

NOTE TO USERS

**Page(s) not included in the original manuscript are
unavailable from the author or university. The
manuscript was microfilmed as received**

1 & 2

This reproduction is the best copy available.

UMI[®]

Université de Montréal

**ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE
POUR LE TRAITEMENT DES MOTS
CHEZ LES GAUCHERS ET LES DROITIERS**

Par

Tania Tremblay

Département de psychologie
Faculté des arts et des sciences

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Philosophiæ Doctor (Ph.D.)
en psychologie

Mai 2009

© Tania Tremblay, 2009
Université de Montréal
Faculté des études supérieures





Library and Archives
Canada

Published Heritage
Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Direction du
Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*
ISBN: 978-0-494-60325-3
Our file *Notre référence*
ISBN: 978-0-494-60325-3

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

Cette thèse intitulée :

ÉTUDE DE LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE
POUR LE TRAITEMENT DES MOTS
CHEZ LES GAUCHERS ET LES DROITIERS

présentée par

Tania Tremblay

a été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes :

président-rapporteur

Maryse Lassonde

directeur de recherche

Yves Joannette

membre du jury

Martin Arguin pour Bernadette Ska

examineur externe

Michel Habib

représentant du doyen de la FES

Victor Boucher

RÉSUMÉ

Il est d'ores et déjà connu que l'organisation cérébrale du langage des gauchers se distingue de celle des droitiers. Toutefois, très peu d'études ont considéré cette différence lors de l'étude de l'influence du sexe et de la complexité du traitement.

L'objectif de la présente thèse consiste à mieux comprendre l'influence de facteurs inter et intra-individuels sur la dynamique hémisphérique associées à deux composantes fondamentales du langage, soit les traitements phonologique et sémantique du mot chez les droitiers et les gauchers. À cette fin, une tâche phonologique demandant un jugement d'appariement grapho-phonémique et une tâche sémantique sollicitant un jugement d'appartenance catégorielle ont été utilisées à l'aide de la méthode comportementale des champs visuels divisés (Walter, Beauregard, & Joanette, 2002; Walter, Cliche, Joubert, Beauregard, & Joanette, 2001). Ces deux tâches ont été sélectionnées parce qu'elles permettent d'évaluer un niveau de traitement facile et difficile en présentant des stimuli variant en termes de transparence grapho-phonémique (tâche phonologique) ou de prototypicalité (tâche sémantique).

Après une mise en contexte du travail (chapitre 1), une revue des connaissances quant à l'impact de la préférence manuelle sur l'organisation cérébrale du langage ouvrira le développement de la thèse (chapitre 2). Par la suite, l'effet du genre ainsi que l'effet de la complexité du traitement chez les droitiers et les gauchers seront explorés (Chapitre 3 et 4). Les résultats des études empiriques démontrent un effet différentiel de

genre selon la préférence manuelle et de complexité du traitement selon que la composante langagière soit phonologique ou sémantique.

Premièrement, le genre module la dynamique hémisphérique chez les gauchers seulement : les hommes gauchers semblent présenter une asymétrie fonctionnelle du langage moins marquée que les femmes. Deuxièmement, quelle que soit la préférence manuelle et le genre, les résultats suggèrent qu'une augmentation de la complexité du traitement entraîne la collaboration des deux hémisphères lors d'un traitement sémantique mais non lors d'un traitement phonologique des mots. L'augmentation de la complexité phonologique semble plutôt engager essentiellement l'HG et faire appel à un mode de fonctionnement intra-hémisphérique.

Les résultats des quatre articles seront discutés dans le cinquième chapitre. Ce sera alors l'occasion de les intégrer à l'intérieur d'un corpus empirique et de les interpréter à la lumière de trois modèles de fonctionnement cérébral soit intra-hémisphérique (modèle de l'accès direct), soit inter-hémisphérique de type calleux (modèle du relais calleux) ou coopératif (modèle de l'interaction hémisphérique).

Mots-clés : langage, gauchers, différence inter-genre, complexité du traitement, traitement phonologique, traitement sémantique, champ visuel divisé.

ABSTRACT

A longstanding held assumption is that left-handers present a distinct cerebral language organization than right-handers. However, only few studies have considered this difference in studying the impact of intra and interindividual factors on language hemispheric dynamic. The goal of the present thesis is to gain insight into the language hemispheric dynamic in right-and left-handers for two fundamental language components which are phonological and semantic processing of words. At that end, a phonological task that asked for a grapho-phonemic matching judgment and a semantic task that called for a category judgment were used through a behavioral divided visual field paradigm (Walter, Beauregard, & Joanette, 2002; Walter, Cliche, Joubert, Beauregard, & Joanette, 2001). These two tasks have been chosen because they both present an easy and a difficult level of processing, which have been manipulated according to graphophonemic transparency (phonological task) or semantic prototypicality (semantic task).

After contextualizing that research into a larger perspective (chapter 1), a literature review about left-hander's language cerebral organization deployed the matter of that thesis (chapter 2). After that, empirical studies will explore gender effect as well as complexity processing effect in right and left-handers (chapter 3 and 4). Results suggest a differentia effect of the gender according to handedness and of the complexity processing whether phonology or semantic is involved.

First, gender modulates the hemispheric dynamic solely in left-handers with men demonstrated better equilibrium between left and right-hemisphere performance than

women. Second, results suggest that an increase of complexity processing solicits both hemispheres collaboration during semantic but not phonological processing of words whatever the handedness or the gender. Rather, an increase in phonological complexity seems to engage essentially the left-hemisphere and to be held by an intrahemispheric mode of processing.

Results of the four articles will be discussed in the fifth chapter. Then, it will be the opportunity to integrate them into the empirical corpus and to interpret them in light of different cerebral functioning models (direct access, callosal relay and hemispheric interaction models).

Key words: language, left-handers, gender difference, complexity processing, phonological processing, semantic processing, divided visual field

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	iii
ABSTRACT	v
TABLE DES MATIÈRES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES ABRÉVIATIONS	xii
REMERCIEMENTS	xiv
CHAPITRE 1	3 *
INTRODUCTION GÉNÉRALE	
CHAPITRE 2	39
L'INFLUENCE DE LA PRÉFÉRENCE MANUELLE SUR LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE DU LANGAGE	
CHAPITRE 3	59
L'INFLUENCE DU GENRE SUR LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE DU LANGAGE CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS	
CHAPITRE 4	86
L'INFLUENCE DE LA COMPLEXITÉ DU TRAITEMENT DES MOTS SUR LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE DU LANGAGE CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS	
CHAPITRE 5	154
DISCUSSION GÉNÉRALE	
APPENDICES	
A : Questionnaire d'Édimbourg sur la préférence manuelle, version simplifiée	181
B : Hemispheric dynamic during easy and complex phonological processing: An ERP study	183
C : Stimuli de la tâche phonologique	190
C1 Cibles non-transparentes	191
C2 Cibles transparentes	192
C3 Distracteurs non-transparentes	193
C4 Distracteurs transparents	194
D : Stimuli de la tâche sémantique	195

D1 Cibles de faible prototypicalité	196
D2 Cibles de haute prototypicalité	197
D3 Distracteurs	198
E : Corrélation entre les temps de réponse aux stimuli phonologiques et sémantiques	200
E1 Coefficients de Spearman pour les hommes gauchers	201
E2 Coefficients de Spearman pour les hommes droitiers	202
E3 Coefficients de Spearman pour les femmes gauchères	203
E4 Coefficients de Spearman pour les femmes droitières	204
F : Accords des co-auteurs et autorisation des éditeurs pour la diffusion	205

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE 4**Article 3 :**

Table I- Means and standard deviations reaction times and error rates for words presented to the left visual field (LVF) and right visual field (RVF) during phonological and semantic processing 100

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE 1

Figure 1- Procédure de la présentation latéralisée introduite pour l'étude des commissurotomisés	11
Figure 2- Modèle de l'accès direct	19
Figure 3- Modèle du relais calleux	20
Figure 4- Différence des temps de réponse entre les deux mains dans le champ visuel droit et le champ visuel gauche	21
Figure 5- Différence des temps de réponse entre les champs visuels pour la main droite et la main gauche	21

CHAPITRE 3**Article 2:**

Figure 1- Means of percentage of errors across lateral visual fields according to gender for right- and left-handers during phonological processing	72
Figure 2- Means of percentage of errors across lateral visual fields according to gender for right- and left-handers during semantic processing	74

CHAPITRE 4**Article 3:**

Figure 1- Laterality indices based on reaction times for semantic and phonological processing according to word complexity	102
Figure 2- Laterality indices based on error rates for semantic and phonological processing according to word complexity	103

Article 4:

Figure 1- Laterality indices for easy and difficult phonological processing	133
Figure 2- Laterality indices for easy and difficult semantic processing	134
Figure 3- Response times in RVF and LVF according to responding hand during phonological processing	136
Figure 4- Response times for easy and difficult phonological processing according to lateral visual fields	137
Figure 5- Response times in RVF and LVF according to responding hand during semantic processing	139
Figure 6- Response times for easy and difficult semantic processing according to lateral visual fields	140

DISCUSSION

Figure 1- Comparaison des performances phonologiques entre les sexes dans le champ 161
visuel droit et le champ visuel gauche chez les droitiers et les gauchers.

Figure 2 - Comparaison des performances sémantiques entre les sexes dans le champ 162
visuel droit et le champ visuel gauche chez les droitiers et les gauchers.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

Abréviations en langue française :

BP	Cibles de basse prototypicalité
CVD :	Champ visuel droit
CVG :	Champ visuel gauche
HD	Hémisphère droit
HG	Hémisphère gauche
HP	Cibles de haute prototypicalité
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
NT	Cibles non-transparentes
T	Cibles transparentes

Abréviations en langue anglaise :

ER	Error rates
ERP	Event-related potentials
fMRI	Functional magnetic resonance imaging
LH	Left-hemisphere
LVF	Left visual field
RH	Right-hemisphere
RT	Response times
RVF	Right visual field

À Sébastien et Émil, tous deux porteurs d'espoir

REMERCIEMENTS

Je ne remercierai jamais assez tous ceux qui m'ont encouragé, soutenu et accompagné durant ce long parcours. Ce travail n'aurait certainement pas vu le jour sans eux. Le premier à qui je dois tellement est, sans contredit, mon directeur de thèse Yves Joanette. Je tiens à le remercier pour sa grande disponibilité et la générosité exceptionnelle avec laquelle il partage ses connaissances et échange avec ses étudiants. Chacune des rencontres a été une source d'énergie et d'inspiration pour aller plus loin, non seulement sur le plan académique mais aussi personnel. Yves, j'espère sincèrement que la qualité avec laquelle tu encadres tes étudiants se transmette pour qu'à mon tour, si j'en ai l'occasion, je puisse donner autant.

Je remercie chaleureusement ma mère et Philip qui, depuis le début de cette fin, m'ont offert hebdomadairement le loisir de me concentrer entièrement à l'écriture. Votre appui a été décisif dans les derniers miles, et je vous en suis très, très reconnaissante!

Je tiens également à exprimer toute mon admiration à l'Homme de ma vie pour avoir supporté les humeurs d'une étudiante stressée et fréquemment stressante! Merci Sébastien de m'avoir épaulé tous les jours depuis plus d'un an.

À Isabelle pour la lecture critique de ce travail ainsi que pour ses commentaires ô combien constructifs! Je tiens à lui exprimer encore une fois combien elle a été déterminante lors de ce parcours académique. Isabelle, tu as été un véritable mentor scientifique ; en collaborant avec toi, j'ai appris la rigueur méthodologique, acquis une expertise statistique, et encore plus important, j'ai connu une précieuse amie.

Aux trois parrains d'Émil que j'adore. À Bruno pour avoir été toujours près de moi depuis le début de cette aventure, tant lors des périodes difficiles que des moments festifs! À Denis pour son implication auprès du petit, et sur qui, je pense, pouvoir toujours compter. Sans toi Denis, la vie serait beaucoup moins drôle! À Julien que le hasard a mis sur mon chemin, heureusement parce que sans cette rencontre...l'introduction du présent travail n'aurait pu profiter d'une révision linguistique aussi intelligente. Mais surtout, merci pour ton amitié; elle m'a apportée plus qu'une fois le réconfort pour continuer...

À Martine pour l'enthousiasme débordant mais incompréhensible avec lequel elle a révisé mes articles en anglais. Merci pour ta patience qui m'a permis de trouver ce que moi-même je cherchais à exprimer!

À Hélène, mon amie multi talentueuses et de surcroît engagée qui ne cesse de m'épater! Merci, pour ton support moral, ton positivisme contagieux et bien sûr, pour ces multiples soirées colorées passées en ta compagnie! À Laura, mon amie perspicace pour qui j'ai préparé une devinette: « je t'ai connu parce j'aime la recherche » ou « j'aime la recherche parce que je t'ai connue ? »¹ À toutes les deux, merci pour votre amitié indéfectible!

À Sara, la meilleure des cousines qui a toujours cru en moi, même quand moi je doutais. Merci d'avoir toujours, toujours été à mes côtés.

¹ Laura, une note en bas de page juste pour toi! C'est original non? Saches que mon plus beau souvenir de ces années doctorales est le séjour en Espagne passé en compagnie d'une amie qui parle beaucoup! Saches aussi que mes écarts de conduites (jubiler de plaisir à t'amener dans les restaurants les plus glauques ou encore t'offrir comme cadeau d'anniversaire l'inscription gratuite pour assister à une conférence de l'UdM) témoignent en fait d'une grande affection. Merci pour ta complicité; elle a égayé si souvent mes journées!

Je ne pourrai passer sous silence, Perrine, qui a concocté cette superbe mise en page! Merci pour tes encouragements, ils ont su calmer mes rages de psoriasis!

À ceux et celles qui m'ont accompagnée durant toutes ces années, particulièrement durant l'attente du petit : Valérie, Paolo, Caroline et Marie-Hélène.

Finalement, je suis reconnaissante au Fonds de la recherche en Santé du Québec ainsi qu'à l'Université de Montréal de m'avoir octroyé des bourses durant mes études doctorales qui m'ont permis de focaliser mes efforts sur la recherche présentée dans cette thèse.

CHAPITRE 1

INTRODUCTION GÉNÉRALE

1. LE CONCEPT D'ASYMÉTRIE FONCTIONNELLE	4
1.1. La phrénologie comme précurseur	4
1.2. La dominance cérébrale comme résultat de l'étude des lésions cérébrales	5
<i>1.2.1. L'asymétrie fonctionnelle selon Broca</i>	<i>5</i>
<i>1.2.2. L'asymétrie fonctionnelle selon Wernicke</i>	<i>7</i>
1.3. Capacités langagières des hémisphères chez une population clinique	9
<i>1.3.1. Les études auprès des commissurotomisés</i>	<i>9</i>
<i>1.3.2. Le déclin de la notion de dominance cérébrale</i>	<i>12</i>
1.4. Capacités langagières des hémisphères chez une population saine neurologiquement	13
<i>1.4.1. Trois modèles du fonctionnement hémisphérique</i>	<i>15</i>
<i>1.4.1.1. Les deux modèles d'Éran Zaidel</i>	<i>15</i>
<i>1.4.1.2. Le modèle de Banich</i>	<i>22</i>
2. LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE : UNE VISION INTÉGRANT LES NOTIONS DE VARIABILITÉ	22
2.1. Variabilités intra et interindividuelle	22
2.2 Facteurs appartenant à la personne ou interindividuels	23
<i>2.2.1 La préférence manuelle</i>	<i>23</i>
<i>2.2.2 Le sexe</i>	<i>24</i>
2.3 Facteurs appartenant à la tâche ou intra-individuels	25
<i>2.3.1 La composante du langage</i>	<i>26</i>
<i>2.3.2 La complexité du traitement</i>	<i>27</i>
3. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS	28
3.1. Objectif général	28
3.2. Objectifs spécifiques	30
4. BIBLIOGRAPHIE	32

1. LE CONCEPT D'ASYMÉTRIE FONCTIONNELLE

L'objectif de ce chapitre est de retracer l'évolution du concept de l'asymétrie fonctionnelle du langage afin de comprendre le contexte dans lequel s'inscrit le présent travail. La première partie de cette section survolera ainsi les fondements historiques ayant mené à l'affirmation d'une dominance de l'hémisphère gauche (HG) pour traiter le langage puis à la réévaluation de cette assertion. Dans cette lignée, la seconde partie se focalisera sur les facteurs inter et intra-individuels capables de moduler la supériorité de l'HG durant la performance d'une tâche langagière. Cette section se terminera par la présentation de l'objectif général et des objectifs spécifiques de la thèse.

1.1. La phrénologie comme précurseur

Les prémices à l'acceptation de la notion d'asymétrie fonctionnelle cérébrale ou de spécialisation hémisphérique débutent dès le XIX^e siècle, lorsque le physicien allemand Franz Joseph Gall élabore la première théorie présumant une localisation cérébrale des fonctions mentales. La théorie de Gall, la phrénologie, identifie 27 régions du cerveau (modules ou organes) qui prennent chacune en charge une qualité psychologique particulière². Le développement de ces qualités peut en outre être évalué par la palpation des crânes. La théorie phrénologique justifie cette méthode en supposant 1) qu'une région cérébrale spécifique se creuse ou se boursouffle d'après la croissance de la qualité sous sa responsabilité et 2) que le crâne moule fidèlement l'anatomie cérébrale. Un étudiant excellent en mathématique devrait ainsi présenter une

² Avec l'aide de son disciple Johann Spurzheim, la phrénologie évolue et les qualités psychologiques localisées augmentent jusqu'à 37.

protubérance externe à l'endroit cérébral désigné comme le siège du raisonnement mathématique. Bien que la phrénologie ait été largement discréditée dès 1860, l'engouement pour son principe localisationniste, associant des régions cérébrales précises à des fonctions particulières, perdure. Et, c'est en grande partie la fascination pour cette idée qui motivera les études lésionnelles (pour une lecture détaillée sur la phrénologie et ses contributions aux neurosciences, voir Simpson, 2005).

1.2. La dominance cérébrale comme résultat de l'étude des lésions cérébrales

1.2.1. L'asymétrie fonctionnelle selon Broca

En 1861, le neurologue français Paul Broca travaille à l'hôpital Bicêtre et reçoit M. Leborgne souffrant d'une cellulite et d'une gangrène. Pour le neurologue, l'intérêt que ce cas propose ne provient pas des maladies physiques du patient. Il origine plutôt de son incapacité à parler, malgré un bon fonctionnement de ses organes périphériques nécessaires à une articulation vocale adéquate. Qui plus est, ce trouble semble spécifique. M. Leborgne ne peut que prononcer la syllabe « Tan » mais comprend tous les mots entendus. À la suite du décès du patient, Broca fait l'autopsie de son cerveau et découvre une lésion délimitée à la 3^{ème} circonvolution de la partie frontale *gauche* (pour une lecture sur le cas de M. Leborgne, voir Finger, 2004).

L'observation post-mortem de Broca confirme la conclusion énoncée plus tôt par le médecin Jean- Baptiste Bouillaud, voulant que la faculté du langage se localise dans les « lobules antérieurs » du cerveau. Plus essentiel, néanmoins, est qu'elle apporte de nouvelles connaissances. Pour la première fois, la faculté générale du langage est

distinguée de la faculté à articuler les mots : la première permettrait d'établir une relation entre une idée et un symbole, alors que la seconde concernerait spécifiquement les aspects moteurs du langage. Plus spécifiquement, une perturbation du langage articulé serait due à un trouble de la *coordination* des mouvements nécessaires à la production des mots (Hécaen & Dubois, 1969). Broca avance également l'idée qu'un trouble du langage chez les droitiers résulte *seulement* d'une lésion de l'HG, et ne peut aucunement survenir suite à une lésion de l'HD (Hécaen & Dubois, 1969). Ce dernier point est particulièrement important puisqu'il véhicule l'idée que seul l'HG contribue au langage. Cette hypothèse incite Broca à écrire ses réflexions sur la notion de dominance cérébrale en 1865 (Hécaen & Dubois, 1969).

La notion de dominance cérébrale inaugurée par Broca est très audacieuse pour l'époque car elle s'oppose radicalement à « la loi » de la symétrie, c'est-à-dire à la croyance généralisée que Dieu aurait créé l'homme en tout point symétrique. Sur le plan cérébral, cette « loi » stipule que toutes les facultés mentales sont dédoublées pour être représentées dans l'HG et l'HD; conséquemment, il était présumé qu'une faculté se préserverait malgré l'endommagement d'un hémisphère (voir Buckingham, 2006a). Il est à souligner que Broca n'a pas été le premier à reconnaître un lien entre l'HG et un trouble du langage articulé puisque Marc Dax avait écrit un mémoire sur ce sujet dès 1836. Historiquement, le crédit revient néanmoins à Broca compte tenu des multiples observations cliniques qu'il a apportées et de nombreuses communications scientifiques qu'il a diffusées (voir Buckingham, 2006b).

1.2.2. *L'asymétrie fonctionnelle selon Wernicke*

Quelque temps après la découverte de Broca, le médecin allemand Karl Wernicke fait la description des troubles langagiers de deux patients. Cette fois, les déficits observés touchent spécifiquement la compréhension du langage parlé. Malgré un discours fluide et sans accroc articulatoire, ces patients, qui présentent une audition normale, ne comprennent pas les mots qu'ils entendent. En examinant le cerveau d'un de ces patients, Wernicke décèle une lésion à la partie postérieure et supérieure gauche (gyrus temporal supérieur). Étant donné le type de trouble langagier observé, Wernicke assume que la zone cérébrale affectée constitue le siège des images auditives des mots. En plus de ces observations anatomo-cliniques, Wernicke élabore une théorie intégrative autour de la notion des centres moteur et sensoriel du langage. Cette théorie, postulant un lien anatomique et fonctionnel entre les centres du langage, décrit les bases neurobiologiques sous-tendant depuis la formation jusqu'à l'expression des représentations conceptuelles. Il est ainsi expliqué qu'un mot entendu est d'abord associé à une signification dans le gyrus temporal supérieur gauche, laquelle est acheminée, via des fibres de connexion transcorticales (le faisceau arqué), vers la partie antérieure gauche du cerveau où s'effectue la préparation nécessaire à l'articulation du mot. Ainsi, selon le centre du langage atteint, la théorie prédit que la compréhension ou l'expression sera altérée (voir Price, 2000; Kaitaro, 2001)³.

Bien que la théorie de Wernicke ne reflète aucunement la pensée phrénologique, elle renforce la proposition d'un rôle dominant et exclusif de l'HG pour toutes les

³Le modèle de Wernicke est davantage élaboré, et prédit une difficulté spécifique à répéter les mots si les fibres intra-hémisphériques reliant les deux centres du langage sont endommagées (Price, 2000).

habiletés de communication. La notion d'asymétrie fonctionnelle pour le langage restera ainsi inextricablement liée à l'idée d'une dominance cérébrale, et constituera le principal dogme jusqu'à la moitié du XX^{ème} siècle. À cette époque, les données cliniques mettent en évidence certaines habiletés langagières de la part de l'HD.

Une première source d'information provient des individus droitiers porteurs d'une lésion acquise à l'hémisphère droit (cérébrolésés droit; voir Eisenson, 1962). L'affinement des outils d'évaluation permettent en effet de détecter des troubles affectant la sémantique des mots, l'organisation du discours, la prosodie⁴ et l'interprétation du langage non littéral (p.ex. : métaphores, idiomes, sarcasmes; pour une revue voir Hannequin, Goulet & Joannette, 1987; Myers, 1999). Bien que ces données lésionnelles permettent de conclure à une contribution de l'HD au langage, la preuve repose sur des inférences faites à partir de l'observation des déficits. L'observation de ces patients cérébrolésés n'offre donc aucun renseignement sur la capacité *réelle* de l'HD au langage, c'est-à-dire lorsque l'HD est sain, indemne de toute lésion.

En fait, l'appréciation de la capacité *réelle* de l'HG et l'HD au langage est rendu possible grâce à une méthode clinique autre que lésionnelle. En fait celle-ci repose sur l'évaluation des performances de chaque hémisphère intact mais isolés anatomiquement et fonctionnellement (Faure, 2001). Cette nouvelle approche permettra ainsi de savoir si la forte latéralisation de l'HG pour le langage, tel qu'inférée par l'évaluation des déficits qu'entraînent une lésion cérébrale, signifie une inhabileté complète de l'HD à traiter le langage en général, et en particulier, la forme et le sens des mots.

⁴ La prosodie renvoie à la mélodie et au rythme des mots, des phrases et du discours (Myers, 1999)

1.3. Capacités langagières des hémisphères chez une population clinique

La majorité des études pionnières tentant d'estimer les habiletés propres à chacun des hémisphères provient des expériences effectuées auprès d'individus ayant subi une commissurotomie complète, c'est-à-dire une scission chirurgicale d'une grande voie fibreuse connectant les deux hémisphères (le plus souvent du corps calleux, mais parfois de la commissure antérieure ou postérieure)⁵. Chez les individus commissurotomisés, les deux hémisphères ne fonctionnent donc plus comme un tout coordonné, mais travaillent de façon indépendante.

1.3.1 *Les études auprès des commissurotomisés*

Au début des années 1960, Roger Sperry et ses collègues du California Institut of Technology perçoivent dans le fonctionnement cérébral des individus commissurotomisés l'opportunité d'évaluer les habiletés langagières de l'HG et de l'HD respectivement⁶ (Sperry & Gazzaniga, 1967; Sperry, Gazzaniga & Bogen, 1969). Pour ce faire, ils créent un paradigme ingénieux et simple mettant à profit l'organisation croisée des systèmes visuel et moteur. Il s'agit en fait de présenter brièvement des stimuli linguistiques dans les champs visuels périphériques⁷. Selon la procédure classique, seul un ordinateur ou un tachistoscope positionné devant les yeux du patient et

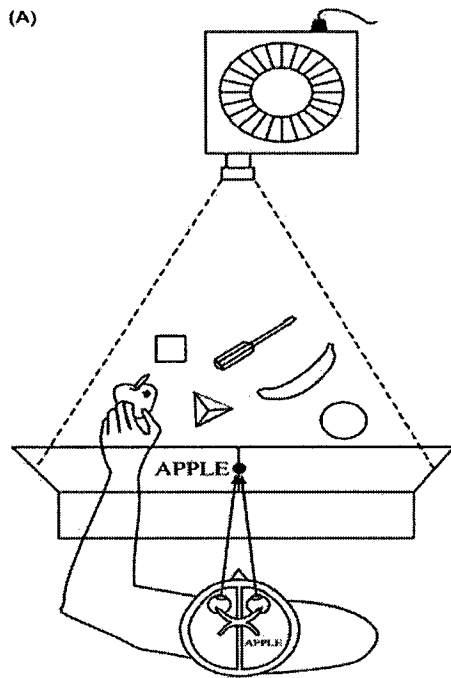
⁵ Les commissurotomies ont été réalisées afin d'éviter la propagation d'un foyer épileptique incontrôlable.

⁶ Il s'agit des habiletés des deux hémisphères chez les droitiers.

⁷ Gazzaniga (2000) fait une revue des différentes modalités de stimuli utilisées via ce paradigme afin d'évaluer des habiletés perceptuelles, motrices ou d'autres habiletés cognitives.

quelques objets communs accessibles, mais cachés de la vue du patient, sont nécessaires. Suite à une présentation latéralisée d'un mot, il est demandé au patient de le dénommer verbalement et de choisir le stimulus tactile correspondant. Généralement, cette expérience donne les performances suivantes.

Lorsque le mot se présente au champ visuel droit et donc arrive pour traitement à l'HG, il est verbalement rapporté. À l'inverse, lorsque le mot est projeté à l'hémichamp visuel gauche et donc traité par l'HD, le participant ne rapporte aucune réponse orale, et relate même n'avoir rien vu. Jusqu'ici, les résultats démontrent une lacune totale de l'HD à s'exprimer, et semble conforter le rôle dominant de l'HG à traiter le matériel verbal. Toutefois, si lors de cette même condition expérimentale (mot dans le champ visuel gauche), un choix de stimuli tactiles est disponible, le patient sera en mesure de sélectionner l'objet équivalent au mot « non vu » avec sa main gauche. À l'inverse, le patient ne peut retrouver l'objet adéquat de sa main droite puisque l'HG n'a pas eu accès au mot (voir Figure 1) Ce résultat reflète donc réellement la compétence de l'HD à comprendre la signification du mot.



Gazzaniga, M. S. Brain 2000 123:1293-1326; doi:10.1093/brain/123.7.1293

Figure1- Procédure de la présentation latéralisée introduite pour l'étude des commissurotomisés

Les résultats des premières études faites dans le laboratoire de Sperry laissent à penser que le potentiel langagier de l'HD avait été jusqu'alors sous-estimé, et encouragent du fait même la réalisation de plusieurs études s'intéressant aux individus commissurotomisés (voir Gazzaniga, 1983). L'accumulation des observations donne rapidement lieu à un corpus suffisamment développé pour dégager très tôt des conclusions fiables (voir pour une revue des travaux pionniers Baynes & Eliassen, 1998; Gazzaniga, 2000; Hannequin, Goulet & Joannette, 1987). En fait, ces conclusions concernent majoritairement le traitement des mots comparativement aux phrases parce qu'il est beaucoup plus facile de présenter de manière latéralisée un matériel linguistique court (Baynes & Eliassen, 1998).

1.3.2 *Le déclin de la notion de dominance cérébrale*

Dans l'ensemble, les études au sein des individus commisurotomisés concluent que l'HD possède une capacité lexico-sémantique mais qu'il présente un système phonologique faible, voire inexistant. En effet, elles tendent à démontrer que l'HD comprend fréquemment les mots présentés oralement et visuellement, et qu'il est en mesure d'établir divers liens sémantiques (Zaidel, 1978). L'habileté de l'HD à comprendre ce qui est écrit, c'est-à-dire à lire, surprend étant donné ses ressources phonologiques négligeables. L'HD semble de surcroît complètement inefficace à effectuer une conversion graphème-phonème, l'opération cruciale du traitement phonologique d'un mot. La compétence en lecture de l'HD a donc été expliquée par la mise en place d'une stratégie de lecture holistique ou idéographique permettant d'éviter la conversion graphème-phonème pour accéder directement au sens du mot et donc reconnaître sa forme (Peters & Zaidel, 1981; Rayman & Zaidel, 1991; Zaidel, 1976).

Bien que plusieurs auteurs soulignent la grande variabilité des compétences linguistiques de l'HD isolé anatomiquement et fonctionnellement (Baynes & Eliassen, 1998; Hannequin, Goulet & Joannette, 1987; Sidtis & Gazzaniga, 1983), il existe un consensus quant à son habileté à comprendre le sens des mots. C'est pourquoi le concept de spécialisation hémisphérique pour le langage, tel que pensé précédemment en termes de dominance hémisphérique, est à réviser. Hannequin, Goulet et Joannette résument la situation :

« En terme de compétence sémantique, la dominance inter-hémisphérique telle qu'elle se manifeste dans les cas de commisurotomie complète tend à devenir un concept dérisoire puisque les processus sémantiques ne semblent pas être l'exclusivité ni de l'un, ni de l'autre hémisphère cérébral » (Hannequin, Goulet & Joanette, 1987, p.27).

La vision du fonctionnement cérébral tend néanmoins à rester dichotomique. Plutôt que d'opposer l'HG et l'HD en termes de dominant et de mineur, les deux hémisphères sont différenciés selon leurs (types de) compétences spécifiques ou leur style de traitement cognitif (analytique versus holistique, local versus global ou sériel versus parallèle (Sergent, 1994).

Quoi qu'il en soit, les données collectées auprès des individus commisurotomisés remettent en question le concept de spécialisation hémisphérique pour le langage, et suscitent un fort enthousiasme pour comprendre le rôle de l'HD lors d'un traitement langagier « normal », c'est-à-dire effectué par un cerveau neurologiquement sain.

1.4 Capacités langagières des hémisphères chez une population saine neurologiquement

Les conclusions des études menées auprès des commisurotomisés ont été fréquemment extrapolées aux individus neurologiquement sains. Pourtant, cette population clinique présente des traits si singuliers (p.ex. : une épilepsie sévère depuis l'enfance ayant occasionnée une réorganisation des réseaux langagiers) que toute généralisation à la population normale s'avère imprudent (voir p.ex. : Hannequin, Goulet & Joanette, 1987; Sergent, 1994).

Afin de documenter les capacités langagières des hémisphères sains, la psychologie expérimentale a rapidement adapté la procédure de présentation latéralisée (Mishkin & Forgays, 1952; voir Faure, 2001). La logique sous-jacente à l'utilisation de cette méthodologie --les champs visuels divisés-- chez une population non-clinique tient au fait qu'un stimulus projeté à un champ visuel est *initialement* reçu par l'hémisphère controlatéral (pour une revue de cette technique voir Bourne, 2006). Par la suite, il y a comparaison de l'exactitude et du temps de réponse des hémichamps droit et gauche. Cependant, l'interprétation des données n'est pas aussi évidente que dans les cas des individus commissurotomisés puisque, dans un cerveau sain, les hémisphères ont la possibilité de communiquer entre eux. L'explication des asymétries perceptuelles dépendra en fait du modèle de fonctionnement cérébral choisi (pour une comparaison computationnelle des modèles présentés voir Weems & Reggia, 2004)⁸. Sommairement, la coordination du traitement de l'information entre les hémisphères se déroule selon trois modèles.

⁸ Il est assumé que les performances latérales reflètent essentiellement une asymétrie fonctionnelle du traitement langagier, plutôt qu'une différence latérale attentionnelle. Nous omettons ainsi volontairement la présentation des modèles d'activation ou d'attention cérébrale issus du modèle de Kinsbourne (1975). Il en sera tout de même question dans la discussion du deuxième article de la thèse.

1.4.1 Trois modèles du fonctionnement hémisphérique

1.4.1.1 Les deux modèles d'Éran Zaidel

Revisitant deux modes du fonctionnement hémisphérique proposés par Moscovitch, soit celui « de la stricte localisation » et de « l'efficacité relative » (Moscovitch, 1986), Zaidel et son équipe explicitent leurs modèles du relais calleux et de l'accès direct.

Le modèle du relais calleux postule qu'un traitement cognitif sera effectué par l'hémisphère spécialisé puisqu'il est le seul des hémisphères compétent. Dans une situation de champ visuel divisé où l'information linguistique est initialement projetée à l'HD, il y aura donc obligatoirement un transfert de cette information vers l'HG via le corps calleux. (Zaidel, 1983, 1986). Un transfert de l'information linguistique occasionnerait une dégradation de la qualité de l'information à traiter et un accroissement du temps de traitement. La différence de performances entre les deux hémisphères serait une indication de l'efficacité des fibres calleuses reliant les deux hémisphères (Zaidel, Clarke & Suyenobu, 1990).

Le modèle de l'accès direct, inspiré des études menées auprès des commisurotomisés, soutient quant à lui l'indépendance fonctionnelle entre les hémisphères; chaque hémisphère constitue un système complet, disposant de ses propres sensations, perceptions et habiletés langagières (Zaidel, Clarke & Suyenobu, 1990). À partir de cette prémisse, il est formulé que l'HG et l'HD sont tous deux compétents à

traiter directement l'information qu'ils reçoivent. Néanmoins, cette compétence peut ne pas être équivalente entre les deux hémisphères et varier en termes de degrés.

Dans cette optique, le transfert inter-hémisphérique de l'information à traiter n'est donc pas envisagé *a priori* pour résoudre la tâche --bien que la décision finale puisse être partagée. Selon ce modèle, les performances aux deux hémichamps reflètent l'efficacité de chacun des hémisphères. Une asymétrie perceptuelle signifie par conséquent un niveau d'habiletés inégal des hémisphères (Zaidel, 1983, 1986).

Prémisses théoriques et prédictions comportementales des modèles de Zaidel

Afin de tester les modèles du relais calleux et de l'accès direct, Zaidel a mis au point un paradigme en champ visuel divisé où la main de réponse est systématiquement manipulée; la réponse motrice est effectuée tantôt par la main droite, tantôt par la main gauche. Chacun des hémisphères contrôlant la main controlatérale, un transfert inter-hémisphérique d'information motrice sera ainsi toujours nécessaire lorsque le stimulus aboutira à l'hémisphère ipsilatéral à la main de réponse.

En variant le champ visuel de présentation et la main de réponse, quatre conditions expérimentales sont obtenues (voir Figure 2 et Figure 3), et c'est en comparant les performances qui y sont associées que l'un ou l'autre des fonctionnements hémisphériques (accès direct ou relais calleux) sera confirmé. Les prédictions comportementales de ces deux modèles sont par ailleurs tributaires des postulats formulés quant au nombre de transferts inter-hémisphériques nécessaires ainsi qu'au type

d'information voyageant d'un hémisphère à l'autre. Voici la description de ces postulats durant l'accomplissement d'une tâche langagière.

Selon le modèle de l'accès direct, chaque hémisphère traite le stimulus qu'il reçoit et par conséquent, aucune condition n'exige un transfert inter-hémisphérique d'information linguistique. Seul un transfert inter-hémisphérique de l'information motrice s'avère obligatoire lorsqu'1) un stimulus projeté à l'hémichamp droit (l'HG) est répondu par la main gauche ou 2) un stimulus projeté à l'hémichamp gauche (l'HD) est répondu par la main droite (Figure 2b et Figure 2c).

Si ce modèle s'avère correct, les meilleures performances sont attendues généralement pour les conditions ne requérant aucun transfert inter-hémisphérique de l'information motrice (Figure 2a et Figure 2d) et plus particulièrement lorsque l'hémisphère stimulé est l'HG (Figure 2a)⁹.

Si le modèle du relais calleux reflète le fonctionnement hémisphérique survenant au cours de la tâche langagière, deux types d'information pourraient faire l'objet d'un transfert inter-hémisphérique, soit linguistique et motrice. En effet, puisque l'HG est présumé être le seul compétent pour traiter un matériel verbal, un transfert inter-hémisphérique de l'information linguistique est postulé toutes les fois que le stimulus se présente à l'hémichamp gauche (HD). Ce modèle donne ainsi lieu à quatre situations distinctes. Premièrement, comme c'est le cas sous le modèle de l'accès direct, la condition « hémichamp droit (HG) et main droite » ne requiert aucun transfert inter-hémisphérique d'information (Figure 3a). Deuxièmement, lorsque le stimulus se

⁹ Sur le plan des statistiques, le modèle de l'accès direct prédit une interaction significative des variables champ visuel et main de réponse (Zaidel, 1983, 1986; Zaidel et al., 1990).

présente à l'hémichamp droit (HG) et est répondu par la main droite, un transfert inter-hémisphérique de l'information motrice est requis (Figure 3b). Troisièmement, un transfert inter-hémisphérique de l'information linguistique est exigé lorsque le stimulus arrive au champ visuel gauche (HD) et est répondu par la main droite (Figure 3c). Quatrièmement, la condition « hémichamp gauche et main gauche » demande, quant à elle, le transfert de l'information linguistique et motrice (Figure 3d).

Le modèle du relais calleux sera confirmé si des performances supérieures sont obtenues d'une part, lorsque le stimulus se présente à l'hémichamp droit (HG) et d'autre part, lorsque la main de réponse est la droite¹⁰. La Figure 4 et la Figure 5 illustrent, pour les mêmes données, les patrons de résultats des temps de réponse prédits par le modèle du relais calleux et de l'accès direct. La Figure 4 met l'accent sur la différence des mains de réponse pour les mots présentés dans le champ visuel droit et le champ visuel gauche respectivement. La Figure 5 présente quant à elle la différence des champs visuels latéraux lorsque la main de réponse est la droite et la gauche respectivement.

