). Albert's test: a neglected test of perceptual neglect. *Lancet*, 1(8478), 430-432.
- Furubayashi, T., Terao, Y., Arai, N., *et al.* (2008). Short and long duration transcranial direct current stimulation (tDCS) over the human hand motor area. *Experimental Brain Research*, 185(2), 279-286. doi: 10.1007/s00221-007-1149-z

- Gainotti, G., D'Erme, P. et Bartolomeo, P. (1991). Early orientation of attention toward the half space ipsilateral to the lesion in patients with unilateral brain damage. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 54(12), 1082-1089.
- Gainotti, G., Messerli, P. et Tissot, R. (1972). Qualitative analysis of unilateral spatial neglect in relation to laterality of cerebral lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 35(4), 545-550.
- Gandiga, P. C., Hummel, F. C. et Cohen, L. G. (2006). Transcranial DC stimulation (tDCS): a tool for double-blind sham-controlled clinical studies in brain stimulation. *Clinical Neurophysiology*, 117(4), 845-850. doi: 10.1016/j.clinph.2005.12.003
- Gauthier, L., Dehaut, F. et Joanette, Y. (1989). The Bells Test: A quantitative and qualitative test for visual neglect. *International Journal of Clinical Neuropsychology*, 11, 49-54.
- Ghacibeh, G. A., Shenker, J. I., Winter, K. H., et al. (2007). Dissociation of neglect subtypes with transcranial magnetic stimulation. *Neurology*, 69(11), 1122-1127. doi: 69/11/1122 [pii]
- 10.1212/01.wnl.0000276950.77470.50
- Giglia, G., Mattaliano, P., Puma, A., et al. (2011). Neglect-like effects induced by tDCS modulation of posterior parietal cortices in healthy subjects. *Brain Stimul*, 4(4), 294-299. doi: 10.1016/j.brs.2011.01.003
- Gillen, R., Tennen, H. et McKee, T. (2005). Unilateral spatial neglect: relation to rehabilitation outcomes in patients with right hemisphere stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(4), 763-767. doi: 10.1016/j.apmr.2004.10.029
- Girgus, J. J., Rock, I. et Egatz, R. (1977). The effect of knowledge of reversibility on the reversibility of ambiguous figures. *Perception and Psychophysics*, 22(6), 550-556.
- Gobel, S. M., Calabria, M., Farne, A., et al. (2006). Parietal rTMS distorts the mental number line: simulating 'spatial' neglect in healthy subjects. *Neuropsychologia*, 44(6), 860-868. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2005.09.007
- Goedert, K. M., Chen, P., Botticello, A., et al. (2012). Psychometric evaluation of neglect assessment reveals motor-exploratory predictor of functional disability in acute-stage spatial neglect. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(1), 137-142. doi: 10.1016/j.apmr.2011.06.036
- Grabowska, A., Herman, A., Nowicka, A., et al. (1994). Individual differences in the functional asymmetry of the human brain. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 54(2), 155-162.
- Guariglia, C. et Antonucci, G. (1992). Personal and extrapersonal space: a case of neglect dissociation. *Neuropsychologia*, 30(11), 1001-1009.
- Halligan, P., Wilson, B. et Cockburn, J. (1990). A short screening test for visual neglect in stroke patients. *International Disability Studies*, 12(3), 95-99.
- Halligan, P. W., Burn, J. P., Marshall, J. C., et al. (1992). Visuo-spatial neglect: qualitative differences and laterality of cerebral lesion. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 55(11), 1060-1068.
- Halligan, P. W., Cockburn, J. et Wilson, B. A. (1991). The behavioural assessment of visual neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, 1(1), 5-32.
- Halligan, P. W., Fink, G. R., Marshall, J. C., et al. (2003). Spatial cognition: evidence from visual neglect. *Trends Cogn Sci*, 7(3), 125-133. doi: S1364661303000329 [pii]
- Halligan, P. W. et Marshall, J. C. (1991). Left neglect for near but not far space in man. *Nature*, 350, 498-500.
- Halligan, P. W., Marshall, J. C. et Wade, D. T. (1989). Visuospatial neglect: underlying factors and test sensitivity. *Lancet*, 2(8668), 908-911.
- Hancock, S., Gareze, L., Findlay, J. M., et al. (2012). Temporal patterns of saccadic eye movements predict individual variation in alternation rate during binocular rivalry. *Iperception*, 3(1), 88-96. doi: 10.1068/i0486
- Harvey, M., Milner, A. D. et Roberts, R. C. (1995). Differential effects of line length on bisection judgements in hemispatial neglect. *Cortex*, 31(4), 711-722.
- Hausmann, M., Ergun, G., Yazgan, Y., et al. (2002). Sex differences in line bisection as a function of hand. *Neuropsychologia*, 40(3), 235-240.
- He, B. J., Snyder, A. Z., Vincent, J. L., et al. (2007). Breakdown of functional connectivity in frontoparietal networks underlies behavioral deficits in spatial neglect. *Neuron*, 53(6), 905-918. doi: S0896-6273(07)00112-2 [pii]
- 10.1016/j.neuron.2007.02.013

- Hecaen, H. (1962). The clinical symptomatology of right and left hemispheric lesions. *Cahiers du Collège de Médecine des Hôpitaux de Paris*, 3, 259-267.
- Heilman, K. M. et Valenstein, E. (1979). Mechanisms underlying hemispatial neglect. *Annals of Neurology*, 5(2), 166-170. doi: 10.1002/ana.410050210
- Heilman, K. M., Valenstein, E. et Watson, R. T. (2000). Neglect and related disorders. *Seminars in Neurology*, 20(4), 463-470. doi: 10.1055/s-2000-13179
- Heilman, K. M. et Van Den Abell, T. (1980). Right hemisphere dominance for attention: the mechanism underlying hemispheric asymmetries of inattention (neglect). *Neurology*, 30(3), 327-330.
