

Direction des bibliothèques

AVIS

Ce document a été numérisé par la Division de la gestion des documents et des archives de l'Université de Montréal.

L'auteur a autorisé l'Université de Montréal à reproduire et diffuser, en totalité ou en partie, par quelque moyen que ce soit et sur quelque support que ce soit, et exclusivement à des fins non lucratives d'enseignement et de recherche, des copies de ce mémoire ou de cette thèse.

L'auteur et les coauteurs le cas échéant conservent la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent ce document. Ni la thèse ou le mémoire, ni des extraits substantiels de ce document, ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans l'autorisation de l'auteur.

Afin de se conformer à la Loi canadienne sur la protection des renseignements personnels, quelques formulaires secondaires, coordonnées ou signatures intégrées au texte ont pu être enlevés de ce document. Bien que cela ait pu affecter la pagination, il n'y a aucun contenu manquant.

NOTICE

This document was digitized by the Records Management & Archives Division of Université de Montréal.

The author of this thesis or dissertation has granted a nonexclusive license allowing Université de Montréal to reproduce and publish the document, in part or in whole, and in any format, solely for noncommercial educational and research purposes.

The author and co-authors if applicable retain copyright ownership and moral rights in this document. Neither the whole thesis or dissertation, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms, contact information or signatures may have been removed from the document. While this may affect the document page count, it does not represent any loss of content from the document.

Université de Montréal

**Habilités inférentielles et
contribution des hémisphères cérébraux**

par

Caroline HAMEL

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 (neuropsychologie R/I)

Novembre 2007



Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

**Habilités inférentielles et
contribution des hémisphères cérébraux**

présentée par

Caroline HAMEL

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Sven Joubert

Président - rapporteur

Yves Joannette

Directeur de recherche

Bernadette Ska

Membre du jury

Marc Pell

Examineur externe

Dave Elleberg

Représentant du doyen de la FES

Thèse acceptée le: 14 février 2008

*À Jean-Nicolas, celui qui a été, est
et sera toujours dans mon cœur...*

À Steve, l'homme de ma vie.

Remerciements

Aussi surprenant que cela puisse paraître, il y a bien longtemps que la rédaction de mes remerciements a débuté, pratiquement depuis les premiers instants de ce périple... Courts au départ, voilà qu'ils sont plus imposants aujourd'hui, tant en nombre de personnes qui y figurent qu'en merci à divulguer. C'est le bonheur des gens bien entourés!

Tout d'abord, je ne peux aller plus loin sans remercier celui qui est le pilier de cette thèse: mon directeur que j'admire, **Yves Joannette**. Merci d'avoir guidé mon chemin durant toutes ces années et de m'avoir permis d'aller "loin", dans tous les sens du terme, au-delà même de ce que j'aurais cru possible. Merci pour tes conseils, tant sur le plan scientifique que personnel et merci d'avoir su quoi dire ou ne pas dire, dans les bons comme les mauvais moments... Tu es un directeur formidable, qui sait transmettre sa passion pour la recherche.

Je me dois également de remercier tous ceux qui ont contribué à cette thèse sans que je ne puisse les nommer. Je parle bien entendu des nombreux **participants** auxquels j'ai fait appel et sans qui rien de tout ça n'aurait été possible.

Sans attendre davantage, je tiens à remercier feu **Dominique Cardebat** qui m'a prise sous son aile lors de mon stage à Toulouse et qui a accompli le rôle d'une directrice par intérim! Je garde de toi le souvenir d'une femme unique, pleine de vie, d'opinions et de générosité.

Je voudrais également souligner le travail, souvent dans l'ombre, de tous les gens de l'infrastructure: **Francine Giroux**, pour sa participation active à mes analyses statistiques et ses précieux conseils, **Frédéric Lesage** et **Noureddine Senhadji**, pour leur aide en imagerie optique, **Marianne Corre** pour toutes les ressources et articles qu'elle a mis à ma disposition, sans oublier toutes les autres personnes indispensables du 7^e étage: **Colette Cerny**, **Cathy Desmarais**, **Johanne Dupuis**, et **Raymonde Thibault**. Je tiens aussi remercier les gens de l'informatique qui sont toujours là dans nos moments de panique ou d'incompréhension face à nos "machines": **Johane Landry**, **Marcelo Sequeira** et **Marc Filarétos**.

Pendant mes années de doctorat, j'ai eu l'occasion d'occuper plusieurs emplois, tâches connexes à ma recherche, telles qu'enseigner. Pour cela, je voudrais remercier **Renée Béland**, **Jean-Pierre Gagné**, **Bernadette Ska** et **Louise Getty** de m'avoir donné ma chance au département d'orthophonie et d'audiologie.

Ma formation en était également une clinique et j'aimerais remercier toutes celles et ceux qui ont contribué à améliorer mes habiletés de clinicienne, qui ont eu la patience de m'observer, de me corriger et de faire de moi une meilleure neuropsychologue.

Merci à **Alain Agniel, Sylvie Belleville, Sylvie Daigneault, Adriana Enriquez-Rosas, Francine Fontaine, Brigitte Gilbert, Steve Joncas, Maryse Lassonde et Michèle Puel.**

Un merci tout spécial à **Nathalie Walter**, ma "grande" amie, pour son écoute, ses judicieux conseils, sa rigueur au travail, son immense générosité, son sens de l'humour, son enseignement de câlins et surtout son amitié sincère.

Merci aussi à celles et ceux qui m'ont accompagnée durant toutes ces années: **Maud Champagne, Sophie Chesneau, Chloé de Boysson, Antoine Dubois-Couture, Valérie Drolet, Isabelle Goudreau, Sven Joubert, Karima Kahlaoui, Beatriz Mejia-Constain, Evelyne Mercure, Viviane Moix, Laura Monetta, Emmanuel Tremblay, Tania Tremblay, Émilie Turcotte** et les autres qui ont croisé mon chemin...

Merci à mes amis de longue date, **Chantal Boulé** et **Dominic Châtelain**, pour avoir toujours été présents, attentifs, généreux et pour m'avoir permis d'être "matante" de vos filles, **Alexanne** et **Camille**.

Merci à **Lise Beaucher**, ma deuxième maman, une femme que j'admire profondément et en qui j'ai une confiance sans borne. Merci aussi à **Sophie Natasha Gagnon, Eric Gagnon** et **Sylvie Gaudreau** et maintenant **Tristan**, ma famille adoptive!

Merci à feu **Jean-Nicolas Gagnon**, qui m'a perpétuellement soutenue durant le début de ce périple. Merci Nico, pour nos discussions, pour tes conseils, tes explications éclairées et très pédagogiques, tes bras (pour le transport de dossiers d'archives!!!), ta sensibilité et pour ton amour qui restera gravé dans mon cœur. Tu m'as appris plus que tu n'aurais jamais pu le soupçonner... Je sais que tu es toujours avec moi et je t'en suis sincèrement reconnaissante...

Merci à mes parents, **Céline** et **Pierre Hamel**, pour leur soutien tant affectif que financier. Je ne pourrai jamais vous remercier assez d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir permis d'effectuer mes erreurs et d'apprendre d'elles. Merci aussi de m'aimer telle que je suis, pleine de caractère! Vous êtes pour moi les meilleurs parents que l'on puisse souhaiter! Merci à **Martin**, mon frère, si différent de moi, mais qui me fait souvent voir le monde d'un autre œil.

Merci à **Steeve Gauthier**, celui qui a subi la fin de cette thèse! Merci de partager ma vie, merci pour ta patience, ta générosité et ton amour. Je ne pourrais souhaiter un meilleur mari. Je t'aime!

Et finalement, merci aux organismes qui m'ont soutenue financièrement durant toutes ces années de doctorat. Les **Instituts de recherche en santé du Canada (IRSC)**, le **Centre de recherche en neuropsychologie et cognition (CERNEC)**, le **Regroupement provincial de recherche en imagerie cérébrale (REPRIC)**, et le **Ministère de l'éducation du Québec (MEQ)**-bourse de mobilité.

Sommaire

Un déficit dans l'habileté à effectuer des inférences est une hypothèse mise de l'avant afin d'expliquer le déficit de la communication verbale rencontré chez certains cérébrolésés droits (CLD). En effet, les CLD exhibent, à plusieurs égards, une difficulté à comprendre l'intention réelle du locuteur et présentent des difficultés de compréhension des aspects non littéraux du langage. Le but de ce travail était de vérifier si hémisphère droit est impliqué dans le traitement inférentiel et s'il contribue de façon spécifique ou aspécifique au traitement des inférences. Pour ce faire, un protocole composé d'inférences logiques et pragmatiques a été proposé à des individus CLD et cérébrolésés gauches (CLG). De plus, afin d'explorer la contribution relative des deux hémisphères cérébraux lors du traitement d'inférences, une étude en utilisant l'imagerie optique diffuse a été réalisée avec des participants sains neurologiquement.

Après une revue de la littérature (chapitre 1), le chapitre 2 rassemble les deux études comportementales réalisées auprès de participants CLD et CLG. Les conclusions tirées de ces études suggèrent qu'une lésion à l'hémisphère droit affecte les habiletés à effectuer des inférences. En revanche, d'après ces études, il ne semble pas qu'une lésion à l'hémisphère gauche affecte de telles habiletés.

Le chapitre 3 tente ensuite de déterminer dans quelle mesure les hémisphères droit et gauche contribuent au traitement d'un type particulier d'inférences, les inférences logiques. Les résultats obtenus à partir de cette étude indiquent que les deux hémisphères cérébraux sont engagés dans le traitement d'inférences logiques. Par ailleurs, ces résultats soulignent que les régions frontales sont particulièrement sollicitées dans la résolution d'inférences logiques.

L'ensemble des travaux présentés ici suggèrent que le couplage des deux hémisphères apparaît comme étant primordial à la bonne réalisation de tâches inférentielles. Ainsi, l'intégrité de l'hémisphère droit apparaît comme nécessaire, mais non suffisante, à l'accomplissement d'inférences logiques.

Mots clé: langage, pragmatique, hémisphère droit, hémisphère gauche, habiletés inférentielles, syllogismes, imagerie optique diffuse.

Summary

A deficit in the ability to process inferences has been hypothesized to explain the verbal communication deficit that some right-hemisphere-damaged (RHD) individuals present. In fact, some RHD subjects have difficulties understanding the real intentions of speakers and comprehending non-literal language. The aim of this thesis was to determine whether the right hemisphere is involved in processing inferences and whether it contributes in a unique way to the inferencing process. To do this, a protocol consisting of logical and pragmatic inferences was administered to RHD and left-hemisphere-damaged (LHD) individuals. In addition, to explore the relative contributions of both cerebral hemispheres during inference processing, a study using near-infrared spectroscopy with healthy participants was carried out.

After a literature review (chapter 1), chapter 2 describes two behavioral studies conducted with RHD and LHD participants. The conclusions drawn from these studies suggest that a lesion in the right hemisphere affects the ability to make inferences. However, according to these studies, it does not appear that a lesion in the left hemisphere affects these abilities.

Chapter 3 then attempts to determine to what extent right and left hemispheres contribute to the processing of a particular type of inferences: logical inferences. The results of this study indicate that both hemispheres are involved in the processing of logical inferences. In addition, these results revealed that the frontal areas play a key role in the resolution of logical inferences.

All the work presented here suggests that both hemispheres appear to be essential for the successful completion of inferencing tasks. Thus, the integrity of the right hemisphere appears to be necessary, but not sufficient, for the understanding of logical inferences.

Key words: language, pragmatics, right hemisphere, left hemisphere, inferencing abilities, syllogisms, near-infrared spectroscopy.

Table des matières

Liste des tableaux	ix
Liste des figures	x
Liste des abréviations	xi
Liste des annexes	xii
CHAPITRE 1 Introduction	13
CHAPITRE 2 Études comportementales	30
<i>Étude 1</i>	31
Some do, others do not: inferencing deficit following right-hemisphere damage Caroline Hamel & Yves Joanette <i>Journal of International Neuropsychology Society, soumis</i>	
<i>Étude 2</i>	54
Résolution d'inférences logiques et pragmatiques après une lésion cérébrale gauche Caroline Hamel & Yves Joanette <i>Revue de Neuropsychologie, 16 (4), 443-460 (2006)</i>	
CHAPITRE 3 Étude en imagerie optique diffuse	74
<i>Étude 3</i>	75
Left and right hemispheric contributions to syllogistic reasoning: evidence from a NIRS study Caroline Hamel, Nathalie Walter & Yves Joanette <i>Cerebral Cortex, soumis</i>	
CHAPITRE 4 Discussion générale	95
Index des auteurs	108
Références	114
Annexes	126

Liste des tableaux

ÉTUDE 1

Table 1	Examples of different types of logical inferences-syllogisms	39
Table 2	Story used for pragmatic inferencing	40
Table 3	Cluster data for logical inferencing task	44
Table 4	Cluster data for pragmatic inferencing task	45

ÉTUDE 2

Tableau 1	Exemples d'inférences logiques	62
Tableau 2	Histoire et affirmations utilisées pour la tâche d'inférences pragmatiques	63
Tableau 3	Description des participants	64
Tableau 4	Pourcentage de bonnes réponses et écarts-types des participants contrôles et CLG aux tâches d'inférences logiques et pragmatiques	65

ÉTUDE 3

Table 1	Examples of logical inferences	80
Table 2	Examples of reference stimuli	81
Table 3	HbO (white lines) and HbR (grey lines) concentrations for right and left hemispheres as a function of level of difficulty	88

Liste des figures

ÉTUDE 1

Figure 1	Mean task performance as a function of group	41
Figure 2	Mean correct answers for types of logical inferences in function of groups	42
Figure 3	Means correct answers for types of statements in pragmatic inferencing task in function of groups	42
Figure 4	Cluster analysis graph for logical inferencing task	43
Figure 5	Cluster analysis graph for pragmatic inferencing task	45

ÉTUDE 2

Figure 1	Performances moyennes des participants cérébrolésés gauches et contrôles pour les tâches d'inférences logiques et pragmatiques	65
Figure 2	Pourcentage de bonnes réponses selon le type d'inférences logiques pour les deux groupes de participants	66

ÉTUDE 3

Figure 1	Probe holders for NIRS acquisition (left and right hemispheres)	81
Figure 2	Mean response time (in milliseconds) for reference stimuli and syllogisms	84
Figure 3	HbO and HbR concentrations for reference stimuli and syllogisms	84
Figure 4	HbO and HbR concentrations for 8 brain regions	85

Liste des abréviations

En langue française

AVC	Accident vasculaire cérébral	HD	Hémisphère droit
CLD	Cérébrolésumé droit	HG	Hémisphère gauche
CLG	Cérébrolésumé gauche	IRM	Imagerie par résonance magnétique
EMC	Endocentrique / marqué / congruent	IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
EMI	Endocentrique / marqué / incongruent	TEP	Tomographie par émission de positrons
ENC	Endocentrique / non marqué / congruent	XNC	Exocentrique/non marqué/incongruent
ENI	Endocentrique / non marqué / incongruent		

En langue anglaise

BOLD	Blood oxygen level dependent	LHD	Left hemisphere damaged
CT-Scan	Computerized tomography	LTS	Left temporal superior
EC	Endocentric/congruent	MSE	Mean squared error
EI	Endocentric/incongruent	NIRS	Near infrared spectroscopy
ERP	Event-related potential	RH	Right hemisphere
FI	Frontal inferior	RHD	Right hemisphere damaged
fMRI	Functional magnetic resonance imaging	RT	Response time
FS	Frontal superior	SD	Standard deviation
HbO	Oxyhemoglobine	TI	Temporal inferior
HbR	Deoxyhemoglobine	TS	Temporal superior
LFS	Left frontal superior	XC	Exocentric/congruent
LH	Left hemisphere	XI	Exocentric/incongruent

Liste des annexes

ANNEXE 1	Histoire et affirmations utilisées pour la tâche d'inférences pragmatiques	<i>127</i>
ANNEXE 2	Stimuli utilisés pour la tâche d'inférences logiques (étude comportementale)	<i>129</i>
ANNEXE 3	Stimuli utilisés pour la tâche d'inférences logiques (étude en imagerie optique diffuse)	<i>132</i>

Introduction

1. "On parle avec l'hémisphère gauche" (Broca, 1865)	14
2. Les composantes discursive et pragmatique de la communication	15
2.1. La composante discursive	15
2.2. La composante pragmatique	20
2.2.1. L'hémisphère droit et la communication	20
2.2.2. Les habiletés pragmatiques des cérébrolésés droits	21
3. Les habiletés inférencielles	22
3.1. Les définitions de l'inférence	22
3.2. Les types d'inférences	23
3.3. Les cérébrolésés droits et la résolution d'inférences	25
3.4. La neuroimagerie de la résolution d'inférences	27
4. Position du problème et objectifs de la thèse	28
5. Structure de la thèse	29

Cerveau.

Appareil avec lequel nous pensons que nous pensons. Ce qui distingue l'homme qui se contente d'être quelque chose de celui qui souhaite faire quelque chose.

Ambroise Bierce

Depuis Aristote, la compréhension du cerveau et de son implication au niveau du comportement a grandement évolué. En effet, voilà 2000 ans, Aristote avait proposé qu'une chose appelée *esprit*, *psyché* ou *âme* était l'entité responsable de la production des comportements humains. Le cerveau, lui, ne servant qu'à refroidir le sang! Mis à part quelques érudits, tels que Hippocrate (IV^e siècle av. J.C.) qui considéraient le cerveau comme le siège de l'intelligence, il fallu attendre jusqu'au XVII^e siècle pour que Descartes localise le "siège de l'âme" au niveau de structures cérébrales, comme la glande pinéale. Toutes ces intuitions ont certes fait progresser le questionnement relatif au cerveau et à ses fonctions. Pourtant, c'est seulement au milieu du XIX^e siècle que s'affirme l'exploration plus scientifique du cerveau et de son implication dans les processus langagiers.

1	"On parle avec l'hémisphère gauche" (Broca, 1865)
----------	--

Le langage et le rôle du cerveau dans la communication ont commencé à susciter de l'intérêt dès le XIX^e siècle. En effet, après les travaux de Gall et Spurzheim (1810), Bouillaud (1825) a été le premier à véritablement s'intéresser à la localisation cérébrale du langage. Mais l'apport déterminant à ce domaine est assurément l'arrivée en scène du désormais célèbre Paul Broca et de son intérêt pour le substrat neuro-anatomique du langage. Broca (1861, 1863, 1865) a popularisé dès cette époque l'idée selon laquelle la "perte de la faculté du langage articulé" était liée à des lésions cérébrales gauches, dans une région nommée plus tard en son honneur "aire de Broca". Les travaux de Broca (1861, 1863, 1865) ont été suivis peu de temps après par d'autres observations cliniques conduisant à l'identification de nouvelles régions cérébrales impliquées dans le langage. Ainsi, en 1874, dans la lignée des études

lésionnelles de son contemporain, Karl Wernicke a relié la compréhension des mots à l'intégrité de la partie postérieure du cortex temporal supérieur, toujours dans l'hémisphère gauche. À la fin du XIX^e siècle, les deux versants du langage, expressif et perceptif, ont donc trouvé leur localisation dans le tissu cérébral gauche.

Les bases neurobiologiques du langage sont en place dès la fin du XIX^e siècle. À partir de cette époque et jusqu'au milieu du siècle suivant, la description des troubles langagiers s'est faite en termes de déficits au niveau de l'articulation, du lexique ou de la morphosyntaxe. On ne s'intéresse pourtant guère aux éléments "supérieurs" du langage, soit le discours et la pragmatique avant les années 1970.

2 Les composantes discursive et pragmatique de la communication

2.1. La composante discursive

Because of its complexity and the range of fundamental abilities and representations involves, discourse is a fundamental source of information about human cognitive representation and processes (Frederiksen et al., 1990, p. 69).

La capacité à communiquer implique davantage que la simple juxtaposition de sons ou l'habileté à construire des phrases dotées d'une syntaxe cohérente, puisque la compréhension optimale du discours suppose l'organisation des éléments discursifs (Chantraine, Joanette & Cardebat, 1998). Les processus de la communication verbale et les éléments du discours réfèrent à des aspects fondamentaux du langage comme moyen de communication (Chantraine *et al.*, 1998). Ainsi, le discours fait de nous des humains, nous permet de communiquer nos idées et sentiments à travers le temps et l'espace (Graesser, Millis & Zwaan, 1997). Il peut être défini comme une séquence d'expressions naturelles du langage, représentant une partie de la connaissance conceptuelle que veut communiquer le locuteur (ou l'écrivain) à un auditeur (ou un lecteur) (Chantraine *et al.*, 1998). Il existe plusieurs types de discours: narratif, conversationnel, procédural ou descriptif. Seul le premier type de discours, soit le

discours narratif, sera abordé dans cette étude, car c'est celui qui bénéficie du plus grand nombre de théories et de modèles et qui a été le plus fréquemment étudié auprès de populations pathologiques (Cardebat & Joannette, 1994). Le discours narratif consiste à raconter une histoire dans laquelle les événements sont relatés dans un ordre prévisible. Peu importe les caractéristiques des événements auxquels il réfère, ce type de discours possède une structure commune dont la représentation mentale correspond au schéma narratif (Kintsch & van Dijk, 1975; Mandler & Johnson, 1977).

L'analyse du discours, sur le plan des habiletés de langage, est relativement récente. À partir des années 1950, deux approches ont prévalu dans le domaine du langage, soit le structuralisme et les théories de Chomsky. Ces deux approches ont tenté de déceler des mécanismes réguliers, des processus ou des règles, dans des domaines telles la phonologie et la syntaxe (Patry & Nespoulous, 1990). Les chercheurs de cette époque ont utilisé une approche très structuraliste pour l'étude du langage. Ils se sont attardés à la phrase plutôt qu'au discours dans son ensemble. Puisque l'analyse du discours est reliée à sa signification, qu'elle est sujette aux variations individuelles et qu'elle implique d'aller au-delà de la phrase, plusieurs linguistes ont mis de côté son étude systématique (Patry & Nespoulous, 1990).