¹⁰ Statistiquement, cette situation se reflètera par deux effets principaux, soit, du champ visuel divisé et de la main de réponse (Zaidel, 1983, 1986; Zaidel et al., 1990).

Légende			
Présentation du stimulus :	CVD= Champ visuel droit	Information transférée :	_____ = Linguistique
	CVG= Champ visuel gauche		 = Motrice
Hémisphère initialement stimulé :	HD= Hémisphère droit	Réponse motrice :	MD= Main droite
	HG= Hémisphère gauche		MG= Main gauche

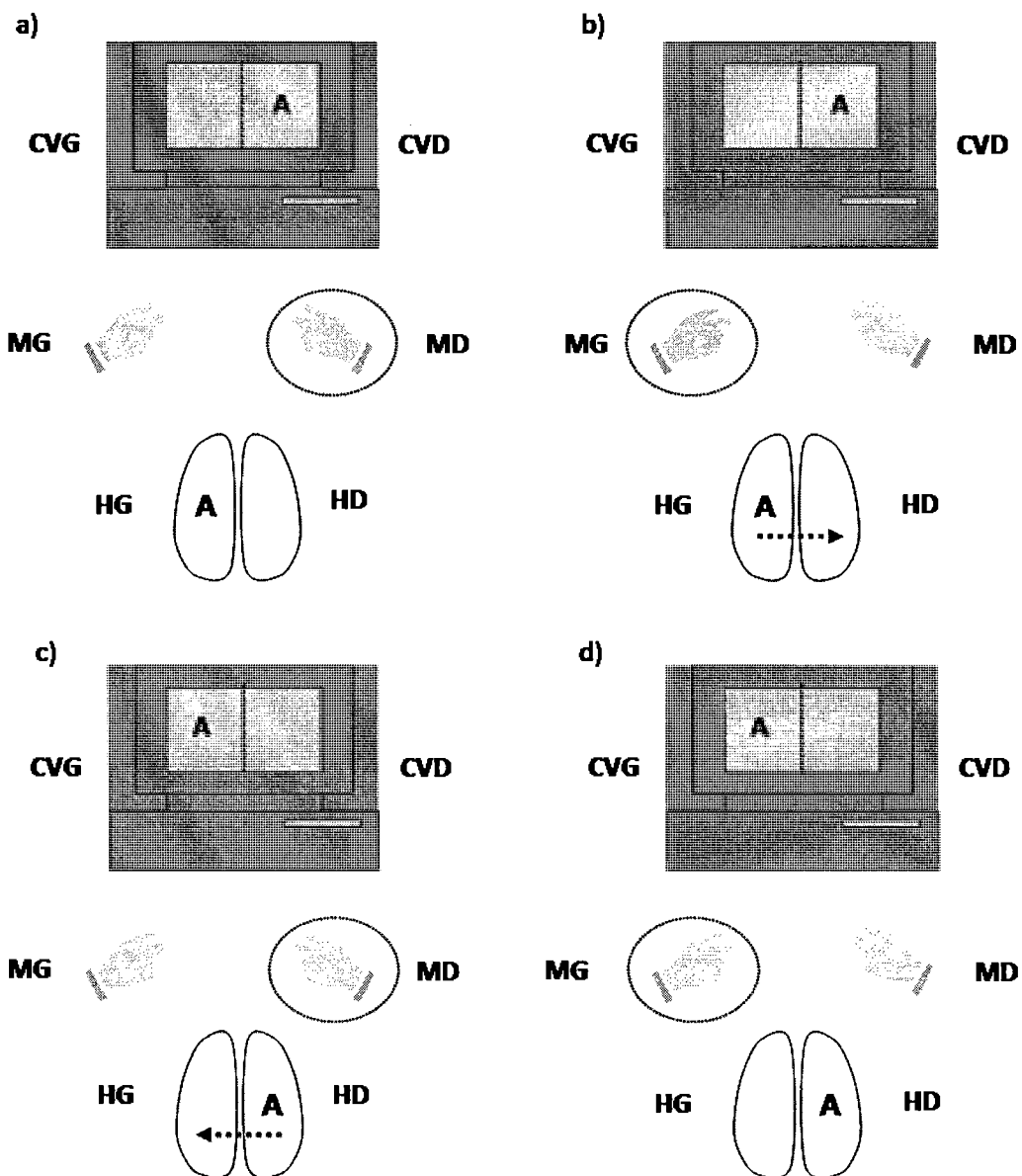


Figure 2- Modèle de l'accès direct

Légende			
Présentation du stimulus :	CVD= Champ visuel droit	Information transférée :	_____ = Linguistique
	CVG= Champ visuel gauche		 = Motrice
Hémisphère initialement stimulé :	HD= Hémisphère droit	Réponse motrice :	MD= Main droite
	HG= Hémisphère gauche		MG= Main gauche

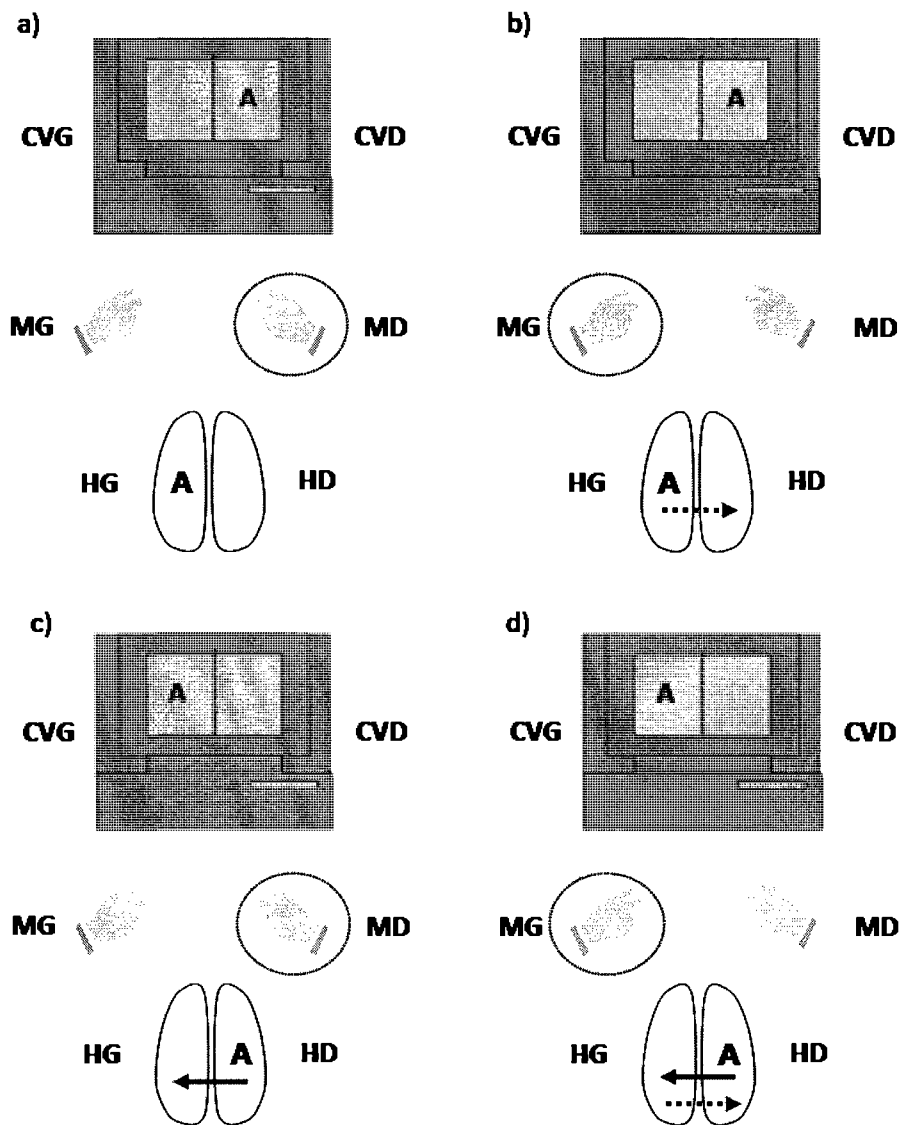


Figure 3- Modèle du relais calleux

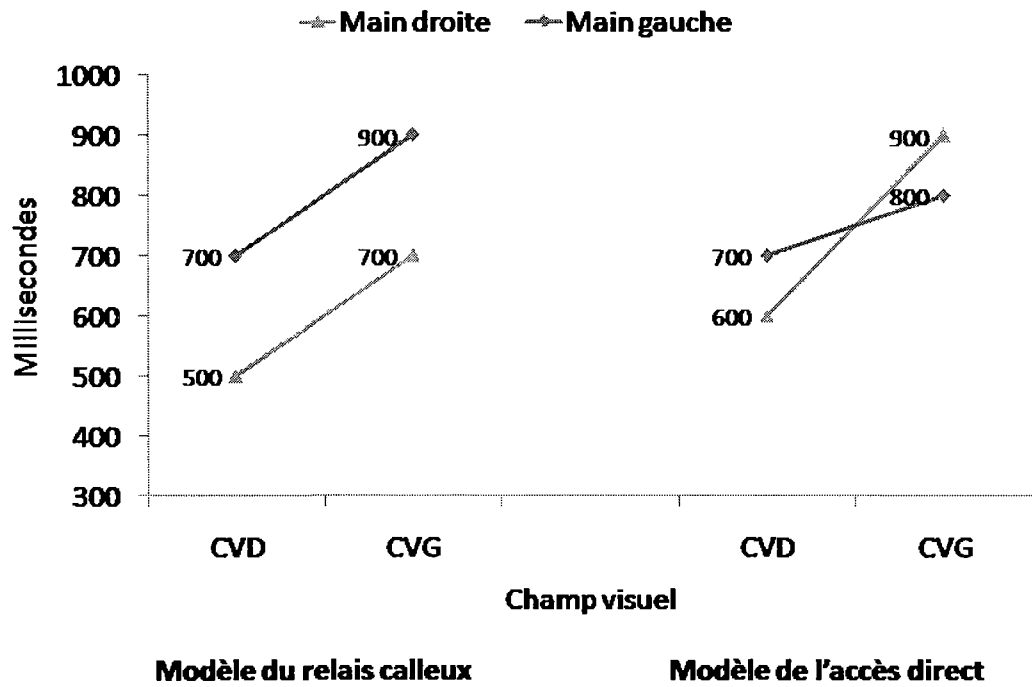


Figure 4- Différence des temps de réponse entre les deux mains dans le champ visuel droit et le champ visuel gauche.

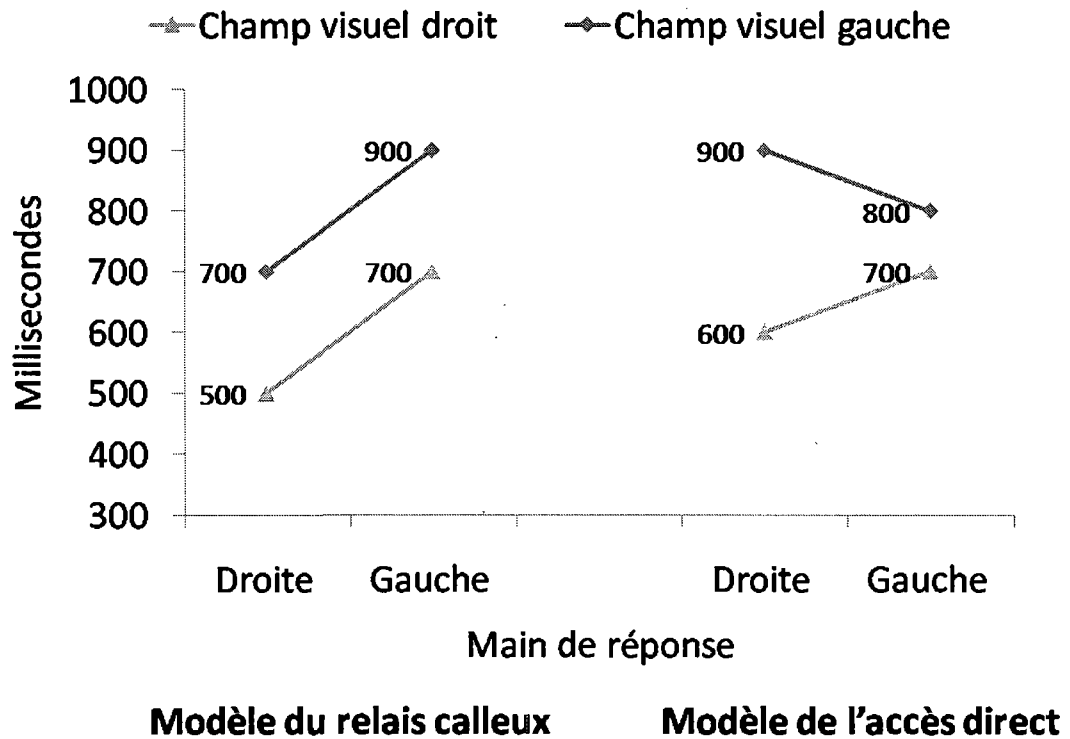


Figure 5- Différence des temps de réponse entre les champs visuels pour la main droite et la main gauche.

1.4.1.2 Le modèle de Banich

Une alternative au fonctionnement hémisphérique de l'accès direct ou calleux est proposée par un troisième modèle qui postule une coopération entre les deux hémisphères. Plusieurs auteurs émettent l'hypothèse plus précise qu'une tâche qui ne peut être résolue de manière optimale par un hémisphère, nécessitera les ressources de son homologue. Dans ce cas, le traitement linguistique ne serait pas pris en charge par un seul hémisphère mais se diviserait entre les deux hémisphères (pour une revue voir Banich, 1998; Liederman, 1998). Le mode de fonctionnement requiert ainsi un transfert inter-hémisphérique, non pas voué au relais de l'information linguistique à l'hémisphère spécialisé mais destiné plutôt au partage de l'information entre l'HG et l'HD. Ce dernier modèle sera plus amplement expliqué au quatrième chapitre.

Il convient de penser que les trois modes de fonctionnement cérébral décrits précédemment ne s'appliquent pas de manière rigide et inflexible. Au contraire, il est assumé qu'un traitement de même nature peut solliciter parfois un mode de fonctionnement intra-hémisphérique indépendant ou inter-hémisphérique de type calleux ou coopératif.

2. LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE : UNE VISION INTÉGRANT LA NOTION DE VARIABILITÉ

2.1 Variabilités intra et interindividuelle

Le concept de spécialisation ou d'asymétrie fonctionnelle ne devrait pas être figée à l'intérieur d'un seul modèle de fonctionnement cérébral mais s'inscrire dans une

perspective *dynamique*¹¹. Cela est d'autant plus pertinent que l'organisation cérébrale du langage sous-tend une grande variabilité intra et interindividuelle. Les facteurs dits intra-individuels réfèrent dans cette thèse au fait que l'asymétrie fonctionnelle du langage peut varier chez le même individu selon la nature de la tâche effectuée. À ce titre, il faut considérer la composante du langage à laquelle fait appel la tâche ainsi qu'à la complexité de la tâche. L'asymétrie fonctionnelle du langage s'avère aussi influencée par des facteurs interindividuels, c'est-à-dire par des attributs qui ont trait à l'individu. Le sexe et la préférence manuelle en sont des exemples.

2.2 Les facteurs appartenant à la personne ou interindividuels

Des caractéristiques de l'individu telles l'expertise due à la pratique (Maertens & Pollman, 2005; Weissman & Compton, 2003), l'âge (Banich & Brown, 2000; pour une revue voir Cabeza, 2001) ou le bilinguisme (Perani et al., 1998) ont un impact sur l'organisation cérébrale du langage. Toutefois, les plus connus des facteurs sont sans contredit la préférence manuelle et le sexe (Jossé & Tzourio-Mazoyer, 2004).

2.2.1 La préférence manuelle

Il est d'ores et déjà connu que les droitiers présentent une asymétrie fonctionnelle pour le langage très prononcée à l'HG alors que les gauchers, formant environ 10 % de

¹¹ Afin de bien illustrer notre point de vue, l'expression « dynamique hémisphérique », adaptée de Faure et ses collègues, sera tout au long de cette thèse préférentiellement utilisée pour se référer au concept d'asymétrie fonctionnelle (Faure, 2001; Faure & Querné, 2004; Querné, Eustache, & Faure, 2000).

la population, démontrent en moyenne une latéralisation du langage plus distribuée entre les deux hémisphères (Jossé & Tzourio-Mazoyer, 2004). Cette conclusion, la première fois émise grâce à des études lésionnelles et des tests de Wada¹² (voir Joannette, 1989), a été validée chez une population non-clinique par diverses méthodes d'imagerie cérébrale (pour une revue voir Hatta, 2007). Sur le plan comportemental, les études en champ visuel divisé mettent fréquemment en évidence l'effet de la préférence manuelle en révélant différents patrons d'asymétries de performances entre les droitiers et les gauchers (voir Eviatar, Hellige & Zaidel, 1997). Dans la plupart des cas, c'est la magnitude et non la direction de l'asymétrie de performance qui diverge des droitiers. Ainsi, il est aujourd'hui accepté que les gauchers présentent un moindre avantage du champ visuel droit que les droitiers (voir Hellige, 1993; 1994).

2.2.2 Le sexe

L'impact du sexe sur l'asymétrie fonctionnelle du langage a également fait l'objet de plusieurs études. Les trois revues de littérature princeps recensant les données aphasiologiques convergent vers une même conclusion : chez les droitiers, les femmes présentent une latéralisation moins marquée pour l'HG que les hommes (Bryden, 1982; Harris, 1980; McGlone, 1980).

Toutefois, les études comportementales effectuées auprès d'individus neurologiquement sains rapportent fréquemment des résultats contradictoires, indiquant une différence inter-sexe ou une asymétrie de performance équivalentes entre les hommes et les femmes (voir Eviatar, Hellige & Zaidel, 1997). Hiscock et collègues

¹² Le test de Wada consiste à injecter un anesthésiant dans un hémisphère afin d'évaluer les capacités isolés de l'autre hémisphère. Il est utilisé avant une opération cérébrale.

ainsi que Voyer ont réalisé des méta-analyses sur les asymétries perceptuelles, et ils confirment l'existence d'une différence intersexe tel qu'évaluée par les champs visuels divisés (Hiscock, Israelian, Inch, Jacek, & Hiscock-Kalil, 1995; Voyer, 1996). Cette différence serait néanmoins ténue. ($d = 0.067$; Voyer, 1996).

La difficulté des études en champ visuel divisé à démontrer distinctement des différences quant à la préférence manuelle et au sexe, a amené certains auteurs à douter de la fiabilité de cette technique à refléter les différences interindividuelles sur le plan du fonctionnement cérébral (voir Hugdahl, 2000). Une vision alternative est néanmoins apportée par Cowell et ses collègues (Cowell, Denenberg, Boehm, Kertesz, & Nasrallah, 2003). Ces auteurs suggèrent que la disparité ou la faible substantialité des résultats peut justement provenir du fait que les techniques comportementales, telles les champs visuels divisés, sont hautement sensibles aux facteurs interindividuels mais également intraindividuels.

2.3 Les facteurs appartenant à la tâche ou intra-individuels

L'asymétrie fonctionnelle du langage ne varie pas seulement entre les individus mais peut également varier chez un même individu dépendamment de la tâche à effectuer. D'une part, la tâche langagière sollicite une composante langagière particulière et demande d'autre part un traitement cognitif plus ou moins élaboré ou complexe.

2.3.1 La composante du langage

L'asymétrie fonctionnelle du langage ne peut être considérée comme un concept homogène puisque le langage n'est pas en lui-même un construit unidimensionnel. La fonction cognitive du langage se subdivise effectivement en différentes composantes --la phonologie, la lexico-sémantique, la sémantique du mot, de la phrase et du discours ainsi que la pragmatique¹³ – qui présentent des architectures cérébrales distinctes (Gernsbacher & Kaschak, 2003). Chez les individus sains, par exemple, les études en imagerie cérébrale ont démontré que le traitement phonologique du mot active les réseaux neuronaux de l'HG exclusivement alors que le traitement sémantique du mot sollicite la circuiterie neuronale de l'HG et l'HD (Gernsbacher & Kaschak, 2003). Les composantes du langage étant associées à des organisations fonctionnelles cérébrales différentes, il serait donc plus approprié de référer à plusieurs asymétries fonctionnelles pour le langage.

Les asymétries de performances sont, de surcroît, modulées par une multitude de facteurs associés à la tâche (pour une revue voir Faure, 2001). Les études comportementales ont démontré l'importance de la fréquence lexicale, de la concrétude et de la valence d'imagerie des stimuli linguistiques (pour une revue voir Chiarello & Shears, 2001) Toutefois, il est essentiel de contrôler ou d'analyser une autre variable pour rendre compte de l'asymétrie hémisphérique : la complexité associée à la tâche.

¹³ La phonologie réfère à la manipulation des sons que nécessite la prononciation d'un mot qu'elle soit interne ou externe. La lexico-sémantique renvoie à l'habileté à accéder et à reconnaître un mot. La sémantique lexicale/du mot est quant à elle, la capacité à associer le mot à sa signification. La sémantique de la phrase ou du discours réfèrent à l'habileté à appréhender la signification de la phrase ou d'un discours, notamment grâce aux indices de la cohérence et de l'organisation. La pragmatique renvoie plutôt à la compréhension de l'intentionnalité d'un message linguistique, qu'il soit représenté par une phrase ou un discours (Hannequin, Goulet & Joannette, 1987).

2.3.2 La complexité du traitement

Afin de dégager nettement les différences interindividuelles associées à la préférence manuelle et au sexe, il s'avère primordial de contrôler ou d'étudier systématiquement les facteurs intra-individuels capables de faire varier la dynamique hémisphérique. En ce sens, il convient de considérer une variable qui a récemment fait l'objet de nombre d'études (Hatta, Kawakami, Kogure, & Itoh, 2002; Maertens & Pollman, 2005; Monaghan & Pollman, 2003; Monetta, Ouellet-Plamondon, & Joanne, 2006), et qui a démontré son pouvoir modulateur sur l'interaction entre les deux hémisphères : la complexité du traitement.

La majorité des travaux cités ci-haut prennent appui sur les évidences empiriques et théoriques apportées par Banich et ses collègues (Banich & Belger, 1990; Belger & Banich, 1992, 1998; Banich & Weissman, 2000). Ces auteurs démontrent qu'une tâche perceptuelle simple peut être résolue par un seul des hémisphères, alors qu'une tâche similaire mais complexe nécessite la collaboration des deux hémisphères. À partir de cette constatation, Banich a développé un modèle de coopération hémisphérique soutenant essentiellement que la complexité du traitement affecte le mode d'interaction des hémisphères (pour une explication exhaustive du modèle, voir Belger & Banich, 1998).

En ce qui a trait au domaine langagier, l'influence de la complexité du traitement sur la fonction cognitive du langage est peu documentée (Belger & Banich 1998; Gur et al., 1988, 2000; Monetta et al., 2006; Taylor, 2002). Parmi les études disponibles, la grande majorité concerne la composante sémantique du langage (Gur et al., 1988, 2000; Monetta et al., 2006; Taylor, 2002). En fait, une seule étude répertoriée s'est penchée

sur la composante phonologique (Belger & Banich 1998). Il est intéressant de constater que l'influence de la complexité du traitement est dissimilaire selon la dimension du langage impliquée. En effet, l'augmentation de la complexité du traitement entraîne la participation des deux hémisphères lorsque la tâche est sémantique¹⁴. Belger et Banich (1998) ne montrent toutefois aucune indication d'une collaboration hémisphérique lorsque l'augmentation de la complexité est associée à une tâche phonologique.

La divergence entre les résultats des études sémantiques et l'étude phonologique de Belger et Banich (1998) suscite une interrogation particulière quant à l'influence variable de la complexité du traitement sur la dynamique hémisphérique.

3. PROBLÉMATIQUE ET OBJECTIFS

3.1 Objectif général

L'évolution des recherches portant sur la latéralité hémisphérique suggère que l'asymétrie fonctionnelle pour le langage ne peut pas être étudiée d'une manière unidimensionnelle et se doit de considérer toute la variabilité intra-individuelle et interindividuelle que peut sous-tendre cette notion. Dans le but de mieux comprendre cette variabilité et de rendre compte de la dynamique hémisphérique, il est essentiel de considérer au même moment, trois variables clés. D'une part, il serait pertinent d'étudier la complexité du traitement puisque cette variable a démontré son influence en termes de coopération hémisphérique. D'autre part, il convient de prendre en compte les

¹⁴ Il est entendu ici, la majorité des études sémantiques. En fait, seuls les résultats de l'étude de Gur et al., (1988) ne vont pas dans le même sens. Toutefois, une étude ultérieure ne répliquent pas les premiers résultats (Gur et al., 2000).

variables biologiques de l'individu que sont la préférence manuelle et le sexe puisqu'elles sont capables de moduler significativement la forte asymétrie fonctionnelle vers l'HG tel qu'attendue. Or, du fait qu'il est communément accepté que la préférence manuelle soit le facteur biologique le plus robuste à expliquer les différences interindividuelles dans l'organisation fonctionnelle du langage, cette variable sera mise en avant plan. L'influence du sexe et de la complexité du traitement sera ainsi examinée chez les droitiers et les gauchers.

Si plusieurs travaux portant sur la latéralité ont examiné tantôt l'influence de la préférence manuelle, tantôt celle du sexe ou de la complexité sur le traitement du mot, aucun d'entre eux n'a cependant étudié simultanément ces trois facteurs. Qui plus est, aucune tentative n'a été réalisée précédemment pour étudier l'impact différentiel de ces facteurs sur le traitement phonologique et sémantique du mot. L'objectif général de cette thèse consiste donc à mieux comprendre, chez les droitiers et les gauchers, l'influence du sexe et de la complexité du traitement sur les asymétries fonctionnelles associées au traitement phonologique et sémantique des mots isolés.

La dynamique hémisphérique du langage sera dans un premier temps abordée via l'influence de facteurs biologiques de l'individu. Plus spécifiquement, il sera question de l'impact de la préférence manuelle (chapitre 2) et de l'influence du genre chez les droitiers et les gauchers (chapitre 3). Dans un deuxième temps, l'influence d'un facteur intra-individuel, appartenant à la tâche, sera exploré chez les droitiers et les gauchers (chapitre 4).

3.2 Objectifs spécifiques

Par le biais de l'article *Latéralisation des habiletés langagières et de la communication verbale chez les non-droitiers*, publié dans la revue *Rééducation orthophonique* (2004), le chapitre 2 veut faire le point sur les connaissances concernant l'organisation fonctionnelle cérébrale chez les gauchers pour le traitement langagier en général, et en particulier sur les composantes phonologique et sémantique. Une analyse élaborée et critique des données issues d'études lésionnelles et d'imagerie cérébrale est alors exposée. Ce premier article met notamment en évidence une latéralisation des habiletés phonologiques et sémantiques davantage bilatérale chez les gauchers que chez les droitiers.

L'influence de la préférence manuelle sur la dynamique hémisphérique de la phonologie et de la sémantique étant confortée, il nous est permis d'approfondir empiriquement la question de l'influence d'autres variables interindividuelles. Le chapitre 3, comprenant l'article *Phonological and semantic processing of words: Laterality changes according to gender in right- and left-handers*, veut ainsi explorer les différences inter-genre chez les droitiers et les gauchers¹⁵. Cet article est paru dans la revue *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition* (2007).

Le quatrième chapitre rapporte les études empiriques s'intéressant à la complexité phonologique et sémantique du traitement des mots. Dans un premier temps, nous éclaircirons la problématique chez les droitiers car l'impact de la complexité du traitement a été peu évalué lors de tâches langagières. Les données comportementales de

¹⁵ L'appendice A contient le questionnaire ayant permis d'évaluer le degré de droiterie et de gaucherie des participants (le test d'Édimbourg, Oldfield 1971)

l'article *Complexity and hemispheric abilities: Evidences for a semantic and phonological differential impact* démontrent que l'influence de la complexité du traitement varie selon la composante du langage étudiée chez les droitiers¹⁶. La revue *Brain and Language* a récemment publié cet article (2009). L'influence de la complexité mieux comprise chez les droitiers, il sera alors possible d'ajouter à l'étude la variable de la préférence manuelle. Ainsi, le dernier article apportera des données empiriques sur l'influence de la complexité du traitement phonologique et sémantique des mots en fonction de la préférence manuelle [*Phonological and semantic processing of words in right- and left-handers, soumis à Lateralidad: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*].

Les trois études empiriques utilisent une tâche d'appariement graphophonémique et une tâche de jugement d'appartenance catégorielle présentées via la technique comportementale des champs visuels divisés (Walter, Beauregard, & Joannette, 2002; Walter, Cliche, Joubert, Beauregard, & Joannette, 2001)¹⁷. Ces tâches ont été sélectionnées parce qu'elles permettent d'évaluer un niveau de traitement facile et difficile. Dans la tâche phonologique, la complexité de traitement varie selon la transparence graphophonémique des mots (transparents ou non-transparentes) alors que dans la tâche sémantique, elle est modulée selon la « prototypicalité animale » des mots (haute ou basse prototypicalité).

¹⁶ Il est à noter que l'appendice B contient un article de données complémentaires qui ont été obtenues par la technique des potentiels évoqués [Tremblay, T., Monetta, L. & Joannette, Y. (2007). Hemispheric dynamic during phonological processing: An ERP study. *Brain and Language*, 103, 47-49].

¹⁷ Les stimuli des tâches sont présentés dans l'appendice C et D.

4. BIBLIOGRAPHIE

- Banich, M. T. (1998). Integration of information between the cerebral hemispheres. *Current Directions in Psychological Science*, 7, 32–37.
- Banich, M. T., & Belger, A. (1990). Interhemispheric interaction: How do the hemispheres divide and conquer a task? *Cortex*, 26, 77–94.
- Banich, M. T., & Brown, W. S. (2000). A life-span perspective on interaction between the cerebral hemispheres. *Developmental Neuropsychology*, 18, 1–10.
- Banich, M. T., & Weissman, D. H. (2000). One of twenty questions for the twenty-first century: How do brain regions interact and integrate information? *Brain and Cognition*, 42, 29–32.
- Baynes K, Eliassen JC. The visual lexicon: its access and organization in commissurotomy patients. In: Beeman, M., Chiarello, C., (Eds). *Right hemisphere language comprehension: perspectives from cognitive neuroscience*. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum; 1998. p. 79–104.
- Belger, A., & Banich, M. T. (1992). Interhemispheric interaction affected by computational complexity. *Neuropsychologia*, 30, 923–929.
- Belger, A., & Banich, M. T. (1998). Costs and benefits of integrating information between the cerebral hemispheres: A computational perspective. *Neuropsychology*, 12, 380–398.
- Bourne, V. (2006). The divided visual field paradigm: methodological considerations. *Laterality*, 11, 373–393.
- Broca, P. (1861). Sur la faculté du langage articulé. *Bulletin de la société d'Antropologie*, 6, 337–393.
- Buckingham, H.W. (2006a). A pre-history of the problem of Broca's aphasia. *Aphasiology*, 20, 792–810.

- Buckingham, H.W. (2006b). The Marc Dax (1770-1837)/Paul Broca (1824-1880) controversy over priority in science: left hemisphere specificity for seat of articulate language and for lesions that cause aphemia. *Clinical Linguistic & Phonetics*, 20, 613-619.
- Cabeza, R. (2001). Functional neuroimaging of cognitive aging. In R. Cabeza & A. Kingstone (Eds.), *Handbook of functional neuroimaging of cognition* (pp. 331-377). Cambridge, MA: MIT Press.
- Cowell, P. E., Denenberg, V., Boehm, G., Kertesz, A., & Nasrallah, H. (2003). Using the corpus callosum as an effective anatomical probe in the study of schizophrenia. In E. Zaidel & M. Iacoboni (Eds.), *The parallel brain: The cognitive neuroscience of the corpus callosum* (pp. 433-444). Cambridge, MA: MIT Press.
- Day, J. (1977). Right hemisphere language processing in normal right-handers. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 518-528.
- Eisenson, J. (1962). Language and intellectual modifications associated with right cerebral damage. *Language and Speech*, 10, 539-564.
- Eviatar, Z., Hellige, J.B., Zaidel, E. (1997). Individual differences in lateralization: effects of gender and handedness. *Neuropsychology*, 4, 562-576.
- Faure, S. (2001). *Stimulation en champs visual divisé et spécialisation hémisphérique pour l'activité lexicosémantique*. In F. Eustache, B. Lechevalier & F. Viader (Eds). *Les méthodes de la neuropsychologie* (pp.109-136). Bruxelles : De Boeck.
- Faure, S., & Querné, L. (2004). Dynamique des relations entre les hémisphères cérébraux gauche et droit dans le langage normal: l'approche expérimentale en champ visuel divisé. *Hémisphère droit et communication verbale*, 219, 43-56.

- Finger, S. (2004). Pioneers in neurology: Paul Broca (1824-1880). *Journal of Neurology*, 25, 769-770.
- Gazzaniga, M. S. & Sperry, R. W. (1967). Language after section of the cerebral commissures. *Brain*, 90, 131-148.
- Gazzaniga, M. S. (1983). Right hemisphere language following brain bisection: A 20-year perspective. *American Psychologist*, 38, 525-537.
- Gazzaniga, M. S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: Does the corpus calosum enable the human condition? *Brain*, 123, 1293-1326.
- Gernsbacher, M. A., & Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension, *Annual Review of Psychology*, 54, 91-114.
- Hannequin, D., Goulet, P., & Joanette, Y. (1987). *La contribution de l'hémisphère droit à la communication verbale*. Paris : Masson.
- Hécaen, H., & Dubois, J. (1969). *La naissance de la neuropsychologie du langage 1825-1865*. Paris: Flammarion.
- Hellige, J. B., Bloch, M. I., Cowin, E. L., Eng, T. L., Eviatar, Z., & Sergent, V. (1994). Individual variation in hemispheric asymmetry: Multitask study of effects related to handedness and sex. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, 235-256.
- Hellige, J.B. (1993). *Hemispheric asymmetry: what's right and what's left*. Harvard University Press, Cambridge, MA.
- Hiscock, M., Israelian, M., Inch, R., Jacek, C., & Hiscock-Kalil, C. (1995). Is there a sex difference in human laterality? II. An exhaustive survey of visual laterality studies from six neuropsychology journals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 590-610.
- Hugdahl, K. (2000) Lateralization of cognitive processes in the brain. *Acta Psychologica*, 105, 211-235.

- Hugdahl, K. (2000). Individual differences in neurobehavioral measures of laterality and interhemispheric function as measured by dichotic listening. *Developmental Neuropsychology*, 18, 95-112.
- Hunter, Z. R., & Brysbaert, M. (2007). Visual half-field experiments are a good measure of cerebral language dominance if used properly: Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, 46, 316–325.
- Kaitaro, T. (2001). Biological and epistemological models of localization in the nineteenth century: from Gall to Charcot. *Journal of history of the neurosciences*, 10, 262-276.
- Liederman, J. (1998). The dynamics of interhemispheric collaboration and hemispheric control. *Brain and Cognition*, 36, 193-208.
- Maertens, M., & Pollmann, S. (2005). Interhemispheric resource sharing: Decreasing benefits with increasing processing efficiency. *Brain and Cognition*, 58, 183–192.
- McGlone, J. (1980). Sex differences in human brain asymmetry: a critical survey. *Behavioral Brain Sciences*, 3, 215–263.
- Mishkin, M. & Forgays, D. G. (1952). Word recognition as a function of retinal locus. *Journal of Experimental Psychology*, 43, 43–48.
- Myers, P.S. (1999). *Right hemisphere damage: Disorders of communication and cognition*. San Diego: Singular.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113.
- Perani, D., Paulesu, E., Galles, N.S., Dupoux, E., Dehaene, S., Bettinardi, V., et al. (1998). The bilingual brain. Proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain*, 121, 1841–52
- Price, C.J. (2000). The anatomy of language: contributions from functional neuroimaging. *Journal of Anatomy*, 197, 335–359

- Rayman, J., & Zaidel, E. (1991). Rhyming and the right-hemisphere. *Brain and Language*, 40, 89–105.
- Sergent, J. (1994). Spécialisation fonctionnelle et coopération des hémisphères cérébraux : In X. Seron & M. Jeannerod (Eds.). *Neuropsychologie humaine* (pp.106-125). Bruxelles : Mardaga.
- Sidtis, J.J. & Gazzaniga, M.S. (1983). Competence versus performance after callosal section: Look can be deceiving. In J.B. Hellige (Eds), *Cerebral hemisphere asymmetry. Method, theory and application* (pp. 152-176). New-York: Praeger Publishers.
- Simpson, D. (2005). Phrenology and the neurosciences: contributions of F.J. Gall and J.G. Spurzheim. *Australian and New Zealand Journal of Surgery*, 75, 475-482.
- Sperry, R.W. (1981). Some Effects of Disconnecting the Cerebral Hemispheres. *Nobel Lecture, 8 December 1981*. Téléchargé de l'Internet le 10 juillet 2008: http://nobelprize.org/nobel_prizes/medicine/laureates/1981/sperry-lecture.html.
- Sperry, R. W., Gazzaniga, M. S., & Bogen, J. E. (1969). Interhemispheric relationships: the neocortical commissures; syndromes of hemisphere disconnection. In: P. J. Vinken & G. W. Bruyn (Eds.), *Handbook of Clinical Neurology* (pp. 177-184). Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Sperry, R.W. & Gazzaniga, M. S. (1967). Language following surgical disconnection of the hemispheres. In R. L. Darley (Eds.), *Brain Mechanisms Underlying Speech and Language* (pp.108–121). New York: Grune & Stratton.
- Tzourio-Mazoyer, N., Josse, G., & Mazoyer, B. (2004). Interindividual variability in the hemispheric organization for speech. *NeuroImage*, 21, 422–435.

- Voyer, D. (1996). On the magnitude of laterality effects and sex differences in functional lateralities. *Laterality*, 1, 51–83.
- Weems, S.W. & Reggia, J.A. (2004). Hemispheric specialization and independence for word recognition: A comparison of tree computational model, *Brain and Language*, 89, 554-568.
- Weissman, D. H., & Compton, R. J. (2003). Practice makes a hemisphere perfect: The advantage of interhemispheric recruitment is eliminated with practice. *Laterality*, 8, 361–375.
- Zaidel, E. (1983). Disconnection syndrome as a model for laterality effects in the normal brain. In J. Hellige (Eds.), *Cerebral hemisphere asymmetry* (pp.95-151). New York: Praeger.
- Zaidel, E. (1986). Callosal dynamics and right hemisphere language. In F. Lepore, M. Ptito, & H.H. Jasper (Eds.). *Two hemispheres-one brain: Functions of the Corpus callosum* (pp. 435-459). New York: Alan R. Liss.
- Zaidel, E. (1976). Auditory vocabulary of the right hemisphere following brain bisection or hemidecortication. *Cortex*, 12, 191-211.
- Zaidel, E. (1978). Lexical structure in the right hemisphere. In: P. Buser and A. Rougeul-Buser (Eds.), *Cerebral Correlates of Conscious Experience* (pp. 177-197). Amsterdam: Elsevier North-Holland Biomedical Press.
- Zaidel, E., Clarke, J. M., & Suyenobu, B. (1990). Hemispheric independence: A paradigm case for cognitive neuroscience. In A. B. Scheibel & A. F. Wechsler (Eds.), *Neurobiology of higher cognitive function* (pp. 237-355). New York: Guilford.
- Zaidel, E., Peters, A.M. (1981). Phonological encoding and ideographic reading by the disconnected right hemisphere: two case studies. *Brain and Language*, 2, 205-234.