- Heilman, K. M., Watson, R. T. et Valenstein, E. (1993). Neglect and related disorders. Dans K. M. Heilman & E. Valenstein (dir.), *Clinical Neuropsychology* (p. 243-294). New York: Oxford University Press.
- Herwig, U., Satrapi, P. et Schonfeldt-Lecuona, C. (2003). Using the international 10-20 EEG system for positioning of transcranial magnetic stimulation. *Brain Topography*, 16(2), 95-99.
- Hesse, M. D., Sparing, R. et Fink, G. R. (2011). Ameliorating spatial neglect with non-invasive brain stimulation: from pathophysiological concepts to novel treatment strategies. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(5), 676-702. doi: 10.1080/09602011.2011.573931
- Hilgetag, C. C., Theoret, H. et Pascual-Leone, A. (2001). Enhanced visual spatial attention ipsilateral to rTMS-induced 'virtual lesions' of human parietal cortex. *Nature Neuroscience*, 4(9), 953-957. doi: 10.1038/nn0901-953
- nn0901-953 [pii]
- Hillis, A. E., Newhart, M., Heidler, J., et al. (2005). Anatomy of spatial attention: insights from perfusion imaging and hemispatial neglect in acute stroke. *Journal of Neuroscience*, 25(12), 3161-3167. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4468-04.2005
- Hodges, N. J., Lyons, J., Cockell, D., et al. (1997). Hand, space and attentional asymmetries in goal-directed manual aiming. *Cortex*, 33(2), 251-269.
- Horvath, J. C., Carter, O. et Forte, J. D. (2014). Transcranial direct current stimulation: five important issues we aren't discussing (but probably should be). *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 2. doi: 10.3389/fnsys.2014.00002
- Hsieh, P. J., Caplovitz, G. P. et Tse, P. U. (2006). Bistable illusory rebound motion: Event-related functional magnetic resonance imaging of perceptual states and switches. *Neuroimage*, 32(2), 728-739. doi: 10.1016/j.neuroimage.2006.03.047
- Hsieh, P. J. et Tse, P. U. (2009). Microsaccade rate varies with subjective visibility during motion-induced blindness. *PloS One*, 4(4), e5163. doi: 10.1371/journal.pone.0005163
- Hsieh, P. J. et Tse, P. U. (2010). "Brain-reading" of perceived colors reveals a feature mixing mechanism underlying perceptual filling-in in cortical area V1. *Human Brain Mapping*, 31(9), 1395-1407. doi: 10.1002/hbm.20946
- Hummel, F., Celnik, P., Giraux, P., et al. (2005). Effects of non-invasive cortical stimulation on skilled motor function in chronic stroke. *Brain*, 128(Pt 3), 490-499. doi: 10.1093/brain/awh369
- Husain, M. et Rorden, C. (2003). Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect. *Nature Reviews: Neuroscience*, 4(1), 26-36. doi: 10.1038/nrn1005
- Iyer, M. B., Mattu, U., Grafman, J., et al. (2005). Safety and cognitive effect of frontal DC brain polarization in healthy individuals. *Neurology*, 64(5), 872-875. doi: 10.1212/01.WNL.0000152986.07469.E9
- Jacobson, L., Koslowsky, M. et Lavidor, M. (2012). tDCS polarity effects in motor and cognitive domains: a meta-analytical review. *Experimental Brain Research*, 216(1), 1-10. doi: 10.1007/s00221-011-2891-9
- Jehkonen, M., Ahonen, J.-P., Dastidar, P., et al. (1998). How to detect visual neglect in acute stroke. *The Lancet*, 351(9104), 727-728.
- Jehkonen, M., Ahonen, J. P., Dastidar, P., et al. (2000). Visual neglect as a predictor of functional outcome one year after stroke. *Acta Neurologica Scandinavica*, 101, 195-201.
- Jehkonen, M., Laihosalo, M. et Kettunen, J. E. (2006). Impact of neglect on functional outcome after stroke: a review of methodological issues and recent research findings. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 24(4-6), 209-215.
- Jewell, G. et McCourt, M. E. (2000). Pseudoneglect: a review and meta-analysis of performance factors in line bisection tasks. *Neuropsychologia*, 38(1), 93-110.
- Jiang, Y., Luo, Y.-J. et Parasuraman, R. (2002). Priming of two-dimensional visual motion is reduced in older adults. *Neuropsychology*, 16(2), 140-145. doi: 10.1037//0894-4105.16.2.140

- Jiang, Y., Pantle, A. J. et Mark, L. S. (1998). Visual inertia of rotating 3-D objects. *Perception and Psychophysics*, 60(2), 275-286.
- Johnstone, L. T. et Carey, D. P. (2016). Do left hand reaction time advantages depend on localising unpredictable targets? *Experimental Brain Research*, 234(12), 3625-3632. doi: 10.1007/s00221-016-4758-6
- Jung, Y. J., Kim, J. H., Kim, D., et al. (2013). An image-guided transcranial direct current stimulation system: a pilot phantom study. *Physiological Measurement*, 34(8), 937-950. doi: 10.1088/0967-3334/34/8/937
- Kalra, L., Perez, I., Gupta, S., et al. (1997). The influence of visual neglect on stroke rehabilitation. *Stroke*, 28(7), 1386-1391.