Plus tard, dans les années 1970, un mouvement de chercheurs s'intéressant à une grammaire de texte (*text-grammar*) a fait son apparition, principalement avec Kummer (1972) et Kiefer (1977). Ces auteurs se sont bien sûr intéressés aux phrases mais aussi à leur influence dans la production du discours. Ce mouvement a contribué à l'étude de certains éléments de la phrase tels que les pronoms anaphoriques¹ et les adverbes (Patry & Nespoulous, 1990).

En bref, les premières descriptions des déficits du discours réfèrent essentiellement à des indicateurs linguistiques tels que le ratio verbes-noms ou le pourcentage de propositions subordonnées (Berko-Gleason, Goodglass, Obler, Green, Hyde & Weintraub, 1980; Obler & Albert, 1984). Les chercheurs se sont intéressés davantage

¹ Un pronom anaphorique est un pronom suivant son coréférent. Par exemple: *C'était la première semaine d'école. Quand le directeur entra dans la classe, il salua les élèves.*

à la forme (ou à la syntaxe) du discours plutôt qu'à son contenu. C'est avec Kintsch & van Dijk (1978) que se construit l'élaboration des concepts de base afin d'étudier et de comprendre le contenu du discours narratif.

Le modèle de Kintsch & van Dijk

Le modèle de Kintsch et van Dijk est devenu un classique dans le domaine de la compréhension du discours (Ehrlich & Tardieu, 1993). Kintsch & van Dijk (1978) ont proposé un modèle de compréhension du discours en utilisant les histoires qui constituent, pour eux, *a conventional text type* (Kintsch & van Dijk, 1978, p. 364). Pour ces auteurs, la compréhension du discours narratif est vue comme un processus en temps réel, contraint par la capacité limitée de la mémoire à court terme. Ils postulent également que la représentation du discours est de nature propositionnelle (Kintsch & van Dijk, 1978).

De manière générale, ce modèle comporte trois niveaux de représentation:

- ❖ Le premier niveau est la trace *verbatim* ou le niveau de surface. Il constitue la mémoire des mots et des structures de surface du discours. Cette trace disparaît rapidement avec le temps.
- ❖ Le deuxième niveau de représentation du discours est la base de texte (*text base*) qui se subdivise en microstructure et macrostructure. La microstructure, le niveau local, prend en charge les phrases individuelles et leurs relations immédiates. En revanche, la macrostructure, le niveau global, concerne la signification du discours vu comme un tout (Ehrlich & Tardieu, 1993). Selon van Dick & Kintsch (1983), en établissant la macrostructure d'un discours, des inférences à propos des thèmes globaux sont générées à partir de phrases individuelles. Ainsi, la difficulté relative à établir la macrostructure dépend du niveau dont les liens sont explicites entre les phrases et le thème central (Hough, 1990).
- ❖ Finalement, le troisième niveau de représentation du discours est le modèle de situation (*situation model* ou *mental model*). C'est à ce niveau que les

connaissances générales du monde inscrites dans la mémoire sémantique sont requises (Mross, 1990).

En plus de ces trois niveaux de représentation, Kintsch & van Dijk (1978) postulent un niveau structurel, la superstructure, utilisée durant la compréhension du discours afin de déterminer la forme spécifique d'organisation du discours (Mross, 1990). C'est ce qui permet de distinguer un discours d'un autre.

Le modèle de Kintsch & van Dijk (1978), dans sa première version, n'a que très peu mis en évidence l'impact des connaissances générales du lecteur lors de la compréhension du discours. Pour expliquer comment se réalise l'intégration des informations du texte aux connaissances du lecteur et relier "ce qui est dit" dans le texte à ce que l'on connaît du monde en général, van Dijk & Kintsch en 1983 amènent la notion de "modèle de situation". Grâce à ce concept, comprendre le discours implique de construire non seulement une représentation "propositionnelle" du texte mais aussi une représentation plus globale de la "situation" décrite par le texte. En effet, cette représentation "situationnelle" tient compte des informations en provenance du texte (*what the text is*), mais aussi des connaissances antérieures que le lecteur a activées et mises en relation avec le texte (*what the text is about*) (van Dijk & Kintsch, 1983).

Depuis 1983, Kintsch a apporté des modifications à son modèle (Kintsch, 1988, Kintsch, 1998). Reprenant les principes du connexionnisme, Kintsch (1988, 1998) prolonge le modèle de traitement de 1978 en considérant la manière dont les connaissances du sujet interviennent lors de l'élaboration de la représentation du texte. Selon le modèle de construction-intégration, Kintsch (1988, 1998) postule que la mise en jeu des connaissances, représentées par des réseaux associatifs reliant des unités de nature propositionnelle, est partie intégrante du traitement lui-même. Dans le processus de construction, il y a formation de règles qui peuvent s'opérer à différents niveaux (e.g., construction de propositions ou de macropropositions, activation de connaissances stockées en mémoire à long terme permettant la production d'inférences). Une des caractéristiques de ces règles est d'être "lâches" (*dumb rules*): elles générèrent non seulement des éléments pertinents mais également

des éléments qui sont inappropriés ou même contradictoires par rapport au texte considéré dans sa totalité. Le résultat obtenu après la phase de construction est donc un réseau comprenant tous les nœuds lexicaux activés, toutes les propositions construites ainsi que toutes les inférences effectuées (Ehrlich & Tardieu, 1993). Par la suite, lorsque le réseau est bien construit, un processus d'intégration est appliqué et il y a élimination des éléments non pertinents. Puisque la compréhension fonctionne par cycle, à chaque cycle un nouveau réseau est construit. Normalement, ces deux processus (construction/intégration) assurent la compréhension de texte.

Le modèle de Kintsch est probablement un des plus connus en ce qui concerne la compréhension du discours narratif. Ce modèle a permis de fournir un cadre de référence pour une analyse plus précise des différents aspects du discours. Toutefois, peu importe le modèle auquel on adhère, il est clair que la génération d'inférences est inhérente à la compréhension. En effet, pour qu'un discours soit "réussi", les intervenants (locuteurs et auditeurs ou lecteurs) doivent être conscients du thème général, du but de l'échange, des limites du savoir de chacun ainsi que des mœurs culturelles encadrant l'expression des idées et des émotions. Établir une interaction verbale implique donc l'habileté à générer des inférences et implique ainsi de saisir le véritable sens de ce qui est dit et de ce qui est "non-dit" (Myers, 1999). Dans ce sens, la littérature montre que les lecteurs qui effectuent des inférences sont plus susceptibles de former un tout cohérent du discours narratif auquel ils sont confrontés et ainsi avoir une meilleure compréhension par rapport à ceux qui utilisent une stratégie davantage "littérale" comme la paraphrase ou la répétition (Graesser, Singer & Trabasso, 1994). Ceci s'explique puisque les inférences permettent aux lecteurs de faire des liens et d'aller au-delà de l'information présentée dans le texte pour comprendre et retenir ce dernier (Langston, Trabasso & Magliano, 1999).

En résumé, peu importe la nature du discours qui est présenté, le traitement des inférences permet de mieux en comprendre le contenu. L'établissement de liens entre les différents éléments, qu'ils soient implicites ou explicites, donne accès à un niveau de traitement plus efficace et efficient.

2.2. La composante pragmatique

Tout comme la composante discursive de la communication, sa composante pragmatique exige la production d'inférences afin de permettre une compréhension juste et optimale. Ce n'est qu'à la fin des années 1960, avec les travaux de Searle (1969), que la composante pragmatique est incorporée dans le spectre des composantes de la communication verbale (Joanette & Ansaldo, 2001). De manière générale, la pragmatique est une discipline qui intéresse aussi bien la philosophie, la psychologie, la sociologie que les neurosciences. Elle se définit comme l'étude des habiletés d'un individu à traiter (i.e., comprendre et exprimer) les intentions de communication par référence à un contexte donné (Gibbs, 1999). Le contexte renvoie à l'individu lui-même (son état, son statut par rapport à l'interlocuteur) et à la situation de communication dans laquelle il évolue (Hannequin, Goulet & Joanette, 1987).

Les habiletés pragmatiques se développent dès l'enfance (Bara, Busco & Bucciarelli, 1999). À l'âge adulte, une lésion cérébrale peut affecter ces habiletés. Ce phénomène est le plus visible suite à une lésion à l'hémisphère cérébral droit. Ce fait tend à démontrer que l'hémisphère droit serait impliqué dans la compréhension et le traitement de la pragmatique (Cutica, Bucciarelli & Bara, 2006; Hannequin *et al.*, 1987; Joanette & Ansaldo, 2001; Joanette, Goulet & Hannequin, 1990; Myers, 1999). Une abondante littérature a été générée sur le thème des habiletés pragmatiques dans la population des individus cérébrolésés droits.

2.2.1. *L'hémisphère droit et la communication*

En dépit des nombreux travaux s'intéressant aux habiletés de langage depuis le milieu du XIX^e siècle, il a pourtant fallu attendre jusqu'au milieu du XX^e siècle avant que l'on reconnaisse que l'hémisphère droit puisse contribuer à certains aspects de la communication du droitier. Eisenson (1959, 1962), et quelques années plus tard Weinstein (1964), sont ainsi les premiers cliniciens à se dissocier de la croyance des scientifiques de l'époque selon laquelle les individus atteints d'une lésion à l'hémisphère droit (cérébrolésés droits) sont exempts de déficits langagiers. Les observations d'Eisenson (1962) mettent en évidence certains déficits relatifs au

traitement des mots telles des difficultés à évoquer des définitions, ou à compléter des phrases à l'aide de mots abstraits. Selon Eisenson (1962), chacun des hémisphères contribuerait de façon spécifique au langage. Plus précisément, cet auteur propose que (...) *l'hémisphère droit participe à la formulation, à la production et à l'entreposage de concepts en mémoire. Cette participation de l'hémisphère droit à la 'conceptualisation' du monde fait qu'il est nécessaire au langage* (cité par Hannequin *et al.* 1987, page 112). Ainsi, dès les premiers balbutiements de l'intérêt pour la contribution de l'hémisphère droit à la communication verbale, c'est l'importance du rôle de cet hémisphère dans l'élaboration de concepts sous-jacents à l'intention de communication qui a été soulignée.

2.2.2. *Les habiletés pragmatiques des cérébrolésés droits*

Les habiletés pragmatiques ne peuvent s'observer directement. Il est en effet impossible d'observer *de visu* l'intention de communication et comment cette intention est émise ou perçue. Par conséquent, l'estimation du bon fonctionnement des habiletés pragmatiques recourt nécessairement à des situations dites de langage indirect dans lesquelles l'intention du locuteur n'est pas exprimée explicitement dans l'énoncé.

Plusieurs études ont exploré l'état des habiletés pragmatiques des cérébrolésés droits (CLD) en utilisant divers aspects du langage dit *non-littéral*: humour (Bihrlé, Brownell, Powelson & Gardner, 1986; Brownell, Michelow, Powelson & Gardner, 1983; Gardner, Ling, Flamm & Silverman, 1975; Wapner & Hamby, 1981), sarcasme (McDonald, 1996; Weylman, Brownell, Roman & Gardner, 1989), actes de langage indirects² (Foldi, 1987; Hirst, Ledoux & Stein, 1984; Stemmer, Giroux & Joanne, 1994; Vanhalle, Lemieux, Joubert, Goulet, Ska, *et al.*, 2000; Weylman *et al.*, 1989), métaphores ou expressions idiomatiques (Myers & Linebaugh, 1981; Winner & Gardner, 1977). Prises dans leurs ensembles, les études sur les aspects pragmatiques de la communication révèlent qu'un certain nombre de CLD montrent des déficits

² Les actes de langage indirects sont des propositions dont le véritable sens ne correspond pas au sens littéral (Searle, 1969). Par exemple dire: "il fait chaud ici" pour "pourriez-vous ouvrir la fenêtre?".

dans le traitement du langage non littéral, c'est-à-dire que ces individus n'arrivent plus à identifier l'intention de communication du locuteur qui est exprimée par le biais de ce langage non littéral.

D'autres études se sont plutôt penchées sur des habiletés dites de haut niveau pouvant interférer avec les habiletés pragmatiques, comme la capacité à structurer et organiser les informations (Joanette, Goulet, Ska & Nespoulous, 1986; Myers, 1994), à interpréter (Kaplan, Brownell, Jacobs & Gardner, 1990) ou à inférer (Beeman, 1993) des informations à l'intérieur de discours narratifs ou conversationnels. Plusieurs études ont tenté de déterminer quelles pouvaient être les causes possibles de tels déficits pragmatiques chez les CLD. Quelques-unes de ces études proposent que les CLD auraient des déficits spécifiques pour effectuer des inférences (Beeman, 1998; Joanette & Goulet, 1986) et auraient ainsi des difficultés à saisir le message essentiel de certains discours ou actes de langage (Beeman, Bowden & Gernsbacher, 2000).

3 Les habiletés inférencielles

3.1. Les définitions de l'inférence

Les habiletés inférencielles peuvent être considérées comme *le cœur du processus de compréhension* (traduction libre, Schank, 1976, p. 168). Elles reposent sur la résolution d'*inférences*, un concept qui s'est valu plusieurs définitions au gré du temps. Dans sa définition classique, l'inférence est une opération logique portant sur des propositions tenues pour vraies (les prémisses) et concluant à la vérité d'une nouvelle proposition en vertu de sa liaison avec les premières. C'est pourquoi l'inférence est souvent réduite à la déduction nécessaire dans lequel la vérité des prémisses assure totalement la vérité de la conclusion. Cependant, d'autres définitions existent, mieux adaptées et donc plus optimales d'un point de vue pragmatique et discursif. De fait, on peut définir les inférences comme *des interprétations qui ne sont pas littéralement accessibles, des mises en relations qui ne sont pas explicites, où le lecteur les introduit dans l'interprétation des mises en relations qui ne sont pas*

immédiatement accessibles (Fayol, 2000). Par référence à la composante discursive de la communication, les inférences peuvent aussi être définies comme étant des arguments et des propositions de la base de texte non explicitement mentionnés dans le message (Singer & Ferreira, 1983). En ce sens, les inférences sont impliquées dans la compréhension et dans l'intégration des informations, puisqu'elles établissent des ponts entre les informations reçues et les connaissances prototypiques d'ordre supérieur (Poissant, 1989).

En conclusion, il apparaît que la génération d'inférences constitue un processus complexe impliquant plusieurs opérations cognitives (Myers, 1999). Les plus importantes d'entre elles sont sans doute le besoin de porter attention, de sélectionner et d'intégrer les indices appropriés et finalement d'associer ces indices avec notre expérience antérieure ou nos connaissances générales. Plusieurs facteurs peuvent donc venir influencer la génération d'inférences tels que l'intégrité de la mémoire de travail, la richesse des connaissances générales (mémoire sémantique) et tout autre facteurs influençant ces habiletés et représentations, comme l'âge (Singer, 1994).

3.2. Les types d'inférences

En 1978, Harris & Monaco ont fait la distinction entre deux types d'inférences: les inférences logiques (aussi appelées inférences propositionnelles) et les inférences pragmatiques.

- ❖ Les premières, les inférences logiques, sont des implications nécessairement vraies déduites à partir de prémisses ayant une forme déterminée, ces inférences sont par définition indépendantes du contexte. Elles englobent, entre autres, les syllogismes (e.g., *A est plus grand que B et C est plus petit que B. Lequel est le plus petit? Inférence: C est le plus petit.*)
- ❖ Les inférences pragmatiques sont, quant à elles, des opérations qui reposent, partiellement ou totalement, sur notre connaissance générale du monde ou sur notre mémoire sémantique (Bélanger, 1992). Elles dépendent donc de l'association d'informations provenant de nos connaissances générales et du

contexte narratif (Crother, 1978; Poissant, 1989). On peut considérer comme inférence pragmatique l'exemple suivant: "La jeune fille monte dans la *Rolls Royce*; la jeune fille est orpheline". Inférence: "La jeune fille a hérité".

Bien que ces deux types d'inférences partagent certaines similitudes, elles diffèrent grandement. À l'image des processus dits automatiques, les inférences pragmatiques surviennent rapidement et facilement: le lecteur ou l'auditeur peut difficilement les inhiber. Au contraire, les inférences logiques ne prennent forme dans l'esprit de l'auditeur ou du lecteur que délibérément et suite à un l'effort, à l'image des processus conscients ou *effortfull* (Virtue, Haberman, Clancy, Parrish, Jung-Beeman, 2006).

La littérature contient également d'autres descriptions de ce qui caractérise ces deux types d'inférences. Les inférences logiques sont aussi désignées comme étant du raisonnement logique, c'est-à-dire de la déduction ou l'induction (*deductive, inductive* ou *probabilistic reasoning*), qui dépend de la relation existante entre les prémisses et la conclusion (Goel, Gold, Kapur & Houle, 1997). La déduction est un raisonnement qui consiste à tirer à partir d'une ou de plusieurs propositions (prémisses), une autre qui en est la conséquence nécessaire. Le raisonnement inductif peut être défini comme une opération mentale qui consiste à prendre comme point de départ des faits particuliers associés entre eux et à tirer de ces associations une proposition générale énonçant la probabilité que de telles associations se manifestent en d'autres occasions. En d'autres mots, le raisonnement inductif crée de nouvelles connaissances en utilisant des informations incomplètes (Shuren & Grafman, 2002).

En ce qui a trait aux inférences pragmatiques, la littérature en décrit plusieurs sous-types. C'est ainsi que l'on reconnaît les inférences élaboratives (*elaborative inferences*), les inférences prédictives (*predictive inferences*), les inférences proactives (*forward inferences*), les *bridging inferences*, les inférences rétroactives (*backward inferences*), les inférences de cohérence (*coherence inferences*) et les inférences anaphoriques (*anaphoric inferences*) (Singer, 1994). Cette diversité montre bien à quel point le domaine des inférences est complexe. Cependant, les termes *inférences élaboratives, prédictives* et *proactives* sont des synonymes et

constituent des extrapolations du message entendu ou lu. Elles se rapportent à la construction du modèle de situation d'un discours. Ces inférences servent, entre autres, à prédire de futures conséquences. Par exemple, aussitôt que quelqu'un entend ou lit: *l'avion est sur la piste, attendant le signal*, il peut prédire que l'avion décollera. Il s'agit alors d'une inférence prédictive. Toutefois, si le lecteur attend que la cohérence soit brisée pour effectuer des inférences, l'inférence est dite *rétroactive*. Par exemple, s'il est confronté au fait que *l'avion vole au-dessus des nuages*, le lecteur doit inférer que l'avion a décollé. Il s'agit, à ce moment, de ce que l'on nomme, les *bridging inferences* ou les inférences de cohérence ou rétroactives. Ce sont aussi des synonymes et c'est grâce à ces inférences qu'il est possible de faire des liens parmi les idées du discours. À la différence des inférences prédictives, les inférences rétroactives sont nécessaires à la compréhension puisque la cohérence de l'acte de communication pourrait être interrompue si elles ne sont pas effectuées. Les inférences rétroactives requièrent que l'auditeur (ou le lecteur) oeuvre rétrospectivement à partir des propositions du message antérieur et/ou des connaissances générales (Graesser & Clark, 1985; McKoon & Ratcliff, 1992). Finalement, en ce qui concerne les inférences anaphoriques, elles sont un type spécifique d'inférences rétroactives de résolution de pronoms ambigus (e.g., il, elle, lui).

Ainsi, s'il est évident que les inférences sont utiles, voire indispensables, à une meilleure compréhension du discours, il apparaît aussi très clairement que leur conceptualisation représente une entreprise complexe. L'étude des inférences et de leur impact dans l'établissement ou l'usage d'un discours optimal est par conséquent un domaine de la plus haute importance, quoique encore mal connu.

3.3. Les cérébrolésés droits et la résolution d'inférences

Tel qu'évoqué précédemment, les individus avec lésion acquise à l'hémisphère droit peuvent présenter un trouble de la communication qui se caractérise par une atteinte des composantes discursives et pragmatiques de la communication verbale (Joanette *et al.*, 1990; Myers, 1999). Afin de mieux comprendre les causes possibles des

déficits pragmatiques chez les CLD, plusieurs études se sont intéressées aux habiletés inférentielles de cette population clinique. Par exemple, Caramazza, Gordon, Zurif & DeLuca (1976) ont examiné les performances de CLD soumis à une tâche de la résolution d'inférences logiques. Leurs résultats montrent que les CLD ont de la difficulté à résoudre des syllogismes ayant des adjectifs incongruents (différents) entre les prémisses et la question. Cependant, lorsque les adjectifs sont les mêmes (congruents), les CLD réussissent à résoudre les problèmes aussi bien que les participants contrôles. Peu d'autres études ont été effectuées concernant les CLD et les inférences logiques. En ce qui a trait à la résolution d'inférences pragmatiques, la littérature est par contre plus riche (Beeman, 1993; Brookshire & Nicholas, 1984; Brownell, Potter, Birhle & Gardner, 1986; Goodenough-Trépanier, Powelson & Zurif, 1982; Kaplan, Brownell, Jacobs & Gardner, 1990; McDonald & Wales, 1986; Myers, 1991; Tompkins & Mateers, 1985; Tompkins, Bloise, Timko & Baumgaertner, 1994; Tompkins, Fassbinder, Lehman-Blake, Baumgaertner & Jayaram, 2004). D'après cette littérature foisonnante, certains CLD présentent des difficultés à générer des inférences. Ainsi, les CLD ont plus de difficultés à répondre à des questions de type VRAI/FAUX où il est nécessaire d'inférer une information. Ils auraient aussi de la difficulté pour la remise en cause d'une première interprétation, c'est-à-dire pour la révision de leur interprétation (Brownell *et al.*, 1986; Hough, 1990; Molloy, Brownell & Gardner, 1990; Schneiderman & Saddy, 1988; Siegal, Carrington & Radel, 1996). Il est important de noter que les difficultés des CLD ne se manifestent pas uniquement par une sur-représentation de réponses littérales, comme la littérature l'a suggéré antérieurement (Winner & Gardner, 1977; van Lancker & Kempler, 1987). En fait, les CLD semblent plutôt avoir des difficultés à générer des inférences qui intègrent toutes les parties du discours.