Avant d'examiner l'influence des facteurs intra-individuels et interindividuels sur la dynamique hémisphérique de la phonologie et de la sémantique des mots chez les gauchers, il est opportun de savoir si cette population présente véritablement une organisation du langage distincte de celle des droitiers.

CHAPITRE 2**L'INFLUENCE DE LA PRÉFÉRENCE MANUELLE
SUR LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE DU LANGAGE****Article 1 :**

Tremblay, T. & Joannette, Y. (2004). Latéralisation des habiletés langagières et de la communication verbale chez les non-droitiers. *Rééducation orthophonique* (numéro thématique sur Hémisphère droit et communication verbale), 219, 67-77.

Article 1**Latéralisation des habiletés langagières et de la communication verbale chez les non-droitiers.**

1. RÉSUMÉ	41
2. ABSTRACT	41
3. INTRODUCTION	42
4. LATÉRALISATION DU LANGAGE ET APHASIE	42
4.1 Incidence des lésions responsables d'une aphasie chez les non-droitiers	43
4.2. Les aspects cliniques de l'aphasie chez les non-droitiers	44
5. LATÉRALISATION DU LANGAGE ET IMAGERIE CÉRÉBRALE	47
5.1. Langage expressif : différences entre les droitiers et les non-droitiers	48
5.2. Langage réceptif : différences entre les droitiers et les non-droitiers	49
6. TROUBLE DE LA COMMUNICATION VERBALE	51
6.1. Troubles de la communication verbale chez les non-droitiers	52
7. CONCLUSION	53
8. BIBLIOGRAPHIE	55

1. RÉSUMÉ

Les non-droitiers – gauchers ou ambidextres– présentent une latéralisation des composantes traditionnelles du langage, distincte de celle des droitiers, et qui se caractérise généralement par une moins grande implication de l'hémisphère gauche. Toutefois, le rôle de chacun des deux hémisphères pour la mise en œuvre les composantes non traditionnelles du langage reste inexploré chez le non-droitier. L'objectif de cet article est de faire le point sur les connaissances concernant l'organisation fonctionnelle cérébrale des composantes traditionnelles du langage chez les non-droitiers et d'envisager ce que pourrait être l'organisation fonctionnelle pour certaines des composantes non traditionnelles telle la pragmatique.

2. ABSTRACT

The non-right-handers –lefthanders or ambidextrous– demonstrate a lateralization of the traditional aspect of language different from right-handers and that is generally characterized by a lesser involvement of the left hemisphere. However, the role of both hemispheres remains unexplored in non-right-handers. The objective of the present paper is to review the knowledge about the traditional aspect of language's cerebral functional organization of the non-right-handers, and to speculate what may be the functional organization of certain non-traditional aspect of language like pragmatic.

3. INTRODUCTION

Alors que la majorité des auteurs de ce numéro spécial se focalisent sur le rôle de l'hémisphère droit (HD) et sur les habiletés de communication verbale du droitier, cet article vise plutôt à faire le point sur les connaissances concernant l'organisation fonctionnelle cérébrale du langage chez les individus qui ne sont pas droitiers. D'abord, il sera montré comment les études lésionnelles et les études d'imagerie cérébrale, portant sur des individus sans trouble neurologique, mettent en évidence une latéralisation distincte des habiletés traditionnelles du langage (phonologiques, lexico-sémantiques et syntaxiques) chez les droitiers et chez les non-droitiers. Ensuite, les quelques données disponibles sur les troubles de la communication verbale chez les non-droitiers lésés à l'HD seront rassemblées pour tenter d'apporter un éclaircissement à une éventuelle différence entre les patrons de latéralisation de la composante pragmatique chez les droitiers et chez les non-droitiers.

4. LATÉRALISATION DU LANGAGE ET APHASIE

En 1865, Paul Broca affirme qu'une lésion à l'hémisphère gauche (HG) entraîne des problèmes du langage articulé chez le droitier. Cette déclaration amène les successeurs du médecin-anthropologue à spéculer l'inverse pour le non-droitier : le langage articulé se trouverait altéré conséquemment à une lésion à l'HD (Harris, 1993). Pendant plus d'un siècle, la grande majorité des médecins et des scientifiques véhiculent ainsi l'idée que les habiletés langagières se localisent à l'HG chez le droitier et à l'HD chez le gaucher ou l'ambidextre, c'est-à-dire chez le non-droitier.

Bien qu'aujourd'hui ce principe ne soit plus accepté dans son intégralité, l'idée associant la manualité – terme se référant à la fois à l'utilisation préférentielle et à la plus grande efficacité d'une main – et la latéralisation du langage persiste. En effet, étant l'expression la plus manifeste et la plus aisément accessible, la manualité demeure sans conteste l'indice privilégié pour inférer l'asymétrie fonctionnelle du langage, du moins chez le droitier. Chez le non-droitier, les données suggèrent au contraire que s'il existe un lien entre la manualité et la latéralisation du langage, celui-ci est complexe et ne peut être directement établi.

4.1. Incidence des lésions responsables d'une aphasie chez les non-droitiers

Le corollaire du principe de Broca voulant que le non-droitier ait une représentation cérébrale du langage «miroir» à celui du droitier a été questionné dès 1936 (voir Cheswcher, 1936). Pourtant, ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale, lorsque les premières études systématiques sur le sujet ont commencé, que cette règle a véritablement été démentie. Résumées dans l'article de Goodglass et Quadfasel (1954), ces études rapportent l'impossibilité d'établir une corrélation directe entre la manualité et la latéralisation hémisphérique. Près d'une trentaine d'années plus tard, Satz (1979), en réalisant une exhaustive revue de littérature portant sur la latéralité des lésions responsables d'une aphasie chez les non-droitiers, fait la proposition suivante: parmi les non-droitiers certains montrent une latéralisation du langage à l'HG ou à l'HD alors que d'autres présentent une ambilatéralité (aucune dominance de l'un ou l'autre des hémisphères).

Depuis l'étude de Satz, il est d'ores et déjà accepté qu'une lésion à l'HD cause plus fréquemment une aphasie chez les non-droitiers que chez les droitiers (environ 25% versus 1%). Néanmoins, il reste que les troubles affectant les aspects traditionnels du langage (phonologie, syntaxe, lexico-sémantique) apparaissent plus souvent après une lésion à l'HG qu'à l'HD chez les deux populations (voir Joannette, 1989).

Le fait que la localisation des lésions responsables d'une aphasie se distribue à travers les hémisphères chez les non-droitiers a donc amené à déduire que le réseau langagier de ces premiers est davantage bilatéral que celui des droitiers.

4.2. Les aspects cliniques de l'aphasie chez les non-droitiers

La prévalence différente des désordres aphasiques consécutifs à une lésion droite ou gauche chez le droitier et le non-droitier n'est pas le seul indicateur d'une organisation corticale du langage distincte. En effet, l'évaluation des aspects cliniques de l'aphasie offre des renseignements tout aussi précieux. À cet égard, il est bien connu --grâce à l'apport des cliniciens-- que les manifestations et le recouvrement de l'aphasie ne sont pas identiques chez les non-droitiers et chez les droitiers. Bien que très peu de chercheurs se soient intéressés en profondeur aux troubles aphasiques chez les non-droitiers, les quelques études recensées apportent un éclaircissement à cette problématique.

En ce qui a trait aux troubles de compréhension conséquemment à une lésion à l'HG, plusieurs auteurs s'accordent à dire que les non-droitiers sont moins fréquemment déficitaires que les droitiers, mais affichent plus souvent des difficultés liées au langage

articulé (voir Joannette, 1989). Cette différence ne persisterait toutefois pas dans le temps car plusieurs des troubles expressifs se déclarent être transitoires chez les non-droitiers (Héacan et Ajuriaguerra, 1963).

Quant aux difficultés de lecture résultant d'une lésion à l'HG, l'occurrence se révèle similaire quel que soit la préférence manuelle lorsque le matériel écrit est peu complexe (lettres, mots ou commandes simples) mais elle devient plus élevée chez les non-droitiers quand le contenu est d'ordre textuel (Héacan et Sauguet, 1971).

Bien que les troubles de lecture surviennent en général plus souvent qu'autrement suite à une lésion de l'HG, il arrive que ces derniers se manifestent suite à une lésion à l'HD. Si tel est le cas, l'incidence de l'alexie semble inférieure chez les droitiers (Héacan et Ajuriaguerra, 1963) ou équivalente quelle que soit la préférence manuelle (Héacan et Sauguet, 1971). Au-delà de cette disparité entre les résultats se dessine tout de même un constat intéressant : aucune étude n'a rapporté une fréquence supérieure d'alexie chez les cérébrolésés droits (CLD) aphasiques et non-droitiers.

En regard à la fréquence des troubles de l'écriture chez les CLD aphasiques droitiers et non-droitiers, certaines études rapportent une similarité (Héacan et Sauguet, 1971). D'autres relatent plutôt une différence de groupe allant dans un sens ou l'autre. D'une part, les non-droitiers seraient moins fréquemment affectés (Héacan et Ajuriaguerra, 1963) ou d'autre part, plus sévèrement atteints (Gloning, Gloning, Haub et Quatember, 1969). Il est fort probable que les données relatives aux troubles d'agraphie varient à travers les études selon les critères considérés quant à la nature des déficits. Par exemple, les déficits d'ordre spatial sont-ils inclus ou exclus? Cette question s'avère

des plus pertinentes, car plusieurs des troubles d'écriture que présentent les CLD non-droitiers aphasiques sont de type spatial (Hécaen et Albert, 1978).

Les ressemblances et les dissemblances des symptômes aphasiques entre les droitiers et les non-droitiers ayant été abordées, il importe de décrire quelques caractéristiques des individus cérébrolésés non-droitiers selon la latéralisation de la lésion.

La vaste étude de Hécaen et Sauguet, (1971) menée auprès d'un échantillon comprenant 73 non-droitiers aphasiques (26 CLD versus 47 CLG) révèle une équivalence de la fréquence des déficits expressifs entre les deux groupes mais une différence significative pour l'écriture des phrases. Alors que 44% des CLG présentent une agraphie, cette affection touche seulement 16% des CLD de l'échantillon.

En considérant les symptômes dans leur ensemble, un tableau clinique plus homogène se dégage chez les non-droitiers que chez les droitiers et ce, quelle que soit la latéralité de la lésion (voir Joannette, 1989). Cette conclusion générale conforte donc l'hypothèse citée plus-haut voulant, qu'en tant que groupe, les non-droitiers présentent une latéralisation cérébrale du langage plus faible que les droitiers.

Aussi, parce qu'une latéralisation peu accentuée pourrait correspondre à un réseau langagier bilatéral, il a été présumé que la récupération de l'aphasie devrait être plus rapide chez les non-droitiers que chez les droitiers. Les résultats des études sont toutefois inconsistants. Alors que certains relatent une meilleure récupération chez les non-droitiers (Gloning, Gloning, Haub et Quatember, 1969, Hécaen et Sauguet, 1971; Satz, 1979), d'autres n'observent aucun écart entre les deux populations (Basso, Farabola, Grassi, Laiacina et Zanobio, 1990; Newcombe et Ratcliff, 1973). La

divergence des résultats pourrait s'expliquer, comme le suggère l'étude de Risse, Gates et Fangman (1997), par l'existence de différents types de patrons langagiers bilatéraux. Une organisation bilatérale peut, comme une organisation unilatérale, se caractériser par une compétence supérieure de l'un ou l'autre des hémisphères. Il est également possible que ce type d'architecture corticale demande une grande communication interhémisphérique de sorte que les deux hémisphères doivent nécessairement travailler ensemble pour accomplir un traitement. Finalement, un réseau langagier bilatéral peut signifier que les deux hémisphères possèdent de façon indépendante la compétence pour effectuer le traitement (voir Risse et al., 1997). Il est fort plausible que ce soit seulement les individus présentant une duplication des compétences qui seraient favorisés lors de la récupération d'une aphasie.

Toutefois, la plupart des travaux portant sur l'aphasie chez les non-droitiers datent des années 60-70. Il est donc essentiel qu'il y ait bientôt une recrudescence de l'intérêt de la part des chercheurs pour cette problématique. D'ici là, les connaissances sur les habiletés langagières chez les non-droitiers se sont aussi enrichies grâce à un domaine de recherche en pleine expansion, l'imagerie cérébrale. Ces données tendent à confirmer l'existence d'une différence des patrons langagiers selon la manualité. Les études récemment publiées seront décrites et analysées.

5. LATÉRALISATION DU LANGAGE ET IMAGERIE CÉRÉBRALE

Aujourd'hui, les techniques d'imagerie cérébrales sont employées fréquemment auprès de participants sains. Qu'il s'agisse de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), de la tomographie par émission de positrons ou de la stimulation

magnétique transcrânienne, ces techniques ont l'énorme avantage d'offrir des informations fines, tant sur le plan inter que intra hémisphérique. De plus, en mode événementiel, les acquisitions d'informations peuvent être faites pendant un traitement langagier spécifique. Cela est d'autant plus important que la notion même de latéralisation évolue et réfère désormais non plus à un phénomène unitaire mais plutôt à de multiples asymétries fonctionnelles locales variant selon le traitement effectué (voir Ide, 1999). Dans cette perspective, les études décrites dans la section suivante seront présentées selon que le traitement analysé appelle à l'expression ou à la réception d'un message verbal.

5.1 Langage expressif : différences entre les droitiers et les non-droitiers

Plusieurs travaux en imagerie cérébrale voulant examiner la latéralisation du langage expressif selon la manualité des individus sans trouble neurologique ont utilisé une tâche de génération de mots.

Comparant l'occurrence des patrons de latéralisation du langage articulé de 50 droitiers et de 50 non-droitiers, Pujol, Deus, Losilla, et Capdevilla (1999) rapportent des résultats s'approchant de ceux obtenus par le test de l'amytal sodique (voir Rasmussen et Milner, 1977). Premièrement, une majorité de droitiers et de non-droitiers – environ 96% et 75% respectivement – montrent une représentation du langage expressif prédominante à l'HG. Deuxièmement, plus ou moins 15% des non-droitiers présentent une latéralisation bilatérale. Troisièmement, les résultats mettent en évidence qu'une minorité seulement de non-droitiers présentaient un patron de latéralisation inversé – une fréquence au-dessous de 5%. Il semble néanmoins qu'une latéralisation à l'HD

augmente de manière linéaire avec le degré de gaucherie : plus une personne utilise sa main gauche, plus elle est susceptible d'avoir un patron de latéralisation inversé pour le langage articulé (Knecht et al., 2000).

En accord avec ces données, Tzourio-Mazoyer, Josse, Crivello et Mazoyer (2004) constatent que, pendant la réalisation d'une tâche de génération de verbes, les non-droitiers ont en moyenne une asymétrie fonctionnelle moins marquée des régions frontales gauches comparativement aux droitiers.

5.2. Langage réceptif : différences entre les droitiers et les non-droitiers

Comme il a été observé lors de tâches de production, les non-droitiers présentent une plus grande variabilité dans les patrons de latéralisation ainsi qu'une asymétrie fonctionnelle moins prononcée à l'HG que les droitiers pendant un traitement de compréhension (Hund-Georgiadis et al., 2002; Knecht et al., 2002; Szaflarski et al., 2002).

Toutefois, en utilisant une tâche de décision sémantique sur des mots isolés en IRMf, Hund-Georgiadis et al., (2002) indiquent un pourcentage plus élevé de non-droitiers présentant un patron de latéralisation atypique (ambilatéral ou à l'HD) que celui rapporté par Pujol et al., (1999). En effet, seulement 53% des participants non-droitiers montrent la latéralisation classique à l'HG, le reste, soit 47% des non-droitiers a été classifié comme «atypique». Cette distribution n'est cependant pas surprenante sachant que l'HD possède une compétence lexico-sémantique (voir Joannette, Goulet, Hannequin, 1990) laquelle est encore plus manifeste chez les non-droitiers (Bradshaw et Taylor,

1979; Piazza, 1980; Tremblay, Monetta et Joannette, 2003). Qui plus est, les résultats de Hund-Georgiadis et al., (2002) vont dans le sens d'autres conclusions d'études en imagerie cérébrale à savoir que, en général, le réseau neuronal supportant le traitement lexico-sémantique est davantage distribué entre les deux hémisphères comparativement à celui associé au traitement phonologique (voir Gernsbacher et Kaschak, 2003).

Dans la même veine, l'étude de Knecht et al., (2002), employant la SMT, démontre que la perturbation de la compréhension sémantique (tâche d'association images et mots) corrèle avec l'index de la latéralisation du langage articulé telle qu'évaluée par une tâche de génération de mots en IMRf. Plus faible est le degré de la latéralisation, moins grandes sont les perturbations du traitement sémantique lors de la stimulation à l'aire de Wernicke et à son site homologue à l'HD. Les données enregistrées auprès d'une population sans troubles neurologiques soutiennent donc les résultats obtenus chez les populations pathologiques : une organisation cérébrale bilatérale aurait plus de chance à compenser les déficits langagiers suivant une lésion à l'un ou à l'autre des hémisphères.

En ce qui a trait maintenant au traitement sémantique du discours, les quelques résultats recensés paraissent inconsistants. Lors d'une tâche d'écoute d'histoires factuelles, Tzourio et al. (1998), ont une première fois mis en évidence une asymétrie fonctionnelle de l'aire temporale gauche plus marquée chez les droitiers que chez les non-droitiers. Reproduisant l'expérimentation, le même groupe de recherche n'a alors observé aucune différence significative entre les deux groupes (Tzourio-Mazoyer et al., 2004). La disparité des résultats pourrait s'expliquer par une grande variabilité interindividuelle ne pouvant être cernée par le seul facteur « préférence manuelle ». À

l'instar d'autres auteurs, tels Corballis, Tzourio-Mazoyer et al., (2004) suggèrent que la préférence manuelle entretient une relation plus directe avec l'asymétrie fonctionnelle des régions frontales qu'avec celle des aires postérieures (voir Corballis, 1998).

Jusqu'à présent, la majorité des aspects langagiers examinés chez les non-droitiers via la technique d'imagerie cérébrale n'ont concerné que les composantes traditionnelles du langage. En fait, seules les études de Tzourio-Mazoyer (Tzourio et al., 1998, Tzourio-Mazoyer et al., 2004), utilisant une tâche de compréhension du discours, ont touché aux habiletés de la communication verbale. Pourtant, une communication efficiente dépend également de ces types d'habiletés (voir Joannette, ce numéro).

6. TROUBLE DE LA COMMUNICATION VERBALE

Vers les années 1970, l'affinement des outils de dépistage des troubles de la communication ont permis de mettre en évidence une perturbation chez les CLD de certaines habiletés langagières autres que celles habituellement touchées lors d'une aphasie classique ou croisée (pour une revue voir Joannette et al., 1990). Aujourd'hui il est connu qu'une proportion non négligeable de CLD connaît des difficultés à traiter les aspects prosodiques, sémantiques, discursifs et pragmatiques d'un message verbal (voir Joannette, ce numéro). Les troubles pragmatiques, au cœur des déficits de la communication verbale des CLD, empêchent le traitement efficient de l'intentionnalité rendant difficile l'appréhension d'un message verbal par-delà de ses éléments linguistiques (Joannette et Ansaldo, 1999). La compréhension du langage non littéral se trouve ainsi particulièrement altérée par un déficit pragmatique.

Grâce aux études lésionnelles (voir Joannette et al., 1990) et en IMRf (Botinni et al., 1994) chez des personnes sans trouble neurologique, il est de plus en plus clair que la contribution de l'HD s'avère primordiale au traitement pragmatique, du moins chez le droitier. Par contraste, la documentation sur la complémentarité hémisphérique pour le traitement pragmatique est presque inexistante chez le non-droitier. En fait, aucune étude en imagerie cérébrale n'a été jusqu'à présent publiée, et une seule étude lésionnelle a examiné les troubles de la communication verbale chez les non-droitiens.

6.1. Troubles de la communication verbale chez les non-droitiens

Mackensie et Brady (2004) ont été les premiers à s'intéresser spécifiquement aux troubles de la communication chez les cérébrolésés à l'HD qui sont non-droitiens. Les aspects sémantiques des mots et du discours ainsi que la composante pragmatique ont été évalués à l'aide de tests formels et via une conversation avec l'expérimentateur. Les performances de cinq adultes CLD non-droitiens ont été comparées à neuf CLD droitiers et à quatre non cérébrolésés droitiers d'âge équivalent. D'abord, quelle que soit leur manualité, les CLD obtiennent des scores significativement au-dessous des normaux aux mesures non verbales (p.ex.: contacts visuels, expressions faciales) lors de la conversation ainsi qu'au test de compréhension d'inférences. Néanmoins, un patron de performances différent ressort lorsqu'il s'agit de choisir l'image correspondante à une phrase métaphorique (Metaphor Picture Test) ou de répondre à des questions de compréhension relatives à des histoires (Discourse comprehension test). Alors que les CLD droitiers obtiennent des performances inférieures aux normaux, il n'existe aucune différence significative entre les CLD non-droitiens et les normaux. D'après les résultats, l'appréhension du langage non littéral serait ainsi une habileté moins affectée

chez les non-droitiers que chez les droitiers conséquemment à une lésion à l'HD. Les résultats laissent donc entendre que chez les non-droitiers, la compréhension du langage non littéral repose moins sur l'HD comparativement aux droitiers.

Toutefois, avant d'avancer une quelconque conclusion, il est indispensable que d'autres études s'intéressent à la composante pragmatique chez les non-droitiers. Est-il plausible de penser que la latéralisation de cette composante soit moins prononcée que chez le droitier, comme c'est le cas pour les habiletés traditionnelles du langage? La question reste entièrement ouverte.

7. CONCLUSION ET DISCUSSION

En somme, l'organisation fonctionnelle du cerveau pour le langage des non-droitiers en est une qui est propre, à la fois distincte de celle des droitiers et de son miroir – pour la majorité. En rapportant que les signes cliniques d'une aphasie suite à l'HG ou à l'HD sont davantage homogènes chez le non-droitier que chez le droitier, les études lésionnelles suggèrent que les contributions respectives des hémisphères sont moins prévisibles chez le non-droitier. En complétant les connaissances grâce aux apports des études «on-line» d'imagerie cérébrale, il peut être franchement conclu que le réseau neuronal des non-droitiers supportant les habiletés traditionnelles du langage est davantage bilatéral que celui des droitiers. En ce qui a trait aux habiletés de communication verbales, la quasi-absence d'études en fait une thématique encore mal connue et sujette à plusieurs spéculations. Pourtant, la composante pragmatique est essentielle à la communication. Il est donc primordial de s'intéresser aux contributions hémisphériques pour le traitement de cette composante du langage chez les non-

droitiers. La conception des fondements neurobiologiques de la communication des non-droitiers en sera autant favorisée que l'acquis des données contribuant à l'identification et à la prise en charge des troubles de la communication d'origine pragmatique chez les non-droitiers.

8. BIBLIOGRAPHIE

- Basso, A., Farabola, M., Grassi, M.P., Laiacona, M. & Zanobio, M.E. (1990). Comparison of aphasia profiles and language recovery in non-right-handed and matched right-handed patients. *Brain and Language*, 38, 233–252.
- Botinni, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesau, E., Schenone, P., Scarpa, P., Frackowiak, R.S.J., & Frith, C.D. (1994). The role of right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language: A positron emission tomography activation study. *Brain*, 117, 1241-1253.
- Bradshaw, J.L. & Taylor, M.J. (1979). A word-naming deficit in nonfamilial sinistrals? Laterality effects of vocal responses to tachistoscopically presented letter strings. *Neuropsychologia*, 17, 21-32.
- Brown, J.W. & Hécaen, H. (1976). Lateralization and language representation. *Neurology*, 26, 1410-1411.
- Corballis, M.C. (1998). Cerebral asymmetry: motoring on. *Trends in Cognitive Science*, 2, 152–157.
- Gernsbacher, M.A., Kaschak, M.P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology*, 54, 91-114.
- Gloning, I., Gloning, K., Haub, G. & Quatember, R. (1969). Comparison of verbal behaviour in right-handed and non right-handed patients with anatomically verified lesion of one hemisphere. *Cortex*, 5, 43-52.
- Goodglass, H. & Quadfasel, F. (1954). Language laterality in left-handed aphasics. *Brain*, 77, 521-548.
- Hécaen, H., & Sauguet, J. (1971). Cerebral dominance in left-handed subjects. *Cortex*, 7, 19-48.
- Hécaen, H., De Agostini, M., & Monzo-Montes, A. (1981). Cerebral organization in left-handers. *Brain and Language*, 12, 261–284.

- Hund-Georgiadis, M., Lex, U., Friederici, A.D., & Von Cramon, D.Y. (2002). Non-invasive regime for language lateralization in right- and left-handers by means of functional MRI and dichotic listening. *Experimental Brain Research*, 145, 166–176.
- Ide, A., Dolezal, C., Fernandez, M., Labbé, E., Mandujano, R., Montes, S., Segura, P., Verschae, G., & Yarmuch, P. (1999). Hemispheric differences in variability of fissural patterns in parasylvian and cingulate regions of human brains. *Journal of Comparative Neurology*, 410, 235-242.
- Joanette, Y. (1989). Aphasia in left-handers and crossed aphasia. In F., Boller, & J., Grafman, (Eds). *Handbook of Neuropsychology*, 2, 173-183. Amsterdam: Elsevier
- Joanette, Y., & Anslado, A.I. (1999). Clinical note: acquired pragmatic impairments and aphasia. *Brain and Language*, 68, 529-534.
- Joanette, Y., Goulet, P., & Hannequin, D. (1990). *Right hemisphere and verbal communication*. New York: Springer
- Knecht, S., Drager, B., Deppe, M., Bobe, L., Lohmann, H., Floel, A., Ringelstein, E.B., & Henningsen, H. (2000). Handedness and hemispheric language dominance in healthy humans. *Brain*, 123, 2512-2518.
- Knecht, S., Floel, A., Drager, B., Breitenstein, C., Sommer, J., Henningsen, H., Ringelstein, E.B., & Pascual-Leone, A. (2002). Degree of language lateralization determines susceptibility to unilateral brain lesions. *Nature Neurosciences*, 5, 695-699.
- Mackensie, M., & Brady, M.(2004). Communication ability in non-right handers following right hemispheres stroke. *Journal of Neurolinguistics*, 17, 301-313.
- Newcombe, F., & Ratcliff, G. (1973). Handedness, speech lateralization and ability. *Neuropsychologia*, 11, 399-407.
- Piazza, D.M. (1980). The influence of sex and handedness in the hemispheric specialization of verbal and nonverbal tasks. *Neuropsychologia*, 18, 163-176.

- Pujol, J., Deus, J., Losilla, J.M., & Capdevila, A. (1999). Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI. *Neurology*, 52, 1038-1043.
- Rasmussen, T., & Milner, B. (1977). The role of early left-brain injury in determining lateralization of cerebral speech functions. *Annals of New York Academy of Sciences*, 299, 355-369.
- Risse, G.L. Gates, J.R., & Fangman, M.C. (1997). A reconsideration of bilateral language representation based on the intracarotid amobarbital procedure. *Brain and Cognition*, 33, 118-132.
- Satz, P. (1979). A test of some models of hemispheric speech organization in the left- and right-handed. *Science*, 203, 1131-1133.
- Szaflarski, J.P., Binder, J.R., Possing, E.T., McKiernan, K.A., Ward, B.D., & Hammeke, T.A. (2002). Language lateralization in left-handed and ambidextrous people: fMRI data. *Neurology*, 59, 238-244.
- Tremblay, T., Monetta, L., & Joannette, Y. (2003). Semantic processing of words in right- and left-handers. *Brain and Language*, 87, 107-108.
- Tzourio, N., Crivello, F., Mellet, E., Nkanga-Ngila, B., & Mazoyer, B. (1998). Functional dominance for speech comprehension in left handers versus right handers. *NeuroImage*, 8, 1-17.
- Tzourio-Mazoyer, N., Josse, G., Crivello, F., & Mazoyer, B. (2004). Interindividual variability in the hemispheric organization for speech. *NeuroImage*, 21, 422-435.

La confirmation de la particularité des gauchers quant à leur organisation cérébrale du langage assure la légitimité et la pertinence d'une comparaison gauchers-droitiers. La première question de recherche posée est la suivante : le genre influence-t-il la dynamique hémisphérique de la phonologie et de la sémantique des mots de manière distincte chez les droitiers et les gauchers?

CHAPITRE 3

L'INFLUENCE DU GENRE
SUR LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE DU LANGAGE
CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS

Article 2:

Tremblay, T., Ansado, J., Walter, N. & Joannette, Y. (2007). Phonological and semantic processing of words: Laterality changes according to gender in right- and left-handers. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 12, 1-15.

Article 2

**Phonological and semantic processing of words:
Laterality changes according to gender
in right- and left-handers**

1. ABSTRACT	61
2. INTRODUCTION	62
3. METHOD	67
3.1. Participants	67
3.2. Tasks	68
3.3. Procedure	68
4. RESULTS	69
4.1. Response times	70
4.2. Accuracy	71
5. DISCUSSION AND CONCLUSION	74
5.1. Gender-linked question pattern in right-handers	75
5.2. Gender-linked question pattern in left-handers	77
6. GENERAL DISCUSSION	77
7. REFERENCES	80

1. ABSTRACT

The ability of cerebral hemispheres to process language is influenced by multiple factors. The well-known right visual field advantage in word recognition in divided visual field tasks is affected by both intra- and inter-individual variables. For example, hemispheric linguistic abilities may vary within a given individual according to the language component being processed, whereas variations between individuals may be modulated by the individual's handedness and gender. The objective of this divided visual field study was to compare gender differences in right- and left-handers in relation to their hemispheric abilities in performing phonological and semantic tasks. The results indicate that for both processing, gender had a different impact on right- and left-handed groups. Unexpectedly a gender difference in laterality pattern was found in left-handers but not in right-handers for both phonological and semantic abilities. Intriguingly, left-handed men displayed a more symmetrical laterality pattern in phonological and semantic abilities than left-handed women.

2. INTRODUCTION

The specialization of one cerebral hemisphere for a given set of cognitive processes represents an example of the functional asymmetry, or functional lateralization, of the brain. Although the latter concept applies to many cognitive processes, it is the lateralization of language that has been the best established. The extent of cerebral lateralization for language has been shown to depend upon a number of factors that will be briefly summarized here.

The first factor suspected to affect the brain's functional lateralization for language was handedness. This idea was born of Broca's (1865) groundbreaking observations. Partly inspired by Marc Dax's (1836/1865) work, Broca proposed a direct association between the hemisphere contralateral to the dominant hand and the brain's ability to produce articulated language: Broca claimed that articulated speech is controlled by the left hemisphere (LH) in right-handers. At the same time, he speculated that the reverse might be true for left-handers, namely that articulated speech would be under the control of the right hemisphere. Although the latter suggestion proved to be incorrect, the underlying notions of a relationship between handedness and language lateralization, and of differences between right- and left-handers, have been shown to be accurate. However, the knowledge accumulated since Broca's day has qualified his teachings somewhat. Nowadays, it is widely accepted that (a) language lateralization among left-handers is not the mirror image of the situation in right-handers (e.g., Joannette, 1989), (b) language lateralization involves more than just the articulated aspects of language, and (c) language lateralization may be modulated by many more factors than handedness alone (Josse & Tzourio-Mazoyer, 2004).

However, of all the factors likely to influence the brain's lateralization for language, handedness remains the most robust and important (Springer & Deutsch, 1989). It is well established that the vast majority of individuals, namely right-handers, exhibit a strong language lateralization favoring the LH. However, approximately 10% of the population is left-handed and, as a group, they present much weaker language lateralization in the LH (Joanette, 1989). First inferred from observations of aphasia in left-handers (Hécaen & Sauguet, 1971; Satz, 1979), and then directly observed through specific techniques such as the Wada test (Rasmussen & Milner, 1977), the lesser degree of language lateralization in the LH in left-handers has recently been confirmed via non-invasive neuroimaging tools in healthy adults (Josse & Tzourio-Mazoyer, 2004).

Another important inter-individual factor likely to influence language lateralization is gender. A long-held hypothesis derived from observations of right-handers suggests that men present stronger LH lateralization than women (Levy, 1972). The strongest evidence supporting that supposition was provided by studies of individuals with brain lesions. McGlone (1977) and Inglis and Lawson (1981) reported that males had a higher incidence of aphasia after damage to the LH than women. Yet, this gender difference does not necessarily prove that women have a more diffuse interhemispheric language network than men, but may rather reflect a gender difference in intrahemispheric organization (Kimura, 1983).

Hopes were pinned on neuroimaging studies of normal healthy individuals to elucidate language representation in men and women. However, the evidence remains inconsistent. Whereas many experimental verbal tasks have reported a gender difference in line with the hypothesis that men have greater LH language lateralization

than women (Jaeger et al., 1998; Kansaku, Yamaura, & Kitazawa, 2000; Pugh et al., 1996; Shaywitz et al., 1995), others did not reveal any significant difference between genders (Binder et al., 1995; Frost et al., 1999; Hund-Georgiadis et al., 2002; Shaywitz et al., 1995).

One way to reconcile the conflicting results regarding the gender question may be to consider language as a multi-dimensional entity that includes diverse components such as syntax, semantics, and phonology. In healthy individuals, it has been demonstrated that each of these components of language relies on distinct neural networks (Gernsbacher & Kaschak, 2003), most probably with different degrees of lateralization. For example, both phonological and semantic processing of words rely upon neural networks that involve the LH, but to different degrees: while the former has been shown to be associated with LH-based loci of activation, the latter is typically associated with both left-hemisphere- and right-hemisphere-based loci of activation (Gernsbacher & Kaschak, 2003). However, gender may influence the degree of this lateralization. Thus, it is interesting to note that a gender difference has been reported regarding the phonological processing of words. Men appear to present activations restricted to the LH whereas women show bilateral activation (Pugh et al., 1996; Shaywitz et al., 1995). Conversely, many studies appear to converge in suggesting that there is no significant gender difference in the semantic processing of words (Binder et al., 1995; Frost et al., 1999; Hund-Georgiadis et al., 2002; Shaywitz et al., 1995). In one of the few studies that gave the same participants both a phonological and a semantic task, Shaywitz et al. (1995) concluded that a gender difference in the functional brain

organization for language is present, but only for tasks requiring phonological processing.

Results from the neuroimaging literature need to be considered from the perspective of the more traditional behavioral approach when an evaluation of perceptual asymmetry is sought. Whether the modality used is visual or auditory, the logic rests on the assumption that stimuli projected to one perceptual sensory side (visual field or ear) are primarily processed by the hemisphere contralateral to the hemifield in which they were presented. Typically, a right perceptual side advantage is found whenever the material is verbal and that observation is interpreted as a direct expression of the LH's superiority over the right hemisphere (RH) in processing language (Springer & Deutsch, 1989).

The reliability of the contribution made by behavioral paradigms to the question of hemispheric language abilities in the context of language lateralization has sometimes been questioned because of the inconsistent results (Cowell & Hugdahl, 2000). Nevertheless, as pointed out by Cowell and colleagues (Cowell, Denenberg, Boehm, & Nasrallah, in press, cited in Cowell & Hugdahl, 2000), such variability may reflect the fact that these techniques are very sensitive to many factors. Thus, the results of these studies may be very instructive for the investigation of individual differences.

Furthermore, the impact of handedness and gender on perceptual asymmetry has been the subject of numerous divided visual field and dichotic listening studies (Faure, 2003). Such studies have repeatedly reported a reduced right visual field (RVF versus left visual field; LVF) advantage or a reduced right ear advantage in left-handers as

compared to right-handers (see Bryden, 1988, for the auditory modality and Eviatar, Hellige, & Zaidel, 1997, and Hellige et al., 1994, for the visual modality).

The possibility that gender could modulate perceptual asymmetries was thoroughly investigated in the 1990s. Hiscock and his colleagues published two meta-analyses on this topic (Hiscock, Inch, Jacek, Hiscock-Kalil, & Kalil, 1994; Hiscock, Israelian, Inch, Jacek, & Hiscock-Kalil, 1995). Irrespective of the modality, the authors concluded that there is a gender difference in the hemispheric language abilities. According to Hiscock and colleagues, dichotic listening studies indicated significant gender differences overall: 75% of the studies reported a stronger right ear advantage for men than women (Hiscock et al., 1994), whereas a greater RVF advantage in men was present in up to 82% of the divided visual field studies (Hiscock et al., 1995). Another meta-analysis on this topic was conducted by Voyer (1996) with the objective, this time, of focusing on the magnitude of the gender difference. Voyer did confirm the presence of a gender difference in divided visual field and dichotic listening studies, but warned that the difference is a small one ($d = 0.067$ and $d = 0.063$).

Overall, the data summarized here indicate that language processing is influenced by handedness and gender as well as by the specific component of word processing that is engaged. However, no study has looked at all three factors together. In order to clarify the impact of inter- and intra-individual factors on language processing, one relevant approach would be to investigate gender differences in right- and left-handers while considering different aspects of word processing that typically present different brain lateralization. Thus, the present behavioral study aimed to compare gender difference patterns in right- and left-handers in terms of their hemispheric abilities

during the phonological and semantic processing of words. In general, a gender difference pattern between handedness groups was expected for phonological processing. More specifically, a gender difference in phonological processing was predicted for the right-handers.

3. METHOD

3.1. Participants

For this study, 72 young adults (aged between 20 and 35 years old), all native speakers of French, were recruited using classified advertisements. The sample was composed of four groups with equal numbers of subjects: right-handed men and women and left-handed men and women. All of them were equivalent in terms of years of education (right-handed men: $x = 15.4$, $SD = 2.7$; right-handed women: $x = 16.3$, $SD = 1.2$; left-handed men: $x = 15.9$, $SD = 1.5$; left-handed women: $x = 17.2$, $SD = 1.9$). According to the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971), the right-handed and left-handed participants were on average strongly lateralized (right-handed men: 87.1, $SD = 10.5$; right-handed women: 90.6, $SD = 11.7$; left-handed men: -77.6, $SD = 24.7$; left-handed women: -73.3, $SD = 23.1$). According to self-report, all participants had normal or corrected-to-normal vision, none had previously experienced major neurological episodes or conditions, none had a history of substance abuse, and all were medication-free.

3.2. Tasks

The phonological and semantic tasks corresponded largely to the ones used by Walter, Cliche, Joubert, Beauregard, and Joannette (2001) and Walter, Beauregard, and Joannette (2002). Both of them required an explicit judgment of isolated words. In the phonological task, the participants had to indicate whether a written word did or did not contain the sound /o/, whereas in the semantic task they were asked whether the stimulus belonged to the category “animal” or not. For both tasks, the stimulus pool consisted of 128 French nouns varying in length from four to nine letters. Sixty-four words were targets, that is, they contained the sound /o/ or they denoted an animal. The rest of the stimuli were foils with neither of the aforementioned traits.

3.3. Procedure

The phonological and semantic tasks began with two practice blocks of 30 stimuli each. The 128 different stimuli appeared in three different positions—left, center and right—for a total of 384 presentations. The inner border of the lateralized presentation was at 3° with reference to the central fixation point. All stimuli were classified into six blocks of items, interrupted by five pauses. Within each block, the stimuli were distributed equally according to position and type. Moreover, the order of stimulus presentation was dispersed evenly through the six blocks.