- Kanai, R., Bahrami, B. et Rees, G. (2010). Human parietal cortex structure predicts individual differences in perceptual rivalry. *Current Biology*, 20(18), 1626-1630. doi: S0960-9822(10)00929-2 [pii]
- 10.1016/j.cub.2010.07.027
- Kanai, R., Carmel, D., Bahrami, B., et al. (2011). Structural and functional fractionation of right superior parietal cortex in bistable perception. *Current Biology*, 21(3), R106-107. doi: S0960-9822(10)01595-2 [pii]
- 10.1016/j.cub.2010.12.009
- Karnath, H. O., Fruhmann-Berger, M., Kuker, W., et al. (2004). The anatomy of spatial neglect based on voxelwise statistical analysis: a study of 140 patients. *Cerebral Cortex*, 14(10), 1164-1172. doi: 10.1093/cercor/bhh076
- Karnath, H. O., Niemeier, M. et Dichgans, J. (1998). Space exploration in neglect. *Brain*, 121, 2357-2367.
- Karnath, H. O. et Perenin, M.-T. (1998). Tactile exploration of peripersonal space in patients with neglect. *Neuroreport*, 9, 2273-2277.
- Karnath, H. O. et Rorden, C. (2012). The anatomy of spatial neglect. *Neuropsychologia*, 50(6), 1010-1017. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.06.027
- Katz, N., Hartman-Maeir, A., Ring, H., et al. (1999). Functional disability and rehabilitation outcome in right hemisphere damaged patients with and without unilateral spatial neglect. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(4), 379-384. doi: S0003-9993(99)90273-3 [pii]
- Kayahara, N. (2003). Silhouette Illusion. Repéré à <http://www.procreo.jp/labo/silhouette.swf>
- Kerkhoff, G. (2001). Spatial hemineglect in humans. *Progress in Neurobiology*, 63(1), 1-27. doi: S0301-0082(00)00028-9 [pii]
- Kerkhoff, G. et Schenk, T. (2012). Rehabilitation of neglect: an update. *Neuropsychologia*, 50(6), 1072-1079. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.01.024
- Kim, J. H., Kim, D. W., Chang, W. H., et al. (2014). Inconsistent outcomes of transcranial direct current stimulation may originate from anatomical differences among individuals: electric field simulation using individual MRI data. *Neuroscience Letters*, 564, 6-10. doi: 10.1016/j.neulet.2014.01.054
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, 33, 193-201.
- Kinsbourne, M. (1977). in Hemi-inattention and Hemispheric specialization (eds. Weinstein, E.A. & Ungerleider, L.G. Mechanisms of visual attention in the human cortex. *Annu. Rev. Neurosci.* 23, 315-341 (2000). Raven Press, New York, 41-52.
- Kinsbourne, M. (1987). Mechanisms of unilateral neglect. Dans M. Jeannerod (dir.), *Neurophysiological and neuropsychological aspects of spatial neglect* (Elsevier^e éd., p. 69-86). North Holland
- Knapen, T., Brascamp, J., Pearson, J., et al. (2011). The role of frontal and parietal brain areas in bistable perception. *Journal of Neuroscience*, 31(28), 10293-10301. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1727-11.2011
- Ko, M. H., Han, S. H., Park, S. H., et al. (2008). Improvement of visual scanning after DC brain polarization of parietal cortex in stroke patients with spatial neglect. *Neuroscience Letters*, 448(2), 171-174. doi: 10.1016/j.neulet.2008.10.050
- Krause, B., Marquez-Ruiz, J. et Kadosh, R. C. (2013). The effect of transcranial direct current stimulation: a role for cortical excitation/inhibition balance? *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 602. doi: 10.3389/fnhum.2013.00602
- Làdavas, E. (1994). The role of visual attention in neglect: A dissociation between perceptual and directional motor neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, 4(2), 155-159. doi: 10.1080/09602019408402275

- Laine, J. (2012). Variabilite dans la perception et l'orientation de l'attention spatiale: application a la comprehension de la negligeance spatiale unilaterale.
- Lang, N., Siebner, H. R., Chadaide, Z., *et al.* (2007). Bidirectional modulation of primary visual cortex excitability: a combined tDCS and rTMS study. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 48(12), 5782-5787. doi: 10.1167/iovs.07-0706
- Laplane, D. et Degos, J. D. (1983). Motor neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 46(2), 152-158.
- Learmonth, G., Thut, G., Benwell, C. S., *et al.* (2015). The implications of state-dependent tDCS effects in aging: Behavioural response is determined by baseline performance. *Neuropsychologia*, 74, 108-119. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.01.037
- Leopold, D. A. et Logothetis, N. K. (1999). Multistable phenomena: changing views in perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(7), 254-264. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613\(99\)01332-7](http://dx.doi.org/10.1016/S1364-6613(99)01332-7)
- Leopold, D. A., Wilke, M., Maier, A., *et al.* (2002). Stable perception of visually ambiguous patterns. *Nature Neuroscience*, 5(6), 605-609. doi: 10.1038/nn851
- Levin, H. S., O'Donnell, V. M. et Grossman, R. G. (1979). The Galveston Orientation and Amnesia Test. A practical scale to assess cognition after head injury. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 167(11), 675-684.
- Leys, C., Ley, C., Klein, O., *et al.* (2013). Detecting outliers: Do not use standard deviation around the mean, use absolute deviation around the median. *Journal of Experimental Social Psychology*, 49(4), 764-766. doi: 10.1016/j.jesp.2013.03.013
- Li, L. M., Leech, R., Scott, G., *et al.* (2015). The effect of oppositional parietal transcranial direct current stimulation on lateralized brain functions. *European Journal of Neuroscience*, 42(11), 2904-2914. doi: 10.1111/ejn.13086
- Loftus, A. M. et Nicholls, M. E. (2012). Testing the activation-orientation account of spatial attentional asymmetries using transcranial direct current stimulation. *Neuropsychologia*, 50(11), 2573-2576. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.07.003
- Lomber, S. G. et Payne, B. R. (1996). Removal of two halves restores the whole: reversal of visual hemineglect during bilateral cortical or collicular inactivation in the cat. *Visual Neuroscience*, 13(6), 1143-1156.