Il existe par ailleurs plusieurs résultats contradictoires dans la littérature. Selon certains auteurs, les CLD auraient plus de difficultés que les participants contrôles à effectuer des inférences dans de courtes histoires (Beeman, 1993; Brownell *et al.*, 1986; Goodenough-Trépanier, *et al.*, 1982, Kaplan *et al.*, 1990; Tompkins & Mateer, 1985). Cela tendrait à démontrer que les CLD ont besoin de plus d'informations que des participants contrôles pour bien comprendre une histoire ou encore, que ces

individus ont tellement de difficultés à établir les liens entre les informations (implicites et explicites), peu importe la taille du discours, que leur performance dans la compréhension de ces histoires en est affectée. En revanche, d'autres auteurs (Brookshire & Nicholas, 1984; McDonald & Wales, 1986; Tompkins *et al.*, 2004) obtiennent des résultats suggérant qu'une lésion à l'hémisphère droit n'est pas susceptible d'affecter les habiletés inférentielles pragmatiques, peu importe la longueur et la densité du contenu présenté.

3.4. La neuroimagerie de la résolution d'inférences

Au cours de la dernière décennie, la neuroimagerie a apporté certaines réponses quant à l'implication des hémisphères cérébraux pour la compréhension du langage. Évidemment, les études en imagerie cérébrale s'intéressant aux habiletés langagières révèlent une forte activité de l'hémisphère gauche durant la réalisation de ces tâches (pour une revue, voir Démonet, Thierry & Cardebat, 2005). Néanmoins, certaines études observent également un faible signal dans les aires homologues du langage de l'hémisphère droit (Bookheimer, 2002; Xu, Kemeny, Park, Frattali & Braun, 2005). De plus, lorsque les participants doivent accomplir des tâches langagières de plus haut niveau (*higher-level language tasks*), certaines études indiquent une implication de l'hémisphère droit --- parfois même plus importante que l'hémisphère gauche --- pour générer des inférences pragmatiques durant des phrases ou de courtes histoires (Mason & Just, 2004; Virtue *et al.*, 2006). Ces études rapportent l'activation d'un réseau comprenant le cortex dorsolatéral préfrontal droit (Mason & Just, 2004) ainsi que le gyrus supérieur temporal droit (Virtue *et al.*, 2006).

Dans la même lignée, une série d'études utilisant la tomographie par émission de positrons et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle ont révélé que le raisonnement logique implique un large réseau impliquant les lobes occipitaux, temporaux et pariétaux, le cortex préfrontal, le cervelet et également les ganglions de la base (Goel, Buchel, Frith & Dolan, 2000). Plus spécifiquement, Houdé, Zago, Crivello *et al.* (2001), Osherson, Perani, Cappa, *et al.* (1998), Parsons & Osherson (2001) proposent que le raisonnement logique soit principalement associé à

l'hémisphère droit. Toutefois, la majorité des études en imagerie cérébrale pour le raisonnement logique révèlent une activation bilatérale des lobes occipitaux et pariétaux, ainsi qu'une implication majeure du lobe temporal latéral et du cortex préfrontal de l'hémisphère gauche (Acuna, Eliassen, Donoghue & Sanes, 2002; Goel, *et al.*, 1997, 1998, 2000; Goel & Dolan, 2000, 2001, 2004; Knauff, Mulak, Kassubek, Salih & Greenlee, 2002).

Bien que les techniques d'imagerie cérébrale aient grandement évolué dans la dernière décennie et que ces techniques ont permis de bonifier grandement nos connaissances en lien avec le langage, la pragmatique et les inférences, il reste malgré tout beaucoup à faire afin de vraiment comprendre la neuroanatomie associée à la résolution d'inférences.

4 Position du problème et objectifs de la thèse

Il semble que les résultats obtenus à partir des diverses études traitant des habiletés inférentielles des CLD ne convergent pas vers une conclusion unique et claire. En effet, certains travaux indiquent la présence d'un déficit inférentiel chez les CLD tandis que d'autres infirment cette proposition. La question reste donc ouverte: une lésion acquise à l'hémisphère droit chez le droitier serait-elle la cause d'un déficit des habiletés inférentielles, déficit qui affecterait les capacités de l'individu CLD à traiter le discours non littéral? Une lésion acquise à l'hémisphère gauche qui ne réalise pas une aphasia aurait-elle également un impact sur les capacités de résolution d'inférences? Qu'est-ce que la neuroimagerie fonctionnelle nous permet-elle de constater en termes de sites d'activation lorsque des individus jeunes ou âgés sont soumis à des tâches demandant la résolution d'inférences logiques et/ou pragmatiques? L'objectif général de ce travail est justement de déterminer (a) s'il existe bel et bien un déficit des habiletés inférentielles chez les cérébrlésés droits et (b) si tous les individus cérébrlésés droits présentent un tel déficit. De façon complémentaire, il importe (c) de préciser l'implication de l'hémisphère droit lors du

traitement d'inférences logiques via une nouvelle technique d'imagerie cérébrale, l'imagerie optique diffuse.

5	Structure de la thèse
----------	------------------------------

Pour répondre aux objectifs mentionnés ci-dessus, trois études ont été réalisées et sont présentées dans les chapitres subséquents. Le chapitre 2 regroupe les deux études comportementales qui ont été menées auprès de participants présentant une lésion hémisphérique droite. L'étude 1, intitulée *Some do, others do not: inferencing deficit following right-hemisphere damage*, explore les habiletés inférentielles logiques et pragmatiques des individus CLD. Elle s'intéresse particulièrement à démontrer l'hétérogénéité de cette population clinique quant aux habiletés inférentielles, en établissant l'existence de différents sous-groupes de participants. L'étude 2, intitulée quant à elle *Résolution d'inférences logiques et pragmatiques après une lésion cérébrale gauche*, décrit l'impact d'une lésion gauche sur les habiletés de résolution inférentielles logiques et pragmatiques. Le chapitre 3 rapporte les résultats obtenus en imagerie fonctionnelle, en l'occurrence par l'utilisation de l'imagerie optique diffuse, auprès de jeunes participants neurologiquement indemnes. Ainsi, cette étude 3, intitulée *Left and right hemispheric contributions to syllogistic reasoning: evidence from an NIRS study*, donne les bases de l'activation cérébrale, aussi bien droite que gauche, lors du traitement de syllogismes, c'est-à-dire dans l'évaluation des habiletés inférentielles logiques.

Études comportementales

Étude 1

31

Some do, others do not:
inferencing deficit following right-hemisphere damage
Caroline Hamel & Yves Joanette
Journal of International Neuropsychology Society, soumis

Étude 2

54

Résolution d'inférences logiques et pragmatiques après une lésion
cérébrale gauche
Caroline Hamel & Yves Joanette
Revue de Neuropsychologie, 16 (4), 443-460 (2006)

Some do, others do not: inferencing deficit following right-hemisphere damage

Caroline Hamel & Yves Joanette

Journal of International Neuropsychology Society, soumis

Abstract	32
Acknowledgment	32
Introduction	33
Method	37
Participants	37
Tasks	38
Task 1 - Logical inferencing	38
Task 2 - Pragmatic inferencing	39
Procedure	40
Results	41
Discussion	46
References	48

Abstract

Background. One of the most typical impairments in verbal communication among right-hemisphere-damaged (RHD) individuals concerns the ability to understand a speaker's intention and to process the non-literal aspects of language. Many studies have reported that RHD individuals' communicative impairments can be attributed to their problems with inferential reasoning. However, few studies have directly tested this hypothesis or the possibility that sub-groups of RHD individuals exist.

Aims. The general aim of this study was to explore the possibility that a sub-group of RHD individuals may show impaired logical and/or pragmatic inferencing abilities.

Methods & Procedure. Fifty-eight participants were recruited for this study (30 RHD and 28 controls). A protocol of inferences, including logical and pragmatic inferences, was given to the participants.

Outcomes & Results. The main results suggest that, for inferencing tasks, RHD individuals' performance is globally worse than control individuals'. The results of cluster analyses did not identify a sub-group of participants composed only of RHD individuals.

Conclusions. Like several previous studies, this study indicates that an RH lesion affects inferencing abilities. It can therefore be concluded that at least some of the pragmatic and discourse disorders shown by RHD individuals are ascribable to the presence of an inferencing deficit.

Acknowledgment

The research reported in this paper was supported by grant #MP-15006 (YJ) from the Canadian Institutes of Health Research.

Thanks to Francine Giroux for her help with the statistical analysis. Thanks also to Pierre Goulet for his valuable contribution to the preparation of the stimuli and data collection, as well as to Émilie Turcotte for data collection.

Introduction

For more than 50 years now, researchers have recognized that the right hemisphere (RH) of right-handers contributes to important components of verbal communication (Eisenson, 1959, 1962; Weinstein, 1964). Following a lesion of the RH, a number of components of verbal communication may be affected, such as prosody, semantic processing of words and discourse abilities (Code, 1987; Hannequin *et al.*, 1987; Joannette & Ansaldo, 2001; Joannette & Goulet, 1994; Joannette *et al.*, 1990; Myers, 1999). Typical discourse disabilities in right-hemisphere-damaged (RHD) adults include a reduction in informative content, a lack of specificity and a tendency to produce tangential discourse (Bloom *et al.*, 1992; Joannette *et al.*, 1986; Wapner *et al.*, 1981).

Another important area of verbal communication that can be impaired in RHD individuals has to do with the pragmatic component of communication (Joannette & Ansaldo, 2001). Pragmatics corresponds to the component of language that embraces the use of language and the processing of the intent to communicate in social contexts (Gibbs, 1999). In this setting, context refers to any factor --- linguistic, objective, or subjective --- that affects the actual interpretation of signs and expressions. A distinction is made in pragmatics between sentence meaning and speaker's meaning. Sentence meaning is the literal meaning of the sentence, while the speaker's meaning is the piece of information (or proposition) that the speaker is trying to convey (Mey, 2001). A number of RHD adults have difficulties processing a speaker's communicative intent (McDonald, 2000), which may manifest themselves as problems understanding the non-literal forms of language. Such impairments may take many forms, including difficulties processing indirect speech acts (Foldi, 1987; Hirst *et al.*, 1984; Stemmer *et al.*, 1994; Vanhulle *et al.*, 2000), humor (Bihrlé *et al.*, 1986; Brownell *et al.*, 1983; Gardner *et al.* 1975; Wapner *et al.*, 1981), idioms (Van Lancker & Kempler, 1987), proverbs (Hier & Kaplan, 1980) and metaphors (Winner & Gardner, 1977). The underlying cognitive disruptions that are responsible for the impact of an RH lesion on the ability to process non-literal language still represent a

challenge. Despite some divergent results, as well as the existence of some degree of heterogeneity, it is agreed that the communicative skills of RHD individuals are indeed impaired at the pragmatic level.

One basic cognitive ability that is required for the processing of non-literal language, and that has been frequently suspected to be impaired in RHD individuals, is the ability to infer new information based on a number of known --- either provided by the context or already in semantic memory --- pieces of information (Brownell *et al.*, 1986). Inferencing is a complex process that involves numerous cognitive operations (Myers, 1999). Among the most important of these processes are the capacity to pay attention and the capacity to select and integrate appropriate information from general knowledge or past experiences. Several factors can influence inferencing generation such as the integrity of working memory, the richness of general knowledge and any other factor that is likely to influence these skills and representations, such as age (Singer, 1994).

In fact, one of the possible reasons why RHD individuals have problems understanding a speaker's real intention could be the presence of an inferencing deficit. Inferencing abilities represent a central component of discourse comprehension and have been studied in RHD individuals for many years. Generally speaking, inferencing abilities correspond to the act or process of drawing a conclusion based solely on what one already knows. By making inferences, interlocutors manage to understand each other, even when all the necessary information is not explicit or available (Singer & Ferreira, 1983). A number of studies have considered the possibility that RHD individuals may suffer from a basic inferencing impairment which could account for their problems processing non-literal discourse, although the results of these studies are not always convergent.

Inferencing Abilities in RHD Individuals

Most studies that have measured the inferencing abilities of RHD individuals defined inferencing abilities as the necessary cognitive abilities for the comprehension and integration of discourse-level language since they allow one to build bridges between

information received and individual knowledge (Kintsch, 1988); this process occurs rapidly, and perhaps automatically (Graesser *et al.*, 1994; McKoon & Ratcliff, 1992). Some inferencing ability is necessary in order to predict future consequences, to elaborate a story that is incomplete, or to re-establish coherence if it breaks down (Beeman *et al.*, 2000). Although various types of inferencing abilities have been described (Singer, 1994; van den Broek, 1994), two that are particularly important for discourse and pragmatic abilities (Harris & Monaco, 1978) will be considered here: logical inferences and pragmatic inferences.

Logical inferences are based on formal rules and are composed of premises that were previously unknown (Singer, 1994). The type of logical inference used in the present study is the syllogism, which requires deduction, or inference. An example of such a syllogism is "A is bigger than B and B is bigger than C. Which one is the biggest?" With such logical inferences, one needs to integrate two premises and infer a new relationship which is 100% probable (Oberauer *et al.*, 2005; Radvansky & Copeland, 2004; Singer, 1994). Caramazza *et al.* (1976) examined RHD individuals' ability to solve logical inferences. They gave RHD participants, who had no linguistic impairments, two-term problems to solve in which congruent and incongruent adjectives were used. RHD participants were relatively incapable of solving incongruent problems. Caramazza *et al.* concluded that the logical inferential deficit manifested by RHD participants can be attributed to difficulties in spatially representing the premises of the problem to be solved. However, some researchers criticized this conclusion, arguing that, if that were the case, it would imply that imagery processes are mainly based within the RH, a suggestion which was not supported by the results of Read (1981). In addition, this conclusion does not take into account the fact that solving syllogisms also requires contributions from linguistic processes, as mentioned by Clark (1971). Since then, no other study we know of has been undertaken in order to further explore the question of RHD individuals' logical inferencing abilities.

On the other hand, pragmatic inferencing abilities require a set of cognitive operations that are partially or totally based on the individual's general knowledge of

the world, or semantic memory. Usually, in everyday communicative exchanges, pragmatic inferencing depends on the combined processing of information from semantic memory and information from the narrative context (Crothers, 1978; Poissant, 1989; Singer, 1994). Many studies have focused on RHD individuals' pragmatic inferencing abilities in the context of the comprehension of short stories (Beeman, 1993; Brookshire & Nicholas, 1984; Brownell *et al.*, 1986; Goodenough-Trépanier *et al.*, 1982; Kaplan *et al.*, 1990; McDonald & Wales, 1986; Myers, 1991; Tompkins *et al.*, 2004; Tompkins & Mateer, 1985). Here again, the results are contradictory. According to some authors, such as Beeman (1993), Brownell *et al.* (1986), Tompkins and Mateer (1985), and Goodenough-Trépanier *et al.* (1982), RHD individuals have greater difficulty making appropriate inferences than controls do. Globally, these studies suggest that RHD participants find it difficult to revise previously acquired knowledge in light of new information or new interpretations. On the other hand, Brookshire and Nicholas (1984) and McDonald and Wales (1986) obtained results suggesting that an RH lesion is not likely to affect the inferencing abilities of RHD individuals presented with short narratives. McDonald and Wales (1986) explained their results by suggesting that RHD participants seem to correctly understand simple inferences but they have more difficulty when they have to reject false statements. This behavior was speculated to result from a *retrieval difficulty*.

Thus, the results obtained from the various studies that have looked at the logical and pragmatic inferencing abilities of RHD individuals are contradictory. Some studies indicate the presence of diminished inferencing abilities, while others do not. This could reflect, among other things, the fact that discourse and pragmatic abilities require much more than inferencing abilities. Indeed, Champagne-Lavau *et al.* (2007) show the importance of preserved inhibition and flexibility in order to maintain adequate pragmatic abilities, which are essential to inferencing. In fact, not only can an RH lesion be responsible for a discourse or pragmatic impairment, but inferencing deficits are not necessarily responsible for discourse or pragmatic deficits in RHD individuals who have such deficits. Finally, it is unclear whether such a deficit, if present, affects both logical and pragmatic inferencing abilities, and whether it is associated with the processing of non-literal language. Thus, the general aim of this

study was to explore the possibility that some RHD individuals may show a decline in their logical and/or pragmatic inferencing abilities. This study was intended to find out whether a deficit of inferencing abilities can be identified in a group of RHD participants, and whether all the individuals show such a deficit. In doing so, it will enable us to explore whether the population of the RHD adults behaves uniformly or whether individual differences can be found. Since previous studies did not have uniform results, it was expected that the performance of the RHD participants would be heterogeneous and that sub-groups with and without disorders of inferential skills would be found.

Method

Participants

Before recruiting the participants, the institutional ethics committee gave its approval for this research. Fifty-eight (27 females and 31 males) right-handed (more than +80 on the Edinburgh Handedness Inventory, Oldfield, 1971) native French speakers participated in this study: 30 RHD participants (mean age: 62.7 years (SD: 11.3); mean education level: 9.0 years [SD: 3.9]) and 28 control participants who were matched for age and education (mean age: 63.7 years [SD: 12.4]; mean education level: 9.8 years [SD: 3.6]). Participants with a history of psychiatric disorder, other neurological disease, chronic alcoholism or brain injury (other than the recent RH lesion) were excluded. None of the RHD participants had cognitive deficits (e.g., neglect) that would interfere with the proposed task. The majority of the RHD participants were recruited in rehabilitation centers (mean post-onset time for stroke: 84 days). All RHD participants' lesions were the result of a single neurological event, vascular in nature, corresponding to a clinically identified cerebrovascular accident. The lateralization of the lesions was confirmed on the basis of the traditional clinical procedures (e.g., neurological examination, CT-scans); all were perisylvian.

Tasks

Task 1 - Logical inferencing

Stimuli consisted of 40 short syllogisms. Each syllogism was constructed using two premises followed by a question (e.g., A is bigger than B and C is not bigger than B. Which one is the biggest?). Three types of problems were constructed to obtain five different levels of difficulty according to three factors, two linguistic and one spatial:

- Congruency of the adjective used in the premises and that used in the question (Clark, 1971). In some syllogisms, the adjectives in the premises and in the question were congruent (bigger-bigger, as in the example above), while in the other type, the adjectives used in the premises and the question were incongruent (e.g., A is bigger than B and C is not bigger than B. Which one is the smallest?). An incongruent syllogism is more difficult.
- Markedness (Clark, 1971). Linguistic marking stipulates that some relational expressions are cognitively less complex than their opposites. For example, "good" and "wide" are less complex terms and called unmarked; the more complex counterparts of these adjectives ("bad" and "narrow") are said to be marked. A unmarked adjective is easier to comprehend than an marked adjective. Individuals would be more likely to use unmarked terms than marked ones because the meanings of marked terms are less immediately accessible than those of unmarked terms (Clark, 1969).
- Spatial arrangement of the mental representation of the relationship between the elements of the syllogism (De Soto *et al.*, 1965). Syllogisms differ according to the spatial arrangement of the mental representation of the relationship between items. According to De Soto *et al.* (1965), the first element provided can be either at the periphery (A is smaller than B and C is bigger than B; endocentric relationship; $A < B < C$) or at the center of the relationship (B is bigger than A and B is smaller than C; exocentric relationship; $B > A$ and $B < C$, so $A < B < C$). Exocentric syllogisms are more difficult.

These three factors were counterbalanced in order to form the five types of syllogisms used in the test (see Table 1 for examples).

Table 1 Examples of different types of logical inferences - syllogisms

Premises	Question	Expected response	Type of logical inference
C is less happy than B A is happier than B	Which is the happiest?	A	Endocentric Marked Congruent (or EMC)
B is less big than A A is bigger than B	Which is the smallest?	B	Endocentric Marked Incongruent (or EMI)
C is less long than B A is longer than B	Which is the shortest?	C	Endocentric Unmarked Incongruent (or ENI)
A is heavier than B C is less heavy than B	Which is the heaviest?	A	Endocentric Unmarked Congruent (or ENC)
B is bigger than C B is not bigger than A	Which is the biggest?	A	Exocentric Unmarked Congruent (or XNC)

Task 2 - Pragmatic inferencing.

Participants were presented with a short story (200 words) followed by 30 statements demanding a Yes or No answer (see Table 2).

- Ten statements were true as they represented the rephrasing --- using a different sentence --- of a piece of information explicitly contained in the story.
- Ten other statements corresponded to a piece of information which was not contained explicitly in the story but could easily be inferred by combining information contained in the story with general world knowledge.
- Ten other statements were false since they conveyed information which was not present in the story; the erroneous information always referred to a wrong predicate and not to erroneous arguments (Mross, 1990).