For each trial, participants were first shown a black fixation dot for 200 ms. After that, words were presented for 150 ms with a 150-ms inter-stimulus interval between each subject’s response and the presentation of the following stimulus. The

words were shown in black letters using the Times font and Psyscope software (1.2.5 PPC version). The duration of exposure of all words was short enough to prevent eye movement so that words presented to lateral positions could not benefit from central vision and the consequent projection to both hemispheres (Sergent, 1982).

All participants were tested in two 45-minute sessions with a seven-day fixed interval between the test sessions. The hands used to respond and the order of the tasks was counterbalanced between and within participants.

The experiment took place in a quiet room containing a computer. Participants were seated in front of the computer screen on a chair with adjustable height. Participants' heads were maintained in a fixed position by a chin rest such that their eyes were 60 cm from the screen. Instructions were given both verbally and in writing on the screen.

4. RESULTS

The average response times (RT) and error rates (ER) in percentages were calculated for target words associated with correct behavioral responses only¹⁸. Participants who made 50% or more errors were excluded since it was felt that they had

¹⁸ The average RT and ER were calculated for targets presented to the center visual field in order to verify whether a gender difference was not related to general language ability differences in central vision, when both hemispheres have access to the word information. Two analyses of variance Gender x Handedness were conducted on phonological data, and neither the variable Handedness (Phonology RT: $F_{(1, 65)} = .01$, $p = .93$, ER: $F_{(1, 65)} = .78$, $p = .38$) nor the variable Gender revealed a significant effect (Phonology RT: $F_{(1, 65)} = .00$, $p = .94$, ER: $F_{(1, 65)} = .83$, $p = .36$). Two other analyses of variance Gender x Handedness were conducted on semantic data, and again neither the variable Handedness (Semantic: RT: $F_{(1, 65)} = .12$, $p = .74$, ER: $F_{(1, 65)} = 1.02$, $p = .32$) nor the variable Gender yielded a significant effect (Semantic RT: $F_{(1, 64)} = .017$, $p = .89$, ER: $F_{(1, 65)} = .01$, $p = .92$).

not understood the task instructions, or that they were simply responding randomly (phonological task: 4 participants; semantic task: 3 participants). Trials that exceeded 3000 ms were not taken into account since they were outside the recorded time window. Trials for which RT was above or below +2 or -2 standard deviations with reference to the mean for all groups were considered as outliers, and were therefore excluded from further calculations. This procedure is commonly used in the divided visual field paradigm with unilateral presentation (e.g., Taylor, 2002).

In order to seek out possible gender differences according to handedness group in performance asymmetries, the phonological and semantic data for right- and left-handers were subject to separate statistical analyses. For each group two separate analyses of variance were performed on averaged RT and ER, respectively. Gender constituted the between variable and the LVF and RVF were the two levels of the Visual Fields within variable (2 x 2: VISUAL FIELD x GENDER). Here, the Greenhouse–Geisser procedure was used to control for Type 1 errors. The significant alpha level was set at 0.05.

4.1. Response times

With respect to RT, the analyses on phonological or semantic data did not yield any significant main or interaction effects implicating the variable Gender in either right- or left-handed participants. In each group, men and women answered the words with the same speed whether the task called for phonological or semantic processing. That observation was not modulated by the visual field variable. The results will be further investigated according to handedness group.

In right-handers, both men and women responded faster to words in the RVF (LH) (phonology: $x = 804.34$, $SD = 119.03$; semantics: $x = 766.13$, $SD = 117.29$) than the LVF (RH) (phonology: $x = 834.55$, $SD = 124.70$; semantics: $x = 806.31$, $SD = 132.32$) and those visual field differentiations achieved significance (phonology: $F_{(1, 33)} = 25.68$, $p \leq .01$; semantics: $F_{(1, 33)} = 47.10$, $p \leq .01$). All left-handed participants also demonstrated a speed bias toward the RVF (LH) (phonology: $x = 781.59$, $SD = 101.73$; semantics: $x = 745.46$, $SD = 99.53$) over the LVF (RH) (phonology: $x = 805.35$, $SD = 109.37$; semantics: $x = 770.66$, $SD = 112.36$). Again, those lateral visual field dissimilarities reached over the significance level (phonology: $F_{(1, 33)} = 24.33$, $p \leq .01$; semantics: $F_{(1, 32)} = 27.56$, $p \leq .01$).

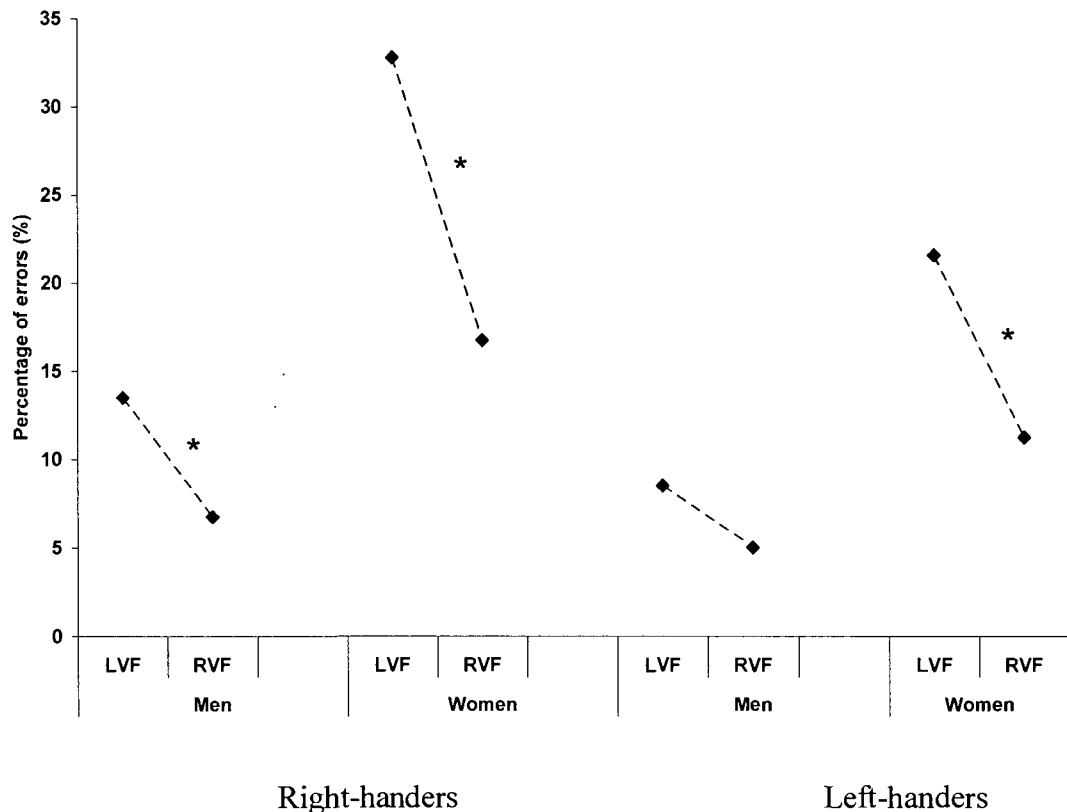
4.2. Accuracy

The analysis of accuracy data yielded different gender patterns according to handedness in both phonological and semantic processing. We shall describe the results for phonological and semantic processing separately for the two groups.

Concerning phonological processing in right-handers, both the between and the within variable produced significant main effects (Gender: $F_{(1, 33)} = 38.43$, $p \leq .01$; Visual Field: $F_{(1, 33)} = 18.01$, $p \leq .01$). That is to say, men made fewer errors than women in both the RVF and LVF, while men and women as a group made fewer errors in the RVF than the LVF. The gender and visual field variables interacted (Gender x Visual Field: $F_{(1, 33)} = 6.39$, $p \leq .01$), but the RVF advantage still remains the laterality

pattern for both men and women (men: $F(1, 32) = 7.16, p \leq .05$; women: $F(1, 32) = 35.96, p \leq .01$).

In left-handers, the phonological analyses also showed a significant main effect for gender ($F(1, 33) = 14.55, p \leq .01$) and for visual field ($F(1, 33) = 10.89, p \leq .01$). Men made fewer errors than women in both visual fields, whereas both men and women made fewer errors in the RVF. The interaction effect did not attain significance, but it approached it; consequently, a decomposition was justifiable ($F(1, 33) = 3.59, p = .067$). And, as Figure 1 reveals, an RVF advantage stands out for women ($F(1, 33) = 15.86, p \leq .01$) whereas no visual advantage was found for men.

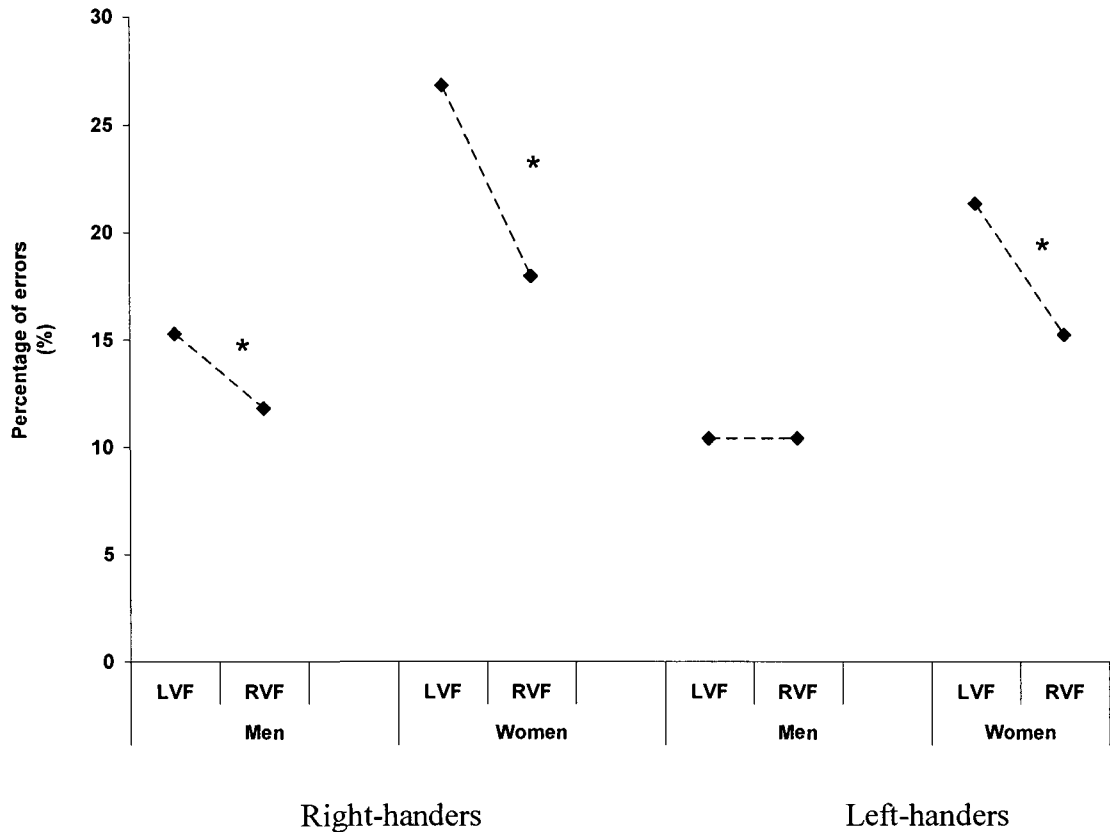


* $p \leq 0.05$

Figure 1- Means of percentage of errors across lateral visual fields according to gender for right- and left-handers during phonological processing

Relative to semantic processing, all results were significant in right-handers, namely the gender ($F_{(1, 34)} = 8.07, p \leq .01$) and visual field effects ($F_{(1, 34)} = 25.82, p \leq .01$), as well as their interaction ($F_{(1, 34)} = 4.9, p \leq .05$). Grouping both visual fields together, men were more accurate than women. For all participants as a group, words were responded to better in the RVF than the LVF. However, as the interaction decomposition in Figure 2 shows, the visual field effect was still observed for both men and women. Analysis indicated that the RVF was more efficient than the LVF for right-handed people of both genders (men: $F_{(1, 34)} = 4.1, p \leq .05$; women: $F_{(1, 34)} = 26.64, p \leq .01$).

In left-handers, a gender difference was found ($F_{(1, 31)} = 5.7, p \leq .05$) while the difference between the visual fields was not so sharp ($F_{(1, 31)} = 3.9, p = .06$). This latter main effect can be understood by examining Figure 2. An asymmetry in favor of the RVF is marked for women, whereas no visual field bias prevails in men. These observations are moreover expressed by an interaction gender x visual field that approached closely the significance level ($F_{(1, 31)} = 3.9, p = .06$) and a significant simple effect only for women ($F_{(1, 31)} = 7.6, p \leq .01$).



* $p \leq 0.05$

Figure 2- Means of percentage of errors across lateral visual fields according to gender for right- and left-handers during semantic processing

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

The goal of this study was to compare gender differences in the laterality patterns of right- and left-handers for the phonological and semantic processing of words. In general, a gender difference pattern between handedness groups was expected for phonological processing. More specifically, a gender difference in phonological processing was predicted for right-handers.

The results revealed a significant gender difference pattern in accuracy data. These data confirm a gender difference in the LH's and RH's phonological processing

abilities between right- and left-handers. However, the laterality patterns in men and women did not correspond to what we had expected. Firstly, among right-handers, both genders processed the words similarly, that is, substantially more efficiently in their RVF-LH than their LVF-RH (even though there is a significant interaction gender x visual, laterality patterns favor the RVF over LVF for both genders). Secondly, among left-handers, both genders acted differentially across visual fields: whereas women presented an asymmetry favoring the RVF over the LVF, men were equally skilled in responding to the words whether they were projected to the RVF or the LVF. Beyond our expectations, there was also a gender difference in semantic laterality patterns between right- and left-handers. A clear gender difference laterality pattern was found in left-handers where, once again, men showed no visual field asymmetry in comparison to women. Conversely, both men and women right-handers showed a definite RVF advantage (once again that laterality patterns occurred despite a significant interaction effect). To shed some light on the findings, let us examine in more detail the results according to type of word processing.

5.1. Gender-linked question and laterality pattern in right-handers

When engaged in phonological processing of words, right-handed men and women demonstrated a leftward visual field bias in terms of RTs and ERs. This result suggests that, regardless of gender, the right-handers' LH appears to be better equipped than the RH for processing words phonologically. That finding is in line with the well-established concept of the LH's dominance for phonological processing and its

corollary: the RH's inability to access phonological information in right-handers (see Joanette et al., 1990).

Likewise, when right-handers were asked to perform the semantic task, both men and women processed words significantly faster and more accurately with their LH than their RH. That finding might, at first glance, seem to contradict the claim that the RH has semantic abilities; however, we must bear in mind that semantic processing is lateralized in the LH in right-handers (see Gernsbacher & Kaschak, 2003). Moreover, it is not unusual to find the LH to be superior to the RH in semantic studies employing visual field paradigm (see Joanette et al., 1990). That hemispheric advantage finding may not, however, mean that the RH was totally unable to process words semantically. The ad hoc comparison between the phonological and semantic RT data in the LVF indicated a significant difference ($F_{(1, 34)} = 3.68, p \leq .05$). Even though this finding is far from allowing us to say that the RH is specifically qualified for semantic processing, it does suggest that the RH possesses some abilities to process words semantically.

The absence of gender differences in perceptual laterality patterns in right-handers does not necessary mean that gender difference in language lateralization is elusive. The results found here may reflect the reality evoked by Hiscock and Voyer in their meta-analyses: gender dissimilarity is observed only sporadically, since this difference is weak at the population level—in right-handers (Hiscock et al., 1994, 1995; Voyer, 1996).

5.2 Gender-linked question and laterality pattern in left-handers

In left-handers, what essentially draws one's attention is the gender difference pattern for both phonological and semantic processing in terms of ER data. Whereas the results suggest LH dominance in women, there was a lack of any statistically significant effect across visual fields for men. Thus, in left-handed men, both hemispheres appear able to perform both phonological and semantic processing. This equi-hemispheric capacity pattern seems to be very robust since it remains unaltered by a modification of the language component. The RH of left-handed men seems to present more general language abilities than the RH of left-handed women. Since the direction of that gender difference — that is, women seem to be more LH-lateralized than men — is at variance with the gender difference hypothesis, it would be unwise to interpret the results immediately. The finding is intriguing enough to merit our interest. Hopefully, it will motivate investigations of gender differences in left-handers in terms of their cerebral organization for language.

6. GENERAL DISCUSSION

To ensure maximum visual field difference or hemispheric independence, it would perhaps have been a better idea to project different stimuli bilaterally (Boles, 1983, 1987, 1990, 1994). However, this recently introduced paradigm is not as widespread as the one we used here (Faure, 2003). In addition, the mechanism for a bilateral presentation advantage is far from clear (see Boles, 1990), and this would have made the results difficult to interpret. Lastly, since it seems to be more difficult to detect

visual field differences with the paradigm used in this experiment, one needs to be confident of the reliability of the perceptual laterality differences we found.

In line with the previous paragraph, we interpreted our findings as if the hemispheres were contributing independently and thus the assessment of performance in each visual field reflected differential LH and RH language abilities. However, it is possible that the results also reflect the hemispheric need to relay information through the corpus callosum in order to achieve a successful processing. It may be the case that the more general gender differences favoring men in phonological and semantic accuracy express a gender-linked difference in the RH's dependence on the LH's specialized language capacities. Despite the ongoing controversy about possible gender-linked morphological differences in the corpus callosum (see Beaton, 1997), our results may indicate that a more efficient connection between hemispheres is needed in women than in men.

Other possible explanations than a difference in how the hemispheres process language may also be considered. First, perhaps the reported difference may be rooted in the notion that asymmetric processing is related to a variation in a stable individual trait sometimes called "characteristic arousal asymmetry" (Levy, Heller, Banich, & Burton, 1983) or "hemispheric utilization bias" (Spencer & Banich, 2005). In this view, each individual has a natural tendency to arouse one hemisphere more than the other or both equally (Levy et al., 1983). However, it is unlikely that the gender differences found here are due to that characteristic since it does not appear to vary according to gender or handedness (Eviatar et al., 1997; Kim, Levine, & Kertesz, 1990).

Second, it is reasonable to wonder whether the laterality pattern difference in left-handers may relate more to the neural control of hands than to language representation. Even though many studies have shown that left-handers are less asymmetric in terms of hand skill (Gorynia & Egenter, 2000), this would not explain the gender difference patterns found here. It is noteworthy that Gorynia and Egenter (2000) reported no significant gender difference in intermanual coordination.

In conclusion, our findings suggest that gender may have a different impact on the hemispheric abilities of right- versus left-handed individuals. Hopefully, an increase in the number of language studies comparing right- and left-handers will contribute new knowledge and may help to strengthen the conclusions drawn from this work.

7. REFERENCES

- Beaton, A. (1997). The relation of planum temporale asymmetry and morphology of the corpus callosum to handedness, gender and dyslexia: A review of the evidence. *Brain and Language*, 65, 255–322.
- Binder, J. R., Rao, S. M., Hammeke, T. A., Frost, J. A., Bandetti, P. A., Jesmanowicz, A., et al. (1995). Lateralized human brain language systems demonstrated by task subtraction functional magnetic resonance imaging. *Archives of Neurology*, 52, 593–601.
- Boles, D. B. (1983). Hemispheric interaction in visual field asymmetry. *Cortex*, 9, 99–113.
- Boles, D. B. (1987). Reaction time asymmetry through bilateral vs. unilateral stimulus presentation. *Brain and Cognition*, 6, 321–333.
- Boles, D. B. (1990). What bilateral displays do. *Brain and Cognition*, 12, 205–208.
- Boles, D. B. (1994). An experimental comparison of stimulus type, display type, and input variable contributions to visual field asymmetry. *Brain and Cognition*, 24, 184–197.
- Broca, P. (1865). Sur le siège de la faculté du langage articulé. *Bulletin de la Société d'Anthropologie*, 6, 337–393.
- Bryden, M. P. (1988). An overview of the dichotic listening procedure and its relation to cerebral organization. In K. Hugdahl (Ed.), *Handbook of dichotic listening: Theory, methods and research* (pp. 1–43). Chichester, UK: John Wiley.
- Cowell, P., & Hugdahl, K. (2000). Individual differences in neurobehavioral measures of laterality and interhemispheric function as measured by dichotic listening. *Developmental Neuropsychology*, 18, 95–112.
- Dax, M. (1836/1865). Lésions de la moitié gauche de l'encéphale coïncident avec l'oubli des signes de la pensée (lu à Montpellier en 1836). *Bulletin hebdomadaire de médecine et de chirurgie*, 2, 259–262.

- Eviatar, Z., Hellige, J. B., & Zaidel, E. (1997). Individual differences in lateralization: Effects of gender and handedness. *Neuropsychology*, 11, 562–576.
- Faure, S. (2003). Analyse en champ visuel divisé. INSERM training workshop “Méthodes en neuropsychologie: application à l’étude de la mémoire et du langage,” March 17–18, Montpellier.
- Frost, J. A., Binder, J. R., Springer, J. A., Hammeke, T. A., Bellgowan, P. S., Rao, S. M., & Cox, R. W. (1999). Language processing is strongly left lateralized in both sexes. Evidence from functional MRI. *Brain*, 122, 199–208.
- Gernsbacher, M. A., & Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology*, 54, 91–114.
- Gorynia, I., & Egenter, D. (2000). Intermanual coordination in relation to handedness, familial sinistrality and lateral preferences. *Cortex*, 36, 1–18.
- Hécaen, H., & Sauguet, J. (1971). Cerebral dominance in left-handed subjects. *Cortex*, 7, 19–48.
- Hellige, J. B., Bloch, M. I., Cowin, E. L., Eng, T. L., Eviatar, Z., & Sergent, V. (1994). Individual variation in hemispheric asymmetry: Multitask study of effects related to handedness and sex. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, 235–256.
- Hiscock, M., Inch, R., Jacek, C., Hiscock-Kalil, C., & Kalil, K. M. (1994). Is there a sex difference in human laterality? I. An exhaustive survey of auditory laterality studies from six neuropsychological journals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16, 423–435.
- Hiscock, M., Israelian, M., Inch, R., Jacek, C., & Hiscock-Kalil, C. (1995). Is there a sex difference in human laterality? II. An exhaustive survey of visual laterality studies from six neuropsychology journals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 590–610.
- Hund-Georgiadis, M., Lex, U., Friederici, A. D., & Von Cramon, D. Y. (2002). Non-invasive regime for language lateralization in right- and left-handers by means of

- functional MRI and dichotic listening. *Experimental Brain Research*, 145, 166–176.
- Inglis, J., & Lawson, J. S. (1981). Sex differences in the effects of unilateral brain damage on intelligence. *Science*, 212, 693–695.
- Jaeger, J. J., Lockwood, A. H., Van, V. R., Kemmerer, Jr., D. L., Murphy, B. W., & Wack, D. S. (1998). Sex differences in brain regions activated by grammatical and reading tasks. *NeuroReport*, 9, 2803–2807.
- Joanette, Y. (1989). Aphasia in left-handers and crossed aphasia. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of neuropsychology*, 2 (pp. 173–183). Amsterdam: Elsevier.
- Joanette, Y., Goulet, P., & Hannequin, D. (1990). *Right hemisphere and verbal communication*. New York: Springer.
- Josse, G., & Tzourio-Mazoyer, N. (2004). Hemispheric specialization for language. *Brain Research Review*, 44, 1–12.
- Kansaku, K., Yamaura, A., & Kitazawa, S. (2000). Sex differences in lateralization revealed in the posterior language areas. *Cerebral Cortex*, 10, 866–872.
- Kim, H., Levine, S. C., & Kertesz, S. (1990). Are variations among subjects in lateral asymmetry real individual differences or random error in measurement? Putting variability in its place. *Brain and Cognition*, 14, 220–242.
- Kimura, D. (1983). Sex differences in cerebral organization for speech and praxic functions. *Canadian Journal of Psychology*, 21, 19–23.
- Levy, J. (1972). Lateral specialization of the human brain: Behavioral manifestations and possible evolutionary basis. In J. Kiger (Ed.), *The biology of behavior* (pp. 159–180). Corvallis, OR: Oregon State University.
- Levy, J., Heller, W., Banich, M. T., & Burton, L. (1983). Are variations among right-handed individuals in perceptual asymmetries caused by characteristic arousal differences between hemispheres? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 9, 329–359.

- McGlone, J. (1977). Sex differences in the cerebral organization of verbal functions in patients with unilateral brain lesions. *Brain*, 100, 775–793.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113.
- Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., Bronen, R. A., Shankweiler, D. P., Katz, L., Fletcher, J. M., & Gore, J. C. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, 119, 1221–1238.
- Rasmussen, T., & Milner, B. (1977). The role of early left-brain injury in determining lateralization of cerebral speech functions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 299, 355–369.
- Satz, P. (1979). A test of some models of hemispheric speech organization in the left- and right-handed. *Science*, 203, 1131–1133.
- Sergent, J. (1982). Basic determinants in visual-field effects with special reference to the Hannay et al. (1981) study. *Brain and Language*, 16, 158–164.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., Bronen, R. A., Fletcher, J. M., Shankweiler, D. P., & Katz, L. (1995). Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature*, 373, 607–609.
- Spencer, K. M., & Banich, M. T. (2005). Hemispheric biases and the control of visuospatial attention: An ERP study. *BMC Neuroscience*, 6, 1–9.
- Springer, S. P., & Deutsch, G. (1989). *Left brain, right brain* (3rd ed.). New York: W. H. Freeman.
- Taylor, K. I. (2002). *Semantic language in the right hemisphere: Divided visual field, and functional imaging studies of reading* (Ph.D. thesis). Zurich: University of Zurich.
- Voyer, D. (1996). On the magnitude of laterality effects and sex differences in functional lateralities. *Laterality*, 1, 51–83.

- Walter, N., Beauregard, M. & Joanette, Y. (2002). Semantic single word processing in French: A study in divided visual hemifields. *Brain and Language*, 83, 179–182.
- Walter, N., Cliche, S., Joubert, S., Beauregard, M., & Joanette Y. (2001). Grapheme-phoneme processing of single words. *Brain and Cognition*, 46, 295–299.

Le troisième chapitre a démontré l'influence différentielle d'un facteur *interindividuel* (le genre) sur la dynamique hémisphérique de la phonologie et de la sémantique des mots selon la préférence manuelle. À partir de cette conclusion, il serait intéressant de savoir si l'influence d'un facteur *intra-individuel* telle la complexité du traitement pourrait aussi se différencier selon la préférence manuelle.

CHAPITRE 4

L'INFLUENCE DE LA COMPLEXITÉ DU TRAITEMENT DES MOTS
SUR LA DYNAMIQUE HÉMISPHERIQUE
CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS

Article 3 :**81**

Tremblay, T., Monetta, L. & Joanette, Y. (2009). Complexity and hemispheric abilities: Evidences for a semantic and phonological differential impact. *Brain and Language*, 108, 67-72.

Article 4**111**

Tremblay, T., Joanette, Y. (soumis à *Laterality*). Language dynamic in left- and right-handers: A study of phonological and semantic word complexity.

Avant d'aborder l'influence de la complexité du traitement phonologique et sémantique sur la dynamique hémisphérique des gauchers, il est important d'étudier au préalable la problématique chez les droitiers. La raison est simple : l'influence de la complexité du traitement lors de tâche langagières est peu connue chez les droitiers.

Article 3

**Complexity and hemispheric abilities:
Evidences for a semantic and phonological differential impact.**

1. ABSTRACT	89
2. INTRODUCTION	90
3. METHODOLOGY	94
3.1 Participants	94
3.2 Tasks	95
3.3 Stimuli	95
3.4 Procedure	97
4. RESULTS	98
4.1 Response times	101
4.2 Accuracy	102
5. DISCUSSION	104
5.1 Impact of varying complexity on semantic laterality patterns	104
5.2 Impact of varying complexity on phonological laterality patterns	106
6. REFERENCES	110

1. ABSTRACT

The main goal of this study was to determine whether the phonological and semantic processing of words are similarly influenced by an increase in processing complexity. Thirty-six French-speaking young adults performed both semantic and phonological word judgment tasks, using a divided visual field procedure. The phonological complexity of words was controlled by varying their transparency, while semantic complexity was manipulated through prototypicality. As expected, processing complexity modulated semantic and phonological processing differently. The results revealed that an increase in processing complexity lessened the left-hemisphere advantage in semantics, but reinforced it in phonology. It is therefore suggested that right-hemisphere collaboration in complex language processing is profitable only when the particular kind of processing is not strongly lateralized to the left-hemisphere. The results are discussed from the perspective of interhemispheric collaboration.

Keywords: Hemispheric dynamic, complexity, semantic, phonology, divided visual field

2. INTRODUCTION

In the 1960s and 1970s, the communicating brain was studied extensively with hopes of answering the following question: which hemisphere, the left or the right (LH and RH), has a functional advantage for a given cognitive function? At the time, most research efforts in the area of laterality were focused on functional hemispheric differences. In the 1980s, however, most researchers lost interest in the topic, due in part to a shift of focus to the RH and its specific abilities for language.

Recent years have seen a revival of interest in functional cerebral asymmetries on the part of laterality researchers. This is due in part to the advent of a new perception of cerebral functioning. Rather than considering the two hemispheres as dichotomous and independent, the notion of cerebral laterality is now defined more in terms of hemispheric collaboration (e.g., Banich, 1998; Hellige, 1998; Querné, Eustache, & Faure, 2000; Sergent, 1994).

Through the years, many factors have been identified as favoring or restraining hemispheric cooperation. Proficiency due to training (Maertens & Pollman, 2005; Weissman & Compton, 2003) and the age of an individual (Banich & Brown, 2000; Monetta, Ouellette-Plamondon, & Joannette, 2007; Reuter-Lorenz, Stanczak, & Miller, 1999) are among the factors that have been studied because they may affect the hemispheric dynamic. Nonetheless, most of the attention has been paid to task properties and, more particularly, task complexity (Banich & Belger, 1990; Banich & Weissman, 2000; Belger & Banich, 1992, 1998; Hatta, Kawakami, Kogure, & Itoh, 2002; Maertens & Pollman, 2005; Monaghan & Pollman, 2003; Monetta, Ouellette-Plamondon, & Joannette, 2006).

Banich has proposed an elaborate model of hemispheric interaction in terms of task processing complexity (Banich & Belger, 1990; Belger & Banich, 1992, 1998). The central tenet is that a simple task can be performed by one hemisphere whereas a complex task requires the collaboration of both hemispheres. This principle was partially demonstrated by comparing performance on perceptual tasks that differed in their letter-matching complexity (Banich & Belger, 1990; Belger & Banich, 1992). In the easy task, only letters with the same shape were to be paired (shape-identity task: A and A). In the difficult task, the decision was based on matching the name of the letter in uppercase and lowercase (naming-identity task: A and a). The results supported Banich's model in that they demonstrated that the easy letter-matching decision was successfully completed by either the LH or the RH whereas the difficult letter matching task required the participation of both hemispheres.

Although Banich's model has been supported by a number of studies, they too often relate to perceptual processing (Hatta et al., 2002; Maertens & Pollmann, 2005; Monaghan & Pollman, 2003). Thus, it is still unclear whether Banich's hypothesis can be applied to language processing.

It is noteworthy that, although no many investigations have evaluated specifically this hypothesis, the impact of complexity in the language domain was highlighted by more than one study (Belger & Banich, 1998; Gur et al., 1988, 2000; Monetta et al., 2006; Taylor, 2002). Belger and Banich's (1998) study explored a phonological task; the authors compared performance on a rhyme task with performance on letter-matching tasks such as the ones described above (shape- and naming-identity tasks). Although the resolution of the rhyme task is assumed to involve more difficult processing than a

letter-matching task, the results did not suggest that hemispheric collaboration was taking place. This study has enabled investigators to reevaluate the link between complexity processing and hemispheric collaboration by considering the extent to which a task relies on each hemisphere's processing resources. Banich's model has thus integrated the following postulate: there is no gain in performance from soliciting the RH's resources when the resolution of a task depends essentially on the LH, as phonological processing does (Belger & Banich, 1998; see also Banich & Brown, 2000).

The impact of complexity and the hemispheric collaboration during semantic tasks have also been studied (Constable et al., 2004; Gur et al., 1988, 2000; Monetta et al., 2006; Taylor, 2002). Except for the studies by Constable et al. (2004) and Gur et al. (1988), all the other studies suggested the presence of RH cooperation, that is, that bi-hemispheric collaboration took place during a complex semantic task. However, their methods of evaluating hemispheric collaboration during a demanding task were far from homogeneous, and at times their demonstrations were not straightforward. For example, Monetta et al. (2006) presented triads of words to evaluate the propensity of healthy individuals to associate a target word with its alternative and metaphorical meanings. Participants were required to complete the semantic task alone (isolated condition) or to complete it while performing an interfering countdown task¹⁹ (dual-task condition). The dual-task condition was considered to overtax one hemisphere's resources compared to the isolated condition. The results showed that the semantic task was more accurately performed in the isolated condition than in the dual-task condition. Monetta et al. (2006) then compared the performance of their healthy participants with that of right-

¹⁹ Participants had to count down by twos, starting at 100, and maintain a steady pace.

hemisphere-damaged (RHD) patients who had previously been tested with the same task in the isolated condition (Gagnon, Goulet, Giroux, & Joannette, 2003). They found that healthy participants placed in the dual-task condition performed as poorly as the RHD patients in the isolated condition. Monetta and colleagues concluded that, when the intact RH's resources are overtaxed, its performance reproduces that of an injured RH. In light of their overall results, the authors suggested that, during an effortful semantic word-processing task, the RH supports its LH counterpart.

Gur et al. (2000) and Taylor (2002) provided more straightforward evidence of the RH's participation. Indeed, both of these studies revealed bi-hemispheric activation during demanding semantic processing while, only unilateral patterns of activation were found in the LH during the less demanding processing condition. However, they manipulated the complexity level in different ways.

On one hand, Taylor (2002) manipulated the instruction demand. Paired stimuli were centrally presented and participants had to judge whether both of them were words (lexical matching judgment) or whether they belonged to the same semantic category (semantic matching judgment). It was assumed that both types of tasks represent different levels of complexity processing since, unlike the lexical task, the semantic task required the retrieval of full semantic information. On the other hand, Gur et al.'s (2000) manipulated the complexity processing within the same task (a semantic

judgment task) using easy and difficult four-choice analogies adapted from the Scholastic Aptitude Test (see Gur et al., 1988).²⁰

Given the modest number of studies investigating the effect of complexity on phonological and semantic processing, it is reasonable to assume that the effect of varying language complexity on the hemispheric dynamic has yet to be demonstrated. Hence, the objective of the present study was to determine whether the phonological and semantic complexity of words has a similar impact on the hemispheric dynamic. To address the question of hemispheric laterality, the present study elected to measure perceptual asymmetries with a unilateral, divided visual field paradigm.

Based on the aforementioned studies, it is generally predicted that the RH will support its LH counterpart during a complex language task only when the processing is semantic and not when it is phonological. In a divided visual field paradigm, therefore, it is expected that the right visual field advantage will be reduced for difficult words, as opposed to easy words, and for semantic processing only.

3. METHODOLOGY

3.1 Participants

Thirty-six participants (50% women) between the ages of 20 and 31 (mean: 24.1 years) were recruited through classified advertisements. The average level of education was 15.9 years, with a standard deviation of 1.95.

²⁰ An example of an easy analogy would be "Sailor is to navy as soldier is to a) gun, b) cap, c) hill, or d) army," and an example of a difficult analogy would be "Thoughts are to brains as steam is to a) water, b) vapor, c) boiling, or d) heat."

All participants spoke French as their native tongue and were right-handed (mean laterality quotient of +88.3, range of +74 to +100, according to the Edinburgh Handedness Inventory Test; Oldfield, 1971). All had normal or corrected-to-normal vision; none had experienced any major neurological episodes or conditions; none had any history of substance abuse; and all were medication free.

3.2 Tasks

Both tasks required explicit judgments regarding isolated words. The phonological task called for a grapheme-phoneme match while the semantic task asked for a category membership decision (Walter, Beauregard, & Joanette, 2002; Walter, Cliche, Joubert, Beauregard, & Joanette, 2001).

3.3 Stimuli

The stimuli used during the phonological and semantic tasks consisted of 128 French common nouns controlled for length and lexical frequency (Content et al., 1990) and are described in Walter et al. (2001) and Walter et al. (2002), respectively. Each stimulus pool contained 64 targets, divided into two levels of difficulty.

Semantic targets belonged to the semantic category “animal” and were defined according to their prototypicality level, as established by Walter, Beauregard,

Bourgouin, Beaudoin, and Joannette (1998)²¹. Thirty-two targets represented animals with a high degree of prototypicality and were thus considered easy (e.g., chat / 'cat'). Thirty-two other targets corresponded to animals with a low degree of prototypicality (e.g., meduse / 'jellyfish') and were thus considered difficult. Sixty-four stimuli did not belong to the semantic category "animal" and did not imply degree of difficulty. They were labeled distracters.

In phonological task, targets contained within their sublexical segments the sound /o/, and the degree of difficulty was manipulated by grapho-phonemic transparency. Transparent targets, called for a regular transformation from orthography to phonology since the sound /o/ was represented by the letter O (32 stimuli). Therefore, they were considered easy. By contrast, non-transparent targets called for an irregular transformation from orthography to phonology since the sound /o/ was not associated to the letter O. Here, the sound /o/ was represented by graphemic expression such as AU or EAU. These stimuli were thus classified as difficult. The 64 distracters did not contain the sound /o/ and were also divided into two different groups according to their level of grapho-phonemic transparency. Half of them were transparent as they did not contain either the sound /o/ or the letter O (e.g. balise/beacon). The other 50% were considered non-transparent as they contained the letter O but not the sound /o/ (e.g. tourbe/peat). Targets and distracters were paired in terms of digraph numbers and frequency (see Walter et al., 2001).

²¹ Briefly, five judges assessed, on a scale of 1 to 7, the degree to which words were prototypical of their semantic cluster. To establish an unambiguous cut-off for both levels of difficulty, the authors selected 32 stimuli ranked 6 or 7, and 32 others ranked 1 or 2.

3.4 Procedure

The experiment took place in a quiet room, with participants seated in front of the computer screen on a chair of adjustable height. During the phonological task participants had to indicate whether a written word contained the sound /o/ or not and during the semantic task they had to indicate whether the stimulus belonged to the category “animal” or not. Participants had to respond quickly and accurately as possible by pressing one of two buttons (yes or no) on the computer keyboard with their index finger (in order to impose a distal musculature movement). All instructions were given both verbally and in writing on the computer screen.

All participants were tested for two 45-minute sessions, with a seven-day fixed interval between sessions. Both tasks were responded once with the right-hand and another time with the left-hand. The order of the tasks and the control of the hand used to respond were counterbalanced between and within participants.

In both the phonological and semantic tasks, the 128 different words appeared randomly in the left, center, or right visual field, for a total of 384 presentations; that is, 128 trials in each position.²² All stimuli were displayed in six blocks of items (blocks A, B, C, D, E, and F), broken up by five pauses. Within each block, the stimuli were equally distributed according to position and type. Moreover, the order of stimulus presentation was distributed evenly among the six blocks.

²² The words were presented in right, left, and center positions, respectively, so that the three visual fields were perfectly matched. The large number of stimuli presented rapidly in each visual condition is a condition necessary to ensure that focus is on word recognition, as opposed to episodic memory (Hunter & Brysbaert, 2007). However, it is plausible that a priming effect was induced.