- Lomber, S. G., Payne, B. R., Hilgetag, C. C., *et al.* (2002). Restoration of visual orienting into a cortically blind hemifield by reversible deactivation of posterior parietal cortex or the superior colliculus. *Experimental Brain Research*, 142(4), 463-474. doi: 10.1007/s00221-001-0957-9
- Lopez-Alonso, V., Cheeran, B., Rio-Rodriguez, D., *et al.* (2014). Inter-individual variability in response to non-invasive brain stimulation paradigms. *Brain Stimul*, 7(3), 372-380. doi: 10.1016/j.brs.2014.02.004
- Luh, K. E. (1995). Line bisection and perceptual asymmetries in normal individuals: What you see is not what you get. *Neuropsychology*, 9(4), 435-448. doi: 10.1037/0894-4105.9.4.435
- Lumer, E. D., Friston, K. J. et Rees, G. (1998). Neural correlates of perceptual rivalry in the human brain. *Science*, 280(5371), 1930-1934.
- Luukkainen-Markkula, R., Tarkka, I. M., Pitkanen, K., *et al.* (2011). Comparison of the Behavioural Inattention Test and the Catherine Bergego Scale in assessment of hemispatial neglect. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(1), 103-116. doi: 10.1080/09602011.2010.531619
- Maier, A., Wilke, M., Logothetis, N. K., *et al.* (2003). Perception of Temporally Interleaved Ambiguous Patterns. *Current Biology*, 13(13), 1076-1085. doi: 10.1016/s0960-9822(03)00414-7
- Makris, N., Kennedy, D. N., McInerney, S., *et al.* (2005). Segmentation of subcomponents within the superior longitudinal fascicle in humans: a quantitative, in vivo, DT-MRI study. *Cerebral Cortex*, 15(6), 854-869. doi: 10.1093/cercor/bhh186
- Malmivuo, J. et Plonsey, R. (1995). Bioelectromagnetism - Principles and Applications of Bioelectric and Biomagnetic Fields. New York.
- Mamassian, P. et Wallace, J. M. (2010). Sustained directional biases in motion transparency. *J Vis*, 10(13), 23. doi: 10.1167/10.13.23
- Manning, L., Halligan, P. W. et Marshall, J. C. (1990). Individual variation in line bisection: a study of normal subjects with application to the interpretation of visual neglect. *Neuropsychologia*, 28(7), 647-655.
- Marsh, E. B. et Hillis, A. E. (2008). Dissociation between egocentric and allocentric visuospatial and tactile neglect in acute stroke. *Cortex*, 44(9), 1215-1220. doi: 10.1016/j.cortex.2006.02.002
- Massironi, M., Antonucci, G., Pizzamiglio, L., *et al.* (1988). The Wundt-Jastrow illusion in the study of spatial hemi-inattention. *Neuropsychologia*, 26(1), 161-166.

- McCourt, M. E. (2001). Performance consistency of normal observers in forced-choice tachistoscopic visual line bisection. *Neuropsychologia*, 39(10), 1065-1076.
- McCourt, M. E. et Garlinghouse, M. (2000). Asymmetries of Visuospatial Attention are Modulated by Viewing Distance and Visual Field Elevation: Pseudoneglect in Peripersonal and Extrapersonal Space. *Cortex*, 36(5), 715-731. doi: 10.1016/s0010-9452(08)70548-3
- McCourt, M. E. et Jewell, G. (1999). Visuospatial attention in line bisection: stimulus modulation of pseudoneglect. *Neuropsychologia*, 37(7), 843-855.
- Medina, J., Beauvais, J., Datta, A., et al. (2013). Transcranial direct current stimulation accelerates allocentric target detection. *Brain Stimul*, 6(3), 433-439. doi: 10.1016/j.brs.2012.05.008
- Meenan, J. P. et Miller, L. A. (1994). Perceptual flexibility after frontal or temporal lobectomy. *Neuropsychologia*, 32(9), 1145-1149.
- Megumi, F., Bahrami, B., Kanai, R., et al. (2015). Brain activity dynamics in human parietal regions during spontaneous switches in bistable perception. *Neuroimage*, 107, 190-197. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.12.018
- Meng, M., Remus, D. A. et Tong, F. (2005). Filling-in of visual phantoms in the human brain. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1248-1254. doi: 10.1038/nn1518
- Meng, M. et Tong, F. (2004). Can attention selectively bias bistable perception? Differences between binocular rivalry and ambiguous figures. *J Vis*, 4(7), 539-551. doi: 10.1167/4.7.2
- /4/7/2/ [pii]
- Mennemeier, M., Vezey, E., Chatterjee, A., et al. (1997). Contributions of the left and right cerebral hemispheres to line bisection. *Neuropsychologia*, 35(5), 703-715.
- Menon-Nair, A., Korner-Bitensky, N., Wood-Dauphinee, S., et al. (2006). Assessment of unilateral spatial neglect post stroke in Canadian acute care hospitals: are we neglecting neglect? *Clinical Rehabilitation*, 20(7), 623-634.
- Menon, A. et Korner-Bitensky, N. (2004). Evaluating Unilateral Spatial Neglect Post Stroke: Working Your Way Through the Maze of Assessment Choices. *Topics in Stroke Rehabilitation*, 11(3), 41-66.