Table 2 Story used for pragmatic inferencing

In French Aujourd'hui, la sortie à la plage s'est transformée en cauchemar pour la famille Durand. D'abord, Sylvie a piqué le ballon de plage avec une aiguille après que sa mère eut terminé de le gonfler. Yves, attristé, s'est alors amusé à tirer les moustaches de son père qui dormait. Furieux, ce dernier a couru après Yves qui fini par tomber dans la boue. Quant à Sylvie, elle est tombée tout habillée dans l'eau en voulant éviter la bousculade des coureurs. Puis, la branche sur laquelle oncle François s'est assis pour admirer le spectacle s'est brisée. Par la suite, Yves et Sylvie ont jeté une allumette dans un tas de bois auquel ils ont ajouté les revues d'oncle François; il ne pourra plus les lire. Par chance, madame Durand est vite accourue pour verser de l'eau sur l'œuvre diabolique des enfants. Enfin, monsieur Durand qui avait oublié sa glace au soleil, a dû boire sa limonade sans glaçon pendant que madame Durand chicanait oncle François qui avait renversé du vin sur la nappe à pique-nique neuve. Les Durand se souviendront longtemps de cette journée à la plage.

Free translation Today, a day at the beach turned into a nightmare for the Durand family. First, Sylvia pricked the beach ball with a needle just after her mother had finished blowing it up. John was sad, but then he had fun pulling his sleeping father's moustache. Furious, his father ran after John, who fell into the mud. Sylvia fell into the water fully dressed while trying to avoid the runners. Then, the branch on which Uncle Frank sat down to admire the view broke. After that, John and Sylvia threw a match into a pile of wood to which they added Uncle Frank's magazines; he won't be able to read them anymore. Mrs. Durand quickly ran to pour water on the fire the children had mischievously lit. Finally, Mr. Durand, who had left the ice out in the sun, had to drink his lemonade without ice cubes while Mrs. Durand scolded Uncle Frank for spilling wine on the new picnic tablecloth. The Durands will remember this day at the beach for a long time.

Examples of statements (participants have to answer YES or NO)	Expected answers	Statement type
Sylvia pricked the beach ball	YES	True (or T)
Sylvia played with the beach ball	NO	False (or F)
The beach ball was burst	YES	Need to make an inference (or I)

Procedure

After the participants gave their informed consent, each of them was individually given the two tasks. For half of the participants, task 1 was presented first followed

by task 2; for the other half of the participants, task 2 was presented before task 1. All the syllogisms were presented in a pseudo-randomized way. The premises of the syllogisms and the story were presented both auditorily and visually so that the premises were always visible to the participant. Participants' responses were audio-recorded for subsequent analysis. Both tasks were scored in recording the number of correct responses. In order to eliminate any memory effect, the material (premises, story, questions and statements) remained available to the participants until they provided their answers.

Results

First, t-tests were done for both tasks separately. For the logical inferencing task, there is a significant difference between the two groups and the task [$t_{(55)} = 12.45$; $p < 0.05$]. For the pragmatic inferencing task, again, there is a significant difference between controls and RHD participants for the task [$t_{(55)} = 5.28$; $p < 0.05$]. Globally, the mean responses for logical and pragmatic inferencing tasks revealed that, overall, both groups performed worse on the logical inferencing task. Moreover, control participants obtained better results than RHD participants for both tasks (see Figure 1).

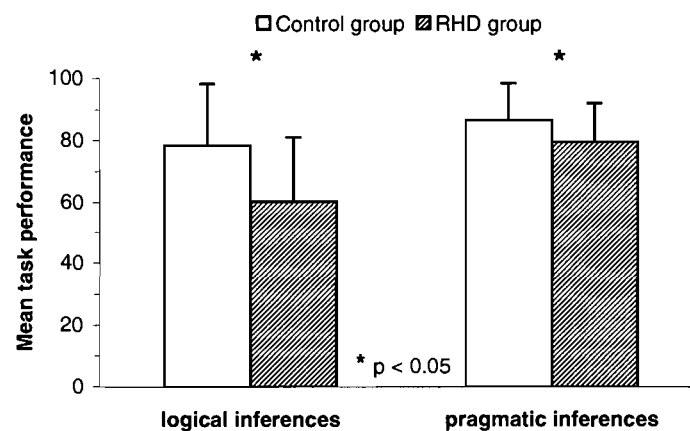


Figure 1 Mean task performance as a function of group

For the logical inferencing task, we performed a mixed ANOVA [2 x 5; GROUP (control and RHD participants) x LOGICAL INFERENCE TYPE (EMC, EMI, ENC,

ENI, XNC)]. The results indicated a non-significant interaction [$F_{(1,4)} = 1.05$; $p > 0.05$]. The analysis of simple effects showed that there is a statistically significant difference between the different types of inferences [$F_{(1,4)} = 28.46$; $p < 0.05$]. Globally, this means that the type effect is the same for both groups (see Figure 2).

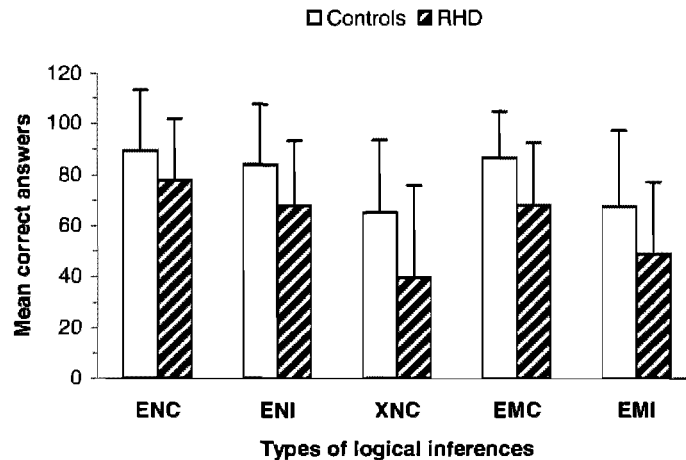


Figure 2 Mean correct answers for types of logical inferences in function of groups

We repeated the process for the pragmatic inferencing task [2x3; GROUP (control and RHD participants) x PRAGMATIC INFERENCE TYPE (T, I, F)]. However this time, we found a significant interaction between group and type [$F_{(1,2)} = 4.13$; $p < 0.05$] and a significant type effect [$F_{(1,2)} = 3.09$; $p < 0.05$]. This suggests that the two groups do not behave the same way on this task (see Figure 3).

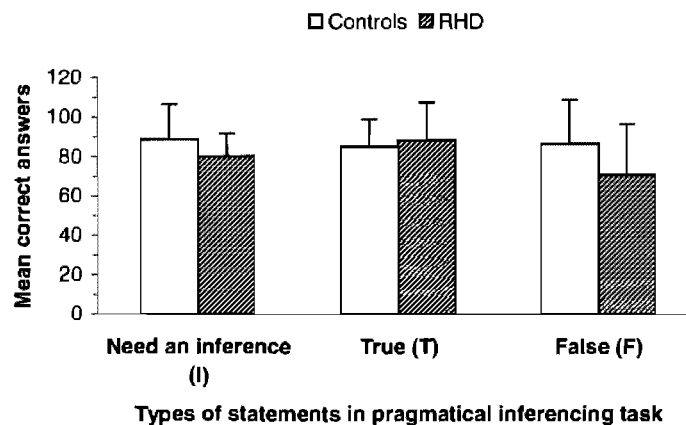


Figure 3 Means of correct answers for types of statements in pragmatic inferencing task in function of groups

In order to evaluate our second objective, which was to find out whether sub-groups of participants could be identified among all participants, the performance (% of right answers) of all participants taken together (control and RHD) was subjected to a cluster analysis (Clustan Graphics, 2002). The cluster analyses were performed with the Ward method and Euclidean distance squared. For the logical inferencing task, the results suggested the existence of three sub-groups (see Figure 4 and Table 3).

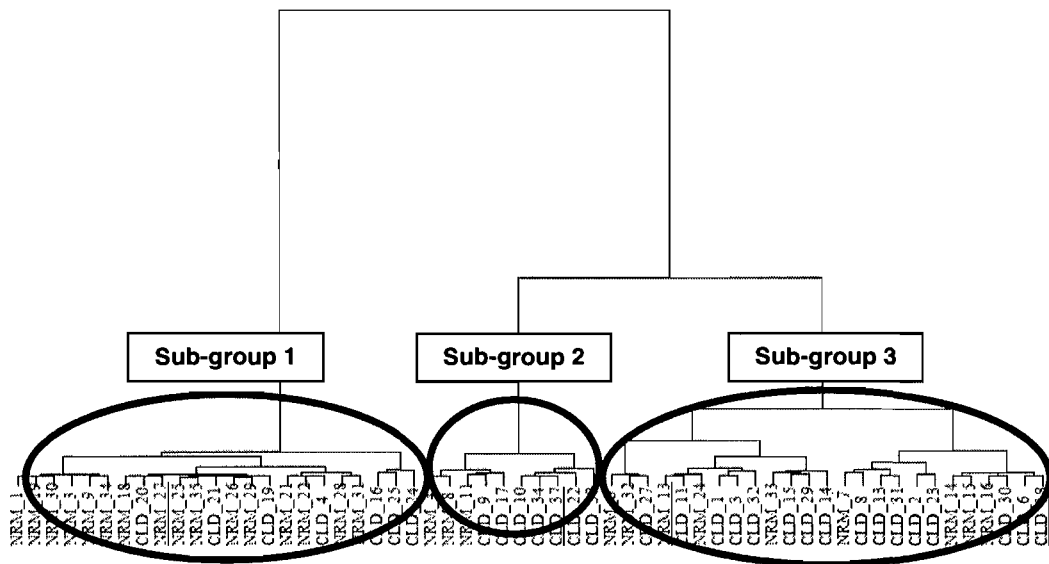


Figure 4 Cluster analysis graph for logical inferencing task

With regard to the controls, 57.1% of them are found in sub-group 1. However, it should be noted that control participants are also to be found in the other two sub-groups, albeit a lower proportion of them. In addition, RHD participants are present in all three sub-groups, including sub-group 1, which is mainly composed of controls. Control and RHD participants in sub-group 1 perform better as a whole than the other sub-groups; they also have a slightly higher level of education. Sub-group 2 contains the largest ratio of RHD participants (70%); interestingly, this sub-group also shows the lowest performance scores (a mean of only 34% of right answers was obtained). The last sub-group (3) is located between sub-groups 1 and 2, with performance at 63.7% and a slightly higher level of education than sub-group 2. This sub-group is composed of a larger proportion of RHD participants. The results for the first task thus show that the RHD participants do not perform equally well in terms of their

ability to solve logical inferences. However, approximately a quarter of them show a marked deficit in solving logical inferences.

Table 3 Cluster data for logical inferencing task

Sub-groups	1	2	3
Number of members in the cluster	23	10	25
% of RHD participants in the cluster / total number of individuals in each cluster	30.4	70	64
% of controls in the cluster / total number of controls	57.1	10.7	32.14
% of RHD participants in the cluster / total number of RHD participants	23.3	23.3	53.33
% of right answers (SD)	90.3 (7.6)	34.0 (9.1)	63.7 (10.29)
Mean age in years (SD)	62.4 (14.1)	62.2 (11.1)	64.3 (9.91)
Mean years of education (SD)	11.1 (4.3)	8.0 (2.8)	8.54 (3.2)

The use of the same cluster analyses applied to the performance of control and RHD participants on the pragmatic inferencing task yielded four sub-groups (see Figure 5 and Table 4). RHD participants are present mainly in sub-groups 2 and 4. It is not surprising to note that the performance scores and the level of education in these two sub-groups are high. However, sub-groups 1 and 3, in which performance is relatively weak, contain nearly one-quarter of all RHD participants. In these two sub-groups, the level of education --- especially for sub-group 1 --- is lower than in the other sub-groups. This result shows that a significant proportion of RHD participants are impaired, although a majority of them are able to solve pragmatic inferences. A comparison between the two clusters shows that there is no overlap between the two sets of impaired RHD participants. Indeed, it can be noted that the RHD participants who experience difficulty in solving the logical inferences are not the same ones who have difficulties solving the pragmatic inferences.

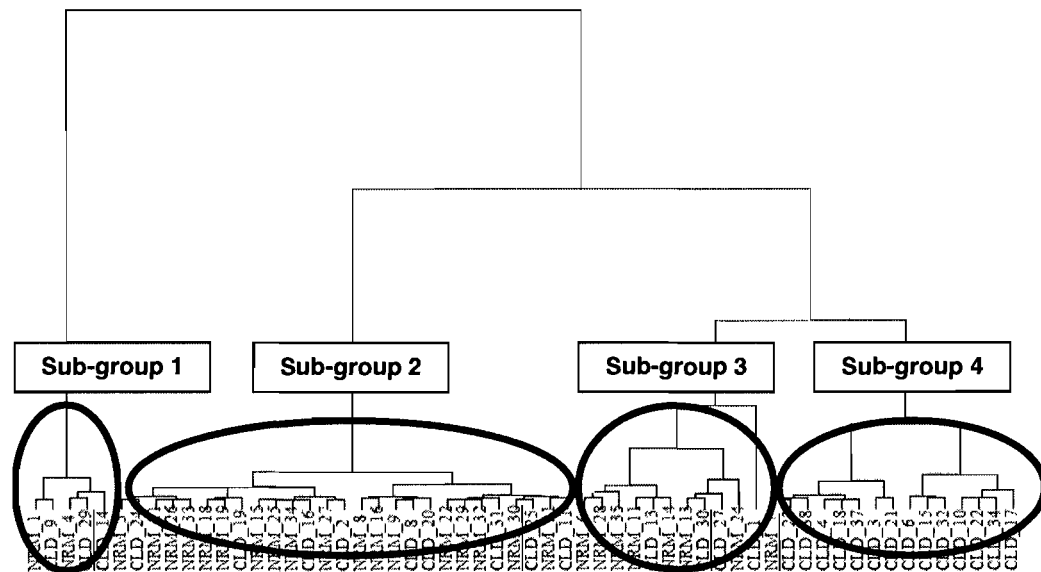


Figure 5 Cluster analysis graph for pragmatic inferencing task

A series of post hoc correlation analyses for each task were applied in order to see whether age ($r = 0.35$ for logical inferencing task; $r = -0.22$ for pragmatic inferencing task) and education level ($r = 0.39$ for logical inferencing task; $r = 0.38$ for pragmatic inferencing task) were determining factors for the sub-groups identified by the cluster analyses. The results show that neither of these factors was significantly correlated with the sub-groups obtained.

Table 4 Cluster data for pragmatic inferencing task

Sub-groups	1	2	3	4
Number of members in the cluster	5	27	11	15
% of RHD participants in the cluster / total number of individuals in each cluster	60.0	33.3	36.4	93.3
% of controls in the cluster / total number of controls	7.1	64.3	25	3.6
% of RHD participants in the cluster / total number of RHD participants	10	30	13.3	46.7
% of right answers (SD)	69.3 (5.5)	93.6 (4.0)	70.0 (13.4)	78.2 (5.8)
Mean age in years (SD)	76.4 (10.9)	61.9 (11.6)	66.7 (9.9)	58.5 (10.5)
Mean years of education (SD)	5.8 (1.9)	10.5 (3.9)	8.6 (2.5)	9.1 (4.0)

Discussion

The goal of this study was to explore the possibility that some individuals with an acquired right-hemisphere lesion may show a deficit in the resolution of logical and/or pragmatic inferences. The main results indicate that, for both logical and pragmatic inferencing tasks, the performance of the RHD individuals taken as a group is significantly worse than that of control individuals. We also see that, overall, the performance of both groups is better for the pragmatic inferencing task. This suggests that pragmatic inferencing is easier than logical inferencing. It also probably means that the context of a story helps individuals (with or without an RH lesion) to solve inferences.

The results of the cluster analyses applied to both sets of data (logical and pragmatic tasks) did not identify a sub-group composed only of RHD individuals. For the pragmatic inferencing task, it was more difficult to set a determining level in the cluster analysis to differentiate between sub-groups of RHD and control participants. However, with regard to the logical inferencing task, it seems that one sub-group is composed of a majority of control participants (task 1, sub-group 1). We then explored the possibility that demographic factors (age and education) could account for the sub-groups obtained. However, none of these factors clearly accounted for any sub-group.

Like several previous studies in the literature, this study suggests that a lesion in the RH affects inferencing abilities. It may therefore be the case that the pragmatic and discourse disorders experienced by RHD individuals can be attributed, at least partly, to a deficit affecting inferencing abilities. However, it is clear that other factors may also contribute to these pragmatic and discourse difficulties, for example, an inhibition deficit (Champagne-Lavau *et al.*, 2005). In fact, since there is more than one possible cause of the presence of pragmatic deficits, it appears that a possible deficit of inferencing abilities likely represents a contributing factor and not the sole cause of pragmatic difficulties in RHD individuals. It could therefore be expected that the presence of inferencing deficits might account, alone or in combination with other

cognitive impairments, for the presence of pragmatic deficits in a subset of individuals with an RH lesion. Consequently, future studies aiming at an understanding of the cognitive bases of pragmatic deficits will have to include the assessment of a large number of basic cognitive abilities, including inferencing abilities.

We found it surprising that the sub-groups resulting from the cluster analysis were not primarily determined by the presence or absence of a lesion in the RH. Indeed, the occurrence of an RH lesion did not seem to be the primary determinant in the identification of sub-groups with the cluster analysis. Beyond the general impact of the RH lesion, several other factors might have played a role. For one thing, it may be the case that many different "normal" strategies are involved in solving inferences. It would have been interesting to ask the participants about the strategies they used and the performance they achieved. Although the occurrence of an RH lesion presumably did not introduce a new strategy for the affected individuals, it may have decreased the efficiency of some strategies they used to solve inferences. Our results could therefore be explained, at least to some extent, in terms of reduced availability and/or inefficient allocation of cognitive resources following RHD (McNeil *et al.*, 1991; Monetta *et al.*, 2004; Murray, 2000) or working memory capacity (Tompkins *et al.*, 1994). Again, further studies will be needed in both brain-lesioned and normal individuals to better understand the underlying cognitive processes required for such a complex ability. Strict anatomical localization of the lesion is important in order to identify the lesions associated with such deficits. Moreover, functional neuroimaging could contribute to understanding the inter-hemispheric dynamics sustaining the resolution of inferences.

In conclusion, this study clearly indicates that an RH lesion can interfere with the normal ability to process inferences, but that this interference does not appear to affect all RHD individuals. This result will have to be taken into consideration for the clinical evaluation and management of individuals with communication impairments following a right-hemisphere lesion.

References

- Beeman M.J. (1993). Semantic processing in the right hemisphere may contribute to drawing inferences from discourse. *Brain and Language*, *44*, 80-120.
- Beeman M.J., Bowden E.M. & Gernsbacher M.A. (2000). Right and left hemisphere cooperation for drawing predictive and coherence inferences during normal story comprehension. *Brain and Language*, *71*, 310-336.
- Bihrlé A.M., Brownell H.H., Powelson J.A. & Gardner H. (1986). Comprehension of humorous and nonhumorous materials by left and right brain-damaged patients. *Brain and Cognition*, *5*, 399-411.
- Bloom R.L., Borod J.C., Opler L.K. & Gerstman L.J. (1992). Impact of emotional content on discourse production in patients with unilateral brain damage. *Brain and Language*, *42*, 153-164.
- Brookshire R.H. & Nicholas L.E. (1984). Comprehension of Directly and Indirectly Stated Main Ideas and Details in Discourse by Brain-Damaged and Non-Brain Damaged Listeners. *Brain and Language*, *21*, 21-36.
- Brownell H.H., Michel D., Powelson J. & Gardner H. (1983). Surprise but not coherence: Sensitivity to verbal humor in right-hemisphere patients. *Brain and Language*, *18*, 20-27.
- Brownell H.H., Potter H.H., Bihrlé A.M. & Gardner H. (1986). Inference deficits in right brain damaged patients. *Brain and Language*, *27*, 310-321.
- Caramazza A., Gordon J., Zurif E.B. & DeLuca D. (1976). Right-hemispheric damage and verbal problem solving behavior. *Brain and Language*, *3*, 41-46.
- Champagne-Lavau M., Stip E. & Joannette Y. (2005). Cognition sociale et troubles pragmatiques chez les individus schizophrènes et cérébrolésés droits: trouble de la théorie de l'esprit et/ou dysfonctionnement exécutif. Poster presented at the 27th Société québécoise de recherche en psychologie conference, Mont-Ste-Anne, QC.

Champagne-Lavau M., Stip E. & Joannette Y. (2007). Language functions in right-hemisphere damage and schizophrenia: Apparently similar pragmatic deficits may hide profound differences. *Brain*, 130 (2), e67.

Clark H.H. (1969). Linguistic processes in deductive reasoning. *Psychological Review*, 76, 387-404.

Clark H.H. (1971). More about "Adjectives, comparatives, and syllogisms": A reply to Huttenlocher and Higgins. *Psychological Review*, 78, 505-514.

Clustan Graphics, version 5.27 (2002). [software] Clustan Ltd.

Code C. (1987). *Language, aphasia and the right hemisphere*. Oxford: John Wiley and Sons.

Crothers E.J. (1978). Inference and coherence. *Discourse Processes*, 1, 51-71.

De Soto C.B., London M. & Handel S. (1965). Social reasoning and spatial paralogic. *Journal of Personality and Social Pathology*, 2, 513-521.

Eisenson J. (1959). Language dysfunctions associated with right brain damage. *American Speech and Hearing Association*, 1, 107.

Eisenson J. (1962). Language and intellectual modifications associated with right cerebral damage. *Language and Speech*, 5, 49-53.

Foldi N. (1987). Appreciation of pragmatic interpretations of indirect commands: Comparison of right and left hemisphere brain-damaged patients. *Brain and Language*, 31, 88-108.

Gardner H., Ling P.K., Flamm L. & Silverman J. (1975). Comprehension and appreciation of humorous material following brain damage. *Brain*, 98, 399-412.

Gibbs R.W. (1999). Interpreting what speakers say and implicate. *Brain and Language*, 68, 466-485.