To ensure that participants kept their gaze directed at the center of the screen, each trial first began with a 200-ms period of fixation on a black dot. The trial then introduced 150-ms word presentations, with 150-ms interstimulus intervals between responses; presentation of the next stimulus was initiated automatically by the participant's response. Participants had a 1500-ms time limit within which to respond. Words were displayed in black letters using Times font and Psyscope software (1.2.5 PPC version) and were presented in a 1.5° to 5.2° angled window located to the right or left of the fixation point. Participants' heads were maintained by a chin rest in a fixed position, such that their eyes were situated 60 cm from the screen. Eye movements were controlled by the use of the chin rest, the shortness of exposure, and the low eccentricity level of all words (see Sergent, 1982). The experimenter further controlled participants' eye movements by verbally instructing them to (1) stare at the central black dot before each trial, and (2) keep their eyes centrally fixated throughout the task. Although it has been criticized, this simple means of controlling eye movements is the most widely used method (Bourne, 2006) and one that has proven to be reliable (Jones & Santi, 1978; Posner, Nissen, & Ogden, 1978). Before the recording of their performance, participants did a short dry run of two practice blocks of 30 stimuli not displayed during the experimental tasks.

4. RESULTS

In each participant, performances of right- and left-hand were merged together. Average response times were calculated for correct behavioral responses and average accuracies data were assessed in terms of average error rates in percentages.

Participants who made 50% or more erroneous answers (in both lateral visual field altogether) were excluded, as it was felt that they did not have the required understanding of the task instructions, or that they were randomly responding to the task (only one participant was actually excluded).

In this study, only targets presented in lateral visual fields were further analyzed. Trials where response times were above or below +3 or -3 standard deviations with reference to the mean for all groups were judged to be outliers, and were therefore excluded from further calculations (for both tasks, less than 5% of the trials were thus excluded). This procedure is commonly used in behavioral studies using the dichotic listening paradigm (e.g., Grimshaw, 1998) or the divided visual field paradigm with unilateral presentation (e.g., Taylor, 2002).

For each participant, data collected for right-and left-hand were merged together. Mean response times and error rates were then calculated for easy and difficult words in the right visual field (RVF) and left visual field (LVF); Table I shows mean response times and error rates. Based on these means, laterality indices were computed for each participant using the following formula: $(LVF - RVF) / (LVF + RVF)$. The laterality index has had a long tradition in laterality research because it separates variance in asymmetry from variance in general magnitude (Papousek & Schuler, 2006). A participant's overall performance, which may influence the statistical analysis, is thus eliminated. Hence, the use of a laterality index helps to keep the focus on the relative performance of the LH and RH. Moreover, the laterality index allows for straightforward interpretation, inasmuch as information for one individual is summarized in one data point (Pivik et al., 1993).

Table I- Mean and standard deviations reaction times and error rates for words presented to the left visual field (LVF) and right visual field (RVF) during phonological and semantic processing.

	Phonological processing				Semantic processing			
	Non-transparent words		Transparent words		Low-prototypicality words		High-prototypicality words	
	LVF	RVF	LVF	RVF	LVF	RVF	LVF	RVF
Response times	863.9 (142)	809.8 (122)	812.2 (113)	800.4 (117)	837.6 (136)	827.1 (149)	782.7 (131)	720.4 (103)
Error rates (%)	27.4 (21.1)	13.63 (11.11)	17.7 (14.6)	9.28 (7.97)	29.2 (16.8)	24.7 (13.2)	12.9 (11.1)	5.1 (5.0)

A positive and a negative value, respectively, identified an RVF advantage and an LVF advantage. Although the calculation of a laterality coefficient for response times is not a common procedure, it has been done before (Grimshaw, 1998; Hunter & Brysbaert, 2007) and has proven to be a good indicator of language asymmetries in visual half-field experiments (Hunter & Brysbaert, 2007).

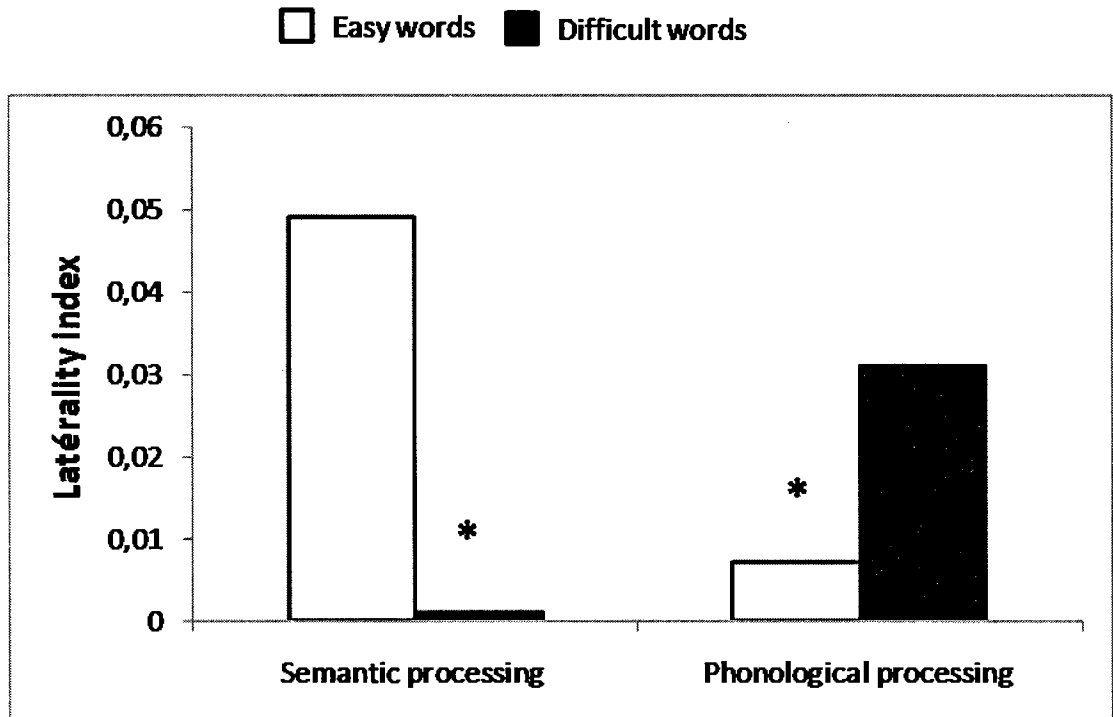
To identify the likely impact of complexity on the phonological and semantic perceptual asymmetries, laterality indices for response times and error rates were tested with ANOVAs, with level of complexity as a repeated measure. Here, the Greenhouse-Geisser procedure was used as a control for Type 1 errors. The significant alpha level was set at .05.

4.1 Response times

Figure 1 shows the laterality indices associated with easy and difficult word processing for the semantic and phonological tasks. Although semantic and phonological laterality indices for easy and difficult words are both very low, differences are nevertheless observable between the two levels of complexity.

With regard to the semantic results, difficult words produced a less pronounced perceptual asymmetry than easy words, and that difference proved to be highly significant ($F_{(1,35)} = 29.0$; $p \leq .001$, $\eta^2 = 0.45$). Easy words were thus analyzed faster in the RVF than in the LVF, whereas the processing of difficult words was performed similarly in both hemifields.

In respect of the phonological results, Figure 1 reveals a mirror image of the semantic pattern. Surprisingly, the perceptual asymmetry is stronger for difficult than easy words and that difference reached a high level of significance ($F_{(1,35)} = 26.63$; $p \leq .001$, $\eta^2 = 0.43$). In other words, easy words were processed at the same speed in both visual fields while difficult words were processed faster in the RVF than the LVF. It should be emphasized that the complexity variable accounted for a non-negligible proportion of the variability in both tasks (45% in the semantic task and 43% in the phonological task).



* $p \leq 0.05$

Note. A positive value signifies a right visual field advantage (left-hemisphere advantage) whereas a negative value means a left visual field advantage (right-hemisphere advantage). Laterality index may vary between -1 and 1.

Figure 1- Laterality indices based on reaction times for semantic and phonological processing according to word complexity

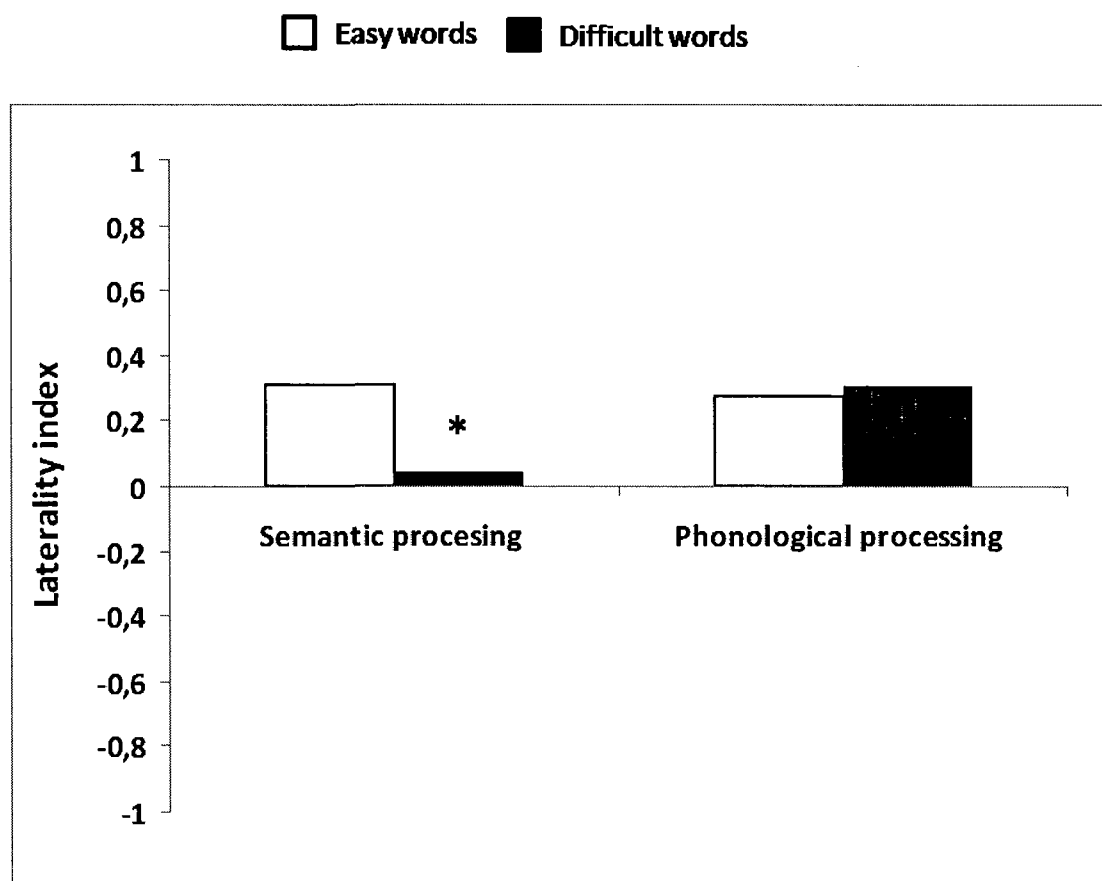
4.2 Accuracy

Figure 2 indicates the laterality indices in terms of error rate data for semantic and phonological processing.

The semantic data show a similar pattern of results to that observed for response times; that is, difficult words yielded smaller positive perceptual asymmetries than easy

words. Similarly, the difference between the laterality indices for easy and difficult words is significant ($F_{(1,35)} = 9.66$; $p \leq 0.05$, $\eta^2 = 0.22$).

In terms of phonological accuracy, Figure 2 reports high positive laterality indices for both easy and difficult words and no significant difference was noted between complexity conditions. In other words, whether words were easy or difficult, as measured by orthographic-transparency, they were better processed in the RVF than the LVF.



* $p \leq 0.05$

Note. A positive value signifies a right visual field advantage (left-hemisphere advantage) whereas a negative value means a left visual field advantage (right-hemisphere advantage).

Figure 2- Laterality indices based on error rates for semantic and phonological processing according to word complexity

5. DISCUSSION

The main goal of this study was to determine whether the phonological and semantic complexity of words influenced the hemispheric dynamic in similar ways. We hypothesized that collaboration by the two hemispheres would be required during the complex semantic processing of words, but not when the processing was phonological, no matter how complex it was.

As expected, the results suggest that complexity processing modulates the hemispheric dynamic associated with phonology and semantics differently. An increase in semantic complexity seems to trigger RH participation, and thus gives rise to interhemispheric collaboration. In contrast, an increase in phonological complexity appears to augment the LH advantage, as evaluated by the response time laterality indices.

5.1 Impact of varying complexity on semantic laterality patterns

Not surprisingly, both easy and difficult words exhibited an asymmetry favoring the RVF. That bias does not, however, suggest that the RH is completely incompetent at such processing, or that it does not contribute to semantics in normal conditions in which both hemispheres are receiving information. It only means that the LH is more efficient at the semantic processing of words than the RH. This suggested LH superiority is consistent with the general LH dominance in word recognition and word comprehension in right-handers (Gernsbacher & Kaschak, 2003).

Moreover, the results revealed a lesser RVF advantage when processing difficult than easy words. On its own, the LH was more proficient at processing high-

prototypicality words such as *dog* than low-prototypicality words such as *jellyfish*. This result suggests that the LH may be fully competent to manage easy semantic processing but requires the RH's assistance when complexity increases. This interpretation of the RH's participation during complex semantic processing (as compared to simple semantic processing) is in accordance with a number of behavioral and imaging studies (Gur et al., 2000; Monetta et al., 2006; Taylor, 2002). It also concurs with the central tenet of Banich's model, namely that interhemispheric cooperation varies dynamically with task complexity (Banich & Belger, 1990; Banich & Weissman, 2000; Belger & Banich, 1992, 1998). For simple tasks, the processing resources of one hemisphere are sufficient and, in fact, are more efficient than interhemispheric collaboration. But for complex tasks, performance is optimized by interhemispheric collaboration, given that a division of labor is now more advantageous. Moreover, the transfer of information from one hemisphere to the other during a semantically demanding task is assumed to be achieved via the corpus callosum channel (Banich & Brown, 2000; Gazzaniga, 2000).

The interpretation could be taken a step further by proposing some plausible explanations of the nature of RH involvement during complex semantic processing. The nature of its contribution could be either specific or non-specific. On one hand, the RH has proven to be specifically involved in the processing of atypical or unusual semantic relationships (Kang, Constable, Gore, & Avrutin, 1999; Seger, Desmond, Glover, & Gabrieli, 2000). That special RH ability has been demonstrated by several studies using a divided visual field procedure (Faust & Lavidor, 2003), event-related potentials (Abdullaev & Posner, 1997), and functional magnetic resonance imaging (Seger et al., 2000). On the other hand, the RH's contribution to processing low-prototypicality

words may be non-specific; that is, it might express a complexity- processing effect. It is known that individuals who have damage in the area of the perisylvian fissure in the RH do not show deficits in the basic aspects of language but demonstrate impairments in the processing of some of its more complex and subtle components (for a review, see Joannette, Goulet, & Hannequin, 1990).

Indeed, patients with an injured RH may exhibit problems with pragmatics, considered to represent “high-level language abilities” (Querné et al., 2000). Moreover, a growing body of studies suggests that the increased RH involvement in processing metaphorical language is more likely a reflection of language complexity than of language specialization (Lee & Dapretto, 2006). In accordance with that hypothesis, some authors have actually proposed that RH involvement is necessary whenever language processing becomes complex (Monetta & Joannette, 2003; Monetta et al., 2006). But if that is correct, the phonological results should be similar to the semantic ones, since two levels of complexity were evaluated in both cases. However, as we hypothesized and demonstrated, a completely different pattern emerged for the phonological processing.

5.2 Impact of varying complexity on phonological laterality patterns

Regardless of the complexity level, the RH did not seem to be involved during the phonological processing of words. The LH bias during the phonological processing of easy words was not attenuated by an increase in complexity. The LH therefore seems to be better than the RH at processing phonological information. This finding resonates with two well-established facts, namely that phonology is strongly LH-lateralized in

right-handers (Tzourio-Mazoyer, Josse, & Mazoyer, 2004) and that grapheme-to-phoneme conversion—a critical component of the task performed in this study—is exclusively the responsibility of the LH in right-handers (Rayman & Zaidel, 1991).

The above finding supports another principle of Banich's model, which restricts the circumstances in which interhemispheric collaboration is beneficial during complex task processing (Belger & Banich, 1998). That principle posits that when task resolution depends crucially on operations that are strongly lateralized to one hemisphere, collaboration between the two hemispheres is useless. The futility of hemispheric interaction in such cases is explained by the impossibility of dividing the information processing between the two hemispheres, and thus the obligation to wait until crucial hemispheric resources become available (Belger & Banich, 1998). Moreover, the results even suggest that as word complexity increases, phonological processing seems to rely more upon the specialized hemisphere. This interpretation appears to be supported by the recent study by Bohland and Guenther (2006), which concluded, among other things, that increased complexity in syllable sequence production led to a reinforcement of cortical activation in the phonological network.

In sum, this study suggests that only the hemisphere with the ability to process a specific language component will become more involved as the process becomes more complex. Moreover, RH participation during complex language processing may be dynamic, as the degree of participation may depend on the language component processed. Moreover, it is assumed that the lateral asymmetries observed stem essentially from hemispheric difference in language performance and are not entirely due to other factors as strategy processing. However, even though the group evaluated in

this study was homogeneous and very well educated, (i.e. participants had 15 years of schooling on average, with a small standard deviation of 1.9) the possibility that individual strategies may have been adopted to resolve the phonological and the semantic tasks cannot be precluded. Along this line, part of the hemispheric asymmetric observed may also be explained by individual differences in the “characteristic arousal asymmetry” (Levy, Heller, Banich, & Burton, 1983) or “hemispheric utilization bias” (Spencer & Banich, 2005). These two expressions denote an individual’s natural tendency to arouse one hemisphere more than the other or both equally (Levy et al., 1983).

One weakness of the present study in explaining the results in terms of interhemispheric collaboration is rooted in the fact that the visual field paradigm used was not specifically designed for that purpose. It will thus be valuable to replicate the experiment using a divided visual field paradigm that was designed to evaluate interhemispheric interaction, such as Zaidel’s paradigm, the redundant paradigm or Banich’s paradigm (for a review, see Bourne, 2006). Zaidel’s paradigm consists of manipulating the responding hand within each participant’s session (counterbalancing trials responded to with the right- or left- hand) in a unilateral presentation of stimuli (Zaidel, 1983, 1986). In that case, the analysis of the responding hand X visual field interaction could allow one to distinguish between hemispheric independence and a trans-callosal mode of interaction (Zaidel, Clarke, & Suyenobu, 1990). It would also be relevant to administer the phonological and semantic tasks to the redundant paradigm, in which information is presented once separately in each visual field and once simultaneously in both visual fields; the efficiency gain obtained with the redundant

condition, as compared to a single copy of the information, can then be attributed to interhemispheric cooperation. In Banich's paradigm, performance is evaluated when crucial information is either presented to one hemisphere alone or one part of the information is directed to the LH and the other part to the RH.

Finally, in order to gain better insight into the influence of language complexity on the hemispheric dynamic, future studies should replicate experiments with phonological and semantic tasks but also evaluate other language components, such as pragmatics, which is known to be lateralized in the RH in right-handers (Joanette et al., 1990).

6. REFERENCES

- Abdullaev, Y. G., & Posner, M. I. (1997). Time course of activating brain areas in generating verbal associations. *Psychological Science*, 8, 56–59.
- Banich, M. T. (1998). Integration of information between the cerebral hemispheres. *Current Directions in Psychological Science*, 7, 32–37.
- Banich, M. T., & Belger, A. (1990). Interhemispheric interaction: How do the hemispheres divide and conquer a task? *Cortex*, 26, 77–94.
- Banich, M. T., & Brown, W. S. (2000). A life-span perspective on interaction between the cerebral hemispheres. *Developmental Neuropsychology*, 18, 1–10.
- Banich, M. T., & Weissman, D. H. (2000). One of twenty questions for the twenty-first century: How do brain regions interact and integrate information? *Brain and Cognition*, 42, 29–32.
- Belger, A., & Banich, M. T. (1992). Interhemispheric interaction affected by computational complexity. *Neuropsychologia*, 30, 923–929.
- Belger, A., & Banich, M. T. (1998). Costs and benefits of integrating information between the cerebral hemispheres: A computational perspective. *Neuropsychology*, 12, 380–398.
- Bohland, J. W., & Guenther, F. H. (2006). An fMRI investigation of syllable sequence production. *NeuroImage*, 32, 821–841.
- Bourne, V. (2006). The divided visual field paradigm: Methodological considerations. *Laterality*, 11, 373–393.
- Constable, R. C., Pugh, K. R., Berroya, E., Mencl, W. E., Weterveld, M., Ni, W., et al. (2004). Sentence complexity, and input modality effects in sentence comprehension: an fMRI study. *NeuroImage*, 22, 11–21.
- Content, A., Mousty, P., & Radeau, M. (1990). Brulex, une base de données lexicales informatisée pour le français écrit et parlé. *L'Année Psychologique*, 90, 551–566.

- Faust, M., & Lavidor, M. (2003). Semantically convergent and semantically divergent priming in the cerebral hemispheres: Lexical decision and semantic judgment. *Cognitive Brain Research*, 17, 585–597.
- Gagnon, P., Goulet, F., Giroux & Y. Joanette. (2003), Processing of metaphoric and non-metaphoric alternative meanings of words after right- and left-hemispheric lesion, *Brain and Language*, 87, 217–226.
- Gazzaniga, M. S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: Does the corpus callosum enable the human condition? *Brain*, 123, 1293–1326.
- Gernsbacher, M. A., & Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology*, 54, 91–114.
- Grimshaw, G. M. (1998). Integration and interference in the cerebral hemispheres: Relations with hemispheric specialization. *Brain and Cognition*, 36, 108–127.
- Gur, R. C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C. L., Maldjian, J. A., et al. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task. *Brain and Language*, 74, 157–170.
- Gur, R. C., Gur, R. E., Skolnick, B. E., Resnick, S., Silver, F. L., Chawluk, J., et al. (1988). Effects of task difficulty on regional cerebral blood flow: Relationships with anxiety and performance. *Psychophysiology*, 25, 392–399.
- Hatta, T., Kawakami, A., Kogure, T., & Itoh, Y. (2002). Effects of type of cognitive demand on bilateral advantage in interhemispheric processing. *Psychological Research*, 66, 133–142.
- Hellige, J. B. (1998). Unity of language and communication: Interhemispheric interaction in the lateralized brain. In B. Stemmer and H. A. Whitaker (Eds.), *Handbook of neurolinguistics* (pp. 405–414). San Diego, CA: Academic Press
- Hunter, Z. R., & Brysbaert, M. (2007). Visual half-field experiments are a good measure of cerebral language dominance if used properly: Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, 46, 316–325.

- Joanette, Y., Goulet, P., & Hannequin, D. (1990). *Right hemisphere and verbal communication*. New York: Springer-Verlag.
- Jones, B., & Santi, A. (1978). Lateral asymmetries in visual perception with or without eye movements. *Cortex*, 14, 164–168.
- Kang, A. M., Constable, R. T., Gore, J. C., & Avrutin, S. (1999). An event-related fMRI study of implicit phrase-level syntactic and semantic processing. *NeuroImage*, 10, 555–561.
- Lee, S. S., & Dapretto, M. (2006). Metaphorical vs. literal word meanings: fMRI evidence against a selective role of the right hemisphere. *NeuroImage*, 29, 536–544.
- Levy, J., Heller, W., Banich, M. T., & Burton, L. (1983). Are variations among right-handed individuals in perceptual asymmetries caused by characteristic arousal differences between hemispheres? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 9, 329–359.
- Maertens, M., & Pollmann, S. (2005). Interhemispheric resource sharing: Decreasing benefits with increasing processing efficiency. *Brain and Cognition*, 58, 183–192.
- Monaghan, P., & Pollmann, S. (2003). Division of labour between the hemispheres for complex but not simple tasks: An implemented connectionist model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 379–399.
- Monetta, L. & Joanette, Y. (2003). The specificity of the contribution of the right hemisphere to verbal communication: The cognitive resources hypothesis, *Journal of Speech-Language Pathology*, 11, 203–211.
- Monetta, L., Ouellet-Plamondon, C., & Joanette, Y. (2006). Simulating the pattern of right hemisphere-damaged patients for the processing of the alternative metaphorical meaning of words: Evidence in favor of a cognitive resources hypothesis. *Brain and Language*, 96, 171–177.

- Monetta, L., Ouellet-Plamondon, C., & Joannette, Y. (2007). Age-related changes in the processing of the metaphorical alternative meanings of words. *Journal of Neurolinguistics*, 20, 277–284.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113.
- Papousek, I., & Schuster, G. (2006). Individual differences in functional asymmetries of the cortical hemispheres. Revival of laterality research in emotion and psychopathology. *Cognition, Brain, Behavior*, 10, 269–298.
- Pivik, R. T., Broughton, R. J., Coppola, R., Davidson, R. J., Fox, N., Nuwer, M. R. (1993). Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. *Psychophysiology*, 30, 547–558.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick & I. J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information* (pp. 137–157). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Querné, L., Eustache, F., & Faure, S. (2000). Interhemispheric inhibition, intrahemispheric activation, and lexical capacities of the right-hemisphere: A tachistoscopic, divided visual-field study in normal subjects. *Brain and Language*, 74, 171–190.
- Rayman, J., & Zaidel, E. (1991). Rhyming and the right-hemisphere. *Brain and Language*, 40, 89–105.
- Reuter-Lorenz, P. A., Stanczak, L., & Miller, A. (1999). Neural recruitment and cognitive aging: Two hemispheres are better than one especially as you age. *Psychological Science*, 10, 494–500.
- Sege, C. A., Desmond, J. E., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. (2000). Functional magnetic resonance imaging evidence for right-hemisphere involvement in processing unusual semantic relationships. *Neuropsychology*, 14, 361–369.

- Sergent, J. (1982). Basic determinants in visual-field effects with special reference to the Hannay et al. (1981) study. *Brain and Language*, 16, 158–164.
- Sergent, J. (1994). Spécialisation fonctionnelle et coopération des hémisphères cérébraux. In X. Seron & M. Jeannerod (Eds.), *Neuropsychologie humaine* (pp. 106–125). Brussels: Mardaga.
- Spencer, K. M., & Banich, M. T. (2005). Hemispheric biases and the control of visuospatial attention: An ERP study. *BMC Neuroscience*, 6, 1–9.
- Taylor, K. I. (2002). *Semantic language in the right hemisphere: Divided visual field, and functional imaging studies of reading*. Ph.D. thesis, University of Zurich.
- Tzourio-Mazoyer, N., Josse, G., & Mazoyer, B. (2004). Interindividual variability in the hemispheric organization for speech. *NeuroImage*, 21, 422–435.
- Walter, N., Beauregard, M., Bourgouin, P., Beaudoin, G., & Joanette, Y. (1998). More difficult does not necessarily mean more brain: fMRI correlates of distinct levels of difficulty for phonological and semantic processing of words in normal subjects. *Brain and Language*, 65, 90–92.
- Walter, N., Beauregard, M., & Joanette, Y. (2002). Semantic single word processing in French: A study in divided visual hemifields. *Brain and Language*, 83, 179–182.
- Walter, N., Cliche, S., Joubert, S., Beauregard, M., & Joanette, Y. (2001). Grapheme-phoneme processing of single words. *Brain and Cognition*, 46, 295–299.
- Weissman, D. H., & Compton, R. J. (2003). Practice makes a hemisphere perfect: The advantage of interhemispheric recruitment is eliminated with practice. *Laterality*, 8, 361–375.
- Zaidel, E. (1983). Disconnection syndrome as a model for laterality effects in the normal brain. In J. Hellige (Eds.), *Cerebral hemisphere asymmetry* (pp. 95–151). New York: Praeger.
- Zaidel, E. (1986). Callosal dynamics and right hemisphere language. In F. Lepore, M. Ptito, & H. H. Jasper (Eds.), *Two hemispheres—one brain: Functions of the corpus callosum* (pp. 435–459). New York: Alan R. Liss.

Zaidel, E., Clarke, J. M., & Suyenobu, B. (1990). Hemispheric independence: A paradigm case for cognitive neuroscience. In A. B. Scheibel & A. F. Wechsler (Eds.), *Neurobiology of higher cognitive function* (pp. 237–355). New York: Guilford.

Maintenant que l'influence de la complexité du traitement phonologique et sémantique sur la dynamique hémisphérique est éclaircie, il est possible d'ajouter la comparaison droitiers-gauchers.

Article 4

Language dynamic in left - and right-handers: A study of phonological and semantic word complexity

1. ABSTRACT	118
2. INTRODUCTION	119
3. METHODOLOGY	125
3.1. Participants	125
3.2. Tasks	126
3.3. Stimuli	126
3.4. Procedure	127
3.5. Analyses	129
<i>3.5.1. Laterality indices based on error rates</i>	130
<i>3.5.2. Testing Zaidel models with response times</i>	130
4. RESULTS	132
4.1. Error rates	132
<i>4.1.1. Phonological results</i>	132
<i>4.1.2. Semantic results</i>	133
4.2. Response times	134
<i>4.2.1. Phonological results</i>	134
<i>4.2.2. Semantic results</i>	138
5. DISCUSSION	141
5.1. Influence of phonological complexity on word processing	142
5.2. Influence of semantic complexity on word processing	145
6. REFERENCES	148

1. ABSTRACT

The present study is an extension of Tremblay, Monetta, and Joannette's (submitted) study. The goal was to compare the hemispheric dynamic of right- and left-handers for the phonological and semantic processing of words that varied according to their complexity. Hemispheric asymmetries and hemispheric processing mode were evaluated using a divided visual field paradigm in which the responding hand was systematically manipulated. An inter- versus intrahemispheric mode of processing was assessed by testing Zaidel's hypothesis (direct access versus callosal relay hypothesis). With regard to hemispheric asymmetries, increased word complexity was associated with a reduced left-hemisphere advantage in right- and left-handers for semantics, whereas no such relationship was present for phonology. In spite of similar laterality patterns in relation to complexity processing, the right hemisphere of left-handers performed better than the right hemisphere of right-handers. However, the results suggest a similar hemispheric mode of processing for both handedness groups. Phonological processing seems to occur intrahemispherically, no matter how complex the words are. The results for semantics do not provide any evidence supporting either direct access or callosal relay, but the hemispheric modes of processing are discussed in light of the hemispheric performance found.

2. INTRODUCTION

The form and the sense of words are fundamental language components known, respectively, as phonology and semantics. Although it is well known that the left hemisphere (LH) is lateralized for cognitive functions related to language, phonology and semantics present different functional brain asymmetry. Along a continuum from right hemisphere (RH) to LH lateralization, phonology may be positioned at one end, as it depends strongly on the LH (Gernsbacher & Kaschak, 2003; Joanette, Goulet, & Hannequin, 1990), whereas semantics may be somewhere in the middle, as its functional asymmetry is less pronounced than phonology (Gernsbacher & Kaschak, 2003; Taylor & Regard, 2003). During word recognition tasks, functional brain asymmetries for different language components are extensively evaluated on a behavioral level using a split visual field method (Hellige, 1993). That procedure takes advantage of the partially crossed fibers of the visual system, which ensures that a stimulus presented in the left visual field (LVF) is directed to the RH, while a stimulus projected to the right visual field (RVF) arrives in the LH (see Bourne, 2006, for a review of the technique).

With the divided visual field technique, numerous studies have found that printed words are recognized faster and more accurately when they are presented in the RVF than in the LVF (Hellige, 1993). This perceptual asymmetry is known to reflect the general LH lateralization for language and in particular its greater efficiency at dealing with single words. However, this RVF superiority is far from absolute or static but may vary according to the participant's biological characteristics such as handedness and gender (Faure, 2001). Although the influence of gender on language functional asymmetries remains controversial, there is more evidence that handedness modulates

such asymmetries (Tzourio-Mazoyer, Josse, & Mazoyer, 2004). Indeed, researchers have repeatedly reported a reduced RVF advantage for left- than in right-handed participants during word recognition tasks (Eviatar, Hellige, & Zaidel, 1997; Hellige, 1993; Hellige et al., 1994). More recently, neuroimaging data has supported these behavioral results: language functional asymmetries are less marked in left- than right-handers (see Hatta, 2007, for a review). In addition to evaluating hemispheric advantage, the divided visual field procedure can also be useful for studying hemispheric modes of processing. In other words, it allows one to find out whether both hemispheres work independently or collaborate during task performance (intra- versus interhemispheric mode of processing; Bourne, 2006).

To better understand hemispheric modes of processing during cognitive tasks, much effort has been devoted to identifying factors that may modulate hemispheric cooperation. Among these factors, the subject's age and expertise due to training have been pinpointed as capable of inducing variation in hemispheric interaction (Banich & Brown, 2000; Maertens & Pollman, 2005; Monetta, Ouellet-Plamondon, & Joannette, 2007; Weissman & Compton, 2003). However, the complexity of the items to be processed is another much studied variable (Banich & Belger, 1990; Banich, Goering, Stolar, & Belger, 1990; Banich & Weissman, 2000; Belger & Banich, 1992, 1998; Eviatar et al., 1997; Hatta, Kawakami, Kogure, & Itoh, 2002; Maertens & Pollman, 2005; Monaghan & Pollman, 2003; Taylor, 2002; Tremblay, Monetta, & Joannette, submitted). The interest in this factor stems in part from Banich's model, which offered a comprehensive link between hemispheric processing mode and computational

complexity (e.g., mental operations required to perform a cognitive task; Banich & Belger, 1990; Belger & Banich, 1992, 1998).

The central tenet of Banich's model is that interhemispheric collaboration occurs when computational complexity increases (Banich & Belger, 1990; Belger & Banich, 1992). Whereas simple tasks may be accomplished successfully with an intrahemispheric mode of processing by either the RH or the LH, the resolution of complex tasks may benefit from the collaboration of both hemispheres. However, conditions linked to task laterality may limit that interhemispheric advantage during highly demanding processing (Belger & Banich, 1998). When task laterality is weak, that is, when the crucial cognitive operations required to execute a task may be performed by either the RH or the LH, interhemispheric collaboration will become beneficial as complexity increases. By contrast, Banich's model predicts an intrahemispheric mode of processing, regardless of implied level of computational complexity, for tasks whose fundamental cognitive operations can be performed by only one hemisphere. In other words, hemispheric collaboration may not be profitable during the execution of a strongly lateralized task.

The majority of divided visual field studies have tested Banich's model by focusing on perceptual matching tasks (Banich & Belger, 1990; Banich & Weissman, 2000; Belger & Banich, 1992, 1998; Hatta et al. , 2002; Maertens & Pollman, 2005; Monaghan & Pollman, 2003; Eviatar et al. , 1997). Few studies to date have evaluated it by means of language tasks (Belger & Banich 1998; Taylor, 2002; Tremblay et al., submitted).

Taylor's (2002) study evaluated hemispheric performance during a lexical and a semantic matching task. It was assumed that the two tasks represent different levels of complexity processing since, unlike the lexical task, the semantic task required the retrieval of full semantic information. Paired stimuli were presented in the RVF or the LVF and participants had to judge whether both stimuli were words or belonged to the same semantic category (e.g., animals, fruits and vegetables, clothing and containers). The data showed that the lexical decision condition produced the typical RVF advantage (i.e., LH advantage), whereas the category matching task evidenced no perceptual advantage in terms of response time (i.e., no hemispheric advantage). Taylor therefore suggested that the two hemispheres need to collaborate during complex but not simple semantic processing. That finding resonates with Banich's prediction that hemispheric collaboration will occur during a complex task when the processing type involved is not strongly lateralized (Belger & Banich, 1998).

The original visual field paradigm used by Belger and Banich (1998) involved a rhyming task in which information is either entirely projected to one visual field (within-hemisphere condition) or divided between both hemifields (across-hemisphere condition). An across-hemisphere advantage supposed to reflect hemispheric collaboration in a "normal" situation, that is, when stimuli are centrally presented and thus available simultaneously to both hemispheres. Participants must decide whether the word presented vertically in the RVF or LVF rhymes with one of two letters. In these rhyming trials, the appropriate target letter is presented half the time in the same visual field as the target word and half the time in the opposite visual field. Thus, rhyming trials are equally distributed between within- and across-hemisphere conditions.

Although the type of decision involved here is considered to be highly demanding at the cognitive level, Belger and Banich's results did not reveal an across-hemisphere advantage. According to the authors, the link posited by the Banich model between task laterality and interhemispheric collaboration was therefore confirmed: hemispheric collaboration does not facilitate the performance of a strongly task lateralized. However, Belger and Banich (1998) did not manipulate the level of complexity within the rhyme task. The rhyme task was considered to be the difficult condition in comparison to a letter matching task. The easy condition called for perceptual and not language processing. Thus, it remained unclear what would occur if both the easy and difficult conditions involved strongly lateralized processing.

The uncertain relationship between complexity processing, hemispheric collaboration and task laterality in the language domain motivated the recent study by Tremblay et al. (submitted). The authors evaluated hemispheric asymmetries in right-handers during phonological and semantic explicit judgment tasks wherein the complexity of the word stimuli was systematically manipulated. In the phonological task, target words varied with regard to their grapho-phonemic transparency (transparent or non-transparent). In the semantic task, target words represented animals that varied in terms of their prototypicality (low or high prototypicality). Although an RVF advantage was observed for both kinds of processing, the results suggested that computational complexity modulates phonological and semantic processing of words in different ways. Indeed, an increase in semantic complexity gave rise to a reduced RVF advantage whereas an increase in phonological complexity strengthened the perceptual asymmetry favoring the RVF.

Therefore, knowing that left-handers display on average a lesser degree of hemispheric asymmetry for language than right-handers (see Hellige, 1993, for a review of behavioral studies; Hatta, 2007, for a review of cerebral functional imaging studies), the Tremblay et al. (submitted) study was extended to left-handers. The goal of this study was thus to compare the hemispheric dynamics of right- and left-handers for phonological and semantic processing of words whose level of difficulty varied according to grapho-phonemic transparency and semantic category prototypicality, respectively.

To assess perceptual asymmetries, a divided visual field paradigm with unilateral presentation of words was used wherein the responding hand was manipulated. This method of evaluation allows one to determine, first, which hemisphere is more efficient at processing easy and difficult words during a phonological and a semantic task. Secondly, it permits one to evaluate the intra- or interhemispheric mode of processing by testing the direct access hypothesis (Zaidel, 1983, 1986; Zaidel, Clarke, & Suyenobu, 1990; see also Moscovitch 1986, who uses the term “efficiency model” to refer to the same cerebral mechanism):

The direct access hypothesis posits intra-hemispheric processing and hemispheric independence. The LH and RH are assumed to possess their own resources to execute most information processing. Therefore, words projected to the hemisphere contralateral to the lateral visual field will be processed by that hemisphere. In the context of the current study, this means that phonological and semantic information projected in the RVF and LVF will be processed by the LH and the RH, respectively.

Nevertheless, the two hemispheres may process language with different efficiency levels and using different strategies.

If an intrahemispheric mode of processing occurs without hemispheric collaboration, the direct access model predicts a Hand X Visual Field interaction in which an ipsilateral hand advantage is observed in each visual field (Zaidel et al., 1990).

Conversely, if the direct access hypothesis is not confirmed, interhemispheric collaboration is likely to take place. This mode of processing is called the callosal relay hypothesis and is predicted by the significant main effects of the Responding Hand and Visual Field variables (Zaidel, 1983, 1986; Zaidel et al., 1990).