- Mesulam, M. M. (1981). A cortical network for directed attention and unilateral neglect. *Annals of Neurology*, 10(4), 309-325. doi: 10.1002/ana.410100402
- Mieschke, P. E., Elliott, D., Helsen, W. F., et al. (2001). Manual asymmetries in the preparation and control of goal-directed movements. *Brain and Cognition*, 45(1), 129-140. doi: 10.1006/brcg.2000.1262
- Miller, J. (1991). Short report: Reaction time analysis with outlier exclusion: Bias varies with sample size. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 43(4), 907-912. doi: 10.1080/14640749108400962
- Miller, S. M., Liu, G. B., Ngo, T. T., et al. (2000). Interhemispheric switching mediates perceptual rivalry. *Current Biology*, 10(7), 383-392.
- Milner, A. D., Brechmann, M. et Pagliarini, L. (1992). To halve and to halve not: an analysis of line bisection judgements in normal subjects. *Neuropsychologia*, 30(6), 515-526.
- Miniussi, C., Cappa, S. F., Cohen, L. G., et al. (2008). Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation/transcranial direct current stimulation in cognitive neurorehabilitation. *Brain Stimul*, 1(4), 326-336. doi: 10.1016/j.brs.2008.07.002
- Miniussi, C., Harris, J. A. et Ruzzoli, M. (2013). Modelling non-invasive brain stimulation in cognitive neuroscience. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(8), 1702-1712. doi: 10.1016/j.neubiorev.2013.06.014
- Molenberghs, P., Sale, M. V. et Mattingley, J. B. (2012). Is there a critical lesion site for unilateral spatial neglect? A meta-analysis using activation likelihood estimation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6, 78. doi: 10.3389/fnhum.2012.00078
- Moos, K., Vossel, S., Weidner, R., et al. (2012). Modulation of top-down control of visual attention by cathodal tDCS over right IPS. *Journal of Neuroscience*, 32(46), 16360-16368. doi: 10.1523/JNEUROSCI.6233-11.2012
- Mort, D. J., Malhotra, P., Mannan, S. K., et al. (2003). The anatomy of visual neglect. *Brain*, 126(Pt 9), 1986-1997. doi: 10.1093/brain/awg200

awg200 [pii]



- Muggleton, N. G., Postma, P., Moutsopoulou, K., *et al.* (2006). TMS over right posterior parietal cortex induces neglect in a scene-based frame of reference. *Neuropsychologia*, 44(7), 1222-1229. doi: S0028-3932(05)00320-9 [pii]
- 10.1016/j.neuropsychologia.2005.10.004
- Nagamatsu, L. S., Carolan, P., Liu-Ambrose, T. Y., *et al.* (2011). Age-related changes in the attentional control of visual cortex: a selective problem in the left visual hemifield. *Neuropsychologia*, 49(7), 1670-1678. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.040
- Nagamatsu, L. S., Liu-Ambrose, T. Y., Carolan, P., *et al.* (2009). Are impairments in visual-spatial attention a critical factor for increased falls risk in seniors? An event-related potential study. *Neuropsychologia*, 47(13), 2749-2755. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.05.022
- Neely, K., Binsted, G. et Heath, M. (2005). Manual asymmetries in bimanual reaching: the influence of spatial compatibility and visuospatial attention. *Brain and Cognition*, 57(1), 102-105. doi: 10.1016/j.bandc.2004.08.041
- Nelson, J. T., McKinley, R. A., Golob, E. J., *et al.* (2014). Enhancing vigilance in operators with prefrontal cortex transcranial direct current stimulation (tDCS). *Neuroimage*, 85 Pt 3, 909-917. doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.11.061
- Nichelli, P., Rinaldi, M. et Cubelli, R. (1989). Selective spatial attention and length representation in normal subjects and in patients with unilateral spatial neglect. *Brain and Cognition*, 9(1), 57-70.
- Nielsen, K. E., Intriligator, J. et Barton, J. J. (1999). Spatial representation in the normal visual field: a study of hemifield line bisection. *Neuropsychologia*, 37(3), 267-277.
- Nisiyama, M. et Ribeiro-do-Valle, L. E. (2014). Relative performance of the two hands in simple and choice reaction time tasks. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 47(1), 80-89. doi: 10.1590/1414-431X20132932
- Nitsche, M. A., Cohen, L. G., Wassermann, E. M., *et al.* (2008). Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain Stimul*, 1(3), 206-223. doi: 10.1016/j.brs.2008.06.004
- Nitsche, M. A., Liebetanz, D., Lang, N., *et al.* (2003). Safety criteria for transcranial direct current stimulation (tDCS) in humans. *Clinical Neurophysiology*, 114(11), 2220-2222. doi: 10.1016/s1388-2457(03)00235-9
- Nitsche, M. A. et Paulus, W. (2000). Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *Journal of Physiology*, 527 Pt 3, 633-639.
- Nitsche, M. A. et Paulus, W. (2001). Sustained excitability elevations induced by transcranial DC motor cortex stimulation in humans. *Neurology*, 57(10), 1899-1901.
- Nowak, D. A., Grefkes, C., Ameli, M., *et al.* (2009). Interhemispheric competition after stroke: brain stimulation to enhance recovery of function of the affected hand. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 23(7), 641-656. doi: 10.1177/1545968309336661
- Nyffeler, T., Cazzoli, D., Hess, C. W., *et al.* (2009). One session of repeated parietal theta burst stimulation trains induces long-lasting improvement of visual neglect. *Stroke*, 40(8), 2791-2796. doi: STROKEAHA.109.552323 [pii]
- 10.1161/STROKEAHA.109.552323
- Nyffeler, T., Cazzoli, D., Wurtz, P., *et al.* (2008). Neglect-like visual exploration behaviour after theta burst transcranial magnetic stimulation of the right posterior parietal cortex. *European Journal of Neuroscience*, 27(7), 1809-1813. doi: EJN6154 [pii]
- 10.1111/j.1460-9568.2008.06154.x
- O'Connell, N. E., Cossar, J., Marston, L., *et al.* (2012). Rethinking clinical trials of transcranial direct current stimulation: participant and assessor blinding is inadequate at intensities of 2mA. *PloS One*, 7(10), e47514. doi: 10.1371/journal.pone.0047514
- Ogden, J. A. (1985). Anterior-posterior interhemispheric differences in the loci of lesions producing visual hemineglect. *Brain and Cognition*, 4(1), 59-75.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.