Goodenough-Trépanier C., Powelson J. & Zurif E. (1982). Bridging in Right Hemisphere Patients. Oral communication at the *Academy of Aphasia* annual meeting, Lake Mohonk.

Graesser A.C., Singer M. & Trabasso T. (1994). Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychological Review*, 101, 371-395.

Hannequin D., Goulet P. & Joannette Y. (1987). *La contribution de l'hémisphère droit à la communication verbale*. Paris: Masson.

Harris R.J. & Monaco G.E. (1978). The psychology of pragmatic implication: Information processing between the lines. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 1-22.

Hier D.B. & Kaplan J. (1980). Verbal comprehension deficits after right hemisphere damage. *Applied Psycholinguistics*, 1, 279-294.

Hirst W., LeDoux J. & Stein S. (1984). Constraints on the processing of indirect speech acts: Evidence from aphasiology. *Brain and Language*, 23, 26-33.

Joannette Y. & Ansaldi A.I. (2001). Aphasie et troubles de la communication verbale de nature non aphasique chez les cérébrolésés droits: le paradoxe. *Aphasie et Domaines Associés*, 15, 7-27.

Joannette Y. & Goulet P. (1994). Right hemisphere and verbal communication: Conceptual, methodological, and clinical issues. *Clinical Aphasiology*, 22, 1-23.

Joannette Y., Goulet P. & Hannequin D. (1990). Right hemisphere and verbal communication. New York: Springer-Verlag.

Joannette Y., Goulet P., Ska B. & Nespoulous, J.-L. (1986). Informative content of narrative discourse in right-brain-damaged right-handers. *Brain and Language*, 29, 81-105.

Kaplan J.A., Brownell H.H., Jacobs J.R. & Gardner H. (1990). The effects of right hemisphere damage on the pragmatic interpretation of conversational remarks. *Brain and Language*, 38, 315-333.

Kintsch W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model. *Psychological Review*, 95, 163-182.

McDonald S. (2000). Exploring the cognitive basis of right-hemisphere pragmatic language disorders. *Brain and Language*, 75, 82-107.

McDonald S. & Wales R. (1986). An Investigation of the Ability to Process Inferences in Language Following Right Hemisphere Brain Damage. *Brain and Language*, 29, 68-80.

McKoon G. & Ratcliff R. (1992). Inferencing during reading. *Psychological Review*, 99, 440-466.

McNeil M., Odell K. & Tseng C. (1991). Toward the integration of resource allocation into a general theory of aphasia. In T.E. Prescott (Ed.), *Clinical aphasiology*, 20 (pp. 21-39). Austin, TX: Pro-Ed.

Mey Jacob L. (2001). *Pragmatics: An Introduction*. Oxford: Blackwell (2nd ed.)

Monetta L., Ouellet-Plamondon C. & Joannette Y. (2004). Resource limitations as a determinant of right-hemisphere-damaged difficulties in processing alternative metaphorical meaning of words. *Brain and Language*, 91, 170-171.

Mross E.F. (1990). Text analysis: Macro-and microstructural aspects of discourse processing. In Y. Joannette & H.H. Brownell (Eds.), *Discourse ability and brain damage: Theoretical and empirical perspectives* (pp. 50-68). New York: Springer-Verlag.

Murray L. (2000). The effects of varying attentional demands on the word retrieval skills of adults with aphasia, right hemisphere brain damage, or no brain damage. *Brain and Language*, 72, 40-72.

Myers P.S. (1991). Inference failure: the underlying impairment in right-hemisphere communication disorders. *Clinical Aphasiology*, 20, 167-180.

Myers P.S. (1999). *Right hemisphere damage*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.

Oberauer K., Hörnig R., Weidenfeld A. & Wilhelm O. (2005). Effects of directionality in deductive reasoning II: Premise integration and conclusion evaluation. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 58A, 1225-1247.

Oldfield O.D. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.

Poissant H. (1989). The role of inferences in understanding. *Reading-Canada-Lecture*, 7, 218-230.

Radvansky G.A. & Copeland D.E. (2004). Reasoning, integration, inference alteration, and text comprehension. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 58, 133-141.

Read D.E. (1981). Solving deductive reasoning problems after unilateral temporal lobectomy. *Brain and Language*, 12, 92-100.

Singer M. (1994). Discourse inference processes. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 479-515). San Diego, CA: Academic Press.

Singer M. & Ferreira F. (1983). Inferring consequences in story comprehension. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 437-448.

Stemmer B., Giroux F. & Joanne Y. (1994). Production and evaluation of requests by right hemisphere brain-damaged individuals. *Brain and Language*, 47,1-31.

Tompkins C.A., Bloise C.G.R., Timko M.L. & Baumgaertner A. (1994). Working memory and inference revision in brain-damaged and normally aging adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 896-912.

Tompkins C.A., Fassbinder W., Lehman-Blake M., Baumgaertner A. & Jayaram N. (2004). Inference generation during text comprehension by adults with right hemisphere brain damage: Activation failure versus multiple activation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 1380-1395.

Tompkins C. & Mateer C.A. (1985). Right Hemisphere Appreciation of Prosodic and Linguistic Indications of Implicit Attitude. *Brain and Language*, 24, 185-203.

Van den Broek P.W. (1994). Comprehension and memory of narrative texts: Inferences and coherence. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 539-588). San Diego, CA: Academic Press.

Vanhalle C., Lemieux S., Joubert S., Goulet P., Ska B. & Joanne Y. (2000). Processing of speech acts by right hemisphere brain-damaged patients: An ecological approach. *Aphasiology*, 14, 1127-1142.

Van Lancker D.R. & Kempler D. (1987). Comprehension of familiar phrases by left-but not by right hemisphere damaged patients. *Brain and Language*, 32, 265-277.

Wapner W., Hamby S. & Gardner H. (1981). The role of the right hemisphere in the apprehension of complex linguistic materials. *Brain and Language*, 14, 15-33.

Weinstein E.A. (1964). Affections of speech with lesions of the non-dominant hemisphere. *Research Publications of the Association for Research in Nervous and Mental Disease*, 42, 220-228.

Winner E. & Gardner H. (1977). The comprehension of metaphor in brain-damaged patients. *Brain*, 100, 719-727.

Résolution d'inférences logiques et pragmatiques après une lésion cérébrale gauche

Caroline Hamel & Yves Joanette

Revue de Neuropsychologie, 16 (4), 443-460 (2006)

Résumé	55
Abstract	55
Remerciements	56
Introduction	57
Méthodologie	60
Matériel	60
Première tâche: inférences logiques	60
Deuxième tâche: inférences pragmatiques	62
Participants	63
Déroulement de l'expérience	64
Résultats	65
Discussion	67
Références	70

Résumé

À ce jour, plusieurs travaux se sont penchés sur les éventuelles atteintes des habiletés inférentielles qui peuvent survenir suite à une lésion cérébrale, essentiellement après une lésion droite. Toutefois, compte tenu des déficits possibles de la compréhension du matériel linguistique complexe chez les individus cérébrolésés gauches, ce travail s'est attardé à décrire l'impact d'une lésion gauche sur les habiletés de résolution inférentielles logiques et pragmatiques. Quatorze participants cérébrolésés gauches et quatorze participants contrôles appariés par groupe en âge et scolarité ont participé à cette étude. Les résultats recueillis à partir de notre groupe de participants contrôles et de cérébrolésés gauches n'ont pas permis, globalement, de trouver une différence significative, tant pour la résolution d'inférences logiques que pragmatiques. Ainsi, notre étude suggère qu'une lésion à l'hémisphère gauche n'entraîne pas spécifiquement des déficits de résolution d'inférences logiques ou pragmatiques mais suggère qu'un déficit pour la résolution d'inférences semble être plus caractéristique de l'impact d'une lésion droite.

Abstract**Resolution of logical and pragmatic inferences after a left cerebral lesion**

Several studies discuss the possible impact on inferencing abilities of a right-hemisphere lesion. However, given that a left-hemisphere lesion can result in deficits in the comprehension of complex linguistic material, we examined the resolution of logical and pragmatic inferences by left-hemisphere-damaged (LHD) participants, in order to explore and better understand their logical and pragmatic inferencing abilities. Fourteen LHD and fourteen control participants matched by group for age and education were recruited for this study. An inferencing protocol, including logical and pragmatic inferences, was administered to the participants. This protocol includes 40 logical inferences to solve and a story (200 words) followed by 30 statements to respond to (statements that can be true or false or require an inference). The main

result suggests that, for both logical and pragmatic inferencing tasks, the LHD individuals performed no worse than controls. In other words, we did not find any significant difference between groups and tasks. These results indicate that a left-hemisphere lesion does not affect inferencing abilities. However, this study suggests that a deficit affecting inference resolution is more characteristic of right-hemisphere-damaged patients.

Mots clés: langage, pragmatique, inférences, cérébrolésés gauches

Remerciements

La réalisation de ce travail a été rendue possible grâce à l'appui financier des Instituts de Recherche en Santé du Canada (subvention #MP-15006 YJ) et du Regroupement Provincial de Recherche en Imagerie Cérébrale (CH).

Nous voudrions remercier Francine Giroux pour son aide lors de l'analyse statistique ainsi que feu Dre Dominique Cardebat pour sa générosité, son dynamisme ainsi que son aide dans le recrutement des participants cérébrolésés gauches.

Introduction

Depuis plusieurs années, bon nombre d'études se sont intéressées à la résolution d'inférences en contexte discursif. En fait, les habiletés inférentielles constituent une composante centrale de la compréhension verbale. En générant des inférences, les interlocuteurs peuvent ainsi se comprendre, particulièrement lorsque toute l'information n'est pas explicitée et/ou disponible dans le contexte communicationnel où se tient le discours (Singer & Ferreira, 1983). Ainsi, au quotidien "*la communication se fait au moyen d'indices que le locuteur fournit afin que le destinataire puisse en inférer ses intentions*" (Sperber & Wilson, 1989). Tout n'est pas dit dans l'énoncé d'un locuteur, c'est pour cette raison que les inférences servent à créer des liens entre les connaissances du destinataire et l'information nouvelle. Les inférences "*contribuent à l'établissement d'un contexte qui servira à interpréter les futurs fragments narratifs*" (Poissant, 1989).

Bien que divers types d'inférences aient été décrits (Singer, 1994; van den Broek, 1994), deux d'entre eux (logiques et pragmatiques) sont d'importance majeure pour les habiletés discursives et pragmatiques (Harris & Monaco, 1978). Les inférences logiques, constituent des résolutions de problèmes portant sur des prémisses nouvelles (par exemple: *A est plus grand que B. B est plus grand que C. Lequel est le plus grand?*). Elles consistent alors en une relation empirique de consécution et elles sont déterminées par un processus de raisonnement logique. Les inférences logiques telles que présentées ici font appel à un raisonnement déductif, de logique formelle, où les conclusions des syllogismes peuvent se déduire sans avoir recours à l'expérience. Les inférences pragmatiques, quant à elles, réfèrent à des données contextuelles ou aux connaissances dont disposent les interlocuteurs dans le champ de la communication. Ainsi, les individus analysent et tentent de comprendre une situation inconnue en se référant à des expériences ou situations connues qui sont emmagasinées en mémoire (appelées aussi schéma de connaissances). En fait, les inférences pragmatiques font référence au "Modèle Mental" proposé par Johnson-Laird (1983) selon lequel les individus se construiraient, au cours de leurs

expériences personnelles, une représentation du monde et qu'ils l'activeraient lors du traitement d'une information nouvelle. On peut considérer comme inférence pragmatique l'exemple suivant: "La jeune fille monte dans la *Rolls Royce*. La jeune fille est orpheline." Inférence: "La jeune fille a hérité". Les inférences pragmatiques dépendent donc de l'association d'informations provenant de nos connaissances générales et du contexte narratif (Crother, 1978; Poissant, 1989).

Dans la littérature, l'habileté à générer des inférences a plutôt été étudiée auprès d'une population adulte cérébrolésée droite (CLD), que ce soit pour les inférences logiques (Caramazza, Gordon, Zurif & DeLuca, 1976) ou pragmatiques (Goodenough-Trépanier, Powelson & Zurif, 1982; Tompkins & Mateers, 1985; Brownell, Potter, Bihle & Gardner, 1986; McDonald & Wales, 1986; Kaplan, Brownell, Jacobs & Gardner, 1990; Myers, 1991; Beeman, 1993; Tompkins, Bloise, Timko & Baumgaertner, 1994; Tompkins, Fassbinder, Lehman-Blake, Baumgaertner & Jayaram, 2004). De façon générale, la littérature suggère que certains CLD présentent clairement des déficits pour le traitement du matériel linguistique complexe et pour la résolution d'inférences. Ainsi, plusieurs études (Brownell & al., 1986; Schneiderman & Saddy, 1988; Molloy, Brownell & Gardner, 1990; Hough, 1990; Siegal, Carrington & Radel, 1996) montrent que certains CLD auraient de la difficulté pour la remise en cause d'une première impression. Ainsi, les CLD seraient capables d'effectuer une première inférence --- ou interprétation --- mais seraient beaucoup moins habiles au moment de la révision de leur première interprétation quand cela est nécessaire. Même lorsque l'on soumet les CLD à des tâches plus écologiques (Joanette, Goulet, Ska & Nespoulous, 1986), les auteurs confirment des perturbations au niveau des processus inférentiels. Il ne faut toutefois pas généraliser ces résultats à tous les CLD puisqu'il existe une grande hétérogénéité au sein de cette population (Joanette, Goulet & Daoust, 1991). Bien que la littérature se soit intéressée aux CLD, très peu d'études ont tenté de cibler spécifiquement les habiletés inférentielles chez une population cérébrolésée gauche (CLG) où d'emblée il existe des déficits plus documentés et connus au niveau des habiletés de communication.

Une lésion acquise à l'hémisphère gauche (HG) peut entraîner des troubles aphasiques, c'est-à-dire des déficits variables en terme de sévérité, de la compréhension et/ou de la production du langage (Lecours & Lhermitte, 1979; Eustache & Lechevalier, 1993; Seron, 1995; Davis, 2000, pour des revues). Une aphasie d'intensité légère à modérée peut être caractérisée par des déficits de la compréhension verbale du matériel linguistique complexe et du discours, tout en préservant des habiletés linguistiques au niveau du traitement du mot isolé. On peut penser que l'habileté à interpréter le sens de certains énoncés ainsi que l'habileté à effectuer des inférences pourrait être perturbé au sein de cette population. Il importe donc de bien évaluer les habiletés inférentielles, tant logiques que pragmatiques, chez des individus avec lésion cérébrale gauche ayant causé une aphasie légère à modérée. La littérature ne fournit que peu d'information sur ce sujet. En effet, Wapner, Hamby & Gardner (1981) se sont attardés aux habiletés des CLD et CLG à apprécier des situations humoristiques. Leurs résultats montrent que les deux groupes de cérébrolésés ont des performances moindres que les participants contrôles, les CLG ont même réussi moins de questions que les CLD. Pour leur part, Tompkins *et al.* (1994) ont également inclus un groupe de CLG dans leur étude sur la révision d'inférences. Leurs résultats suggèrent que certains d'entre eux présentent des difficultés à réviser leur première interprétation pour comprendre les propositions. Malgré tout, il n'existe à notre connaissance qu'une seule étude ayant directement couplé CLG et habiletés inférentielles pragmatiques (Wright & Newhoff, 2004). Dans cette étude, Wright et Newhoff (2004) ont présenté à leurs participants des paires de phrases nécessitant la révision de l'interprétation initiale (donc effectuer une inférence) pour comprendre le sens des courts énoncés tels que: *Guillaume a heurté une voiture en face de lui pendant qu'il prenait un virage. À la fin du tour, Guillaume est sorti de la voiture tamponneuse* (traduction libre). Les résultats de cette étude suggèrent que la compréhension d'inférences était mieux réussie par, tout d'abord, les participants contrôles, suivis des aphasiques non fluents et finalement les aphasiques fluents. Cependant, étant donné la nature pragmatique des inférences étudiées par Wright et Newhoff (2004), des facteurs confondants tels l'état de la mémoire

sémantique et les habiletés de théorie de l'esprit pourraient avoir influencé les résultats par-delà les habiletés inférentielles pures.

Certaines études utilisant la tomographie par émission de positron lors de résolution d'inférences logiques rapportent des activations préfrontales gauche (Goel, Gold, Kapur & Houle, 1997, 1998). Dans la même lignée, Shuren et Grafman (2002) suggèrent que l'HG serait impliqué dans le raisonnement abstrait, c'est-à-dire pour la résolution d'inférences logiques. Il apparaît donc important de s'intéresser aux habiletés inférentielles chez une population adulte avec lésion à l'HG puisque plusieurs résultats tendent à indiquer que l'HG pourrait contribuer à la résolution d'inférences.

L'objectif principal de ce travail était donc de contribuer à décrire les habiletés inférentielles des CLG relativement aux habiletés d'inférences logiques et de bonifier les connaissances relatives à la résolution d'inférences pragmatiques. Il est attendu que certaines difficultés pourraient être rencontrées au sein du groupe des CLG pour la résolution d'inférences autant logiques que pragmatiques. Comme certaines études via des techniques de neuroimagerie et des populations saines neurologiquement indiquent une implication de l'HG lors de la résolution d'inférences logiques, il serait probable que les CLG obtiendront des résultats significativement moins élevés que notre groupe contrôle à la tâche d'inférences logiques. En outre, une lésion à l'HG devrait affecter la bonne compréhension d'inférences pragmatiques, telles que décrit par Wright et Newhoff (2004).

Méthodologie

Matériel

Première tâche: inférences logiques

Quarante syllogismes ont été construits selon le même patron: deux prémisses suivies d'une question. Par exemple: *A est plus gros que B. C n'est pas plus gros que B. Lequel est le plus gros?*

Afin de faire varier la difficulté de nos stimuli, les syllogismes ont été construits en se basant sur trois paramètres: la congruence, la marque et la disposition spatiale des prémisses pour ainsi former cinq niveaux de difficultés que nous avons contrebalancés (voir tableau 1). Ces trois paramètres permettent de tester les deux théories existantes sur la résolution des syllogismes soit la théorie linguistique (Clark, 1969) et la théorie spatiale (De Soto, London & Handel, 1965). Ces théories font référence à la stratégie cognitive susceptible d'être utilisée pour effectuer la résolution de syllogismes, en l'occurrence soit une stratégie basée sur le contenu linguistique des prémisses, soit une stratégie reposant sur les opérations spatiales nécessaires pour résoudre le syllogisme. Du point de vue linguistique, la congruence (Clark, 1969, 1971) réfère aux adjectifs utilisés dans les prémisses et la question. En fait, il y a congruence quand le même adjectif est utilisé (*A est plus petit que B. C n'est pas aussi petit que B. Lequel est le plus petit?*) et incongruence quand ce n'est pas le cas (*A est plus petit que B. C n'est pas aussi petit que B. Lequel est le plus grand?*). Selon Clark (1969, 1971), les syllogismes incongruents correspondent à des stimuli plus difficiles à résoudre. Ensuite, la marque, c'est-à-dire un terme qui porte un caractère particulier, a servi à construire les syllogismes présentés ici (Clark, 1969, 1971). Par exemple, les adjectifs "petit", "étroit", "bas", "mince" sont marqués car ils désignent explicitement une petitesse, une étroitesse, une bassesse, ou une minceur au lieu de faire référence indifféremment à la grandeur et à la petitesse comme le fait l'adjectif non marqué "grand". En effet, les adjectifs "grand", "large", "haut", "épais" sont non marqués en ce sens qu'ils désignent tout le registre couvrant la grandeur et la petitesse. Les adjectifs marqués correspondent à des stimuli plus difficiles à résoudre. Ainsi, le temps de traitement sémantique des adjectifs non marqués devrait être inférieur à celui des adjectifs marqués correspondants (Clark, 1971). Quant au paramètre faisant référence à la stratégie de résolution spatiale de syllogismes, il repose sur l'arrangement spatial entre les éléments des syllogismes (De Soto *et al.*, 1965). Selon De Soto *et al.* (1965), le premier élément peut aussi bien être à la périphérie (*A est plus petit que B qui est plus petit que C*; ce qui correspond à un rapport endocentrique) ou au centre du rapport (*A est plus petit que B mais plus grand*

que C; ce qui constitue un rapport exocentrique). Selon De Soto *et al.* (1965), les syllogismes exocentriques sont plus difficiles à résoudre.

Par conséquent, il est logique d'attendre que les syllogismes qui sont incongruents et/ou marqués et/ou exocentriques soient les moins bien réussis autant pour le groupe de participants contrôles que les participants CLG. Les syllogismes congruents et/ou non-marqués et/ou endocentriques devraient être les mieux réussis pour tous les participants. De plus, il est attendu que les CLG réussissent globalement moins bien à tous les types de syllogismes, en référence aux études en imagerie cérébrale qui font le lien entre l'hémisphère gauche et la résolution d'inférences logiques.

Tableau 1 Exemples d'inférences logiques

Prémises	Questions	Réponses attendues	Type d'inférences logiques
C est plus fort que B A est moins fort que B	Lequel est le plus fort?	C	Endocentrique Non marqué Congruent (ou ENC)
A est plus maigre que B C est moins maigre que B	Lequel est le plus maigre?	A	Endocentrique Marqué Congruent (ou EMC)
B est moins lourd que C A est plus lourd que C	Lequel est le plus léger?	B	Endocentrique Non marqué Incongruent (ou ENI)
A est plus bas que C B est moins bas que C	Lequel est le plus haut?	B	Endocentrique Marqué Incongruent (ou EMI)
B est plus beau que C B est moins beau que A	Lequel est le plus beau?	A	Exocentrique Non marqué Congruent (ou XNC)

Deuxième tâche: inférences pragmatiques

Une courte histoire (200 mots) suivie de trente affirmations ont été présentés aux participants de façon semi-aléatoire (voir tableau 2). Des trente affirmations, dix d'entre elles étaient vraies et consistaient en une reformulation d'une information contenue explicitement dans l'histoire, dix autres correspondaient à une information qui n'était pas contenue dans l'histoire mais pouvait être inférer en se référant à notre connaissance générale du monde, finalement dix dernières affirmations étaient fausses et non présentes dans l'histoire. Les participants devaient répondre par OUI ou NON à chacune des affirmations. Il est attendu que les participants CLG aient un

score significativement moins élevé que les participants contrôles en ce qui concerne les affirmations à inférer.