3. METHODOLOGY

3.1 Participants

Eighteen right-handed and 18 left-handed women between the ages of 20 and 35 (mean: 24.1 years), all of whom were native speakers of French, were recruited using classified advertisements (level of schooling; mean: 15.9 years, *SD*: 1.95). According to the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971), both the right-handed and left-handed participants were strongly lateralized. Indeed, the right-handed participants obtained a mean positive laterality quotient of 90.6 (*SD*: 11.7) and the left-handed participants presented a mean negative laterality quotient of 73.3 (*SD*: 23.1). According to self-report, all participants had normal or corrected-to-normal vision, none had previously experienced major neurological episodes or conditions, none had a history of substance abuse, and all were medication free.

3.2 Tasks

Both tasks required explicit judgments regarding isolated words. The phonological task called for a grapheme-phoneme match while the semantic task required a category membership decision (Walter, Beauregard, & Joanette, 2002; Walter, Cliche, Joubert, Beauregard, & Joanette, 2001).

3.3 Stimuli

The stimuli used in the phonological and semantic tasks consisted of 128 French common nouns controlled for length and lexical frequency (Content, Mousty, & Radeau, 1990); these stimuli are described in Walter et al. (2001) and Walter et al. (2002), respectively. Each stimulus pool contained 64 targets, divided into two levels of difficulty.

The semantic targets belonged to the semantic category “animal” and were defined according to their prototypicality level, as established by Walter, Beauregard, Bourgouin, Beaudoin, and Joanette (1998)²³. Thirty-two targets represented animals with a high degree of prototypicality and were thus considered easy (e.g., chat / ‘cat’). Thirty-two other targets corresponded to animals with a low degree of prototypicality (e.g., meduse / ‘jellyfish’) and were thus considered difficult. Sixty-four stimuli did not belong to the semantic category “animal” and thus did not involve a degree of difficulty. They were labeled distracters.

²³ Briefly, five judges assessed the degree to which words were prototypical of their semantic cluster on a scale of 1 to 7. To establish an unambiguous cut-off for both levels of difficulty, the authors selected 32 stimuli ranked 6 or 7, and 32 others ranked 1 or 2.

In the phonological task, targets contained within their sublexical segments the sound /o/, and the degree of difficulty was manipulated by grapho-phonemic transparency. Transparent targets called for a regular transformation from orthography to phonology since the sound /o/ was represented by the letter O (32 stimuli). Therefore, they were considered easy. By contrast, non-transparent targets called for an irregular transformation from orthography to phonology since the sound /o/ was not associated with the letter O; instead, it was represented by a graphemic expression such as AU or EAU. These stimuli were thus classified as difficult. The 64 distracters did not contain the sound /o/ and were also divided into two different groups according to their level of grapho-phonemic transparency. Half of them were transparent as they did not contain either the sound /o/ or the letter O (e.g., balise / ‘beacon’). The other 50% were considered non-transparent as they contained the letter O but not the sound /o/ (e.g., tourbe / ‘peat’). Targets and distracters were paired in terms of digraph numbers and frequency (Walter et al., 2001).

3.4 Procedure

The experiment took place in a quiet room, with participants seated in front of the computer screen on a chair of adjustable height. During the phonological task, participants had to indicate whether a written word contained the sound /o/ or not, and during the semantic task, they had to indicate whether the stimulus belonged to the category “animal” or not. Participants had to respond as quickly and accurately as possible by pressing one of two buttons (yes or no) on the computer keyboard with their

index finger (in order to impose a distal musculature movement). All instructions were given both verbally and in writing on the computer screen.

All participants were tested in two 45-minute sessions, with a seven-day fixed interval between sessions. Both tasks were responded to once with the right hand and a second time with the left hand. The order of the tasks and the control of the hand used to respond were counterbalanced between and within participants.

In both the phonological and semantic tasks, the 128 different words appeared randomly in the left, center, or right visual field, for a total of 384 presentations; that is, 128 trials in each visual field position (central, RVF, LVF). All stimuli were displayed in six blocks of items (blocks A, B, C, D, E, and F), broken up by five pauses. Within each block, the stimuli were equally distributed according to position and type. Moreover, the order of stimulus presentation was distributed evenly among the six blocks.

To ensure that participants kept their gaze directed at the center of the screen, each trial first began with a 200-ms period of fixation on a black dot. The trial then introduced 150-ms word presentations, with 150-ms interstimulus intervals between responses; presentation of the next stimulus was initiated automatically by the participant's response. Participants had a 1500-ms time limit within which to respond. Words were displayed in black letters using Times font and Psyscope software (1.2.5 PPC version) and were presented in a 1.5° to 5.2° angled window located to the right or left of the fixation point. A chin rest kept participants' heads in a fixed position, such that their eyes were situated 60 cm from the screen. Eye movements were controlled by the use of the chin rest, the shortness of exposure, and the low eccentricity level of all

words (Sergent, 1982). The experimenter also controlled participants' eye movements by verbally instructing them to (1) stare at the central black dot before each trial, and (2) keep their eyes centrally fixated throughout the task. Although it has been criticized, this simple means of controlling eye movements is the most widely used method (Bourne, 2006) and one that has proven to be reliable (Jones & Santi, 1978; Posner, Nissen, & Ogden, 1978). Before their performance was recorded, participants did a short dry run of two practice blocks of 30 stimuli not displayed during the experimental tasks.

3.5 Analyses

Average response times and error rates (accuracy) percentages were calculated for target words associated with correct behavioral responses only. Participants who produced 50% or more wrong answers were excluded, as we felt that they did not have the required understanding of the task instructions or that they responded randomly (only one left-handed participant was excluded). Trials for which response times were above +3 or below -3 standard deviations --with reference to the mean for all groups-- were judged as outliers and therefore excluded from further calculations (less than 5% of the trials for both tasks). This procedure is commonly used in behavioral studies using a dichotic listening paradigm (e.g., Grimshaw, 1998; Grimshaw, Kwasny, Covell, & Johnson, 2003) or a divided visual field paradigm with unilateral presentation (e.g., Taylor, 2002).

All statistical analyses were performed for right- and left-handed participants separately since there were few participants in each group. Repeated measures ANOVAs with the Greenhouse–Geisser procedure and test of simple effects of Responding Hand X Visual Field were used with a significant alpha level set at .05.

3.5.1 Laterality indices based on error rates

Based on the individual mean of error percentage, phonological and semantic laterality indices associated with easy and difficult word processing were computed using the following formula: $LVF - RVF / LVF + RVF$. Laterality index ranges from -1 to 1 and leads to a positive or a negative value, indicating an RVF or an LVF advantage, respectively.

The calculation of a laterality index for accuracy data is a frequently used indicator of language asymmetries in visual half-field experiments that has proven to be reliable (Hunter & Brysbaert, 2007).²⁴ Two ANOVAs with Level of Complexity (Easy, Difficult) as a within-subject factor were then conducted on phonological and semantic data.

3.5.2 Testing Zaidel models with response times

Two ANOVAs ($2 \times 2 \times 2$) were done on phonological and semantic response times, with Level of Complexity (Easy, Difficult), Visual Field (RVF, LVF), and

²⁴ Moreover, laterality index allows a straightforward interpretation, inasmuch as information for one individual is summarized in one data point (Pivik et al. , 1993).

Responding Hand (Right Hand, Left Hand) as within-subject factors. To know whether easy and difficult words were associated with different modes of hemispheric processing, attention was paid to the three-way interaction Level of Complexity X Responding Hand X Visual Field. In order to determine whether the processing occurred under the direct access or the callosal relay hypothesis, performance of right and left hands in RVF and LVF were then analyzed in detail²⁵ⁱⁱ.

If the direct access hypothesis is correct, a strong RVF should be found with the right hand but should be attenuated (or possibly reversed) with the left hand. That laterality pattern should be expressed by a significant interaction Responding Hand X Visual Field. Alternatively, if the callosal relay proves right, main effects of Visual Field and Responding Hand are anticipated. First, one hand is predicted to be better than the other one across both visual fields and second, response times are predicted to be lower in RVF than LVF.

After testing Zaidel hypotheses, we looked for complementary information about perceptual asymmetries for easy and difficult words. Thus, we focused our attention on the Level of Complexity X Visual Field interaction.

The direct access and callosal relay hypotheses were tested for response times because behavioral predictions of both hypotheses have been stated primarily in terms of latency (Braun et al., 1994).

²⁵ Since right and left-handers may differ on pre-existing motor or peripheral asymmetries (hand abilities), it would be more relevant to compare RVF and LVF performances with the right and the left hands respectively than to compare both hand performances in RVF and LVF. That suggestion was given by Gina Grimshaw in revising this paper.

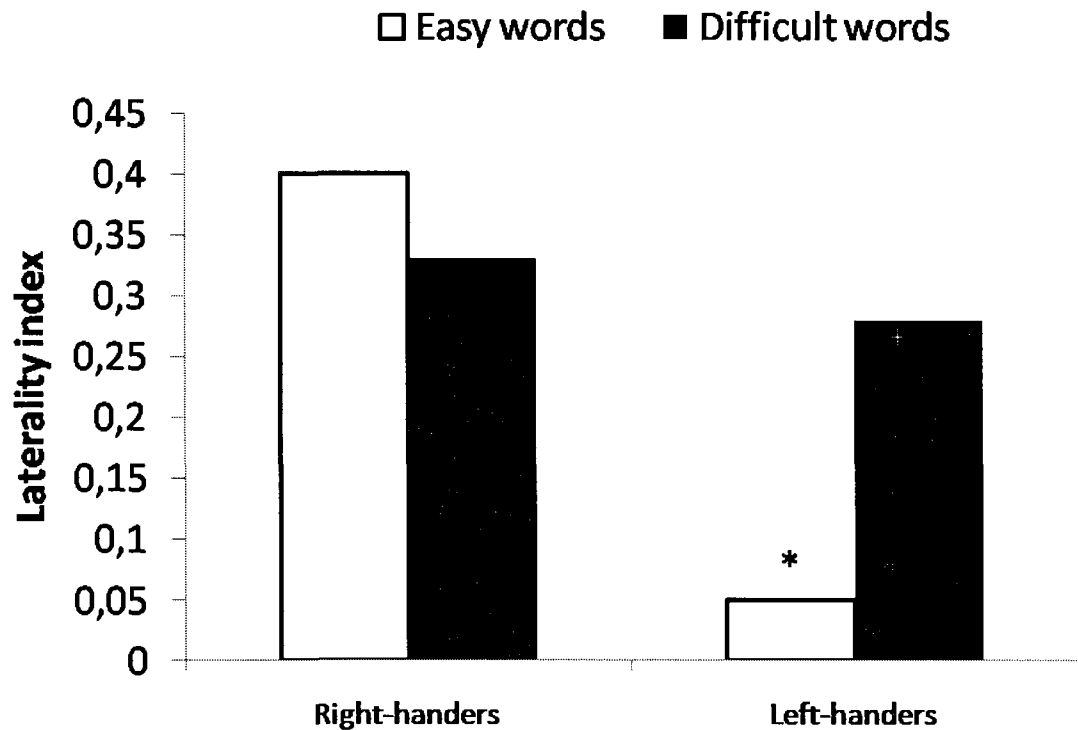
4. RESULTS

4.1 Error rates

Figure 1 and Figure 2 represent phonological and semantic laterality indices for right- and left-handers.

4.1.1 Phonological results

As phonological complexity increases, right- and left-handers exhibited divergent laterality index patterns. Right-handers displayed high positive values in both easy and difficult conditions with no significant difference, meaning a strong RVF advantage for phonological processing whatever its complexity level. Conversely, left-handers showed a significant difference between laterality indices, with a higher positive value in the difficult rather than in the easy condition ($F_{(1,16)} = 4.76, p \leq .05, \eta^2 = 0.23$). In other words, left-handers showed a strong RVF advantage during difficult phonological processing, but a very small RVF superiority during easy phonological processing (near-zero laterality index).



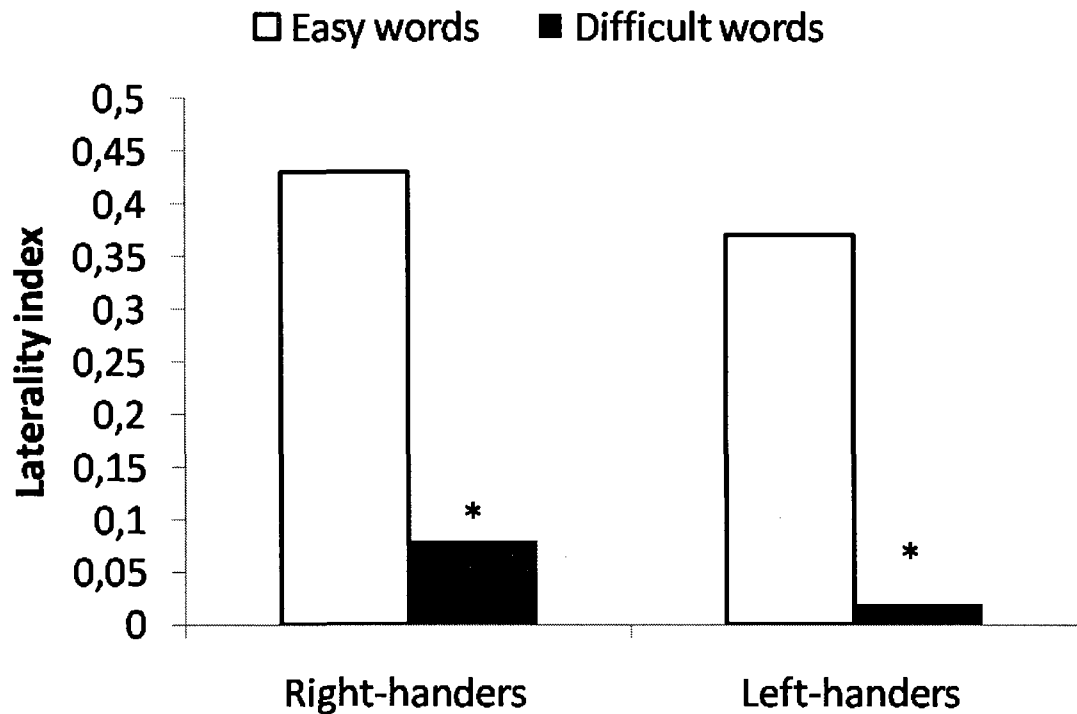
* $p \leq 0.05$

Note. A positive value means a right visual field advantage (left-hemisphere advantage) whereas a negative value means a left visual field advantage (right-hemisphere advantage). Laterality index may vary between -1 and 1.

Figure 1- Laterality indices for easy and difficult phonological processing.

4.1.2 Semantic results

In terms of semantic accuracy results, both handedness groups showed a statistically significant difference between easy and difficult words (Right-handers: $F_{(1,17)} = 7.45, p \leq .05, \eta^2 = 0.31$; Left-handers: $F_{(1,16)} = 12.72, p \leq .05, \eta^2 = 0.46$). In both groups, a strong RVF advantage was evidenced by high positive values for the easy condition, but almost no perceptual asymmetry was found in the difficult condition.



* $p \leq 0.05$

Note. A positive value means a right visual field advantage (left-hemisphere advantage) whereas a negative value means a left visual field advantage (right-hemisphere advantage). Laterality index may vary between -1 and 1.

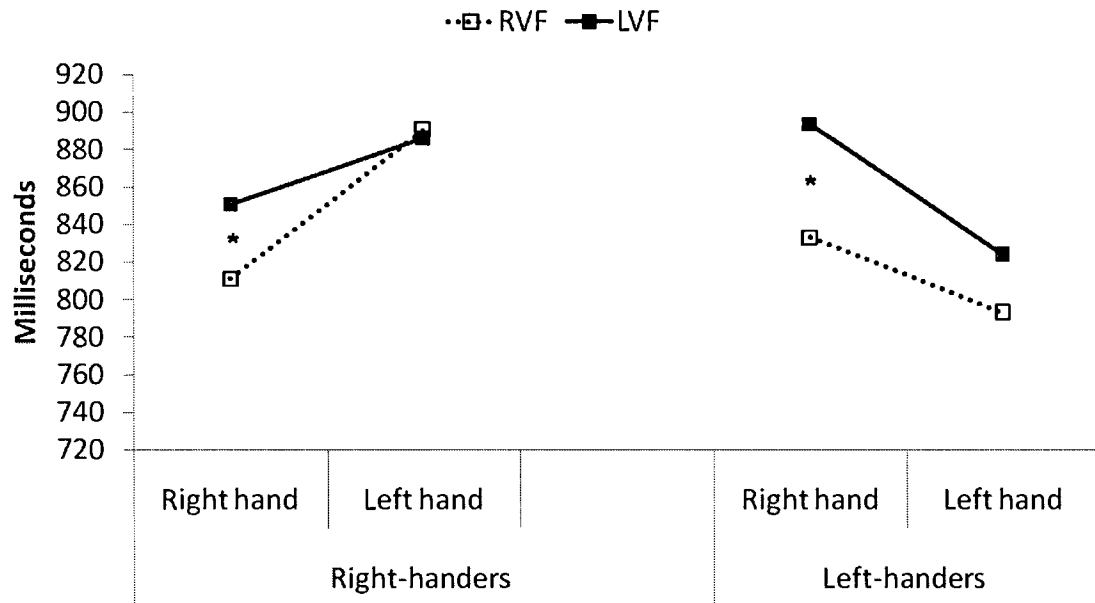
Figure 2- Laterality indices for easy and difficult semantic processing.

4.2 Response times

4.2.1 Phonological results

None of the three-way interactions reached significance, and none of the handedness group displayed both main effects of Responding Hand and Visual Field. However, left-handers showed a main effect of visual field favoring the RVF ($F_{(1,16)} = 8.23, p \leq 0.05, \eta^2 = 0.37$).

However, the interaction Visual Field X Responding Hand closely approached the conventional level of significance for both handedness groups (Right-handers: $F_{(1,17)} = 3.85$, $p = 0.06$, $\eta^2 = 0.21$; left-handers: $F_{(1,16)} = 3.94$, $p = 0.06$, $\eta^2 = 0.22$). Figure 3 illustrates response times for each hand according to right and left visual fields. When using the right hand, right- and left-handers displayed a significant RVF advantage of 39.88 ms and 60.65 ms respectively ($F_{(1,17)} = 11.36$, $p \leq .05$; $F_{(1,16)} = 14.32$, $p \leq .05$; Right-handers: RVF: mean = 810.96, $SD = 103.76$; LVF: mean = 850.84, $SD = 129.03$; Left-handers; RVF: mean = 833.09, $SD = 136.74$; LVF: mean = 893.74, $SD = 159.55$). Conversely, when the left hand provided the motor response the difference between visual fields was not significant in right nor left-handers (Right-handers; RVF: mean = 890.33, $SD = 193.71$; LVF: mean = 885.82, $SD = 170.20$; Left-handers; RVF: mean = 793.13, $SD = 125.85$; LVF: mean = 823.96, $SD = 165.63$). Right-handers presented a LVF advantage of 4.51 ms whereas left-handers displayed a RVF advantage of 30.83 ms.

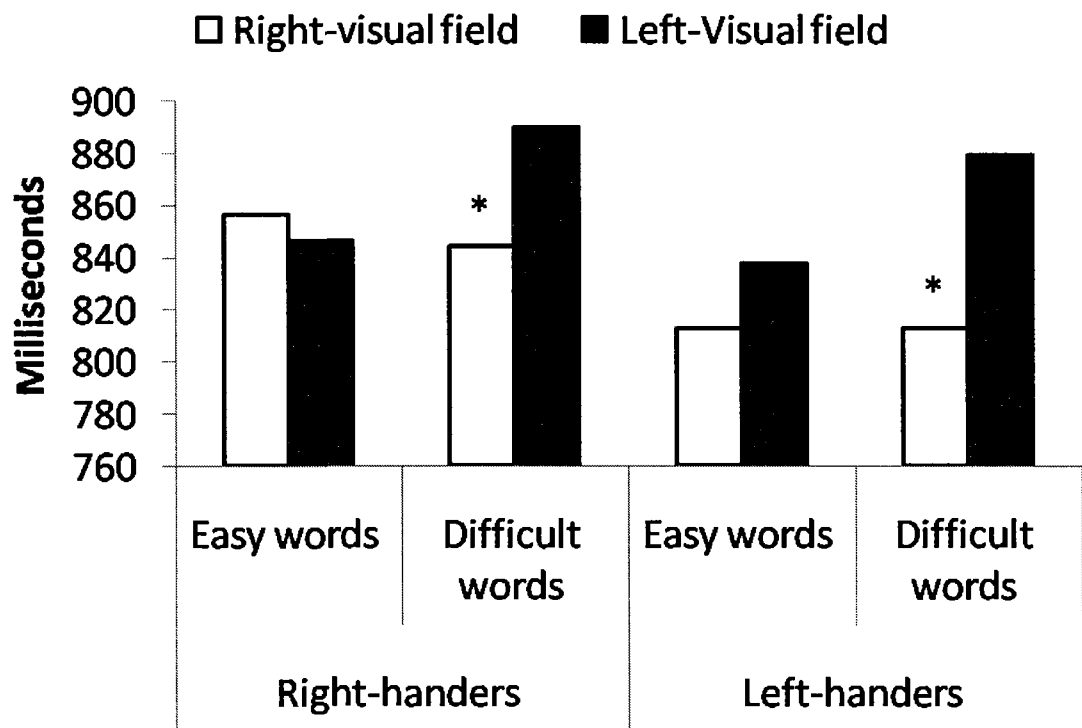


* $p \leq 0.05$

Figure 3- Response times in RVF and LVF according to responding hand during phonological processing.

Moreover, both right- and left-handers yielded a significant Visual Field X Level of Complexity interaction (Right-handers: $F_{(1,17)} = 9.28$, $p \leq .05$, $\eta^2 = 0.38$; Left-handers: $F_{(1,16)} = 15.53$, $p \leq .05$, $\eta^2 = 0.53$). As shown on Figure 4, right- and left-handers displayed similar patterns of perceptual asymmetries, that is, a small visual field difference for easy words but a large one for difficult words (Right-handers: Easy words in RVF: mean = 856.67, $SD = 141.69$; Difficult words in RVF: mean = 844.62, $SD = 122.74$; Easy words in LVF: mean = 846.63, $SD = 131.94$; Difficult words in LVF: mean = 890.03, $SD = 129.51$; Left-handers: Easy words in RVF: mean = 813.08, $SD = 122.47$; Difficult words in RVF: mean = 813.14, $SD = 112.18$; Easy words in LVF: mean = 838.07, $SD = 154.18$; Difficult words in LVF: mean = 879.63, $SD = 142.17$). The decomposition revealed effectively that both handedness groups demonstrated a

significant visual field simple effect for difficult words (Right-handers: $F_{(1, 17)} = 7.74$, $p \leq .05$; Left-handers: $F_{(1, 16)} = 14.59$, $p \leq .05$). More specifically, difficult words were responded faster to the RVF than the LVF. Thus, regardless of the individual's handedness, easy phonological processing produced a low perceptual asymmetry whereas difficult processing gave rise to a strong perceptual asymmetry in favor of the RVF.

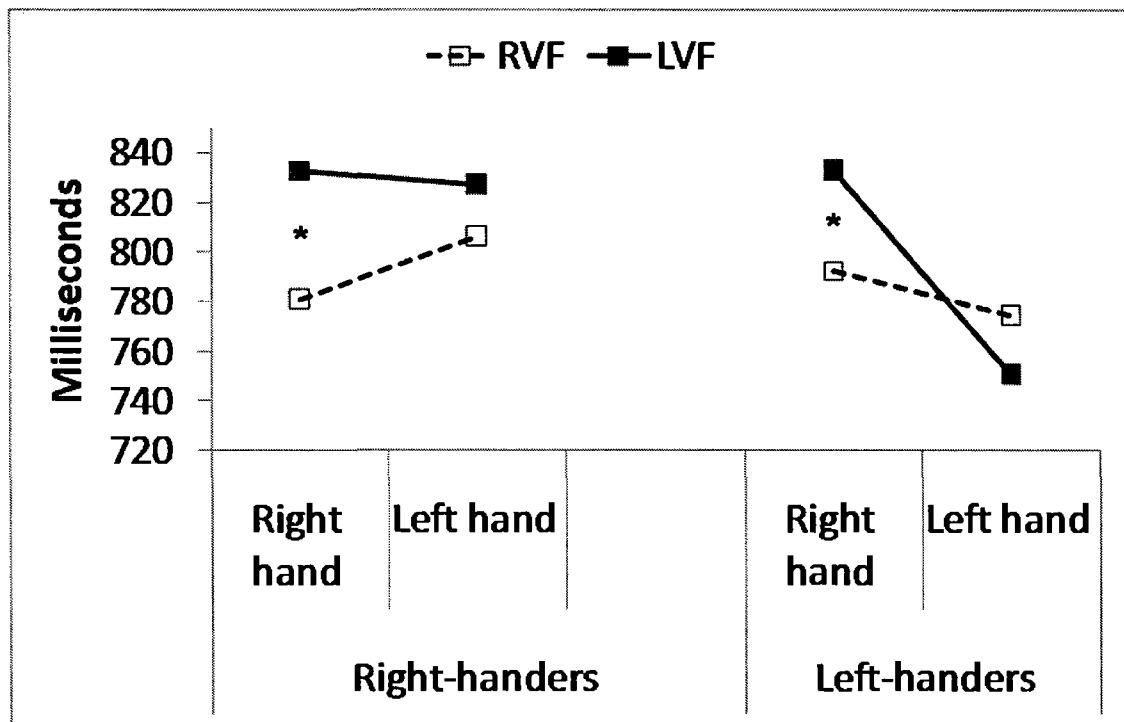


* $p \leq 0.05$

Figure 4- Response times for easy and difficult phonological processing according to lateral visual fields.

4.2.2 Semantic results

The semantic results did not yield a significant three-way interaction and as for the phonological results, no handedness groups demonstrated the two main effects (Responding Hand and Visual Field) predicted by the callosal relay model. Right-handers presented however a main Visual Field effect favoring the RVF ($F_{(1,17)} = 9.45, p \leq .05, \eta^2 = 0.38$). Also, no significant interaction emerged from the Responding Hand and Visual Field variables, but as shown on Figure 5, right-and left-handers presented a significant simple effect Right hand X Visual Fields RVF ($F_{(1, 17)} = 7.50, p \leq .05$; $F_{(1, 16)} = 8.40, p \leq .05$; Right-handers: RVF: mean = 780.49, $SD = 132.73$; LVF: mean = 832.75, $SD = 194.04$; Left-handers; RVF: mean = 792.41, $SD = 110.90$; LVF: mean = 832.27, $SD = 136.84$). Indeed, a significant RVF advantage of 52.26 ms and 39.86 is obtained during right hand responses for right-and left-handers respectively. During left hand responses, right-handers showed a RVF of 21.2 ms while left-handers presented a LVF advantage of 23.86, but none of these simple effects achieved significance level (Right-handers; RVF: mean = 805.43, $SD = 171.75$; LVF: mean = 826.63, $SD = 202.92$; Left-handers; RVF: mean = 773.92, $SD = 95.88$; LVF: mean = 750.06, $SD = 111.14$).



* $p \leq 0.05$

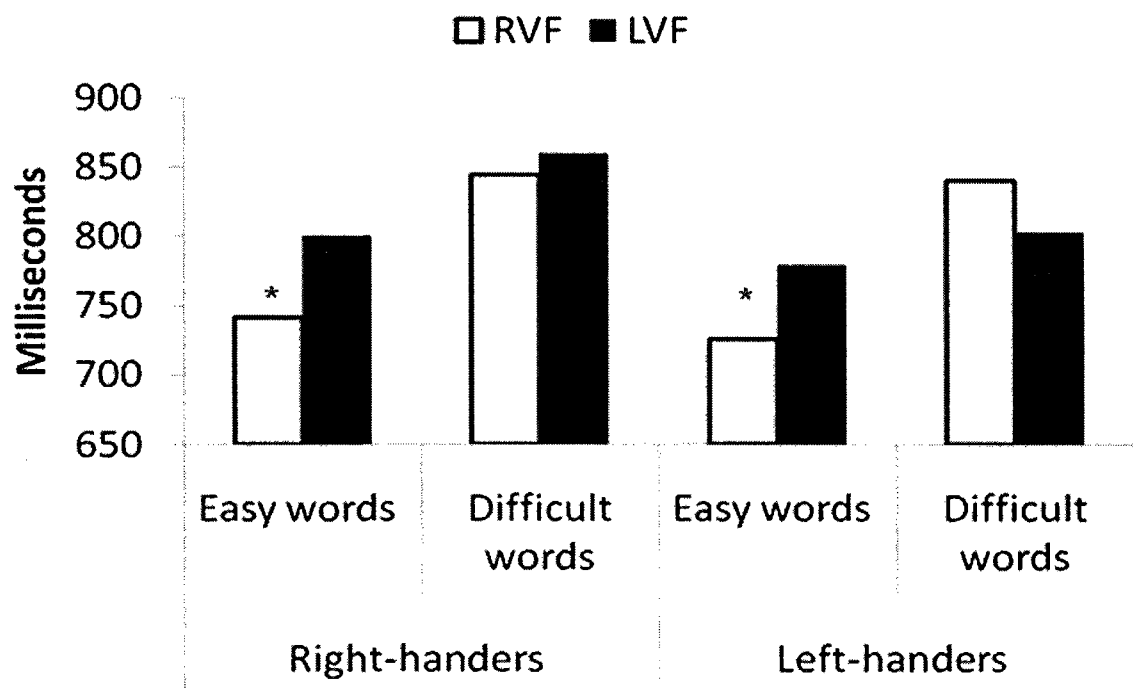
Figure 5- Response times in RVF and LVF according to responding hand during semantic processing.

Finally, a significant Level of Complexity X Visual Field interaction was present in both handedness groups (Right-handers: $F_{(1, 17)} = 6.97$, $p \leq .05$, $\eta^2 = 0.30$; Left-handers: $F_{(1, 16)} = 4.47$, $p \leq .05$, $\eta^2 = 0.24$). These interactions are shown in Figure 6.

Even though right-handers responded faster in the RVF than in the LVF to easy and difficult words (Easy words; RVF: mean = 741.24, $SD = 112.67$; LVF: mean = 800.22, $SD = 153.58$; Difficult words; RVF: mean = 844.68, $SD = 158.29$; LVF: mean = 859.15, $SD = 186.35$), the difference for easy words only reached significance (Easy words X Visual Field: $F_{(1,17)} = 13.13$, $p < 0.05$).

Statistically, left-handers presented the same pattern of results. Indeed, a significant simple effect in favor of the RVF was revealed for easy words only (Easy words X Visual Field: $F_{(1,16)} = 13.13, p \leq .05$; Easy words in RVF: mean = 725.86, $SD = 81.68$; Easy words in LVF: mean = 779.32, $SD = 119.95$; Difficult words in RVF: mean = 840.48, $SD = 109.34$; Difficult words in LVF: mean = 803.01, $SD = 134.96$). Even though the visual field difference for difficult words did not achieve significance, it is worth mentioning that left-handers responded faster to stimuli in the LVF than in the RVF.

In general, a RVF advantage was observed for easy phonological processing while no significant perceptual asymmetry emerged for difficult words whatever the handedness.



* $p \leq 0.05$

Figure 6- Response times for easy and difficult semantic processing according to lateral visual fields.

5. DISCUSSION

The main goal of this study was to determine whether the phonological and semantic processing of words were similarly influenced by a change in complexity in right- and left-handers. To address that issue, hemispheric asymmetries and hemispheric mode of processing were evaluated using a divided visual field paradigm. A summary of the major findings follows.

First, phonological and semantic processing are not similarly influenced by an increase complexity. For both handedness groups, an increase in word complexity is associated with a reduced LH advantage for semantics, whereas no such relationship was present for phonology. RTs results even showed that more complex is phonological judgment, stronger is the RVF advantage. Conclusion about the differential impact of complexity processing on phonology and semantic hemispheric performances is in agreement with the previous study of Tremblay et al., (2009) which investigated right-handers.

Furthermore, the differential hemispheric performance patterns of phonological and semantic processing according to an increase complexity do not seem to influence hemispheric processing mode. Taken into account the performance in right and left visual fields during right and left hand responses, both type of processing fit more with the direct than the callosal relay hypothesis whatever the handedness.

None of processing showed the prediction anticipated by the callosal relay hypothesis, namely main effects of both Visual Field and Responding Hand variables. Moreover, laterality patterns raised by RT performances of both visual fields during

right and left hand responses respectively are more in agreement with the direct access than the callosal relay model. All patterns of results displayed a strong and significant RVF advantage during right hand responses. But, more importantly, during left hand responses, either there was a weak and non-significant RVF advantage (both handedness groups during both phonological) or a non-significant LVF advantage (left-handers during semantic processing). However, since no frank ipsilateral advantages were observed during left hand responses, it is unlikely that hemispheric independence is absolute.

The following sections analyze in detail the right-and left-handers results for phonological and the semantic processing according to an increase in complexity.

5.1 Influence of phonological complexity on word processing

Right-handers seem to rely on the LH to process word phonology. This seems particularly true for non-transparent or difficult words, for example, when the target sound /o/ is represented with other graphemic expressions than the letter O. Left-handers showed similar accuracy and response time laterality patterns to right-handers during the more demanding phonological processing, but their laterality indices indicated no obvious LH advantage for easy words. That is, the RH and LH of left-handers were similarly accurate when the judgment had to be made on transparent words, such as when the target sound /o/ was represented by the letter O. The difference in hemispheric performance between easy and difficult words and between the two handedness groups did not however affect the hemispheric mode of processing.

If easy and difficult words required different hemispheric modes of processing, a significant Level of Complexity X Visual Field X Responding Hand interaction would have been found. However, no such result was obtained for right- or left-handers, suggesting that a similar hemispheric mechanism applies, regardless of word complexity and individual handedness.

The phonological results are more consistent with an intra- than an interhemispheric mode of processing, that is, with the direct access than the callosal hypothesis in right- and left-handers. First, in both handedness groups, the Visual Field X Responding Hand interaction was much closer to the chosen significant level and the presence of this interaction is said to be sufficient to infer a direct access mode of processing (Zaidel et al., 1990). Second, in both handedness groups there was an advantage of the RVF when the responding hand was the right as predicted the direct access hypothesis. It is thus reasonable to conclude that the hemispheric performance observed is likely to reflect phonological abilities in the LH and RH separately, without any interhemispheric exchange.

In right-handers, the fact that the RH may lack phonological abilities (Rayman & Zaidel, 1991) will not preclude it from trying to directly analyze the form of the words when is stimulated. During difficult phonological processing, the intrahemispheric mechanism may be explained by the notion of task laterality developed within Banich's model (Belger & Banich, 1998). As we have seen, that model posits that interhemispheric collaboration is not beneficial for coping with an increase in computational complexity when the crucial cognitive operations needed to resolve the task are strongly lateralized to one hemisphere, as grapheme-to-phoneme conversion is.

Indeed, that operation, which is essential for the phonological task, has proven to be exclusively LH-lateralized in right-handers (Rayman & Zaidel, 1991). Banich's explanation regarding the intrahemispheric mode of processing is, moreover, supported by the LH advantage associated with easy words, which may suggest that the RH is completely incapable of carrying out grapheme-to-phoneme conversion.

However, Banich's explanation does not account for the results in left-handers since the RH demonstrated some ability to perform phonological tasks. Indeed, the RH's phonological capacity is observed in processing easy but not difficult words. That finding leads to two speculations. On one hand, the RH of left-handed participants may process phonologically easy words by using a visual ideographic strategy that matches the target sound with the printed letter. That strategy would, however, become inefficient for difficult phonological processing. On the other hand, since left-handers are far more likely than right-handers to present articulated language abilities in their RH and, as a group, they are less LH-lateralized for expressive language (Baynes & Long, 2007; Hatta, 2007), their RH could possess to some extent the capacity to execute grapheme-to-phoneme conversion on transparent words.

If the latter interpretation is correct, then the intrahemispheric mode of processing would not be explained by the impossibility of sharing the input stimuli between hemispheres in left-handers. It is possible that both hemispheres of left-handers have the potentiality to share information and thus to collaborate during difficult phonological processing. However, interhemispheric cooperation requires coordination to integrate information between the hemispheres via the corpus callosum, and that is costly in terms of cognitive resources (Banich & Belger, 1990; Banich & Weissman,

2000; Belger & Banich, 1992, 1998). Intrahemispheric processing is not associated with such costs and thus it is plausible that when intra- and interhemispheric modes of processing are available, the intrahemispheric one is adopted.

5.2 Influence of semantic complexity on word processing

An increase in the semantic complexity of word processing reduced the LH advantage in both right- and left-handers. Indeed, both groups showed LH superiority during the semantic processing of easy words, whereas no LH advantage was evidenced during difficult semantic processing. The laterality patterns of semantic results also showed better performance by the RH in left- than right-handers. Unlike right-handers, left-handers responded faster with their RH than their LH to difficult words, although that visual field difference did not reach significance. The atypical laterality pattern observed in left-handers explains in part the absence of a general LH advantage in that group when one considers easy and difficult words together. Right-handers, on the other hand, were faster at processing words of any complexity level with their LH than their RH.

Different hemispheric performances between right- and left-handers were not, however, transposed into different hemispheric interaction patterns. In fact, the semantic results did not support the callosal relay or direct access hypotheses in right- or left-handers. How are we to explain the lack of support for either hemispheric interaction hypothesis?

Different degrees of hemispheric independence are associated with the performance of different tasks (Zaidel et al. , 1990). Furthermore, it is likely that the behavioral paradigm used here may be inappropriate for evaluating the hemispheric processing mode wherein direct access and callosal relay mechanisms co-occur.

Nonetheless, the hemispheric performance observed in this study and the documentation of RH-based language could help us to determine whether hemispheric collaboration occurs during the easy and difficult semantic processing of words. With regard to easy word processing, both right- and left-handers performed relatively well when words were delivered in the LVF (fast response times and low percentage of errors). These results suggest that RH is able on its own to engage in the semantic processing of easy words. The RH has also proven to possess a rich lexicon of concrete and “imageable” words (for reviews of the RH contribution to language processing, see Lindell, 2006; Taylor & Regard, 2003), and there is ample evidence to suggest that lexical decisions on those types of words are made via direct access (Zaidel, 1989). Even though right- and left-handers presented LH superiority, this may not rule out semantic abilities in the RH, but instead reflect different hemispheric competences.

Low-prototypicality words may, however, undergo another kind of processing. Indeed, the absence of an LH advantage in both handedness groups is associated with a high percentage of errors, suggesting that neither the LH nor the RH on its own can successfully accomplish a difficult semantic task. To achieve efficiency, it is speculated that the LH and RH must work together. That suggestion agrees with the conclusion of a semantic divided visual field study (Taylor, 2002) and is supported by a cerebral

imaging study that reported bilateral activation during the processing of complex analogies but not of easy ones (Gur et al. , 2000).

The suggestion that both handedness groups may apply a similar hemispheric processing mode in the phonological and semantic processing of words may result from a lack of power in this study. However, this finding is in accordance with a number of studies in which handedness was not found to influence hemispheric interaction (Banich et al. , 1990; Belger & Banich, 1998; Hatta & Yoshizaki, 1996). In a rhyme task, greater variability in hemispheric interaction was observed in left- than right-handers (Belger & Banich, 1998). Belger and Banich (1998) have further suggested that variable hemispheric interaction may be explained by hemispheric arousal asymmetry; this is an individual trait that refers to a natural tendency to arouse one hemisphere more than the other or both equally. Further attempts to capture the hemispheric dynamic during language tasks in right- and left-handers should therefore evaluate this characteristic. In that line of reasoning, it would be fruitful to experiment with the evoked potential technique, which allows one to observe brain responses with a high temporal resolution. In this way, the lateralization of different stages of language processing may be discriminated and thus those that are related to attention may be better understood.