- Oliver, R., Bjoertomt, O., Driver, J., *et al.* (2009). Novel 'hunting' method using transcranial magnetic stimulation over parietal cortex disrupts visuospatial sensitivity in relation to motor thresholds. *Neuropsychologia*, 47(14), 3152-3161. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2009.07.017
- Oliveri, M., Bisiach, E., Brighina, F., *et al.* (2001). rTMS of the unaffected hemisphere transiently reduces contralesional visuospatial hemineglect. *Neurology*, 57(7), 1338-1340.
- Ota, H., Fujii, T., Suzuki, K., *et al.* (2001). Dissociation of body-centered and stimulus-centered representations in unilateral neglect. *Neurology*, 57(11), 2064-2069.
- Paillard, J. et Badan, M. (1997). À propos de l'héminégligence : bilan et perspectives. *Ann Réadaptation med Phys*, 40, 503-518.
- Palm, U., Reisinger, E., Keeser, D., *et al.* (2013). Evaluation of sham transcranial direct current stimulation for randomized, placebo-controlled clinical trials. *Brain Stimul*, 6(4), 690-695. doi: 10.1016/j.brs.2013.01.005
- Parton, A., Malhotra, P. et Husain, M. (2004). Hemispatial neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 75(1), 13-21.
- Pastukhov, A. et Braun, J. (2008). A short-term memory of multi-stable perception. *J Vis*, 8(13), 7 1-14. doi: 10.1167/8.13.7
- Payne, B. R., Lomber, S. G., Rushmore, R. J., *et al.* (2003). Cancellation of visuoparietal lesion-induced spatial neglect. *Experimental Brain Research*, 150(3), 395-398. doi: 10.1007/s00221-003-1473-x
- Payne, B. R. et Rushmore, R. J. (2003). Animal models of cerebral neglect and its cancellation. *Neuroscientist*, 9(6), 446-454. doi: 10.1177/1073858403256689
- Pearson, J. et Brascamp, J. (2008). Sensory memory for ambiguous vision. *Trends Cogn Sci*, 12(9), 334-341. doi: 10.1016/j.tics.2008.05.006
- Pedersen, P. M., Jorgensen, H. S., Nakayama, H., *et al.* (1997). Hemineglect in acute stroke--incidence and prognostic implications. The Copenhagen Stroke Study. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 76(2), 122-127.
- Polonsky, A., Blake, R., Braun, J., *et al.* (2000). Neuronal activity in human primary visual cortex correlates with perception during binocular rivalry. *Nature Neuroscience*, 3(11), 1153-1159. doi: 10.1038/80676
- Poreisz, C., Boros, K., Antal, A., *et al.* (2007). Safety aspects of transcranial direct current stimulation concerning healthy subjects and patients. *Brain Research Bulletin*, 72(4-6), 208-214. doi: 10.1016/j.brainresbull.2007.01.004
- Postner, M. I. et Driver, J. (1992). The Neurobiology of selective attention. *Current Opinion in Neurobiology*, 2, 165-169.
- Potet, A., Pradat-Diehl, P., Weill-Chounlamountry, A., *et al.* (2011). Évaluation papier-crayon et informatisée de la négligence spatiale unilatérale. Dans P. Azouvi, Y. Martin & G. Rode (dir.), *De la négligence aux négligences* (Neuropsychologie^e éd., p. 171-174). Marseille: Solal.
- Reuter-Lorenz, P. A., Kinsbourne, M. et Moscovitch, M. (1990). Hemispheric control of spatial attention. *Brain and Cognition*, 12(2), 240-266.
- Reuter-Lorenz, P. A. et Posner, M. I. (1990). Components of neglect from right-hemisphere damage: an analysis of line bisection. *Neuropsychologia*, 28(4), 327-333.
- Revill, K. P., Karnath, H. O. et Rorden, C. (2011). Distinct anatomy for visual search and bisection: a neuroimaging study. *Neuroimage*, 57(2), 476-481. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.04.066
- Ricci, C. et Blundo, C. (1990). Perception of ambiguous figures after focal brain lesions. *Neuropsychologia*, 28(11), 1163-1173.
- Ridding, M. C. et Ziemann, U. (2010). Determinants of the induction of cortical plasticity by non-invasive brain stimulation in healthy subjects. *Journal of Physiology*, 588(Pt 13), 2291-2304. doi: 10.1113/jphysiol.2010.190314
- Ringman, J. M., Saver, J. L., Woolson, R. F., *et al.* (2004). Frequency, risk factors, anatomy, and course of unilateral neglect in an acute stroke cohort. *Neurology*, 63(3), 468-474.
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Fogassi, L., *et al.* (1997). The space around us. *Science*, 277(5323), 190-191.
- Rizzolatti, G., Fogassi, L. et Gallese, V. (1997). Parietal cortex: from sight to action. *Current Opinion in Neurobiology*, 7(4), 562-567.
- Rode, G. et Pisella, L. (2011). De la négligence aux négligences: Sémiologie - Dissociations. Dans P. Azouvi, Y. Martin & G. Rode (dir.), *De la négligence aux négligences* (Neuropsychologie^e éd., p. 23-43). Marseille: Solal.

- Roy, L. B., Sparing, R., Fink, G. R., *et al.* (2015). Modulation of attention functions by anodal tDCS on right PPC. *Neuropsychologia*, 74, 96-107. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2015.02.028
- Rueckert, L., Deravanesian, A., Baboorian, D., *et al.* (2002). Pseudoneglect and the cross-over effect. *Neuropsychologia*, 40(2), 162-173.