Tableau 2 Histoire et affirmations utilisées pour la tâche d'inférences pragmatiques

Aujourd'hui, la sortie à la plage s'est transformée en cauchemar pour la famille Durand. D'abord, Sylvie a piqué le ballon de plage avec une aiguille après que sa mère eut terminé de le gonfler. Yves, attristé, s'est alors amusé à tirer les moustaches de son père qui dormait. Furieux, ce dernier a couru après Yves qui fini par tomber dans la boue. Quant à Sylvie, elle est tombée tout habillée dans l'eau en voulant éviter la bousculade des coureurs. Puis, la branche sur laquelle oncle François s'est assis pour admirer le spectacle s'est brisée. Par la suite, Yves et Sylvie ont jeté une allumette dans un tas de bois auquel ils ont ajouté les revues d'oncle François; il ne pourra plus les lire. Par chance, madame Durand est vite accourue pour verser de l'eau sur l'œuvre diabolique des enfants. Enfin, monsieur Durand qui avait oublié sa glace au soleil, a dû boire sa limonade sans glaçon pendant que madame Durand chicanait oncle François qui avait renversé du vin sur la nappe à pique-nique neuve. Les Durand se souviendront longtemps de cette journée à la plage.

Affirmations vraies (V)	Affirmations fausses (F)	Affirmations à inférer (I)
Sylvie a piqué le ballon de plage.	Sylvie a joué au ballon.	Le ballon de plage a été crevé.
Le ballon de plage a été gonflé.	Oncle François a lu ses revues.	Yves s'est sali.
Madame Durand a versé de l'eau sur l'œuvre diabolique des enfants.	Madame Durand a caché le ballon de plage.	Yves et Sylvie ont fait un feu.
Oncle François a renversé du vin.	Monsieur Durant s'est baigné.	Le père a été réveillé.
Monsieur Durand a bu de la limonade.	Sylvie a brûlé sa robe.	Sylvie s'est mouillée.
Madame Durand a chicané oncle François.	Yves et Sylvie ont déchiré les revues d'oncle François.	Un feu a été éteint.
Yves et Sylvie ont ajouté les revues d'oncle François à un tas de bois.	Sylvie a mordu le ballon de plage.	Oncle François est tombé.
Oncle François s'est assis sur une branche.	Oncle François a nettoyé la nappe à pique-nique.	La nappe à pique-nique a été tachée.
Yves a tiré les moustaches de son père.	François a déchiré la nappe à pique-nique.	Les revues d'oncle François ont brûlé
Monsieur Durand a dormi.	Yves a lancé de la boue à son père.	La glace de monsieur Durand a fondu.

Participants

Vingt-huit participants droitiers francophones (avec plus de 80 au test de latéralité d'Édimbourg, Oldfield, 1971) ont participé à cette étude (voir tableau 3). Plus spécifiquement, quatorze participants cérébrolésés gauches (CLG) et quatorze participants contrôles. Les participants ont été appariés par groupe selon leur d'âge et

leur niveau de scolarité. Les participants avec des antécédents psychiatriques, neurologiques, de traumatisme crânio-encéphalique, de toxicomanie ou d'éthylisme chronique ont été exclus de l'étude. Les participants CLG présentaient des troubles d'aphasie allant de légers à modérés, troubles qui n'interféraient cependant pas à l'exécution des tâches présentées ici. Ils présentaient un profil d'aphasie avec un léger manque du mot, la compréhension écrite et orale ainsi que l'articulation étaient néanmoins fonctionnelles. Le type ainsi que la sévérité d'aphasie ont été confirmés par l'équipe traitante (orthophoniste, médecin, etc.). La majorité des participants CLG ont été recrutés par le biais de centres de réhabilitation, soit durant leur séjour ou lors de leurs visites contrôles aux cliniques externes. Le temps moyen est de 345 jours post-AVC. Tous les CLG recrutés ne présentaient qu'une seule lésion périsylvienne de nature vasculaire, confirmée par des données d'imagerie cérébrale (CT-Scan, IRM ou TEP). Ils étaient tous suivis en orthophonie.

Tableau 3 Description des participants

	Cérébrolésés gauches n =14	Contrôles n =14
Nombre d'hommes	9	5
Nombre de femmes	5	9
Âge moyen (ET)	61.3 (18.4)	63.2 (13.2)
Âge médian	67.0	67.5
Nombre moyen d'années de scolarité (ET)	9.0 (3.2)	9.2 (3.8)
Médiane des années de scolarité	9	8

Déroulement de l'expérience

Après avoir obtenu le consentement éclairé de chaque participant, chacun d'eux a été soumis individuellement aux deux tâches. L'ensemble des énoncés associés aux différents types d'inférences ont été présentés oralement et par écrit aux participants pour ainsi contrer un possible effet de mémoire. La présentation des stimuli s'est faite de manière semi-aléatoire. Les réponses orales des participants ont été enregistrées.

Résultats

Afin de vérifier notre objectif principal et déterminer s'il existe des déficits significatifs dans la résolution d'inférences logiques et pragmatiques chez les CLG, une ANOVA [2x2; GROUPES (CLG et contrôles) x TÂCHES (inférences logiques et pragmatiques)] a été effectuée en prenant comme variable dépendante le pourcentage de bonnes réponses obtenues aux tâches proposées. Les résultats montrent qu'il n'y a pas d'interaction principale [$F_{(1,26)} = 0.031$, $MSE = 7.147$, $p > 0.05$] entre les groupes et les tâches, ce qui suggère que les performances des CLG et des contrôles aux deux tâches ne sont pas significativement différentes. Cependant, au niveau des effets simples, les résultats montrent un effet significatif au niveau des tâches [$F_{(1,26)} = 6.960$, $MSE = 6.960$, $p < 0.05$], suggérant une différence dans la résolution et/ou la difficulté des tâches. En ce qui concerne les groupes aucun effet significatif n'a été trouvé [$F_{(1,26)} = 0.221$, $MSE = 64.273$, $p > 0.05$] (voir figure 1 et tableau 4).

Tableau 4 Pourcentage de bonnes réponses et écarts-types des participants contrôles et CLG aux tâches d'inférences logiques et pragmatiques

	Contrôles		CLG	
	Moyennes	Écarts-types	Moyennes	Écarts-types
Inférences logiques	76.3	21.3	73.4	18.0
Inférences pragmatiques	86.2	10.7	84.8	12.0

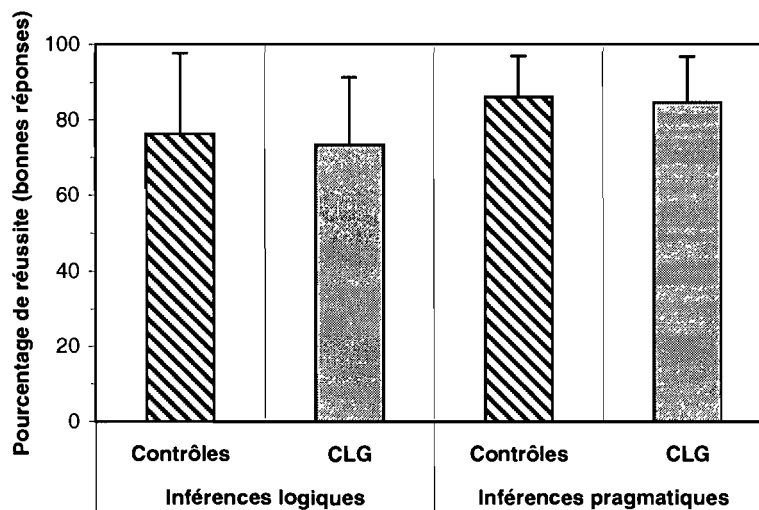


Figure 1 Performances moyennes des participants cérébrolésés gauches et contrôles pour les tâches d'inférences logiques et pragmatiques

Ayant déjà préétabli différents types d'inférences logiques, une ANOVA à mesures répétées a été effectuée chez tous les participants (contrôles et CLG confondus) afin d'évaluer s'il existe une différence significative entre les différents types d'inférences. Les résultats démontrent un effet statistiquement significatif [$F_{(4,108)} = 6.767$, $MSE = 17.314$, $p < 0.001$]. L'analyse des contrastes a posteriori indique que les différences statistiquement significatives au seuil alpha de 5% sont entre ENC et XNC, entre ENC et EMI, entre XNC et EMC et entre EMC et EMI. Ceci indique que les différents types d'inférences logiques ne sont pas réussis de manière équivalente. La figure 4 montre que les syllogismes les moins bien réussis par les deux groupes sont les XNC suivi de près par les EMI puis les ENI, EMC et finalement les mieux réussis par les participants sont les ENC.

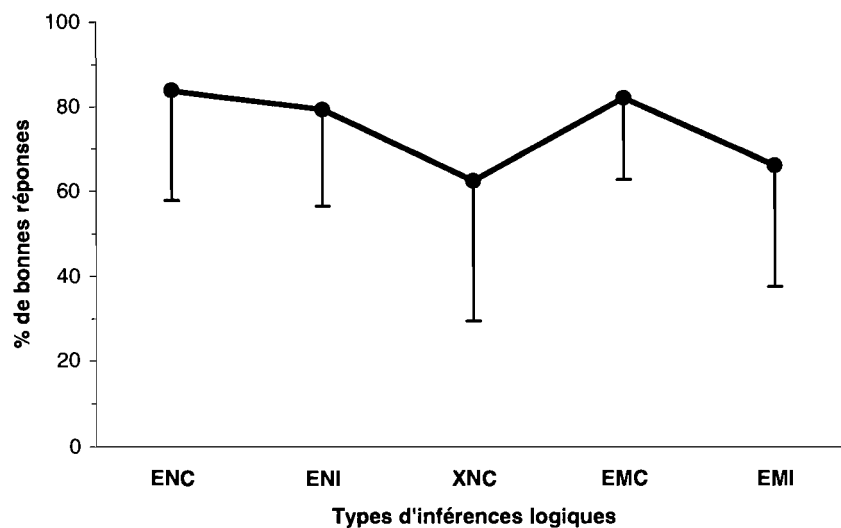


Figure 2 Pourcentage de bonnes réponses selon le type d'inférences logiques pour les deux groupes de participants

Par contre, pour les inférences pragmatiques où des types d'affirmations (V, F ou I) avaient été établies, les résultats ne démontrent pas d'effet statistiquement significatif [$F_{(2, 54)} = 1.268$; $p > 0.05$]. Ce qui signifie que tous les participants se comportent de manière semblable aux trois types d'affirmations pour la tâche d'inférences pragmatiques.

Finalement, afin de déterminer si certains facteurs sociologiques pouvaient apporter plus d'informations aux résultats obtenus, des corrélations entre les performances

obtenues aux deux tâches en lien avec l'âge et en lien avec la scolarité ont également été effectuées avec les deux groupes confondus. La seule corrélation significative se situe entre la tâche des inférences logiques et la scolarité (corrélations de Pearson, $r = 0.415$, $p = 0.028$).

Discussion

L'objectif de ce travail était de déterminer si les CLG peuvent résoudre les inférences logiques et pragmatiques de manière équivalente à celles de participants contrôles. Les résultats ne démontrent aucune différence significative entre les deux groupes de participants, peu importe la tâche inférentielle (logique ou pragmatique) utilisée. Une attention particulière a été portée aux données démographiques et a fait ressortir que les performances à la tâche d'inférences logiques étaient en lien avec le niveau de scolarité. Il semble que plus la scolarité est élevée, meilleures seront les performances aux inférences logiques.

Rappelons ici que la tâche d'inférences logiques intégrait différents niveaux de difficultés. À partir des données dans la littérature (De Soto *et al.*, 1965; Clark, 1969, 1971), il était attendu que le niveau de difficulté des syllogismes varierait selon les deux caractéristiques suivantes: la disposition spatiale des prémisses et les aspects linguistiques les composant. Les résultats obtenus offrent des données convergentes avec cette littérature. Ainsi, les syllogismes les mieux réussis sont ceux qui sont endocentriques, non marqués et congruents. Toutefois, encore une fois, cet effet se retrouve tout aussi bien chez les individus CLG que chez les participants contrôles.

Les résultats de la présente étude n'offrent cependant pas d'éléments de convergence comportementale pour les études de neuroimagerie fonctionnelle suggérant une contribution de l'HG pour la résolution d'inférences logiques (Goel *et al.*, 1997, 1998; Goel & Dolan, 2001). Les résultats obtenus ici peuvent sembler surprenants compte tenu des données d'imagerie cérébrale effectuées avec des participants sains neurologiquement. En effet, la présence de sites activés à l'HG chez l'individu sain en situation de résolution d'inférences logiques laissait présager qu'une lésion à l'HG

aurait pu avoir un impact sur les habiletés de résolution de tels syllogismes. L'absence de tels impacts laisse à penser que les activations cérébrales observées dans ces études ne correspondent pas à des structures ou régions requises pour la résolution d'inférences logiques puisque leur lésion ne semble pas affecter la résolution de telles inférences. Cette observation ajoute aux faits qui permettent de penser que les sites et/ou structures activés lors d'une tâche de neuroimagerie fonctionnelle ne sont pas tous spécifiques à la réalisation de cette tâche. Il se pourrait donc que les activations à l'HG rapportées dans ces études ne soient qu'accessoires et non essentielles à la réalisation de cette tâche.

Nos résultats ne confirment pas non plus ceux obtenus par Wright & Newhoff (2004) suggérant que la compréhension d'inférences est significativement moins bien réussie chez les individus avec lésion cérébrale gauche que chez les contrôles. En fait, il faut souligner ici que les participants à la présente étude ne présentaient pas de signes aphasiques suffisants pour mériter un label clinique d'aphasique. Les présents résultats montrent donc que si l'on contrôle la présence de troubles de langage, des individus CLG peuvent avoir des performances similaires à celles de participants contrôles. Les résultats de Wright & Newhoff (2004) témoignent donc plus de l'impact d'un trouble du langage de nature aphasique sur les habiletés inférentielles, que d'un problème à résoudre les inférences comme tel. Par conséquent, une lésion à l'HG ne semble pas être la source d'une interférence majeure avec les habiletés de résolution d'inférences.

En fait, les résultats de cette étude sont compatibles avec l'idée que c'est l'intégrité des réseaux neuronaux de l'hémisphère droit qui sont essentiels à la capacité de résolution de syllogismes (Joanette & Ansaldo, 2001; Joanette, Goulet & Hannequin, 1990; Myers, 1999). Ainsi, les résultats obtenus dans la présente étude sont compatibles avec la suggestion que ce soit une lésion à l'hémisphère droit qui affecterait davantage la résolution d'inférences qu'une lésion à l'HG, comme le suggèrent plusieurs études telles (Beeman 1993; Brownell *et al.*, 1986; Tompkins, Fassbinder, Blake, Baumgaertner & Jayaram, 2004). Des déficits dans la résolution

d'inférences, logiques ou pragmatiques, seraient donc plus caractéristiques d'une lésion cérébrale droite.

En conclusion, les résultats obtenus ici indiquent qu'une lésion à l'HG ne semble pas affecter l'habileté à traiter des inférences. Ces résultats sont importants à considérer pour l'évaluation clinique et la prise en charge d'individus ayant subi une lésion cérébrale gauche ou droite.

References

- Beeman M.J. (1993). Semantic processing in the right hemisphere may contribute to drawing inferences from discourse. *Brain and Language*, 44, 80-120.
- Brownell H.H., Potter H.H., Bihrlé A.M. & Gardner H. (1986). Inference deficits in right brain damaged patients. *Brain and Language*, 27, 310-321.
- Caramazza A., Gordon J., Zurif E.B. & DeLuca D. (1976). Right-hemispheric damage and verbal problem solving behavior. *Brain and Language*, 3, 41-46.
- Clark H.H. (1969). Linguistic processes in deductive reasoning. *Psychological Review*, 76, 387-404.
- Clark H.H. (1971). More about " adjectives, comparatives, and syllogisms ": A reply to Huttenlocher and Higgins. *Psychological Review*, 78, 505-514.
- Crothers, E.J. (1978). Inference and coherence. *Discourse Processes*, 1, 51-71.
- Davis G.A. (2000). *Aphasiology: disorders and clinical practice*. Boston: Allyn and Bacon.
- De Soto C.B., London M. & Handel S. (1965). Social reasoning and spatial paralogic. *Journal of Personality and Social Pathology*, 2(4), 513-521.
- Eustache F. & Lechevalier B. (1993). *Langage et Aphasie*. Bruxelles: De Boeck.
- Goel V. & Dolan R.J. (2001). Functional neuroanatomy of three-term relational reasoning. *Neuropsychologia*, 39(9), 901-909.
- Goel V., Gold R.J., Kapur S. & Houle S. (1997). The seats of reason: a localization study of deductive and inductive reasoning using PET (O15) blood flow technique. *NeuroReport*, 8(5), 1305-1310.
- Goel V., Gold R.J., Kapur S. & Houle S. (1998). Neuroanatomical correlates of human reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 293-302.

Goodenough-Trépanier C., Powelson J. & Zurif E. (1982). Bridging in right hemisphere patients. Communication faite à la rencontre annuelle de *l'Académie de l'Aphasie*, Lake Mohonk.

Harris R.J. & Monaco G.E. (1978). The psychology of pragmatic implication: information processing between the lines. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 1-22.

Hough M.S. (1990). Narrative comprehension in adults with right and left hemisphere brain-damage: theme organization, *Brain and Language*, 38, 253-277.

Joanette Y. & Ansaldo A.I. (2001). Aphasie et troubles de la communication verbale de nature non aphasique chez les cérébrolésés droits: le paradoxe. *Aphasie et Domaines Associés*, 15, 7-27.

Joanette Y., Goulet P. & Daoust H. (1991). Incidence et profils des troubles de la communication verbale chez les cérébrolésés droits. *Revue de neuropsychologie française*, 1, 3-27.

Joanette Y., Goulet P. & Hannequin D. (1990). *Right hemisphere and verbal communication*. New York: Springer-Verlag.

Joanette Y., Goulet P., Ska B. & Nespoulous J.-L. (1986). Informative content of narrative discourse in right-brain-damaged right-handers, *Brain and Language*, 29, 81-105.

Johnson-Laird P.N. (1983). *Mental Models*, Cambridge: Cambridge University press.

Kaplan J.A., Brownell H.H., Jacobs J.R. & Gardner H. (1990). The effects of right hemisphere damage on the pragmatic interpretation of conversational remarks. *Brain and Language*, 38(2), 315-333.

Lecours A.-R. & Lhermitte F. (1979). *L'aphasie*. Paris: Flammarion.

McDonald S. & Wales R. (1986). An investigation of the ability to process inferences in language following right hemisphere brain damage. *Brain and Language*, 29, 68-80.

Molloy R., Brownell H.H. & Gardner H. (1990). Discourses comprehension by right-hemisphere stroke patients: deficits of prediction and revision, In Y. Joanette, H. Brownell (Eds), *Discourses Ability and Brain Damage: Theoretical and Empirical Perspectives* (pp. 113-130). Springer Verlag, New-York.

Myers P.S. (1991). Inference failure: the underlying impairment in right-hemisphere communication disorders. *Clinical Aphasiology*, 20, 167-180.

Myers P.S. (1999). *Right hemisphere damage*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.

Oldfield O.D. (1971). The Assessment and Analysis of Handedness: The Edinburg Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.

Poissant H. (1989). Le rôle des inférences dans la compréhension. *Reading-Canada-Lecture*, 7(4), 218-230.

Schneiderman E.I. & Saddy J.D. (1988). A linguistic deficit resulting from right-hemisphere damage. *Brain and Language*, 34, 38-53.

Seron X. (1995). *Aphasie et neuropsychologie*. Liège: Pierre Mardaga Éditeur.

Siegal M., Carrington J. & Radel M. (1996). Theory of mind and pragmatic understanding following right hemisphere damage. *Brain and Language*, 53, 40-50.

Singer M. (1994). Discourse inference processes. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 479-515). San Diego, CA: Academic Press.

Singer M. & Ferreira F. (1983). Inferring consequences in story comprehension. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 437-448.

Shuren J.E. & Grafman J. (2002). The neurology of reasoning. *Archives of Neurology*, 59, 916-919.

Sperber D. & Wilson D. (1989). *La Pertinence*. Paris: Éditions de Minuit.

Tompkins C.A., Bloise C.G.R., Timko M.L. & Baumgaertner A. (1994). Working memory and inference revision in brain-damaged and normally aging adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 896-912.

Tompkins C.A., Fassbinder W., Lehman-Blake M., Baumgaertner A. & Jayaram N. (2004). Inference generation during text comprehension by adults with right hemisphere brain damage: activation failure versus multiple activation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 1380-1395.

Tompkins C. & Mateer C.A. (1985). Right hemisphere appreciation of prosodic and linguistic indications of implicit attitude. *Brain and Language*, 24, 185-203.

Van den Broek P.W. (1994). Comprehension and memory of narrative texts inferences and coherence. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of Psycholinguistics* (pp. 539-588). San Diego, CA: Academic Press.

Wapner W., Hamby S. & Gardner H. (1981). The role of the right hemisphere in the apprehension of complex linguistic materials, *Brain and Language*, 14, 15-33.