Overall, our findings offer new insights into the interplay of handedness, language complexity and the hemispheric dynamic. They suggest that hemispheric performance is much more likely to vary because of individual biological factors than because of processing mode, which seems to depend primarily on the specific language component engaged.

6. REFERENCES

- Banich, M. T. , & Belger, A. (1990). Interhemispheric interaction: How do the hemispheres divide and conquer a task? *Cortex*, 26, 77–94.
- Banich, M. T. , & Brown, W. S. (2000). A life-span perspective on interaction between the cerebral hemispheres. *Developmental Neuropsychology*, 18, 1–10.
- Banich, M. T. , Goering, S. , Stolar, N. , & Belger, A. (1990). Interhemispheric processing in left- and right-handers. *International Journal of Neuroscience*, 54, 197–208.
- Banich, M. T. , & Weissman, D. H. (2000). One of twenty questions for the twenty-first century: How do brain regions interact and integrate information? *Brain and Cognition*, 42, 29–32.
- Baynes, K. , & Long, D. (2007). Three conundrums of language lateralization. *Language and Linguistic Compass*, 1, 48–70.
- Belger, A. , & Banich, M. T. (1992). Interhemispheric interaction affected by computational complexity. *Neuropsychologia*, 30, 923–929.
- Belger, A. , & Banich, M. T. (1998). Costs and benefits of integrating information between the cerebral hemispheres: A computational perspective. *Neuropsychology*, 12, 380–398.
- Bourne, V. (2006). The divided visual field paradigm: Methodological considerations. *Laterality*, 11, 373–393.
- Braun, C. M. J. , Sapin-Leduc, A. , Picard, C. , Bonnenfant, E. , Achim, A. , & Daigneault, S. (1994). Zaidel's model of interhemispheric dynamics: Empirical tests, a critical appraisal, and a proposed revision. *Brain and Cognition*, 24, 57–86.
- Content, A. , Mousty, P. , & Radeau, M. (1990). Brulex, une base de données lexicales informatisée pour le français écrit et parlé. *L'Année Psychologique*, 90, 551–566.

- Eviatar, Z. , Hellige, J. B. , & Zaidel, E. (1997). Individual variation in hemispheric processing and efficiency of interhemispheric collaboration. *Neuropsychology*, 11, 562–576.
- Faure, S. (2001). Stimulation en champs visuel divisé et spécialisation hémisphérique pour l'activité lexicosémantique. In F. Eustache, B. Lechevalier, & F. Viader (Eds.), *Les méthodes de la neuropsychologie* (pp. 109–136). Brussels: De Boeck.
- Gernsbacher, M. A. , & Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology*, 54, 91–114.
- Grimshaw, G. M. (1998). Integration and interference in the cerebral hemispheres: Relations with hemispheric specialization. *Brain and Cognition*, 36, 108–127.
- Grimshaw, G. M. , Kwasny, K. M. , Covell, E. , & Johnson, R. A. (2003). The dynamic nature of language lateralization: Effects of lexical and prosodic factors. *Neuropsychologia*, 41, 1008–1019.
- Gur, R. C. , Alsop, D. , Glahn, D. , Petty, R. , Swanson, C. L. , Maldjian, J. A. , et al. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task. *Brain and Language*, 74, 157–170.
- Hatta, T. (2007). Handedness and the brain: A review of brain-imaging techniques. *Magnetic Resonance Medical Sciences*, 6, 99–112.
- Hatta, T. , Kawakami, A. , Kogure, T. , & Itoh, Y. (2002). Effects of type of cognitive demand on bilateral advantage in interhemispheric processing. *Psychological Research*, 66, 133–142.
- Hatta, T. , & Yoshizaki, K. (1996). Interhemispheric co-operation of left- and right-handers in mental calculation tasks. *Laterality*, 1, 299–313.
- Hellige, J. B. (1993). *Hemispheric asymmetry: What's right and what's left*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Hellige, J. B. , Bloch, M. I. , Cowin, E. L. , Eng, T. L. , Eviatar, Z. , & Sergent, V. (1994). Individual variation in hemispheric asymmetry: Multitask study of effects related to handedness and sex. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, 235–256.
- Hunter, Z. R. , & Brysbaert, M. (2007). Visual half-field experiments are a good measure of cerebral language dominance if used properly: Evidence from fMRI. *Neuropsychologia*, 46, 316–325.
- Joanette, Y. , Goulet, P. , & Hannequin, D. (1990). *Right hemisphere and verbal communication*. New York: Springer-Verlag.
- Jones, B., & Santi, A. (1978). Lateral asymmetries in visual perception with or without eye movements. *Cortex*, 14, 164–168.
- Lindell, A. K. (2006). In your right mind: Right hemisphere contributions to language processing and production. *Neuropsychological Review*, 16, 131–148.
- Maertens, M. , & Pollmann, S. (2005). Interhemispheric resource sharing: Decreasing benefits with increasing processing efficiency. *Brain and Cognition*, 58, 183–192.
- Monaghan, P. , & Pollmann, S. (2003). Division of labor between the hemispheres for complex but not simple tasks: An implemented connectionist model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 379–399.
- Monetta, L. , Ouellet-Plamondon, C. , & Joanette, Y. (2007) Age-related changes in the processing of the metaphorical alternative meanings of words. *Journal of Neurolinguistics*, 20, 277–284.
- Moscovitch, M. , (1986). Hemispheric specialization, interhemispheric codes, and transmission times: inferences from visual masking studies in normal people. In F. Lepore, M. Ptito & H. H. Jasper (Eds.), *Two Hemispheres-One Brain* (pp. 483-510). New York: Alan Liss.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113.

- Pivik, R. T. , Broughton, R. J. , Coppola, R. , Davidson, R. J. , Fox, N. , & Nuwer, M. R. (1993). Guidelines for the recording and quantitative analysis of electroencephalographic activity in research contexts. *Psychophysiology*, 30, 547–558.
- Posner, M. I. , Nissen, M. J. , & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick & I. J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information* (pp. 137–157). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Rayman, J. , & Zaidel, E. (1991). Rhyming and the right-hemisphere. *Brain and Language*, 40, 89–105.
- Sergent, J. (1982). Basic determinants in visual-field effects with special reference to the Hannay et al. (1981) study. *Brain and Language*, 16, 158–164.
- Taylor, K. I. (2002). *Semantic language in the right hemisphere: Divided visual field, and functional imaging studies of reading*. Ph. D. thesis, University of Zurich.
- Taylor, K. I., & Regard, M. (2003). Language in the right cerebral hemisphere: Contribution from reading studies. *News Physiological Sciences*, 18, 257–261.
- Tremblay, T. , Monetta, L. , & Joannette, Y. (submitted). Complexity and hemispheric abilities: Evidence for a differential impact on semantics and phonology. *Brain and Language*.
- Tzourio-Mazoyer, N. , Josse, G. , & Mazoyer, B. (2004). Interindividual variability in the hemispheric organization for speech. *NeuroImage*, 21, 422–435.
- Walter, N. , Beauregard, M. , & Joannette, Y. (2002). Semantic single word processing in French: A study in divided visual hemifields. *Brain and Language*, 83, 179–182.
- Walter, N. , Beauregard, M. , Bourgouin, P. , Beaudoin, G. , & Joannette, Y. (1998). More difficult does not necessarily mean more brain: fMRI correlates of distinct levels of difficulty for phonological and semantic processing of words in normal subjects. *Brain and Language*, 65, 90–92.

- Walter, N. , Cliche, S. , Joubert, S. , Beauregard, M. , & Joanette, Y. (2001). Grapheme-phoneme processing of single words. *Brain and Cognition*, 46, 295–299.
- Weissman, D. H. , & Compton, R. J. (2003). Practice makes a hemisphere perfect: The advantage of interhemispheric recruitment is eliminated with practice. *Laterality*, 8, 361–375.
- Zaidel, E. (1983). Disconnection syndrome as a model for laterality effects in the normal brain. In J. Hellige (Ed.), *Cerebral hemisphere asymmetry* (pp. 95–151). New York: Praeger.
- Zaidel, E. (1986). Callosal dynamics and right hemisphere language. In F. Lepore, M. Ptito, & H. H. Jasper (Eds.), *Two hemispheres – one brain: Functions of the corpus callosum* (pp. 435–459). New York: Alan R. Liss.
- Zaidel, E. (1989). Hemispheric independence and interaction in word recognition. In C. von Euler, I. Lundberg, & G. Lennerstrand (Eds.), *Brain & Reading* (pp. 77–97). London: Macmillan.
- Zaidel, E. , Clarke, J. M. , & Suyenobu, B. (1990). Hemispheric independence: A paradigm case for cognitive neuroscience. In A. B. Scheibel & A. F. Wechsler (Eds.), *Neurobiology of higher cognitive function* (pp. 237–355). New York: Guilford.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

1. INTRODUCTION	154
2. ÉTUDE DES HABILETÉS LANGAGIÈRE SELON LA PRÉFÉRENCE MANUELLE	155
3. DIFFÉRENCE INTER-GENRE CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS	156
4. INFLUENCE DE LA COMPLEXITÉ DU TRAITEMENT CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS	162
4.1 Les modèles de l'accès direct et du relais calleux	165
4.2 Le modèle d'interaction hémisphérique de Banich	168
5. ASYMÉTRIES LATÉRALES ET ATTENTION	170
6. CONCLUSION	172
7. BIBLIOGRAPHIE	175

1. INTRODUCTION

Mieux comprendre l'influence de la préférence manuelle, du sexe et de la complexité du traitement sur la dynamique du langage était l'objectif de la présente thèse. Il est question de dynamique hémisphérique d'une part, parce que l'évaluation des performances hémisphériques a permis non seulement d'inférer lequel des hémisphères était le plus efficient, mais également d'associer la supériorité d'un hémisphère à un mode de fonctionnement intra ou inter-hémisphérique. D'autre part, la présente thèse considère l'aspect multidimensionnel du langage. Chacune des études empiriques a en effet évalué deux composantes fondamentales du langage, reconnues pour présenter une latéralisation différenciée, soit la phonologique et la sémantique des mots (Gernsbacher & Kaschak, 2003; Beauregard, Bourgouin, Beaudoin, & Joannette, 1998).

Pour étudier la phonologie et la sémantique des mots, les tâches élaborées par Walter et ses collègues ont été sélectionnées parce qu'elles permettent d'évaluer un niveau facile et difficile de traitement (Walter, Beauregard, & Joannette, 2002; Walter, Cliche, Joubert, Beauregard, & Joannette, 2001). Dans la tâche phonologique, la complexité de traitement varie selon la transparence graphophonémique des mots (transparents ou non-transparentes), alors que dans la tâche sémantique, elle est modulée selon la « prototypicalité animale » des mots (haute ou basse prototypicalité).

Les résultats seront présentés en respectant la structure de la thèse. Le rôle connu de la préférence manuelle sur l'organisation cérébrale du langage sera dans un premier temps abordé pour ensuite focaliser sur les résultats des études empiriques. Dans cette partie, il sera alors question de l'influence du genre et de la complexité du traitement. Ce sera alors l'occasion de discuter des modèles proposant un fonctionnement cérébral soit

intra-hémisphérique (modèle de l'accès direct), soit inter-hémisphérique de type calleux (modèle du relais calleux) ou coopératif (modèle de l'interaction hémisphérique). Avant de conclure, une section se consacrera à l'éventuel rôle d'un facteur contaminant relié à l'attention.

2. ÉTUDE DES HABILETÉS LANGAGIÈRES SELON LA PRÉFÉRENCE MANUELLE

Le présent travail s'est ouvert sur une revue des connaissances qui avait comme objectif de vérifier la particularité de l'organisation fonctionnelle du langage chez les non-droitiers (les ambidextres et gauchers). Les données provenant d'études lésionnelles et d'études en imagerie cérébrale fonctionnelle menées auprès d'une population saine se résument ainsi. Tant pour le versant expressif et réceptif du langage, les non-droitiers présentent en moyenne une asymétrie fonctionnelle moins marquée à l'HG que les droitiers. De plus, une plus grande variabilité de patrons langagiers existe chez les non-droitiers avec un pourcentage non négligeable de patrons inhérents à l'HD. L'observation d'une latéralisation « inversée » augmenterait en outre en fonction du degré de gaucherie. Le premier article (voir Chapitre 2) confirme ainsi la plus faible asymétrie fonctionnelle du langage des non-droitiers, surtout s'ils sont gauchers, et renforce, par la même occasion, la pertinence d'examiner l'influence des facteurs intra et interindividuels selon la préférence manuelle.

3. DIFFÉRENCE INTER-GENRE CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS

Les résultats du deuxième article (voir Chapitre 3) suggèrent que le genre a un impact différentiel sur l'asymétrie fonctionnelle du langage en fonction de la préférence manuelle. Que la composante du langage étudiée soit la phonologie ou la sémantique, une différence inter-genre est constatée chez les gauchers seulement.

En effet, lors des tâches phonologique et sémantique, une supériorité de l'HG s'observe chez les hommes et les femmes droitiers alors que l'avantage hémisphérique varie selon le genre chez les gauchers. Les femmes gauchères ressemblent aux groupes de droitiers en ce sens qu'elles démontrent une supériorité de l'HG. Les hommes gauchers obtiennent en revanche des performances équivalentes, que le mot soit projeté à l'HG ou à l'HD.

La similarité des résultats des hommes et des femmes droitiers peut refléter l'absence de différence au niveau populationnel tel que défendu par Sommer, Aleman, Bouma & Kahn (2004). Une vision alternative est néanmoins proposée par trois importantes méta-analyses (Hiscock, Inch, Jacek, Hiscock-Kalil, & Kalil, 1994; Hiscock, Israelian, Inch, Jacek, & Hiscock-Kalil, 1995; Voyer, 1996). Ces dernières concluent à un effet du genre sur l'asymétrie fonctionnelle du langage chez les droitiers : les femmes démontreraient un patron moins prononcé que les hommes tel qu'avancé par l'hypothèse de Levy (1972) et conforté ensuite par plusieurs études lésionnelles (voir pour une revue McGlone, 1980). Toutefois, il serait fréquent que les résultats d'un échantillon spécifique ne révèlent aucune différence inter-genre puisque la grandeur de l'effet du genre s'avère petite ($d = 0,065$; Voyer, 1996). Une différence inter-genre

serait ainsi difficilement détectable en-deçà d'un échantillon de 500 personnes (Voyer, 1996).

Le faible nombre d'hommes et de femmes ayant participé à l'étude n'a toutefois pas empêché l'émergence d'une différence inter-genre chez les gauchers. D'entrée de jeu, il doit être admis que ce résultat est difficile à interpréter, étant donné que la direction de la différence est à l'inverse de celle attendue, typiquement observée chez les droitiers.

En ce qui a trait aux études qui ont examiné l'influence du genre et de la préférence manuelle sur l'asymétrie fonctionnelle du langage, la plupart ne trouvent aucune différence inter-genre chez les gauchers (voir Baynes & Long, 2007; Hatta, 2007) et d'autres ne trouvent le résultat obtenu, soit un patron moins asymétrique chez les hommes que chez les femmes gauchers.

Toutefois, puisque la latéralisation fonctionnelle du langage entretient certainement un lien avec la morphologie du corps calleux, la suggestion d'une moindre latéralisation chez les hommes gauchers s'accorde avec trois études neuroanatomiques (Denenberg-Kertesz & Cowell 1991; Habib, Gayraud, Oliva, Régis Salamon & Khalil, 1991; Witelson, 1989). Que les mesures prises soient post-mortem ou *in vivo*, ces résultats montrent tous que les hommes non-droitiers présentent un corps calleux plus volumineux que les hommes droitiers et les femmes en général (droitières et non-droitières).

De plus, il est impossible de passer sous silence que le résultat observé chez les gauchers résonne avec la théorie de Geschwind et Galaburda, laquelle a été élaborée pour rendre compte de la moindre latéralisation du langage chez les gauchers et de la

transmission du trait de la gaucherie. Selon cette théorie, les hommes, et plus particulièrement les hommes gauchers, devraient présenter une asymétrie fonctionnelle du langage moins prononcée que les femmes (Geschwind & Galaburda, 1987).

La théorie de Geschwind et Galaburda formule que la préférence manuelle et l'asymétrie fonctionnelle du langage dépendent toutes deux des asymétries anatomiques cérébrales²⁶. Ces dernières seraient en outre déterminées par la présence ou non d'une trop grande quantité prénatale de testostérone -- sécrétée par les ovaires de la mère et par le fœtus même.

Si le taux de l'hormone respecte les limites « digestibles », l'asymétrie anatomique --et fonctionnelle-- typique vers l'HG se forme et le trait de la droiterie s'exprime. Si au contraire, un excès de testostérone pénètre dans le fœtus, la période post-migratoire en est affectée, et une mort neuronale moins massive qu'habituellement se produit. L'accroissement des structures de l'HG est alors ralenti, et l'avantage anatomique --et fonctionnel-- de l'HG devient amoindri voire inexistant. La manifestation du trait de la gaucherie accompagnerait en outre cette évolution particulière du développement cérébral.

Il importe ici de mentionner que les auteurs ont sélectionné la testostérone comme candidat hormonal capable d'influencer la préférence manuelle et l'organisation cérébrale du langage suite à la constatation d'un plus grand pourcentage d'hommes que de femmes gauchers (Geschwind & Galaburda, 1987).

²⁶ Les fondements de cette assertion reposent sur l'observation qu'une structure enfouie dans le lobe temporal — une région impliquée dans la compréhension et l'expression — le *planum temporale* est, chez les droitiers, plus volumineux à l'HG (Geschwind et Levitsky 1968).

Il est souhaité que la différence inter-genre observée chez les gauchers intrigue suffisamment pour inciter d'autres études à investiguer davantage sur le sujet. Quoi qu'il en soit, il reste que ce deuxième article, portant sur la différence inter-genre selon la préférence manuelle, réaffirme la particularité des gauchers quant à leur organisation cérébrale du langage.

L'interprétation des performances d'exactitude ci-haut repose sur les résultats obtenus qui découlent en l'occurrence d'un choix statistique. Les analyses statistiques effectuées ont été choisies de manière à dégager les patrons de latéralité pour chaque sexe. La comparaison des performances s'est ainsi effectuée entre le CVD et le CVG chez les hommes et les femmes respectivement. Autrement dit, les effets d'interaction du sexe par le champ visuel ont été décomposés dans le but d'obtenir les effets simples suivants : Hommes X Champs visuels et Femmes X Champs visuels.

Maintenant si l'attention se porte sur les différences de sexe dans le champ visuel droit et gauche, les résultats offrent des conclusions nouvelles. Les HG et HD des hommes ont davantage la capacité de traiter phonologiquement les mots présentés que les femmes et ce, quelle que soit la préférence manuelle (Figure 1). La décomposition des effets d'interaction, en laissant cette fois constant le champ visuel, donne en effet une différence inter- genre pour le CVD et le CVG chez les droitiers (CVD : $F_{(1, 32)} = 15,16, p \leq .05$; CVG : $F_{(1, 32)} = 16,55, p \leq .05$) et les gauchers (CVD : $F_{(1, 33)} = 8,63, p \leq .05$, CVG $F_{(1, 33)} = 10,09, p \leq .05$).

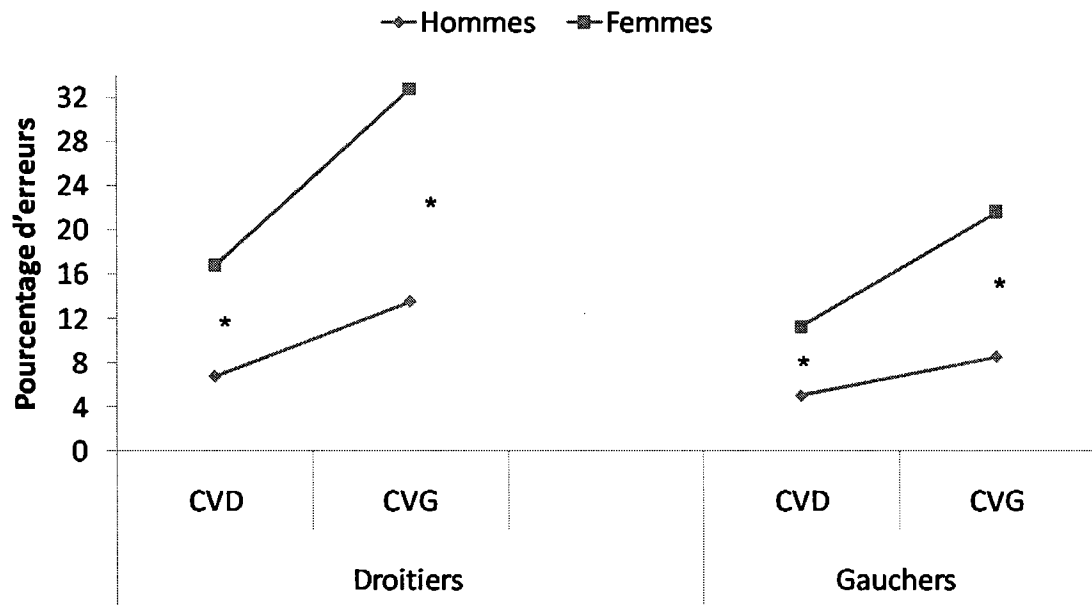


Figure 1- Comparaison des performances phonologiques entre les sexes dans le champ visuel droit et le champ visuel gauche chez les droitiers et les gauchers.

À une exception près, les résultats sémantiques sont similaires aux résultats phonologiques. Chez les droitiers, une différence de genre est observée pour le CVD ($F_{(1, 30)} = 8,55, p \leq .05$) et le CVG ($F_{(1, 30)} = 8,63, p \leq .05$). Chez les gauchers toutefois, une différence inter-genre est obtenue seulement pour le CVG ($F_{(1, 31)} = 6,62, p \leq .05$).

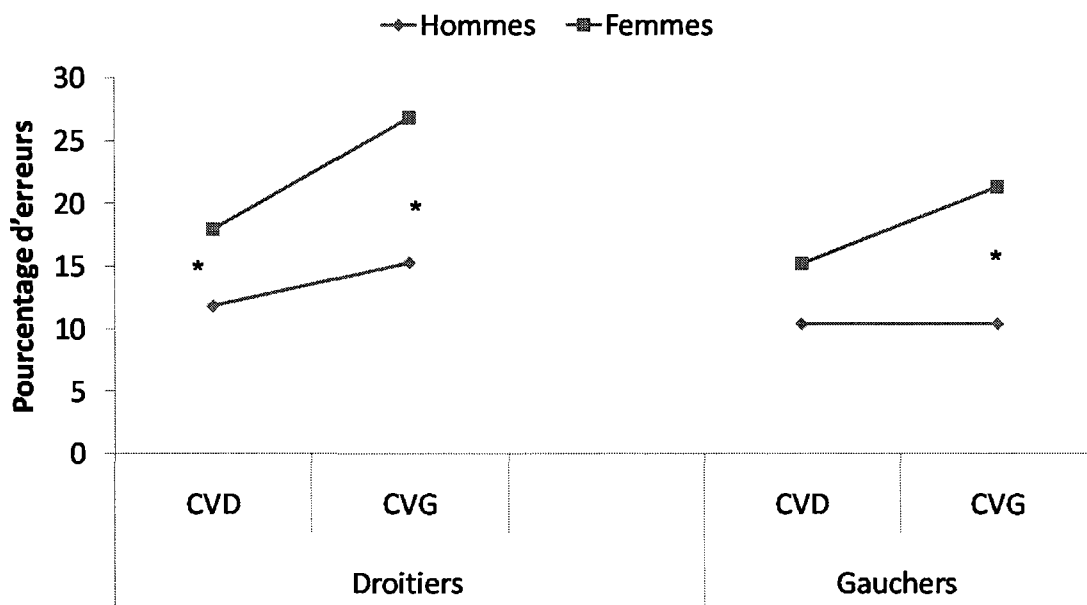


Figure 2- Comparaison des performances sémantiques entre les sexes dans le champ visuel droit et le champ visuel gauche chez les droitiers et les gauchers.

Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent que les hommes seraient moins latéralisés que les femmes. Bell, Morgan, Wilson et al., (2006) présentent une conclusion semblable. En effet, en mesurant l'activation cérébrale grâce à l'IMRF durant une tâche de génération de mots, ces auteurs obtiennent des patrons de résultats suggérant une moindre latéralisation du langage chez les hommes que les femmes droitiers. Toutefois, il est inutile de préciser qu'une telle conclusion reste à être étayée...

4. INFLUENCE DE LA COMPLEXITÉ DU TRAITEMENT CHEZ LES DROITIERS ET LES GAUCHERS

Les troisième et quatrième articles (voir chapitre 4) examinent tous deux l'influence de la complexité phonologique et sémantique du traitement des mots sur l'asymétrie fonctionnelle du langage, mais chez des populations cibles distinctes. Alors que le premier article s'intéresse spécifiquement aux droitiers, le second intègre la comparaison droitiers-gauchers.

Ensemble, les résultats suggèrent un impact différentiel de la complexité du traitement selon que l'analyse du mot se concentre sur la forme (phonologie) ou sur le sens (sémantique). Quelle que soit la préférence manuelle des participants, une augmentation de la complexité affaiblit la supériorité de l'HG lors d'un traitement sémantique. Une telle relation n'est cependant pas trouvée lors d'un traitement phonologique : l'augmentation de la complexité du traitement maintient ou renforce l'avantage de l'HG. À la lumière de ces résultats, il est suggéré qu'un traitement sémantique complexe requiert une collaboration de l'HG et de l'HD, alors qu'un traitement phonologique complexe s'accomplit par l'HG seulement, sans aide de l'HD, tant chez les droitiers ou gauchers.

L'engagement de l'HD lors d'un traitement sémantique complexe n'est pas une proposition nouvelle. Déjà des études en champ visuel divisé (Querné, Eustache et Faure, 2000; Monetta, Ouellet-Plamondon, & Joannette, 2006) et en imagerie cérébrale (Gur et al., 2000; Taylor, 2002) avancent cette hypothèse. Il reste que la nature de cette contribution reste à être élucidée (Monetta & Champagne, 2004), bien que l'observation d'une activation bilatérale des régions frontales (Gur et al., 2000; Taylor, 2000; Wiggs,

Weisberg & Martin, 1998) conduise certains auteurs à la relier à l'effort mnésique déployé pour rappeler l'information sémantique (Wiggs, Weisberg & Martin, 1998).

En ce qui concerne le traitement phonologique complexe, la forte supériorité de l'HG est aisément explicable chez les droitiers, mais constitue un défi chez les gauchers. Chez les droitiers, l'avantage hémisphérique gauche est aussi prononcé lors de la condition difficile que facile, ce qui permet d'inférer une inefficience généralisée de l'HD à traiter la forme sonore des mots. Une telle suggestion assoit sa légitimité sur les études menées auprès des patients commisurotomisés concluant que l'HD des droitiers ne peut effectuer un traitement phonologique requérant une conversion graphème-phonème (Baynes, Wessinger, Fendrich, & Gazzaniga, 1995; Rayman & Zaidel, 1991; Zaidel & Peter, 1981). En clair, les ressources phonologiques lacunaires ou négligeables de l'HD rendraient impossible toute collaboration avec l'HG.

Chez les gauchers, il serait imprudent d'imputer la supériorité de l'HG obtenue lors du traitement des mots non-transparents à une incompetence phonologique de l'HD puisque cet hémisphère semble traiter efficacement les mots transparents. C'est en fait ce que suggèrent les performances d'exactitude qui indiquent des taux d'erreurs relativement faibles pour les deux hémisphères. De plus, en comparant directement la performance de l'HD des droitiers et des gauchers, il ressort que celle des gauchers est significativement meilleure (test-t indépendant : $t = 2,45$; $df = 31$; $p \leq 0,02$). Que l'HD des gauchers soit davantage habile à effectuer une tâche phonologique que celui des droitiers est en accord avec les résultats d'études cliniques ayant isolé fonctionnellement

chacun des hémisphères (Ramussen & Milner, 1977, Risse, Gates, & Fangman, 1997)²⁷ et avec plusieurs études non-cliniques en champ visuel divisé ou en écoute dichotique (voir Bradshaw & Nettleton, 1983). Toutefois, comment expliquer le fait que la compétence phonologique des gauchers se manifeste seulement lors d'une condition facile? Il est possible que, bien que réelle, cette compétence soit trop peu importante pour s'exprimer lors d'une condition difficile, et qu'alors l'hémisphère spécialisé devient le seul efficient. La supériorité de l'HG observée lors de l'analyse des mots non transparents ne veut toutefois pas signifier qu'une contribution de l'HD est exclue lors de toutes les étapes cognitives du traitement. Basée sur une évaluation des performances hémisphériques, la proposition ne peut en fait concerner que l'étape finale d'un traitement, celle d'une décision comportementale²⁸.

Il est intéressant de constater qu'aucune différence entre les droitiers et les gauchers n'est trouvée quant au mode de fonctionnement hémisphérique, que ce soit lors de l'accomplissement de la tâche phonologique ou sémantique. Sachant que plusieurs indices anatomiques concernant le corps calleux (voir Driezen & Raz, 1995; Westerhausen et al., 2004)²⁹ laissent penser que les gauchers présentent une plus grande efficience de la connectivité inter-hémisphérique que les droitiers, ces résultats paraissent aller à contre-courant. Pourtant, parmi les études comportementales ayant comparé l'interaction inter-hémisphérique des droitiers et des gauchers (Banich,

27 En injectant l'amytal sodique dans chacun des hémisphères respectivement, ces études ont pu évaluer les habiletés de l'HG et l'HD séparément (test de Wada).

28 L'étude présentée à l'appendice E utilise les potentiels évoqués et suggèrent une participation de l'HD lors d'un processus post-lexical du traitement phonologique difficile. (voir Monetta, Tremblay & Joannette, 2003).

29 Certaines régions sont plus amples (Driezen & Raz, 1995) et la densité des fibres est plus grande chez les gauchers (Westerhausen et al., 2004).

Goering, Stolar & Belger., 1990; Belger & Banich, 1998; Eviatar, Hellige & Zaidel, 1997; Hatta & Yoshizaki, 1996), la grande majorité n'a pu déceler une différence liée à la préférence manuelle (Banich et al., 1990; Belger & Banich, 1998; Hatta & Yoshizaki, 1996).

Les résultats des troisième et quatrième articles ayant été mis en perspective à l'intérieur d'un corpus empirique, il serait pertinent de les intégrer à l'intérieur d'un cadre davantage théorique. C'est pourquoi ils seront interprétés à la lumière du modèle d'interaction de Banich et des hypothèses de l'accès direct et du relais calleux de Zaidel.

4.1 Les modèles de l'accès direct et du relais calleux

L'étude du quatrième article a testé directement les deux modes de fonctionnement hémisphérique proposés par Zaidel, soit le relais calleux et l'accès direct. Selon le modèle du relais calleux, le traitement s'effectue toujours par l'hémisphère spécialisé et, par conséquent, repose fortement sur le concept de médiation inter-hémisphérique via le corps calleux. L'input linguistique qui stimule l'HD est ainsi obligatoirement transféré à l'HG pour être traité (Zaidel, 1986). La confirmation de ce modèle amène alors à interpréter une différence de performance entre l'HD et l'HG en termes de connectivité inter-hémisphérique.

Le modèle de l'accès direct assume quant à lui une prise en charge totale par l'hémisphère qui reçoit le stimulus. L'information linguistique qui aboutit à l'hémisphère non spécialisé, c'est-à-dire à l'HD, est directement traitée par ce dernier (Zaidel, 1983). L'HG et l'HD présenteraient tous deux une compétence langagière mais

à des degrés différents, si bien qu'une différence de performance hémisphérique s'explique par une différence d'habileté et non plus par une différence de connectivité « calleuse ».

Afin de tester ces deux modes intra ou inter-hémisphérique, Zaidel élabore un paradigme expérimental simple, où la présentation unilatérale de stimuli en champ visuel divisé s'accompagne d'une réponse comportementale uni-manuelle qui doit systématiquement varier entre la main droite et la main gauche (Zaidel, 1983, 1986). Zaidel formule ensuite des prédictions claires et opérationnelles en termes de temps de réponse permettant de valider ou de réfuter les deux modèles.

En ce qui concerne le traitement phonologique, les données de l'article 4 confirment clairement l'hypothèse de l'accès direct chez les droitiers et les gauchers. Cette conclusion mérite une attention particulière parce qu'elle met au défi l'idée qu'un patron de performances en accord avec l'hypothèse de l'accès direct signifie d'emblée une efficacité de la part des deux hémisphères.

En fait, alors que les asymétries fonctionnelles obtenues indiquent une certaine compétence phonologique chez les gauchers, elles suggèrent une compétence négligeable chez les droitiers. Pourtant, il semble que l'HD des droitiers ait tenté de traiter directement le stimulus linguistique reçu, sans recours au transfert inter-hémisphérique. Il semble ainsi possible qu'un mode de fonctionnement strictement intra-hémisphérique survienne indépendamment de l'efficacité ou de l'inefficacité des hémisphères. Dans cet ordre d'idées, Braun et ses collègues ont testé une série de tâches via le paradigme expérimental de Zaidel, et aucune d'entre elles n'a fourni les résultats

confortant l'hypothèse du relais calleux (Braun et al., 1994)³⁰. Les mêmes auteurs ont également fait une revue exhaustive des expérimentations chronométriques utilisant ce paradigme et ils ont trouvé 29 patrons de performances soutenant l'hypothèse de l'accès direct contre un seul appuyant l'hypothèse du relais calleux (Braun, 1992). En fait, Zaidel lui-même critique l'hypothèse du relais calleux, étant donné que certains de ses postulats restent problématiques, et défend en revanche un fonctionnement hémisphérique indépendant lors de la plupart des tâches cognitives (Zaidel, Clarke, & Suyenobu, 1990):

«independance is a common and ubiquitous state in the normal brain [...] callosal transfer results in measurable loss of speed as well as in loss of stimulus quality, which in turn results in loss of accuracy. We may expect delay and degradation to depend on the nature of the information transferred and the channel used to transfer it. Unfortunately, we do not yet posses detailed information about the distribution of channels in the corpus callosum and their efficiency of transfer» (p. 301-303)³¹.

Toutefois, il reste que tant l'hypothèse du relais calleux que celle de l'accès direct échoue à expliquer certains patrons de performances hémisphériques, comme ceux obtenus lors de la tâche sémantique. Il est fort plausible que les deux modes de fonctionnement proposés par Zaidel soient trop stricts parce qu'ils impliquent tous deux la notion de « prise en charge hémisphérique ». Alors que le traitement cognitif à effectuer est contrôlé par l'hémisphère spécialisé selon l'hypothèse du relais calleux, il est assujetti à l'hémisphère stimulé selon l'hypothèse de l'accès direct. Une telle conception fait donc fi d'une complémentarité hémisphérique où ni l'HG ni l'HD ne prendrait en charge le traitement cognitif. Un tel mode de fonctionnement

³⁰ Les tâches employées sont les suivantes : une tâche simple de temps de réaction, la tâche de mémoire de Steinberg, une tâche de type go/no- go et une tâche d'association de mots.

³¹ En fait, Zaidel propose dans cet article un modèle d'indépendance hémisphérique dynamique où chaque étape d'un traitement pourrait présenter divers degrés d'indépendance hémisphérique.

hémisphérique est par contre défini par le modèle d'interaction hémisphérique de Banich.

4.2 Le modèle d'interaction hémisphérique de Banich

Le chapitre 4 (les troisième et quatrième articles) montre qu'une augmentation de la complexité de traitement semble engager une collaboration hémisphérique lors du traitement sémantique, mais non lors du traitement phonologique. Cet impact différentiel trouve un écho dans le modèle d'interaction hémisphérique de Banich. Selon ce dernier, le mode de fonctionnement hémisphérique adopté pour accomplir un traitement complexe varie selon la latéralité de la tâche (Belger & Banich, 1998). Lorsque les ressources associées à la résolution d'une tâche ne sont pas fortement latéralisées à un hémisphère, la coopération hémisphérique est le mode de fonctionnement privilégié (Banich & Belger, 1990; Belger & Banich, 1992). À l'inverse, lorsque les ressources associées à la résolution d'une tâche sont fortement latéralisées à un hémisphère la collaboration hémisphérique n'apporterait aucun avantage, et un mode de fonctionnement intra-hémisphérique est alors prédit (Belger & Banich, 1998).

Les résultats phonologiques et sémantiques issus d'une tâche fortement et moins latéralisés à l'HG (Walter et al., 1998) concordent avec la prédiction de Banich. Le traitement phonologique complexe semble reposer essentiellement sur les ressources de l'HG et solliciter un mode de fonctionnement intra-hémisphérique. Par contre, le traitement sémantique semble quant à lui solliciter un mode de fonctionnement

hémisphérique coopératif et ce, pour deux raisons. D'une part, la participation de l'HD est envisagée et d'autre part, le mode de fonctionnement hémisphérique n'est ni d'accès direct ni calleux.

Banich propose également un mécanisme par lequel une collaboration inter-hémisphérique s'effectue. Il s'agit du partage de l'information à traiter entre les hémisphères (Banich & Belger, 1990; Belger & Banich, 1992; Weissman & Banich, 2000). À la lumière des performances obtenues pour le traitement sémantique des mots faciles, les deux hémisphères semblent posséder une certaine efficience sémantique – quelque soit la préférence manuelle-- ce qui permet d'inférer la capacité à partager l'information d'ordre sémantique. Le mécanisme avancé par Banich pourrait ainsi soutenir la collaboration entre les deux hémisphères durant le traitement sémantique difficile.

Toutefois, Banich affirme également que l'absence d'une coopération hémisphérique durant la résolution d'une tâche difficile serait imputable à l'impossibilité de diviser l'information entre les hémisphères (Belger & Banich, 1998). Ce mécanisme pourrait aisément rendre compte de l'absence d'une coopération hémisphérique durant le traitement phonologique difficile chez les droitiers, mais non chez les gauchers. Étant donné la performance médiocre de l'HD à traiter les mots transparents (faciles), il est possible que le mode de fonctionnement intra-hémisphérique durant une condition difficile s'explique, en effet, par une impossibilité de partager l'information phonologique entre les hémisphères. Toutefois, chez les gauchers, le mode de fonctionnement intra-hémisphérique durant une condition phonologiquement difficile ne semble pas être dû à l'impossibilité de partager ce type d'information entre les deux

hémisphères puisqu'ils sont tous deux capables de traiter les mots transparents (mots faciles).

Aucun modèle ne réussit à lui seul à rendre compte des résultats phonologiques et sémantiques des droitiers et des gauchers. Alors que les résultats sémantiques s'intègrent aisément au modèle de Banich, c'est le modèle de l'accès direct de Zaidel qui semble le plus approprié pour expliquer les résultats phonologiques. Cela étant dit, il serait fort intéressant qu'un futur modèle de performances hémisphériques permette d'entrevoir le fonctionnement hémisphérique selon un mode intra-hémisphérique ou inter-hémisphérique de type calleux ou coopératif.

5. ASYMÉTRIES LATÉRALES ET ATTENTION

Tout au long de la présente thèse, il a été présumé que les performances obtenues aux champs visuels droit et gauche soient le signe d'une organisation cérébrale fonctionnelle. Or, il est possible que les performances enregistrées reflètent également un autre phénomène, soit un biais attentionnel.