- Rushmore, R. J., Valero-Cabre, A., Lomber, S. G., *et al.* (2006). Functional circuitry underlying visual neglect. *Brain*, 129(Pt 7), 1803-1821. doi: awl140 [pii]
- 10.1093/brain/awl140
- Scarisbrick, D. J., Tweedy, J. R. et Kuslansky, G. (1987). Hand preference and performance effects on line bisection. *Neuropsychologia*, 25(4), 695-699. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932\(87\)90061-3](http://dx.doi.org/10.1016/0028-3932(87)90061-3)
- Schauer, G., Kanai, R. et Brascamp, J. W. (2016). Parietal theta burst TMS: Functional fractionation observed during bistable perception not evident in attention tasks. *Consciousness and Cognition*, 40, 105-115. doi: 10.1016/j.concog.2016.01.002
- Schenkenberg, T., Bradford, D. C. et Ajax, E. T. (1980). Line bisection and unilateral visual neglect in patients with neurologic impairment. *Neurology*, 30(5), 509-517.
- Schmahmann, J. D. et Pandya, D. N. (2006). *Fiber Pathways of the Brain*. Oxford University Press.
- Schmitz, R. et Peigneux, P. (2011). Age-related changes in visual pseudoneglect. *Brain and Cognition*, 76(3), 382-389. doi: 10.1016/j.bandc.2011.04.002
- Schubert, F. et Spatt, J. (2001). Double Dissociations between Neglect Tests: Possible Relation to Lesion Site. *European Neurology*, 45(3), 160-164.
- Sea, M. J. C. et Henderson, A. (1994). The reliability and validity of visuospatial inattention tests with stroke patients. *Occupational Therapy International*, 1(1), 36-48.
- Seron, X., Deloche, G. et Coyette, F. (1989). A retrospective analysis of a single case neglect therapy: A point of theory. . Dans X. Seron & G. Deloche (dir.), *Cognitive approaches in neuropsychological rehabilitation, Neuropsychology and neurolinguistics* (Vol. ix, p. 289-316). Hillsdale: Hillsdale, NJ, England: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Shuren, J. E., Jacobs, D. H. et Heilman, K. M. (1997). The influence of center of mass effect on the distribution of spatial attention in the vertical and horizontal dimensions. *Brain and Cognition*, 34(2), 293-300. doi: 10.1006/brcg.1997.0918
- Siebner, H. R., Lang, N., Rizzo, V., *et al.* (2004). Preconditioning of low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation with transcranial direct current stimulation: evidence for homeostatic plasticity in the human motor cortex. *Journal of Neuroscience*, 24(13), 3379-3385. doi: 10.1523/JNEUROSCI.5316-03.2004
- Silvanto, J., Muggleton, N. et Walsh, V. (2008). State-dependency in brain stimulation studies of perception and cognition. *Trends Cogn Sci*, 12(12), 447-454. doi: 10.1016/j.tics.2008.09.004
- Silvanto, J. et Pascual-Leone, A. (2008). State-Dependency of Transcranial Magnetic Stimulation. *Brain Topography*, 21, 1-10. doi: 10.1007/s10548-008-0067-0
- Simmons, J. P., Nelson, L. D. et Simonsohn, U. (2011). False-positive psychology: undisclosed flexibility in data collection and analysis allows presenting anything as significant. *Psychological Science*, 22(11), 1359-1366. doi: 10.1177/0956797611417632
- Sparing, R., Thimm, M., Hesse, M. D., *et al.* (2009). Bidirectional alterations of interhemispheric parietal balance by non-invasive cortical stimulation. *Brain*, 132(Pt 11), 3011-3020. doi: 10.1093/brain/awp154
- Sterzer, P. et Rees, G. (2008). A neural basis for percept stabilization in binocular rivalry. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(3), 389-399. doi: 10.1162/jocn.2008.20039
- Stone, S. P., Halligan, P. W. et Greenwood, R. J. (1993). The incidence of neglect phenomena and related disorders in patients with an acute right or left hemisphere stroke. *Age and Ageing*, 22(1), 46-52.
- Stone, S. P., Wilson, B., Wroot, A., *et al.* (1991). The assessment of visuo-spatial neglect after acute stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 54(4), 345-350.
- StrokeEngine. (2014). Repéré à <http://www.strokeengine.ca/>
- Sundareswara, R. et Schrater, P. R. (2008). Perceptual multistability predicted by search model for Bayesian decisions. *J Vis*, 8(5), 12 11-19. doi: 10.1167/8.5.12
- Sunwoo, H., Kim, Y. H., Chang, W. H., *et al.* (2013). Effects of dual transcranial direct current stimulation on post-stroke unilateral visuospatial neglect. *Neuroscience Letters*, 554, 94-98. doi: 10.1016/j.neulet.2013.08.064

- Tegner, R. et Levander, M. (1991). The influence of stimulus properties on visual neglect. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 54(10), 882-887.
- Thiebaut de Schotten, M., Dell'Acqua, F., Forkel, S. J., et al. (2011). A lateralized brain network for visuospatial attention. *Nature Neuroscience*, 14(10), 1245-1246. doi: 10.1038/nn.2905
- Thiebaut de Schotten, M., Urbanski, M., Duffau, H., et al. (2005). Direct evidence for a parietal-frontal pathway subserving spatial awareness in humans. *Science*, 309(5744), 2226-2228. doi: 10.1126/science.1116251
- Tremblay, L., Welsh, T. N. et Elliott, D. (2005). Between-trial inhibition and facilitation in goal-directed aiming: manual and spatial asymmetries. *Experimental Brain Research*, 160(1), 79-88. doi: 10.1007/s00221-004-1987-x
- Tremblay, S., Lepage, J. F., Latulipe-Loiselle, A., et al. (2014). The uncertain outcome of prefrontal tDCS. *Brain Stimul*, 7(6), 773-783. doi: 10.1016/j.brs.2014.10.003
- Troje, N. F. et McAdam, M. (2010). The viewing-from-above bias and the silhouette illusion. *Iperception*, 1(3), 143-148. doi: 10.1068/i0408
- Ugur, C., Gucuyener, D., Uzuner, N., et al. (2000). Characteristics of falling in patients with stroke. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 69(5), 649-651.