Wright H.H. & Newhoff M. (2004). Inference revision processing in adults with and without aphasia. *Brain and Language*, 89, 450-463.

Étude en imagerie optique diffuse

Étude 3

75

Left and right hemispheric contributions to syllogistic reasoning:
evidence from an NIRS study

Caroline Hamel, Nathalie Walter & Yves Joanette

Cerebral Cortex, soumis

Left and right hemispheric contributions to syllogistic reasoning: evidence from an NIRS study

Caroline Hamel, Nathalie Walter & Yves Joanette

Cerebral Cortex, soumis

Abstract	76
Acknowledgment	76
Introduction	77
Method	79
Participants	79
Stimuli	79
Procedure	82
Results	83
Behavioral data	83
NIRS data	83
Discussion	88
References	91

Abstract

This study examines interhemispheric cooperation during syllogistic reasoning. Near-infrared spectroscopy (NIRS) data were acquired. In each trial, participants viewed two premises followed by a question; they had to correctly resolve 120 syllogisms. A reference task was also presented to the participants, constructed in the same way but without the necessity to make an inference. The results suggest that both hemispheres participate in the activity of reasoning. Globally, syllogisms are processed differently in the frontal and temporal regions and in the frontal superior and temporal superior regions. Moreover, the left hemisphere seems to be engaged by the spatially based level of difficulty of syllogisms, while the right hemisphere seems to be involved in the resolution of the linguistic characteristics of syllogisms.

Acknowledgment

The research reported in this paper was supported by grant #MP-15006 (YJ) from the Canadian Institutes of Health Research.

Thanks to Francine Giroux and Noureddine Senhadji for their help with the analysis. Thanks also to Antoine Dubois-Couture for assisting with the data collection.

Introduction

Reasoning is a cognitive activity that is based on the ability to evaluate arguments. It is the cognitive process that corresponds to drawing inferences --- or yielding conclusions --- using the information provided in the premises. There are two main types of reasoning ability: deductive and inductive. By definition, deductive reasoning is based on premises that are accurate and verifiable, thereby ensuring the truthfulness of the conclusion. In contrast, in inductive reasoning, there is no assurance that the conclusion is correct, even if the premises are accurate. The present study will focus on deductive reasoning, and more specifically on syllogistic reasoning, which corresponds to a systematic form of inferencing.

Inferencing abilities are essential to reasoning in everyday life; inferencing occurs when human beings make implicit information explicit and allows for social interactions. Inferencing is a central component of discourse processing; indeed, understanding discourse often requires one to generate inferences when the coherence of the ideas appears to be broken, or when an outside event has interrupted the logical chain of a story (Singer and Ferreira, 1983). Inferencing can be defined as the ability to go beyond the explicit statements in a discourse and activate and integrate information that is not actually stated (van den Broek, 1994). In spite of the centrality of reasoning, its functional neuroanatomy is still poorly understood (Goel, in press).

Neuropsychological studies have provided some answers concerning the brain regions contributing to reasoning. First, the frontal lobes are greatly involved in reasoning (Shallice and Burgess, 1991; Stuss and Alexander, 2000). At the same time, based on the impact of acquired brain lesions, the literature contains numerous observations supporting the notion that the right hemisphere (RH) contributes to the processing of non-literal language, such as indirect speech acts (Foldi, 1987; Hirst, LeDoux, and Stein, 1984; Stemmer, Giroux, and Joannette, 1994; Vanhalle, Lemieux, Joubert, Goulet, Ska, and Joannette, 2000), humor (Bihrlé, Brownell, Powelson, and Gardner, 1986; Brownell, Michel, Powelson, and Gardner, 1983; Gardner, Ling, Flamm, and Silverman, 1975; Wapner, Hamby, and Gardner, 1981), idioms (Van

Lancker and Kempler, 1987), proverbs (Hier and Kaplan, 1980) and metaphors (Winner and Gardner, 1977). One of the suggestions often offered to explain the presence of a deficit affecting non-literal language following right-hemisphere damage (RHD) is that it causes a difficulty in solving inferences. Thus, the ability to generate inferences has frequently been investigated in adults with RH lesions (Beeman, 1993; Brownell, Potter, Bihrlé, and Gardner, 1986; Caramazza, Gordon, Zurif, and DeLuca, 1976; Kaplan, Brownell, Jacobs, and Gardner, 1990; McDonald and Wales, 1986; Myers, 1991; Tompkins, Bloise, Timko, and Baumgaertner, 1994; Tompkins, Fassbinder, Lehman-Blake, Baumgaertner, and Jayaram, 2004; Tompkins and Mateer, 1985). Despite some lack of convergence, these studies tend to indicate that, in general, RHD individuals are still able to make an initial inference, but find it more difficult to modify their first interpretation. Thus, frontal and RH lesions appear to interfere with some aspect of inferencing abilities.

Neuroimaging studies with healthy participants have shown a lack of consistency in the pattern of activation associated with inferencing abilities (Acuna, Eliassen, Donoghue, and Sanes, 2002; Goel and Dolan, 2000, 2001, 2004; Goel, Gold, Kapur, and Houle, 1997, 1998; Houdé *et al.*, 2001; Knauff, Mulak, Kassubek, Salih, and Greenlee, 2002; Osherson *et al.*, 1998; Parsons and Osherson, 2001). In fact, none of these studies report a similar pattern of activation to any of the others. However, it appears that reasoning is a complex cognitive process that requires a broad cerebral network (Goel, in press). Activation sites reported include bilateral regions in the occipital and parietal lobes, and left hemisphere (LH) activation of the temporal lobe and prefrontal cortex (Acuna *et al.*, 2002; Goel and Dolan, 2000, 2001, 2004; Goel *et al.*, 1997, 1998; Knauff *et al.*, 2002). Some other studies have reported RH activation associated with reasoning abilities (Houdé *et al.*, 2001; Osherson *et al.*, 1998; Parsons and Osherson, 2001).

In summary, there is still no consensus regarding how the functional organization of the brain allows reasoning abilities. The goal of the present study was to identify the organization for syllogistic reasoning by using a neuroimaging technique that is particularly respectful of the testing environment: near-infrared spectroscopy (NIRS).

More specifically, the present study was designed to measure the variation in cortical oxyhemoglobin (HbO) and deoxyhemoglobin (HbR) concentrations during a logical reasoning resolution task for which levels of difficulties were controlled using both linguistic and spatial determinants.

Method

Participants

This research was first approved by the institutional ethics committee. Then, 12 native French-speaking volunteers (eight female) were recruited to participate in this study. Their average age was 23.67 years old (SD 3.27, range 18-28). All participants were right-handed with more than +80 on the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). None of the participants had a history of psychiatric disorder, other neurological disease, chronic alcoholism or brain injury. Each participant gave signed informed consent and was familiarized with the NIRS technique as well as the task itself, using comparable but different stimuli.

Stimuli

One hundred and fifty stimuli were constructed for this task: 120 syllogisms and 30 reference stimuli. Each syllogism contains two premises followed by one question (e.g., *B is wider than A and B is not wider than C. Which is the narrowest?*). The syllogisms' levels of difficulty were determined by two factors: a linguistic factor (congruence) and a spatial factor (spatial arrangement). Congruence refers to the adjectives used in the premises and the question (Clark, 1969, 1971). For half (n = 60) of the syllogisms, the adjectives appearing in the premises are the same as the one used in the question (e.g., *A is bigger than B and C is not bigger than B. Which one is the biggest?*). This condition is referred to as "congruent." For the other half (n = 60), the adjectives were "incongruent": the adjectives used in the premises were different from the one used in the question (e.g., *A is bigger than B and C is not bigger than B. Which one is the smallest?*). According to Clark (1969, 1971), an incongruent

sylllogism must be reformulated before it can be answered, and such reformulation increases the difficulty of the task. The second factor determining level of difficulty is the mental "spatial arrangement" of the premises (De Soto, London, and Handel, 1965); syllogisms can be described as "endocentric" or "exocentric." According to DeSoto *et al.* (1965), solving a syllogism requires the construction of a mental spatial relationship between the elements of the premises. In this context, an endocentric syllogism is one for which the first element provided is at the periphery of the relationship (*A is smaller than B and C is bigger than B; $A < B < C$*), whereas an exocentric syllogism is one for which the first element provided is at the center of the relationship (*B is bigger than A and B is smaller than C; $B > A$ and $B < C$ so $A < B < C$*). According to De Soto *et al.* (1965), and in line with one's intuition, exocentric syllogisms are more difficult than endocentric ones. Thus, for this study, half of the syllogisms were endocentric and the other half were exocentric. These two factors (congruence and spatial arrangement) were counterbalanced in order to construct four types of syllogisms (see Table 1 for examples). Although no previous study has explicitly demonstrated this, it can be expected that exocentric, incongruent syllogisms should be the most difficult of all.

Table 1 Examples of logical inferences

Premises	Question	Expected response	Type of logical inference
C is less happy than B A is happier than B	Which is the happiest?	A	Endocentric Congruent (or EC)
B is less big than A C is bigger than A	Which is the smallest?	B	Endocentric Incongruent (or EI)
A is heavier than C A is less heavy than B	Which is the lightest?	C	Exocentric Incongruent (or XI)
B is bigger than C B is not bigger than A	Which is the biggest?	A	Exocentric Congruent (or XC)

Thirty reference stimuli were also constructed to serve as a reference task for NIRS imaging. The reference stimuli are also formed of two premises and a question but their resolution does not require the extraction of the information from the premises since the question can be answered from semantic memory. All reference stimuli are constructed of premises referring to animals while the question concerns their size or

weight. For example, *A is an elephant and B is a frog. Which is biggest?* (see Table 2 for examples). The questions can only be *Which one is the biggest/smallest?*

Table 2 Examples of reference stimuli

Premises	Question	Expected response
A is a cat / B is a zebra	Which is the biggest?	B
C is a bear / A is a bee	Which is the smallest?	A

NIRS measurements

The NIRS system used was a 32-channel TechEn CW5 system (TechEn Inc, Milford, Massachusetts). Near-infrared light sources were conveyed to the surface of the head through 8 optodes (4 on each side) while 16 optodes (8 on each side) detected the light that penetrated the brain. Flexible plastic optode holders were used bilaterally to position the four pairs of source optodes and the eight detector optodes (see Figure 1).

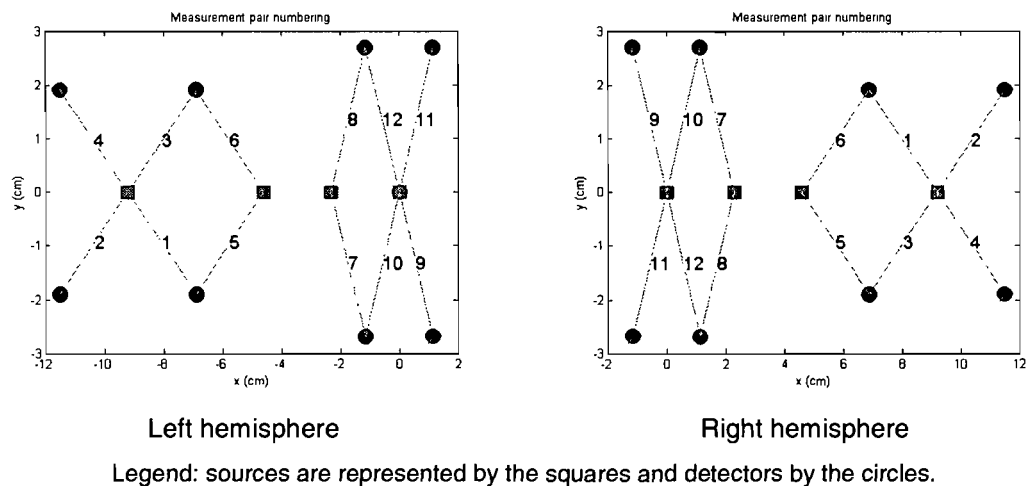


Figure 1 Probe holders for NIRS acquisition (left and right hemispheres)

The distance between the source and detector optode was 3 cm; a given source could emit light detected by up to four detector while a given detecting optode can detect light from up to two source optodes. Optodes were positioned to cover a large region of the brain including frontal, temporal and parietal areas according to a 10 x 20 system (Jasper, 1958). The anterior and posterior portions of the areas covered were arbitrarily labeled as Broca's and Wernicke's regions, respectively. Signals were acquired with four near-infrared light sources from laser diodes (wavelength at 830

nm) and four red light sources (wavelength at 690 nm). Light sources and detectors were coupled and arranged on the optodes placed on the participant's head.

Procedure

Optode positioning covered Brodmann areas 22, 44 and 45, according to the 10 x 20 system used for ERP studies. The 150 stimuli were presented using Eprime (Psychology Software Tools, Inc., v1.2). A block-design paradigm was used. The stimuli were subdivided into three major blocks of 50 stimuli, each composed by the different type of syllogisms (EC, EI, XC, XI and reference). In each trial, participants viewed premises followed by a question. The first premise was shown for 3000 ms, then joined by the second premise for a further 3000 ms, and then joined by the question for another 4000 ms. A 20-second pause (blank screen) separated the five level-of-difficulty blocks, which were presented in pseudo-random order. Participants were instructed to read the phrases silently and answer as fast as possible by pressing the letter A, B or C on the keyboard (which was modified to place these three letters next to each other). Participants used their three central fingers to answer.

Data analysis

Raw data were filtered to remove artifacts due to respiration and cardiac pulsation, using a band pass filter range of 0.02-0.5 Hz. Then, according to the modified Beer-Lambert law, data were converted to measurements of HbO and HbR arranged into epochs and averaged for each participant at each location. The data filtering and analysis were done using the HomER (Hemodynamic Evoked Response) data analysis program (Photon Migration Imaging Lab, 2005). Data were analyzed individually and then group-averaged.

Results

Behavioral data

Behavioral performance was analyzed and the results indicated a percentage of correct answers of 97.5% (SD = 3.2) for the reference stimuli and 81.3% (SD = 8.1) for the syllogisms for all the participants taken together.

In order to test whether a difference between the response times (RT) for syllogism stimuli and reference stimuli exists, RTs were analyzed. A two-factor ANOVA [SYLLOGISM * REFERENCE] was done. A statistical difference was found [$F_{(1,11)} = 31.26, p < 0.001$]. Although some participants seem to be faster than others, all the participants solved the reference stimuli faster than syllogism stimuli. Global RTs also show a strong interparticipant difference [$F_{(1,11)} = 226.56, p < 0.001$].

Then, in order to verify the presence of a degree-of-difficulty effect, a two-factor ANOVA [POSITION (exocentric/endocentric) * CONGRUENCE (congruent/incongruent)] was performed. Results first indicate the presence of a non-significant main interaction between position and congruence. However, the analysis of simple effects showed that there is a statistically significant position effect [$F_{(1,11)} = 24.05, p < 0.001$]. Participants responded to the syllogisms differently depending on whether they were exocentric or endocentric. As predicted, it takes significantly more time to process exocentric stimuli (mean RT for endocentric stimuli = 2339.43 ms and mean RT for exocentric stimuli = 2757.42 ms). However, unexpectedly, congruence did not have a significant impact on RTs for syllogistic reasoning.

NIRS data

To determine whether a global difference in HbO concentration exists between hemispheres (RH and LH) when participants were obliged to engage in syllogistic reasoning, a two-factor ANOVA [STIMULI (syllogisms/reference) * LATERALIZATION (RH/LH)] was done. The results indicated the presence of a non-significant main interaction between stimuli and lateralization. It seems that for all stimulus types (syllogism or reference), there is no significant difference in HbO

concentration between the RH and the LH. However, the analysis shows a statistically significant simple effect of stimuli [$F_{(1,11)} = 11.021$, $p < 0.05$]. In other words, HbO concentration is lower for syllogisms and higher for reference stimuli, in both cerebral hemispheres.

The same analyses were done for HbR concentrations. Again, a two-factor ANOVA [STIMULI (syllogisms/reference) * LATERALIZATION (RH/LH)] was performed. Only a simple stimuli effect was found [$F_{(1,11)} = 19.738$, $p < 0.001$].

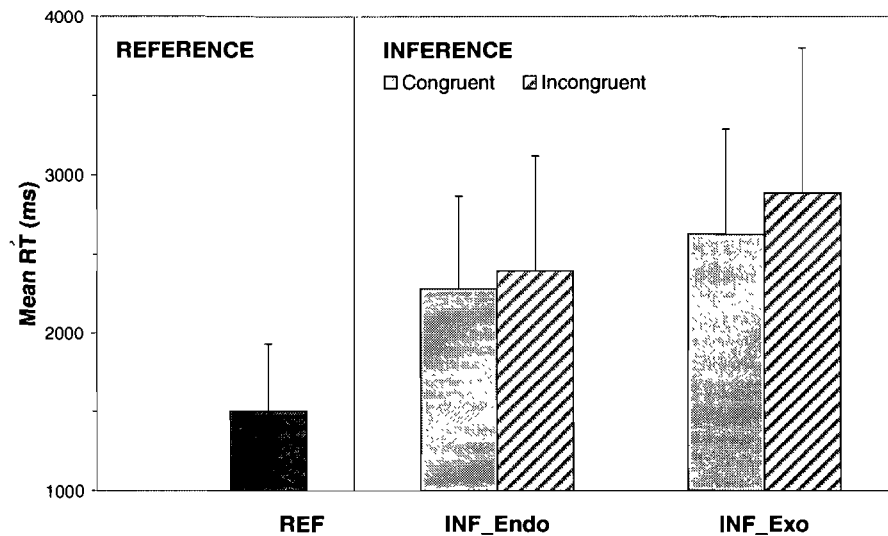


Figure 2 Mean response time (in milliseconds) for reference stimuli and syllogisms

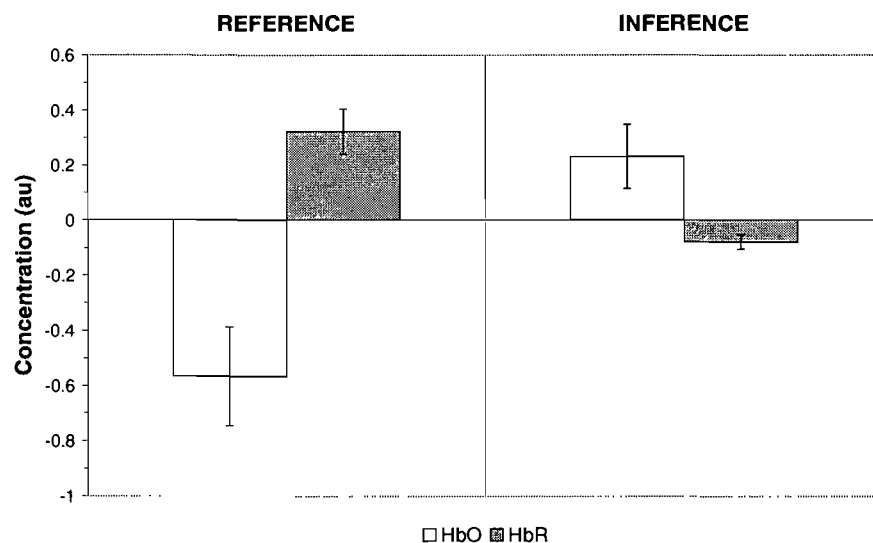


Figure 3 HbO and HbR concentrations for reference stimuli and syllogisms

In order to explore the localization of HbO and HbR concentrations in more detail, the data were then grouped by those optodes corresponding to four regions in each hemisphere: frontal superior (FS), frontal inferior (FI), temporal superior (TS) and temporal inferior (TI) for both LH and RH. Figure 4 summarizes the HbO and HbR concentrations in these eight regions.

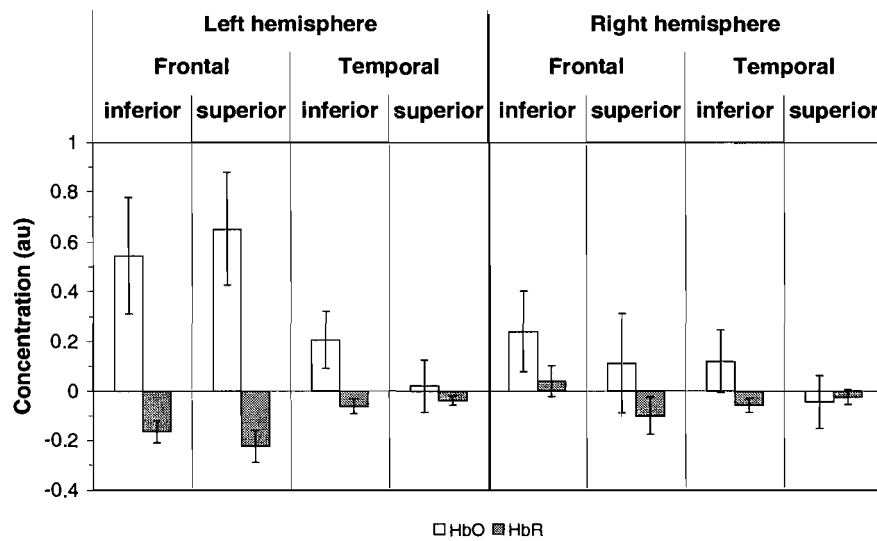


Figure 4 HbO and HbR concentrations for 8 brain regions

A three-factor ANOVA [STIMULI (syllogisms/reference) * REGION (FI, FS, TI, TS) * LATERALIZATION (RH/LH)] was performed for HbO and HbR concentrations. First, for HbO, the results indicated a double interaction [STIMULI (syllogisms/reference) * REGION (FI, FS, TI, TS)], [$F_{(3,33)} = 4.670$, $p < 0.05$]. A decomposition of this interaction indicated that for syllogisms, there was a simple effect of region [$F_{(3,33)} = 8.600$, $p < 0.05$]. Multiple t-tests with Bonferroni correction were then performed to determine which regions differed significantly from others for syllogisms. Overall, frontal and temporal regions had significantly different HbO concentrations when syllogisms were being processed [$t_{(11)} = 3.429$, $p = 0.006$]; the activity is greater in frontal regions. Moreover, HbO concentrations for the FS and TS regions were also significantly different when syllogisms were processed [$t_{(11)} = 4.179$, $p = 0.002$]. Another simple effect of region was found for the reference stimuli [$F_{(3,33)} = 3.503$, $p < 0.05$] but multiple t-tests with Bonferroni correction did not show

any significant difference between frontal/temporal, FI/FS, FI/TS, FS/TS or TI/TS regions. Thus, HbO concentrations were significantly different in different brain regions but not according to cerebral lateralization.