Kinsbourne propose le premier que les asymétries de performances latérales puissent être attribuables à un biais attentionnel en faveur de l'hémi-espace droit ou gauche selon entre autres choses le type de matériel présenté et ce, indépendamment des mouvements oculaires (Kinsbourne 1970; Kinsbourne & Hicks, 1978). Le matériel verbal mettrait en alerte ou stimulerait l'HG, ce qui par conséquent favoriserait la détection et la reconnaissance des stimuli projetés du côté contralatéral, soit à l'hémichamp droit (Kinsbourne 1970; Kinsbourne & Hicks, 1978). Néanmoins, dans le contexte de la présente thèse, cette hypothèse attentionnelle ne peut à elle seule

expliquer les différences intra-individuelles observées entre les deux tâches langagières, ni les différences interindividuelles obtenues en manipulant la préférence manuelle et le genre.

Levy reprend en quelque sorte l'idée d'un biais attentionnel en proposant la notion d'activation hémisphérique individuelle (Levy, Heller, Banich, & Burton, 1983a). Selon cette hypothèse, chaque personne présente une tendance naturelle à activer soit l'HG, soit l'HD ou encore les deux hémisphères de façon équivalente (Levy, et al., 1983a). Si l'activation hémisphérique définie comme un trait stable expliquait les résultats de la présente thèse, les performances hémisphériques des tâches sémantique et phonologique devraient être positivement corrélées. Or, les coefficients de Spearman n'indiquent aucune corrélation significative entre les tâches phonologique et sémantique, sauf chez les femmes gauchères (voir les matrices de corrélation à l'appendice D). Qu'un facteur central tel l'activation hémisphérique puisse être un médiateur chez les femmes gauchères mais non chez les femmes droitnières ni chez les hommes droitiers ou gauchers dénote toute la complexité entourant les différences interindividuelles et la spécialisation hémisphérique du langage. À ce propos, il est à mentionner que Belger et Banich (1998) trouvent des patrons d'activation hémisphériques moins asymétriques chez les gauchers que les droitiers et les auteurs suggèrent qu'une interaction entre l'asymétrie fonctionnelle pour le langage et l'activation hémisphérique pourraient expliquer la différence droitier-gaucher lors de la performance d'une tâche langagière latéralisée. Bien que deux autres études ne constatent aucune différence selon le genre ou la préférence manuelle (Eviatar et al., 1997; Kim, Levine & Kertesz, 1990), les futures études en champ visuel divisé s'intéressant aux différences individuelles dans

l'asymétrie fonctionnelle du langage devraient évaluer l'activation hémisphérique des participants³². Il sera ainsi possible de mieux cerner la cause des performances hémisphériques lors d'une tâche langagière et d'approfondir les connaissances sur l'asymétrie fonctionnelle du langage.

6. CONCLUSION

La présente thèse a démontré l'influence tantôt similaire, tantôt différentielle de facteurs inter et intra-individuels sur l'asymétrie fonctionnelle du langage. Elle suggère d'une part que la préférence manuelle influence l'asymétrie fonctionnelle mais que celle-ci est modulée par le genre. Il semble en fait que l'effet du genre diffère selon la préférence manuelle. D'autre part, la présente thèse suggère que la complexité du traitement influence différemment l'asymétrie fonctionnelle et le mode de fonctionnement hémisphérique selon la composante du langage sollicitée. Un traitement phonologique des mots semble solliciter essentiellement l'HG et faire appel à un mode de fonctionnement intra-hémisphérique. Un traitement sémantique des mots paraît quant à lui engager un mode de fonctionnement inter-hémisphérique de type collaboratif pour pallier une augmentation de la complexité du traitement. Bien qu'elles soient l'aboutissement de ce travail, ces conclusions ouvrent sur d'autres questionnements, lesquels pourraient constituer, en retour, le point de départ d'autres études.

³² Le test des figures chimériques permet d'évaluer l'activation hémisphérique (Levy, Heller, Banich, & Burton, 1983a). Le participant doit juger l'émotion faciale de visages composites où la moitié arbore une expression de tristesse et l'autre de joie). Il est assumé que le jugement dépendra de l'inclinaison naturelle à favoriser l'hémi-espace droit ou gauche.

Il serait intéressant de se pencher, entre autres choses, sur les éventuels fondements physiologiques d'une variabilité découlant des caractéristiques biologiques de l'individu (préférence manuelle et genre). Par exemple, cette variabilité interindividuelle pourrait-elle s'expliquer en partie par des facteurs hormonaux? À ce propos, l'hormone de la testostérone serait un excellent candidat à étudier puisque son taux de concentration diffère largement entre les hommes et les femmes et qu'elle est théoriquement responsable de la préférence manuelle d'un individu (Geschwind & Galaburda, 1987).

En ce qui a trait à la variabilité intra-individuelle, l'influence d'une augmentation de la complexité du traitement sur l'asymétrie fonctionnelle suscite la réflexion. Si la participation des deux hémisphères varie selon que le traitement soit facile ou difficile, il serait désormais de bon aloi de considérer la complexité des tâches langagières lors d'une évaluation de l'asymétrie fonctionnelle. De plus, parce qu'un engagement de l'HD semble survenir suite à une augmentation de la complexité d'un traitement sémantique mais non phonologique, il serait imprudent de rendre compte de l'asymétrie fonctionnelle du langage en n'évaluant qu'une de ces deux composantes langagières. De plus, qu'il s'agisse de comprendre la variabilité inter ou intra-individuelle sous-jacente à l'organisation cérébrale des habiletés langagières, il serait indispensable que les prochaines études tentent de discriminer le rôle spécifique des facteurs d'ordre attentionnel durant la performance de tâches langagières.

Dans cet ordre d'idées, quelques mots sur la variabilité générale des performances perceptuelles. En fait, plutôt qu'être un signe de faible fiabilité, cette variabilité témoignerait de la grande sensibilité des méthodes comportementales aux

différences intra et interindividuelles, comme le défendent récemment plusieurs auteurs (Cowell, Denenberg, Boehm, Kertesz, & Nasrallah, 2003; Grimshaw, 2003). Ainsi, malgré l'explosion des études en imagerie cérébrale, l'évaluation des performances hémisphériques via la méthode des champs visuels divisés demeure pertinente, surtout dans un contexte où la spécialisation hémisphérique du langage tend à s'inscrire dans une perspective plus dynamique.

7. BIBLIOGRAPHIE

- Banich, M. T., & Belger, A. (1990). Interhemispheric interaction: How do the hemispheres divide and conquer a task? *Cortex*, 26, 77–94.
- Banich, M. T., Goering, S., Stolar, N., & Belger, A. (1990). Interhemispheric processing in left- and right-handers. *International Journal of Neuroscience*, 54, 197–208.
- Baynes, K., & Long, D. (2007). Three conundrums of language lateralization. *Language and Linguistic Compass*, 1, 48–70.
- Baynes, K., C. M. Wessinger, R. Fendrich, & M. S. Gazzaniga. (1995). The emergence of the capacity of a disconnected right hemisphere to name LVF stimuli: Implications for functional plasticity. *Neuropsychologia* 31, 1225–1242.
- Belger, A., & Banich, M. T. (1992). Interhemispheric interaction affected by computational complexity. *Neuropsychologia*, 30, 923–929.
- Bell, E.C., Willson, M.C., Wilman, A.H., Dave, S. & Silverstone, P.H. (2006). Males and females differ in brain activation during cognitive tasks. *Neuroimage* 30,529–538.
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M.H., Echallier, J.F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 235–260.
- Bradshaw, J.L., & Nettleton, N.C. (1983). *Human Cerebral Asymmetry*. New-Jersey: Prentice-Hall.
- Braun, C. M. J., Sapin-Leduc, A., Picard, C., Bonnenfant, E., Achim, A., & Daigneault, S. (1994). Zaidel's model of interhemispheric dynamics: Empirical tests, a critical appraisal, and a proposed revision. *Brain and Cognition*, 24, 57–86.
- Braun, C.M.J. (1992). Estimation of interhemispheric dynamics from simple unimanual reaction time to extrafoveal stimuli. *Neuropsychological Review*, 3, 171–212.

- Cowell, P. E., Denenberg, V. H., Boehm, G., Kertesz, A., & Nasrallah, H. (2003). Using the corpus callosum as an effective anatomical probe in the study of schizophrenia. In E. Zaidel & M. Iacoboni (Eds.), *The parallel brain: The cognitive neuroscience of the corpus callosum* (pp. 433-444). Cambridge, MA: MIT Press.
- Denenberg, V. H., Kertesz, A. & Cowell, P. E. (1991). A factor analysis of the human's corpus callosum. *Brain Research*, 548, 126-32.
- Driesen, N.R. & Raz, N. (1995). The influence of sex, age, and handedness on corpus callosum morphology: A meta-analysis. *Psychobiology*, 23, 240-247.
- Eviatar, Z., Hellige, J.B., & Zaidel, E. (1997). Individual variation in hemispheric processing and efficiency of interhemispheric collaboration, *Neuropsychology*, 11, 562-576.
- Gernsbacher, M. A., & Kaschak, M. P. (2003). Neuroimaging studies of language production and comprehension. *Annual Review of Psychology*, 54, 91-114.
- Geschwind, N., & Galaburda, A. M. (1987). *Cerebral lateralization: Biological mechanisms, associations, and pathology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Grimshaw, G. M. , Kwasny, K. M. , Covell, E. , & Johnson, R. A. (2003). The dynamic nature of language lateralization: Effects of lexical and prosodic factors, *Neuropsychologia*, 41, 1008-1019.
- Gur, R. C., Alsop, D., Glahn, D., Petty, R., Swanson, C. L., Maldjian, J. A., et al. (2000). An fMRI study of sex differences in regional activation to a verbal and a spatial task. *Brain and Language*, 74, 157-170.
- Habib, M., Gayraud, D., Olivia, A., Regis, J., Salamon, G. & Khalil, R. (1991). Effects of handedness and sex on the morphology of the corpus callosum: A study with brain magnetic resonance imaging. *Brain and Cognition*, 16, 41-61.
- Hatta, T. (2007). Handedness and the brain: A review of brain-imaging techniques. *Magnetic Resonance Medical Sciences*, 6, 99-112.

- Hatta, T., & Yoshizaki, K. (1996). Interhemispheric co-operation of left-and right-handers in mental calculation tasks. *Laterality*, 1, 299–313.
- Hiscock, M., Inch, R., Jacek, C., Hiscock-Kalil, C., & Kalil, K. M. (1994). Is there a sex difference in human laterality? I. An exhaustive survey of auditory laterality studies from six neuropsychological journals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 16, 423–435.
- Hiscock, M., Israelian, M., Inch, R., Jacek, C., & Hiscock-Kalil, C. (1995). Is there a sex difference in human laterality? II. An exhaustive survey of visual laterality studies from six neuropsychology journals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 590–610.
- Kim, H., Levine, S. C., & Kertesz, S. (1990). Are variations among subjects in lateral asymmetry real individual differences or random error in measurement? Putting variability in its place. *Brain and Cognition*, 14, 220–242.
- Kinsbourne M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, 33, 193-201.
- Kinsbourne, M. & Hicks, R.F. (1978). Functional cerebral space: a model for overflow, transfer and interference effects in human performance. In J. Requin (Eds.), *Attention and Performance VII*. Hillsdale NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Levy, J. (1972). Lateral specialization of the human brain: Behavioral manifestations and possible evolutionary basis. In J. Kiger (Eds.), *The biology of behavior* (pp. 159–180). Corvallis, OR: Oregon State University.
- Levy, J., Heller, W., Banich, M., & Burton, L. A. (1983a). Are variations among right-handed individuals in perceptual asymmetries caused by characteristic arousal differences between hemispheres? *Journal of Experimental psychology: Human Perception and Performance*, 9, 329-359.
- Levy, J., Heller, W., Banich, M., & Burton, L. A. (1983b). Asymmetry of perception in free viewing of chimeric faces. *Brain and Cognition*, 2, 404-419.
- McGlone, J., 1980. Sex differences in human brain asymmetry: a critical survey. *Behavioral Brain Science*, 3, 215–227.

- Monetta, L., & Champagne, M. (2004). Processus cognitifs sous-jacents déterminant les troubles de la communication verbale chez les cérébrolésés droits. *Rééducation orthophonique : hémisphère droit et communication verbale*, 219, 27-38.
- Monetta, L., Ouellet-Plamondon, C., & Joannette, Y. (2006). Simulating the pattern of right hemisphere-damaged patients for the processing of the alternative metaphorical meaning of words: Evidence in favor of a cognitive resources hypothesis. *Brain and Language*, 96, 171–177.
- Monetta, L., Tremblay, T. & Joannette Y. (2003). Semantic processing of words, cognitive resources and N400 : An event-related potentials study. *Brain and Cognition*, 53, 327-330.
- Querné, L., Eustache, F., & Faure, S. (2000). Interhemispheric inhibition, intrahemispheric activation, and lexical capacities of the right-hemisphere: A tachistoscopic, divided visual-field study in normal subjects. *Brain and Language*, 74, 171–190.
- Rayman, J., & Zaidel, E. (1991). Rhyming and the right-hemisphere. *Brain and Language*, 40, 89–105.
- Risse, G. L., Gates, J.R., & Fangman, M.C. (1997). A reconsideration of bilateral language representation based on the intracarotid amobarbital procedure. *Brain and Cognition*, 33, 118–32.
- Rugg, D. M. (1984). Event-related potentials and the phonological processing of words and non-words. *Neuropsychologia*, 44, 435-443.
- Sommer, IEC, Aleman, A., Bouma, A., & Kahn R.S., (2004). Do women really have more bilateral language representation than men? A meta-analysis of functional imaging studies, *Brain*, 127 pp. 1845–1852.
- Taylor, K. I. (2002). *Semantic language in the right hemisphere: Divided visual field, and functional imaging studies of reading*. Ph.D. thesis, University of Zurich.
- Voyer, D. (1996). On the magnitude of laterality effects and sex differences in functional lateralities. *Laterality*, 1, 51–83.

- Walter, N., Beauregard, M., Bourgouin, P., Beaudoin, G., & Joanette, Y. (1998). More difficult does not necessarily mean more brain: fMRI correlates of distinct levels of difficulty for phonological and semantic processing of words in normal subjects. *Brain and Language*, 65, 90–92.
- Walter, N., Beauregard, M., & Joanette, Y. (2002). Semantic single word processing in French: A study in divided visual hemifields. *Brain and Language*, 83, 179–182.
- Walter, N., Cliche, S., Joubert, S., Beauregard, M., & Joanette, Y. (2001). Grapheme-phoneme processing of single words. *Brain and Cognition*, 46, 295–299.
- Weissman D.H., & Banich, M.T. (2000). The cerebral hemispheres cooperate to perform complex but not simple tasks. *Neuropsychology*, 14, 41–59.
- Westerhausen, R., Kreuder, F., Dos Santos Sequeira, S., Walter, C., Woerner W., & Wittling R.A. *et al.*, (2004). Effects of handedness and gender on macro- and microstructure of the corpus callosum and its subregions: A combined high-resolution and diffusion-tensor MRI study. *Cognitive Brain Research*, 21, 418–426.
- Wiggs, C.L., Weisberg, J., & Martin, A. (1998). Neural correlated of semantic and episodic memory retrieval. *Neuropsychologia*, 37, 103–118.
- Witelson, S. F. (1989) Hand and sex differences in the isthmus and genu of the human corpus callosum. *Brain*, 112, 799–835.
- Zaidel, E. (1983). Disconnection syndrome as a model for laterality effects in the normal brain. In J. Hellige (Eds.), *Cerebral hemisphere asymmetry* (pp.95-151). New York: Praeger.
- Zaidel, E. (1986). Callosal dynamics and right hemisphere language. In F. Lepore, M. Ptito, & H.H. Jasper (Eds.), *Two hemispheres-one brain: Functions of the Corpus callosum* (pp. 435-459). New York: Alan R. Liss.
- Zaidel, E., & Peters, A. M. (1981). Phonological encoding and ideographic reading by the disconnected right-hemisphere: two case studies. *Brain and Language*, 14, 205–234.

Zaidel, E., Clarke, J. M., & Suyenobu, B. (1990). Hemispheric independence: A paradigm case for cognitive neuroscience. In A. B. Scheibel & A. F. Wechsler (Eds.), *Neurobiology of higher cognitive function* (pp. 237–355). New York: Guilford.

APPENDICE A :

QUESTIONNAIRE D'ÉDIMBOURG SUR LA

PRÉFÉRENCE MANUELLE, VERSION SIMPLIFIÉE

EDINBURGH HANDEDNESS INVENTORY (OLDFIELD, 1971)

N° Participant : _____

	G	D
1. ÉCRIRE	_____	_____
2. DESSINER	_____	_____
3. LANCER UNE BALLE	_____	_____
4. UTILISER LES CISEAUX	_____	_____
5. UTILISER LA BROSSSE À DENTS	_____	_____
6. COUPER AVEC UN COUTEAU (SEUL)	_____	_____
7. TENIR UN BALAI (MAIN D'EN HAUT)	_____	_____
8. FROTTER UNE ALLUMETTE	_____	_____
9. TENIR LA CUILLÈRE (SOUPE)	_____	_____
10. OUVRIR UN POT DE CONFITURE (LA MAIN QUI TIENS LE COUVERCLE)	_____	_____

Mettre ++ si la main exclusive
Mettre + si la main préférentielle
Mettre + dans chaque colonne si les deux mains sont utilisées indifféremment

$$\frac{\text{TOTAL D ()} - \text{TOTAL G ()}}{\text{TOTAL D + G ()}} \times 100 = \text{_____}$$

GAUCHER
ABSOLU

AMBIDEXTRE

DROITIER
ABSOLU

APPENDICE B :

HEMISPHERIC DYNAMIC DURING EASY AND

COMPLEX PHONOLOGICAL PROCESSING: AN ERP

STUDY

Hemispheric dynamic during easy and complex phonological processing :

An ERP study

Tania Tremblay, Laura Monetta, & Yves Joanette

45th Annual Meeting of the Academy of Aphasia

October 21-23, 2007

Washington, Washington DC, USA

1. INTRODUCTION

The hemispheric dynamics during language processing varies according to a number of inter individual factors, as handedness and gender (Josse & Tzourio-Mazoyer, 2004) as well as intra-individual factors like stimuli complexity (Belger & Banich, 1998). Indeed, many non-clinical studies have suggested that, in comparison to a simple language task, the performing of an effortful task needs the collaboration of both hemispheres. However, complexity studies have mostly focused on the lexico-semantic aspects of words, and thus have neglected other components of word processing such as phonological processing, which is known to be high left lateralized.

The general aim was to investigate through the use of ERP method the impact of complexity variation on the inter-hemispheric dynamics for the phonological processing of words. More specifically, the study sought to examine whether there was a participation of the right hemisphere (RH) during a complex phonological processing. The focus was on the N320 and N400, two components known to be elicited during a phonological task (Bentin et al., 1999; Rugg, 1984).

2. METHOD

2.1. Participants

Ten women between 20 and 30 years old participated in this study. They were monolingual speakers of Canadian French, right-handed with a score of more than 80% on the EHI (Edinburgh Handedness Inventory; Oldfield, 1971); all had more than 15

years of formal education. All participants had normal or corrected-to-normal vision, no previous major neurological episodes or conditions, and no history of substance abuse.

2.2. Task

The task was a phonological judgment where subjects had to indicate whether or not a written word contained the sound /o/. Stimuli consisted of 128 French common nouns divided into two degrees of complexity according to their grapho-phonemic transparency (Walter et al., 2001). For example, among the 64 targets, 32 were transparent (sound /o/ corresponded to the presence of the letter “O” as in “NEVROSE” [NEUROSIS]) and 32 were non-transparent (sound /o/ corresponded to a grapheme such as “AU” as in “AUDITEUR [*LISTENER*]). Transparent and non-transparent category words were considered respectively as the easy and the difficult conditions.

2.3. Procedure

After the electrodes were positioned, participants were seated in a comfortable chair. Participants had to read the words and respond by pressing a key on a numerical keyboard. The response involved a distal movement of the index finger.

2.4. Data acquisition

The ERP signal originating from 64 channels (system 10-20; Jasper, 1958) was collected by means of the Instep system (version 3.3). A nasal electrode was used as a reference. Two frontal electrodes (infra- and supra-orbital) and two external orbital

electrodes, amplified 3,500 times, were monitored for ocular movement control. The ERP recording was amplified 10,000 times, using a 0.04-100 Hz bandpass filter (-3 dB). All electrodes were made of tin and their impedance was reduced by abrasion to less than 5 kW. The sampling rate was set to 250 Hz.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The data for two subjects were excluded from the analysis because they included many artifacts. ERP amplitudes were analyzed for targets with correct behavioural responses by repeated-measures ANOVAs with the Greenhouse–Geisser correction. At first, in order to compare whether a variation of graphemes-to-phonemes difficulty has an impact on the N320 and the N400, a grand-averaged on fronto-central electrodes³³ was done. Then two separate Anovas were performed using the condition (easy, difficult) as the repeated-measures. Results show that both components were influenced differently (see Figure1). On one hand, a N320 (time window: 250 to 346 ms) was generated by both conditions, but its amplitude was significantly larger for easy than for difficult words ($F_{(1, 8)} = 80,83, p \leq .05$). That observation is in agreement with the idea advanced by Proverbio, Vecchi and Zani, (2004), namely that N320 reflects a stage in the graphemes-to-phonemes conversion mechanism and its larger amplitude represents the participant's confidence in their responses. On the other hand, a N400 was produced by difficult words only. Even though that result does not allow identifying the processing involves, it helps to gain insight. The fact that target words in a non- rhyming

³³ Fz, Fcz, F1,FC2 FC1 and FC2 electrodes

task were used and analysed rules out the hypothesis proposed by Rugg (1984) that the N400 may be attributable to an incongruity with the participant expectations. Indeed, it seems that the wave really has to do with complex phonological processing, when the conversion graphemes-to-phonemes is not easy.

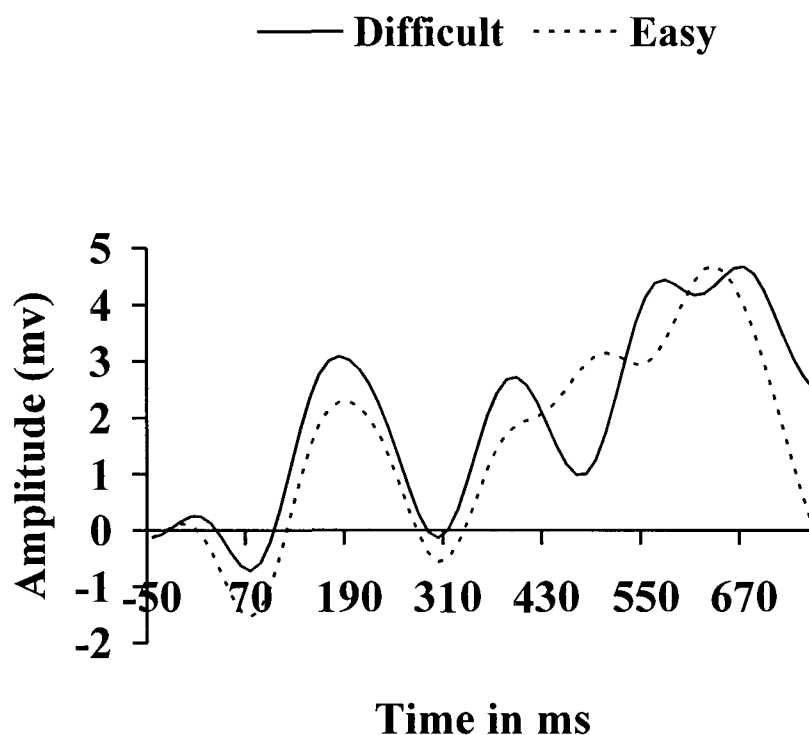


Figure 1 Grand-averaged ERP voltages during the difficult and easy conditions

A second set of analysis used hemisphere (left³⁴, right³⁵) as a repeated-measure to examine whether there was a RH participation during the most effortful condition. Any negativity around 320 ms was observed, but a N400 remains visible (time window: 394

³⁴ Grand-averaged voltages was done with AF3, F1, F3, F5, F7, FC1, FC3, FC5, FT7 CP1, CP3, CP5, TP7, P1, P3, P5, P7, PO3 electrodes

³⁵ Grand-averaged voltages was done with AF4, F2, F4, F6, F8, FC2, FC4, FC6, FT8, CP2, CP4, CP6, TP8, P2, P4, P6, P8, PO4 electrodes

to 502) with a magnitude advantage in the RH ($F_{(1, 9)} = 234.99$, $p \leq .05$). The absence of the earlier component may be due to its restricted topography on the left temporal areas (Jacquier, et al., 2004). In contrast, the remaining presence of a N400 may index a RH participation in a post-lexical process. Knowing that the RH alone lacks phonological abilities (Walter et al., 2001), such a bilateral distribution may reinforce the idea according to which the RH may participate whenever a processing becomes complex (Belger & Banich, 1998).

4. REFERENCES

- Banich, M. T. (1998). The missing link: The role of interhemispheric interaction in attentional processing. *Brain and Cognition*, 36, 128–157.
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M.H., Echallier, J.F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: time course and scalp distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 11, 235-260.
- Josse, G., & Tzourio-Mazoyer, N. (2004). Hemispheric specialization for language. *Brain Research Review*, 44, 1–12.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97–113.
- Proverbio, A. M., Vecchi, L., & Zani, A. (2004). From orthography to phonetics: ERP measures of grapheme-to-phoneme conversion mechanisms in reading. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 301-317.
- Rugg, D. M. (1984). Event-related potentials and the phonological processing of words and non-words. *Neuropsychologia*, 44, 435-443.
- Walter, N., Cliche, S., Joubert, S., Beauregard, M., & Joanne Y. (2001). Grapheme-phoneme processing of single words. *Brain and Cognition*, 46, 295–299.

APPENDICE C :
STIMULI DE LA TÂCHE PHONOLOGIQUE³⁶

³⁶ Walter, N., Cliche, S., Joubert, S., Beauregard, M., & Joanette Y. (2001). Grapheme-phoneme processing of single words. *Brain and Cognition*, 46, 295–299.

C.1. Cibles non transparentes

	Stimulus	Fréquence lexicale	Nombre de lettres	Fréquence moyenne des digrammes
1	amirauté	731	8	2.74
2	aubaine	357	7	2.79
3	auditeur	1233	8	2.89
4	baudruche	106	9	2.39
5	baume	314	5	2.60
6	causerie	829	8	2.79
7	causette	76	8	2.78
8	chauffage	493	9	2.45
9	chaume	574	6	2.71
10	chaussée	416	8	2.59
11	chausseau	8	9	2.89
12	cruauté	2025	7	2.52
13	daube	102	5	2.33
14	débauche	829	8	2.32
15	ébauche	808	7	2.14
16	embauche	55	8	2.34
17	embaumeur	42	9	2.59
18	épaulette	85	9	2.68
19	fraudeur	127	8	2.73
20	guimauve	42	8	2.46
21	jauge	17	5	2.35
22	jaunisse	46	8	2.72
23	nausée	778	6	2.38
24	papauté	178	7	2.71
25	paupiette	8	9	2.76
26	ravaudage	4	9	2.44
27	saucière	17	8	2.05
28	sauge	76	5	2.54
29	saule	744	5	2.97
30	sauvetage	484	9	2.78
31	taudis	259	6	2.51
32	vaurien	178	7	2.85

C.2. Cibles transparentes

	Stimulus	Fréquence lexicale	Nombre de lettres	Fréquence moyenne des digrammes
1	alcôve	553	6	1.24
2	animosité	276	9	2.63
3	apôtre	1331	6	2.46
4	arôme	399	5	1.95
5	arrosage	191	8	2.62
6	atome	1654	5	2.78
7	chômeur	348	7	2.28
8	chrome	38	6	2.76
9	cyclone	370	7	2.30
10	diplôme	536	7	1.93
11	dopage	8	6	2.52
12	doseur	8	6	2.96
13	drôlerie	140	8	2.30
14	frôlement	246	9	2.59
15	géométrie	1854	9	2.46
16	gosier	497	6	2.83
17	grossesse	344	9	2.89
18	grossiste	8	9	2.86
19	hôtesse	280	7	2.54
20	icône	144	5	1.55
21	joaillier	46	9	2.73
22	mimosa	153	6	2.44
23	nervosité	561	9	2.84
24	névrose	455	7	2.48
25	oasis	855	5	2.18
26	osier	502	5	2.79
27	rôdeur	191	6	2.14
28	rosaire	178	7	2.93
29	rosier	553	6	2.91
30	rugosité	25	8	2.37
31	verbosité	8	9	2.56
32	vomissure	34	9	2.97

C.3. Distracteurs non-transparents

	Stimulus	Fréquence lexicale	Nombre de lettres	Fréquence moyenne des digrammes
1	ajout	12	5	2.50
2	ardoise	561	7	2.77
3	boucherie	433	9	2.82
4	bouclette	34	9	2.79
5	bourrage	76	8	2.86
6	camouflet	46	9	2.61
7	chaloupe	153	8	2.68
8	comté	336	5	2.53
9	consigne	1289	8	2.93
10	croisière	208	9	2.34
11	débouché	655	8	2.40
12	démontage	21	9	2.69
13	droiture	433	8	2.96
14	éponge	638	6	2.61
15	fonte	676	5	3.06
16	fourrière	34	9	2.34
17	giboulée	89	8	2.26
18	gouttière	365	9	2.26
19	longévité	182	9	2.43
20	loupe	387	5	2.58
21	moulage	174	7	2.89
22	ouragan	378	7	2.62
23	pivoine	165	7	2.99
24	plombier	178	8	2.88
25	poignard	740	8	2.78
26	poupe	110	5	2.78
27	rouage	612	6	2.70
28	soûlerie	63	8	2.50
29	soupière	17	8	2.14
30	tabouret	748	8	2.84
31	tourbe	216	6	2.62
32	velours	2390	7	2.90

C.4. Distracteurs transparents

	Stimulus	Fréquence lexicale	Nombre de lettres	Fréquence moyenne des digrammes
1	acuité	523	6	2.66
2	angélus	340	7	2.34
3	balise	21	6	2.83
4	bascule	289	7	2.59
5	battement	1880	9	3.01
6	bêche	387	5	1.95
7	bidule	8	6	2.63
8	cardiaque	251	9	2.64
9	claquette	51	9	2.63
10	critère	548	7	2.07
11	ébéniste	140	8	2.32
12	élite	1637	5	2.74
13	épave	872	5	2.28
14	fleuriste	268	9	2.89
15	gâchis	178	6	2.04
16	graissage	8	9	2.85
17	graveur	174	7	2.94
18	guirlande	553	9	2.82
19	injecteur	4	9	2.56
20	interlude	34	9	2.83
21	levier	553	6	3.04
22	liège	165	5	1.31
23	nacre	476	5	2.71
24	narrateur	344	9	2.91
25	parvis	497	6	2.79
26	payeur	34	6	2.74
27	plasma	157	6	2.43
28	puberté	365	7	2.46
29	rudesse	450	7	2.61
30	rudiment	182	8	2.69
31	sablière	25	8	2.13
32	trajet	1382	6	2.47

APPENDICE D

STIMULI DE LA TÂCHE SÉMANTIQUE³⁷

³⁷ Walter, N., Beauregard, M. & Joanette, Y. (2002). Semantic single word processing in French: A study in divided visual hemifields. *Brain and Language*, 83, 179–182.

D.1. Cibles de basse prototypicalité

	Stimulus	Fréquence lexicale	Nombre de lettres	Score de prototypicalité ³⁸
1	anguille	314	8	2.90
2	blaireau	357	8	3.20
3	bourdon	319	7	3.50
4	brochet	170	7	3.40
5	caille	204	6	3.50
6	carpe	268	5	3.10
7	chamois	157	7	3.44
8	cigale	374	6	3.10
9	cormoran	80	8	2.90
10	couleuvre	293	9	3.10
11	crevette	153	8	3.00
12	crotale	38	7	2.56
13	écrevisse	280	9	3.50
14	geai	178	4	3.10
15	grillon	306	7	2.70
16	hanneton	187	8	2.10
17	hareng	221	6	3.30
18	langouste	187	9	2.80
19	libellule	170	9	3.00
20	mammouth	76	8	3.50
21	méduse	246	6	3.00
22	moucheron	238	9	2.40
23	mouflon	38	7	2.88
24	perdrix	289	7	3.44
25	pintade	165	7	3.20
26	poularde	76	8	2.33
27	puce	646	4	2.60
28	sardine	319	7	3.00
29	scarabée	174	8	2.70
30	scorpion	204	8	3.40
31	sole	174	4	3.40
32	tapir	124	5	3.00

³⁸ Score calculé grâce à l'appréciation de juges.

D.2. Cibles de haute prototypicalité

	Stimulus	Fréquence lexicale	Nombre de lettres	Score de prototypicalité³⁹
1	agneau	901	6	5.80
2	aigle	1135	5	5.00
3	baleine	263	7	5.90
4	bélier	472	6	5.70
5	brebis	944	6	6.10
6	canard	1297	6	6.00
7	chèvre	1523	6	6.40
8	chevreuil	174	9	6.00
9	crocodile	365	9	5.80
10	dauphin	370	7	6.00
11	écureuil	489	8	6.00
12	éléphant	701	8	7.50
13	gazelle	238	7	5.50
14	lapin	2012	5	6.50
15	lièvre	1216	6	5.50
16	lion	1791	4	6.70
17	loup	3884	4	6.50
18	moineau	425	7	5.40
19	mouette	425	7	4.80
20	mouton	2237	6	6.60
21	perroquet	446	9	4.90
22	phoque	289	6	5.20
23	pigeon	1310	6	5.10
24	porc	825	4	6.40
25	poulet	1072	6	5.50
26	sanglier	599	8	4.90
27	singe	1646	5	6.40
28	souris	1042	6	6.00
29	taureau	3143	7	6.30
30	tigre	527	5	6.80
31	tortue	557	6	5.40
32	veau	961	4	6.00

³⁹ Score calculé grâce à l'appréciation de juges.

D.3. Distracteurs

	Stimulus	Fréquence lexicale	Nombre de lettres	
1	audition	319	8	-
2	balancier	182	9	-
3	bistouri	89	8	-
4	briquet	442	7	-
5	cartable	106	8	-
6	cirage	119	6	-
7	concombre	51	9	-
8	couplage	89	8	-
9	dégel	144	5	-
10	écluse	514	6	-
11	écuelle	378	7	-
12	élagage	21	7	-
13	fourrage	238	8	-
14	grès	272	4	-
15	hâle	123	4	-
16	lavette	12	7	-
17	médaille	221	9	-
18	myosotis	148	8	-
19	osselet	59	7	-
20	paie	161	4	-
21	ponction	110	8	-
22	pourboire	536	9	-
23	sabotage	225	8	-
24	sciure	191	6	-
25	segment	161	7	-
26	tiret	38	5	-
27	toupie	251	6	-
28	traîtrise	114	9	-
29	tremplin	221	8	-
30	tutelle	280	7	-
31	vandale	46	7	-
32	virgule	285	7	-

(suite)

33	alcool	1969	6	-
34	berge	884	5	-
35	calorie	187	7	-
36	comète	336	6	-
37	couplet	370	7	-
38	curé	6704	4	-
39	dressage	302	8	-
40	épopée	595	6	-
41	feutre	999	6	-
42	foin	1527	4	-
43	fossé	1684	5	-
44	gobelet	353	7	-
45	grille	2926	6	-
46	hommage	2582	7	-
47	intrus	399	6	-
48	manège	1004	6	-
49	marais	1101	6	-
50	ongle	2607	5	-
51	orme	314	4	-
52	parterre	484	8	-
53	passport	404	9	-
54	préambule	421	9	-
55	psaume	884	6	-
56	pyramide	744	8	-
57	sapin	1531	5	-
58	soutane	957	7	-
59	touffe	1255	6	-
60	tournesol	89	9	-
61	trou	5807	4	-
62	vallon	9697	6	-
63	verrou	574	6	-
64	visière	314	7	-

APPENDICE E :

CORRÉLATIONS ENTRE LES TEMPS DE

RÉPONSEAUX STIMULI PHONOLOGIQUES ET

SÉMANTIQUES

E.1. Coefficients de Spearman pour les hommes gauchers

		Tâche sémantique			Tâche phonologique		
		HP	BP	Total	T	NT	Total
Tâche sémantique	HP	1,000	-,324	,847**	,101	,100	,107
	BP	-,324	1,000	,008	,085	,422	,357
	Total	,847**	,008	1,000	,144	,201	,217
Tâche phonologique	T	,101	,085	,144	1,000	,359	,704**
	NT	,100	,422	,201	,359	1,000	,894**
	Total	,107	,357	,217	,704**	,894**	1,000

* La corrélation est significative au niveau 0.05

** La corrélation est significative au niveau 0.01

HP : Cibles de haute prototypicalité

BP : Cibles de basse prototypicalité

T : Cibles transparentes

NT : Cibles non transparentes

E.2. Coefficients de Spearman pour les hommes droitiers

		Tâche sémantique			Tâche phonologique		
		HP	BP	Total	T	NT	Total
Tâche sémantique	HP	1,000	,479*	,925**	,064	,341	,249
	BP	,479*	1,000	,729**	,218	,274	,207
	Total	,925**	,729**	1,000	,075	,296	1,000
Tâche phonologique	T	,064	,218	,075	1,000	,461	,871**
	NT	,341	,274	,296	,461	1,000	,797**
	Total	,249	,207	,216	,075	,797**	1,000

* La corrélation est significative au niveau 0.05

** . La corrélation est significative au niveau 0.01

HP : Cibles de haute prototypicalité

BP : Cibles de basse prototypicalité

T : Cibles transparentes

NT : Cibles non transparentes

E.3. Coefficients de Spearman pour les femmes gauchères

		Tâche sémantique			Tâche phonologique		
		HP	BP	Total	T	NT	Total
Tâche sémantique	HP	1,000	,675**	,915**	,503*	,270	,488
	BP	,675**	1,000	,879**	,763**	,317	,693**
	Total	,915**	,879**	1,000	,710**	,326	,650**
Tâche phonologique	T	,503*	,763**	,710**	1,000	,484*	,732**
	NT	,270	,317	,326	,484*	1,000	,732**
	Total	,488	,693**	,650**	,922**	,732**	1,000

* La corrélation est significative au niveau 0.05

** La corrélation est significative au niveau 0.01

HP : Cibles de haute prototypicalité

BP : Cibles de basse prototypicalité

T : Cibles transparentes

NT : Cibles non transparentes

E.4. Coefficients de Spearman pour les femmes droitières

		Tâche sémantique			Tâche phonologique		
		HP	BP	Total	T	NT	Total
Tâche sémantique	HP	1,000	-,297	,902**	,166	,125	,116
	BP	-,297	1,000	,033	-,081	,370	,082
	Total	,902**	,033	1,000	,138	,274	,162
Tâche phonologique	T	,166	-,081	,138	1,000	,377	,929**
	NT	,125	,370	,274	,377	1,000	,640**
	Total	,116	,082	,162	,929**	,640**	1,000

* La corrélation est significative au niveau 0.05

** La corrélation est significative au niveau 0.01

HP : Cibles de haute prototypicalité

BP : Cibles de basse prototypicalité

T : Cibles transparentes

NT : Cibles non transparentes

APPENDICE F

ACCORDS DES CO-AUTEURS ET AUTORISATION DES

ÉDITEURS POUR LA DIFFUSION