- Urbanski, M., Angeli, V., Bourlon, C., et al. (2007). Négligence spatiale unilatérale : une conséquence dramatique mais souvent négligée des lésions de l'hémisphère droit. *Revue Neurologique*, 163(3), 305-322. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0035-3787\(07\)90403-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0035-3787(07)90403-8)
- Utz, K. S., Dimova, V., Oppenlander, K., et al. (2010). Electrified minds: transcranial direct current stimulation (tDCS) and galvanic vestibular stimulation (GVS) as methods of non-invasive brain stimulation in neuropsychology--a review of current data and future implications. *Neuropsychologia*, 48(10), 2789-2810. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.06.002
- Vallar, G. (1998). Spatial hemineglect in humans. *Trends Cogn Sci*, 2(3), 87-97. doi: S1364-6613(98)01145-0 [pii]
- Vallar, G. (2007). Spatial neglect, Balint-Homes' and Gerstmann's syndrome, and other spatial disorders. *CNS Spectr*, 12(7), 527-536.
- Vallar, G., Bello, L., Bricolo, E., et al. (2014). Cerebral correlates of visuospatial neglect: a direct cerebral stimulation study. *Human Brain Mapping*, 35(4), 1334-1350. doi: 10.1002/hbm.22257
- Vallar, G. et Bolognini, N. (2011). Behavioural facilitation following brain stimulation: implications for neurorehabilitation. *Neuropsychological Rehabilitation*, 21(5), 618-649. doi: 10.1080/09602011.2011.574050
- van Dam, L. C. et Ernst, M. O. (2010). Preexposure disrupts learning of location-contingent perceptual biases for ambiguous stimuli. *J Vis*, 10(8), 15. doi: 10.1167/10.8.15
- Varnava, A., Dervinis, M. et Chambers, C. D. (2013). The Predictive Nature of Pseudoneglect for Visual Neglect: Evidence from Parietal Theta Burst Stimulation. *PloS One*, 8(6), e65851. doi: 10.1371/journal.pone.0065851
- Varnava, A., McCarthy, M. et Beaumont, J. G. (2002). Line bisection in normal adults: direction of attentional bias for near and far space. *Neuropsychologia*, 40(8), 1372-1378.
- Verdon, V., Schwartz, S., Lovblad, K. O., et al. (2010). Neuroanatomy of hemispatial neglect and its functional components: a study using voxel-based lesion-symptom mapping. *Brain*, 133(Pt 3), 880-894. doi: 10.1093/brain/awp305
- Vernet, M., Brem, A. K., Farzan, F., et al. (2015). Synchronous and opposite roles of the parietal and prefrontal cortices in bistable perception: a double-coil TMS-EEG study. *Cortex*, 64, 78-88. doi: 10.1016/j.cortex.2014.09.021
- Vines, B. W., Cerruti, C. et Schlaug, G. (2008). Dual-hemisphere tDCS facilitates greater improvements for healthy subjects' non-dominant hand compared to uni-hemisphere stimulation. *BMC Neuroscience*, 9, 103. doi: 10.1186/1471-2202-9-103
- Vuilleumier, P., Hester, D., Assal, G., et al. (1996). Unilateral spatial neglect recovery after sequential strokes. *Neurology*, 46(1), 184-189.
- Wiart, L. (1998). Place des tests de bissection dans l'évaluation de l'héminégligence. Dans D. Perennou, V. Brun & J. Pélissier (dir.), *Les syndromes de négligence spatiale*. Paris: Masson.
- Wiethoff, S., Hamada, M. et Rothwell, J. C. (2014). Variability in response to transcranial direct current stimulation of the motor cortex. *Brain Stimul*, 7(3), 468-475. doi: 10.1016/j.brs.2014.02.003

- Williams, J. A., Imamura, M. et Fregni, F. (2009). Updates on the use of non-invasive brain stimulation in physical and rehabilitation medicine. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 41(5), 305-311. doi: 10.2340/16501977-0356
- Williams, J. A., Pascual-Leone, A. et Fregni, F. (2010). Interhemispheric modulation induced by cortical stimulation and motor training. *Physical Therapy*, 90(3), 398-410. doi: 10.2522/ptj.20090075
- Wilson, B., Cockburn, J. et Halligan, P. (1987a). Development of a behavioral test of visuospatial neglect. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 68(2), 98-102.
- Wilson, B. A., Cockburn, J. et Halligan, P. (1987b). *Behavioural inattention test*. Thames Valley Test Company.
- Windmann, S., Wehrmann, M., Calabrese, P., et al. (2006). Role of the prefrontal cortex in attentional control over bistable vision. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(3), 456-471. doi: 10.1162/089892906775990570
- Yergeau, É. (2009). Étude sur la puissance statistique des devis de recherche en éducation. *Revue des sciences de l'éducation*, 35(2), 199. doi: 10.7202/038735ar
- Zaretskaya, N., Thielscher, A., Logothetis, N. K., et al. (2010). Disrupting parietal function prolongs dominance durations in binocular rivalry. *Current Biology*, 20(23), 2106-2111. doi: 10.1016/j.cub.2010.10.046