The same three-factor ANOVA [STIMULI (syllogisms/reference) * REGION (FI, FS, TI, TS) * LATERALIZATION (RH/LH)] was performed for HbR concentration. A simple effect of stimuli was found [$F_{(1,11)} = 19.738$, $p < 0.05$]. Thus, syllogisms and references are processed differently, independently of cerebral lateralization or brain region.

Reference stimuli were then excluded from the subsequent analyses in order to discern any pattern of HbO/HbR concentration according to the level of difficulty of the syllogistic stimuli. Thus, a four-factor ANOVA [LATERALIZATION (RH/LH) * POSITION (exocentric/endocentric) * CONGRUENCE (congruent/incongruent) * REGION (FI, FS, TI, TS)] was performed for HbO and HbR concentrations. There is no significant main interaction between the four factors and HbO or HbR. However, for HbO, two triple interactions were found: one between LATERALIZATION (RH/LH) * POSITION (exocentric/endocentric) * CONGRUENCE (congruent/incongruent), [$F_{(1,11)} = 8.650$, $p < 0.05$], and a second one between LATERALIZATION (RH/LH) * POSITION (exocentric/endocentric) * REGION (FI, FS, TI, TS), [$F_{(3,33)} = 3.432$, $p < 0.05$]. For HbR, a double interaction between LATERALIZATION (RH/LH) * REGION (FI, FS, TI, TS) was found, [$F_{(3,33)} = 2.970$, $p < 0.05$].

Data were then analyzed according to hemisphere. A three-factor ANOVA [POSITION (exocentric/endocentric) * CONGRUENCE (congruent/incongruent) * REGION (FI, FS, TI, TS)] was done for the LH and for the RH.

For the LH

The results did not reveal a main triple interaction. However, two double interactions for HbO and a double interaction for HbR were found. For HbO, interactions between POSITION (exocentric/endocentric) * CONGRUENCE (congruent/incongruent), [$F_{(1,11)} = 5.552$, $p < 0.05$], and also between POSITION (exocentric/endocentric) *

REGION (FI, FS, TI, TS), [$F_{(3,33)} = 4.015, p < 0.05$], were found. Similarly, a double interaction was found between POSITION (exocentric/endocentric) * CONGRUENCE (congruent/incongruent) for HbR, [$F_{(1,11)} = 6.115, p < 0.05$].

The factor POSITION was then decomposed. A two-factor ANOVA [CONGRUENCE (congruent/incongruent) * REGION (FI, FS, TI, TS)] has been performed for both endocentric and exocentric syllogism types. For HbO, a significant effect of region was found in the LH only for the exocentric syllogisms, [$F_{(3,33)} = 6.309, p < 0.05$]. Then, multiple t-tests with Bonferroni correction were done on HbO concentration to determine which regions differed significantly from others for exocentric syllogisms in the LH. The results show that the frontal and temporal regions in the LH have significantly different concentrations of HbO during the processing of exocentric syllogisms [$t_{(11)} = 2.812, p = 0.017$]. Another significant difference in HbO concentration was found between LFS and LTS [$t_{(11)} = 3.494, p = 0.005$] for exocentric syllogisms.

For HbR, a significant effect of region was found in the LH only for the endocentric syllogisms, [$F_{(3,33)} = 3.748, p < .05$]. Then, multiple t-tests with Bonferroni correction were again performed. A significant difference in HbR concentration between LFS and LTS was found for endocentric syllogisms [$t_{(11)} = -3.284, p = .007$].

For the RH

The results did not reveal a main triple or double interaction for HbO or HbR. Only a simple effect of CONGRUENCE was found for HbR, [$F_{(1,11)} = 6.396, p < 0.05$]. It seems that HbR concentration in the RH is significantly different when congruent syllogisms are processed.

Table 3 HbO (white lines) and HbR (grey lines) concentrations for right and left hemisphere as a function of level of difficulty

		Left hemisphere				Right hemisphere			
		Frontal		Temporal		Frontal		Temporal	
		inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior	inferior	superior
Endocentric	Congr.	0.4319	0.4169	0.3050	0.0590	0.1193	-0.0760	-0.0593	-0.1864
		(0.1646)	(0.1685)	(0.1474)	(0.0941)	(0.2264)	(0.2956)	(0.1929)	(0.2112)
	Incongr.	-0.1949	-0.3140	-0.1027	-0.0584	-0.1655	-0.1088	-0.0616	-0.0878
		(0.0334)	(0.0944)	(0.0449)	(0.0230)	(0.1647)	(0.1755)	(0.0289)	(0.0445)
Exocentric	Congr.	0.7384	0.8579	0.1208	-0.0631	0.3540	0.2299	0.3211	0.0622
		(0.2490)	(0.2548)	(0.2210)	(0.2131)	(0.1924)	(0.3098)	(0.2103)	(0.1621)
	Incongr.	-0.1675	-0.1601	-0.0558	-0.0727	0.0547	-0.2421	-0.0578	-0.0364
		(0.1512)	(0.1133)	(0.0811)	(0.0698)	(0.1648)	(0.1130)	(0.0760)	(0.0730)
Endocentric	Congr.	0.7836	1.1280	0.2849	0.1635	-0.0458	0.2189	0.1802	-0.0290
		(0.4472)	(0.4585)	(0.1493)	(0.1392)	(0.2688)	(0.3677)	(0.1651)	(0.1276)
	Incongr.	-0.2555	-0.3039	-0.1340	-0.0602	0.0101	-0.0231	-0.0544	0.0246
		(0.1601)	(0.1206)	(0.0434)	(0.0322)	(0.1645)	(0.1424)	(0.0630)	(0.0554)

Discussion

The goal of this study was to extend our knowledge of the functional neuroanatomy subserving syllogistic reasoning by using NIRS to gain additional information regarding the determinants underlying the processing of this kind of reasoning.

Our results indicate that there is a significant difference in RT between all types of syllogisms and the reference stimuli. In addition, the level of difficulty determined by position (exocentric/endocentric stimuli) has a significant impact on RT performance. In fact, exocentric stimuli take longer to process than endocentric stimuli, as we had predicted. On the other hand, congruence does not appear to be a determinant factor of RTs for syllogistic reasoning.

For the imaging data, overall, syllogisms and reference stimuli are associated with significantly different concentrations of HbO and HbR. However, there is no lateralization effect when they are solved: changes in HbO and HbR are globally

similar in both hemispheres. In fact, the only significant difference when syllogisms are solved is for the HbO concentration in the frontal and temporal regions. The nature of this difference is in line with that revealed by many other contributions to the literature. Indeed, the difference in HbO concentration is expressed in terms of anterior-posterior differences, rather than RH/LH differences. These findings indicate that both hemispheres seem to participate in the activity of reasoning, but the activation is greater in frontal regions than temporal regions, for both hemispheres. These results support past findings indicating that the frontal lobes are very much involved in reasoning (Shallice and Burgess, 1991; Stuss and Alexander, 2000) and problem solving (Luria, 1966), and with previous neuroimaging studies suggesting that temporal activation is associated with reasoning (Goel *et al.*, 1998; Knauff *et al.*, 2003)

However, a very interesting result is the relationship between levels of difficulty and the two hemispheres. Indeed, the variation in the difficulty of syllogisms based on their spatial arrangement triggers concentration changes in the LH. Endocentric vs. exocentric syllogisms are associated with significant variations in HbO and HbR concentrations in the LH. Conversely, congruence --- the linguistic determinant of the difficulty of syllogisms --- is associated with significant differences in the RH. These results appear surprising at first glance. Indeed, we did not expect that an increase in the spatial difficulty would be associated with variations in LH concentrations, whereas linguistic difficulty would be associated with changes in RH concentration. However, these results might make sense if they are interpreted in the context of the overall absence of difference between the two hemispheres for syllogistic reasoning also reported here. The variations in both the LH and the RH are associated with an increase in level of difficulty alone. In this respect, these differences might relate to the interhemispheric dynamics between the two hemispheres when faced with more difficult stimuli. It has in fact been claimed in the literature that an increase in the level of difficulty of a task can induce a change in interhemispheric dynamics in the sense of a hemispheric coupling (Banich and Belger, 1990; Weissman and Banich, 2000). On this hypothesis, if one hemisphere is more or less sufficient to process a given set of stimuli, the other hemisphere might be recruited --- or coupled --- in order

to process stimuli that are more difficult. If this explanation can be extended to the present results, one might then speculate that the contralateral hemisphere will exhibit the biggest changes in concentration if the level of difficulty increases. Thus, and despite the fact that there are no overall interhemispheric differences in HbO/HbR concentrations for syllogistic reasoning, the LH seems to be recruited when syllogisms become more difficult spatially, and the RH when syllogisms become more difficult linguistically. If this is the case, our results would be the first to demonstrate the existence of an impact of degree of difficulty on variations in interhemispheric coupling for syllogistic reasoning. This result would predict that LH and RH lesions would have differential impacts on syllogistic reasoning abilities according to the degree of difficulty of the stimuli. This prediction might explain the fact that the brain-lesion literature on syllogistic reasoning is very heterogeneous: this may result from the large variations in degree of task difficulty between studies.

NIRS neuroimaging clearly has a lot to offer for the systematic study of the functional neuroanatomy of cognitive abilities that are complex and sometimes difficult to reproduce in less test-friendly environments such as fMRI. However, the technique itself needs to be better understood. Probably the biggest challenge is the exact meaning of HbO and HbR. Since the latter is similar to the BOLD signal measured in fMRI studies, the concentration changes are more familiar in functional neuroimaging. HbO concentrations, however, are less easily understood. Although it has been claimed that HbO should reverse to HbR over the course of a given activation, the results for our study, and many others, do not report such a systematic reverse over time. In fact, HbO concentrations appear to be influenced by many more possibly confounding factors than HbR. Consequently, further studies are needed in order to better understand the exact relationship between HbO and cerebral activation. Despite this limitation, the present study was able to report changes in both HbR and HbO concentration that contribute to revealing the challenging organization of the brain for such complex cognitive abilities as syllogistic reasoning.

References

- Acuna B.D., Eliassen J.C., Donoghue J.P. & Sanes J.N. (2002). Frontal and parietal lobe activation during transitive inference in humans. *Cerebral Cortex*, 12, 1312-1321.
- Banich M.T. & Belger A. (1990). Interhemispheric interaction: how do the hemispheres divide and conquer a task? *Cortex*, 26, 77-94.
- Beeman M.J. (1993). Semantic processing in the right hemisphere may contribute to drawing inferences from discourse. *Brain and Language*, 44, 80-120.
- Bihrlé A.M., Brownell H.H., Powelson J.A. & Gardner H. (1986). Comprehension of humorous and nonhumorous materials by left and right brain-damaged patients. *Brain and Cognition*, 5, 399-411.
- Brownell H.H., Michel D., Powelson J. & Gardner H. (1983). Surprise but not coherence: sensitivity to verbal humor in right-hemisphere patients. *Brain and Language*, 18, 20-27.
- Brownell H.H., Potter H.H., Bihrlé A.M. & Gardner H. (1986). Inference deficits in right brain damaged patients. *Brain and Language* 27: 310-321.
- Caramazza A., Gordon J., Zurif E.B. & DeLuca D. (1976). Right-hemispheric damage and verbal problem solving behavior. *Brain and Language*, 3, 41-46.
- Clark H.H. (1969). Linguistic processes in deductive reasoning. *Psychological Review*, 76, 387-404.
- Clark H.H. (1971). More about "adjectives, comparatives, and syllogisms": a reply to Huttenlocher and Higgins. *Psychological Review*, 78, 505-514.
- De Soto C.B., London M. & Handel S. (1965). Social reasoning and spatial paralogic. *Journal of Personality and Social Pathology*, 2, 513-521.

Foldi N. (1987). Appreciation of pragmatic interpretations of indirect commands: Comparison of right and left hemisphere brain-damaged patients. *Brain and Language*, 31, 88-108.

Gardner H., Ling P.K., Flamm L. & Silverman J. (1975). Comprehension and appreciation of humorous material following brain damage. *Brain*, 98, 399-412.

Goel V. (in press). The anatomy of deductive reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*.

Goel V. & Dolan R.J. (2000). Anatomical segregation of component processes in an inductive inference task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 1-10.

Goel V. & Dolan R.J. (2001). Functional neuroanatomy of three-term relational reasoning. *Neuropsychologia*, 39, 901-909.

Goel V. & Dolan R.J. (2004). Differential involvement of left prefrontal cortex in inductive and deductive reasoning. *Cognition*, 93, B109-B121.

Goel V., Gold B., Kapur S. & Houle S. (1997). The seats of reason: a localization study of deductive and inductive reasoning using pet (O15) blood flow technique. *NeuroReport*, 8, 1305-1310.

Goel V., Gold B., Kapur B. & Houle S. (1998). Neuroanatomical correlates of human reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 293-302.

Hier D.B. & Kaplan J. (1980). Verbal comprehension deficits after right hemisphere damage. *Applied Psycholinguistics*, 1, 279-294.

Hirst W., LeDoux J. & Stein S. (1984). Constraints on the processing of indirect speech acts: evidence from aphasiology. *Brain and Language*, 23, 26-33.

Houdé O., Zago L., Crivello F., Moutier S., Pineau A., Mazoyer B. & Tzourio-Mazoyer N. (2001). Access to deductive logic depends on a right ventromedial prefrontal area devoted to emotion and feeling: evidence from a training paradigm. *NeuroImage*, 14, 1486-1492.

Jasper H.H. (1958). The ten-twenty electrode system of the international federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.

Kaplan J.A., Brownell H.H., Jacobs J.R. & Gardner H. (1990). The effects of right hemisphere damage on the pragmatic interpretation of conversational remarks. *Brain and Language*, 38, 315-333.

Knauff M., Mulack T., Kassubek J., Salih H.R. & Greenlee M.W. (2002). Spatial imagery in deductive reasoning: a functional MRI study. *Cognitive Brain Research*, 13, 203-212.

Luria A.R. (1966). *Higher cortical functions in man*. Tavistock: London.

McDonald S. & Wales R. (1986). An investigation of the ability to process inferences in language following right hemisphere brain damage. *Brain and Language*, 29, 68-80.

Myers P.S. (1991). Inference failure: the underlying impairment in right-hemisphere communication disorders. *Clinical Aphasiology*, 20, 167-180.

Oldfield O.D. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*, 9, 97-113.

Osherson D., Perani D., Cappa S., Schnur T., Grassi F. & Fazio F. (1998). Distinct brain loci in deductive versus probabilistic reasoning. *Neuropsychologia*, 36, 369-376.

Parsons L.M. & Osherson D. (2001). New evidence for distinct right and left brain systems for deductive versus probabilistic reasoning. *Cerebral Cortex*, 11, 954-965.

Shallice T. & Burgess P.W. (1991). Deficits in strategy application following frontal lobe damage in man. *Brain*, 114, 727-741.

Singer M. & Ferreira F. (1983). Inferring consequences in story comprehension. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 437-448.

Stemmer B., Giroux F. & Joanne Y. (1994). Production and evaluation of requests by right hemisphere brain-damaged individuals. *Brain and Language*, 47, 1-31.

Stuss D.T. & Alexander M.P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, 63, 289-298.

Tompkins C.A., Bloise C.G.R., Timko M.L. & Baumgaertner A. (1994). Working memory and inference revision in brain-damaged and normally aging adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 896-912.

Tompkins C.A., Fassbinder W., Lehman-Blake M., Baumgaertner A. & Jayaram N. (2004). Inference generation during text comprehension by adults with right hemisphere brain damage: activation failure versus multiple activation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 1380-1395.

Tompkins C. & Mateer C.A. (1985). Right hemisphere appreciation of prosodic and linguistic indications of implicit attitude. *Brain and Language*, 24, 185-203.

Van den Broek P. (1994). Comprehension and memory of narrative texts: inferences and coherence. In M.A. Gernsbacher (Ed.). *Handbook of psycholinguistics*. Academic Press, San Diego, pp. 539-583.

Van Lancker D.R & Kempler D. (1987). Comprehension of familiar phrases by left-but not by right hemisphere damaged patients. *Brain and Language*, 32, 265-277.

Vanhalle C., Lemieux S., Joubert S., Goulet P., Ska B. & Joanette Y. (2000). Processing of speech acts by right hemisphere brain-damaged patients: an ecological approach. *Aphasiology*, 14, 1127-1142.

Wapner W., Hamby S. & Gardner H. (1981). The role of the right hemisphere in the apprehension of complex linguistic materials. *Brain and Language*, 14, 15-33.

Weissman D.H. & Banich M.T. (2000). The cerebral hemispheres cooperate to perform complex but not simple tasks. *Neuropsychology*, 14, 41-59.

Winner E. & Gardner H. (1977). Comprehension of metaphor in brain damaged patients. *Brain*, 100, 719-727.

Discussion générale

1. Aperçu des observations recueillies	96
2. Dimensions méthodologiques	98
3. Mise en perspectives des faits observés	100
Mise en perspective des deux études comportementales	100
Mise en perspective des études comportementales par rapport à l'étude en imagerie optique diffuse	102
4. Impact des résultats	104
5. Orientations futures	105

*Tous les moyens de l'esprit sont enfermés
dans le langage;*

*et qui n'a point réfléchi sur le langage n'a
point réfléchi du tout.*

Émile-Auguste Chartier

L'objectif général de cette thèse était de mieux comprendre les possibles déficits des habiletés inférentielles chez les individus cérébrolésés, une habileté jugée importante dans la littérature pour rendre compte de certains aspects de leurs déficits de communication. Une mise à l'épreuve de l'hypothèse d'un déficit inférentiel afin d'expliquer les difficultés de certains cérébrolésés droits (CLD) à traiter le langage non littéral a été effectuée. Ainsi, le but de ce travail était de vérifier si l'hémisphère droit est impliqué dans le traitement inférentiel. Il importait de déterminer si l'hémisphère droit jouait un rôle spécifique ou aspécifique au traitement des inférences. Pour ce faire, un protocole inférentiel composé d'inférences logiques et pragmatiques a été proposé à des individus CLD et cérébrolésés gauches (CLG). Afin de compléter ces observations, il importait également d'explorer la contribution relative des hémisphères droit et gauche via l'imagerie optique diffuse chez des personnes neurologiquement saines.

1	Aperçu des observations recueillies
----------	--

Afin de répondre à ces objectifs, trois études ont été menées. Les résultats de la première étude --- *Some do and others do not: inferencing deficit following right-hemisphere lesion* (Hamel & Joannette, soumis) --- indiquent que les CLD ont des performances significativement inférieures par rapport aux participants contrôles pour le traitement d'inférences logiques et pragmatiques. L'analyse en grappes effectuée sur chacune des tâches n'a pas montré une répartition claire entre les deux groupes sur la seule base de leurs performances aux tâches de résolution d'inférences, que ce soit pour la tâche d'habiletés inférentielles logiques ou pragmatiques. Ainsi, aucune des deux analyses en grappes n'a permis d'identifier de sous-groupes composés exclusivement de CLD ou encore de participants contrôles. En fait, on retrouve dans

chacune des analyses en grappes, et ce pour les deux tâches, quelques sous-groupes (trois pour la tâche inférentielle logique et quatre pour la tâche inférentielle pragmatique) dont un sous-groupe composé d'un bon pourcentage de participants contrôles et un autre composé de CLD. Une analyse des éléments démographiques (âge et scolarité) n'indiquent pas que ces derniers peuvent rendre compte des sous-groupes obtenus. La deuxième étude --- *Résolution d'inférences logiques et pragmatiques après une lésion cérébrale gauche* (Hamel & Joannette, sous presse) --- s'est intéressée à l'impact d'une lésion de l'hémisphère gauche sur le traitement des habiletés inférentielles. Cette étude voulait explorer la possibilité qu'une lésion de l'hémisphère gauche puisse entraîner des difficultés similaires à une lésion de l'hémisphère droit. Ce faisant, cette étude visait donc à évaluer la spécificité, ou non, de la contribution de l'hémisphère droit au traitement des inférences pragmatiques et logiques. Les résultats obtenus ne montrent pas de différence significative entre les participants CLG et contrôles pour le traitement d'inférences logiques et pragmatiques. Suite à ces deux études s'appuyant sur les réponses comportementales des participants, la question s'est posée quant au substrat neurobiologique sous-jacent au traitement des inférences. Par conséquent, une troisième étude intitulée *Left and right hemispheric contributions to syllogistic reasoning: evidence from an NIRS study* (Hamel, Walter & Joannette, soumis) a été menée. Cette étude a permis de décrire l'implication des hémisphères, gauche et droit, pour le traitement de syllogismes. Ainsi, cette étude a permis de constater que les lobes frontaux bilatéraux sont particulièrement impliqués dans le traitement des syllogismes. Il semble également que la contribution de l'hémisphère gauche soit plus importante que celle de son homologue droit. De plus, l'hémisphère gauche semble être recruté lorsqu'il y a traitement des éléments spatiaux des syllogismes tandis que l'hémisphère droit s'implique pour le traitement des caractéristiques linguistiques des syllogismes. Les résultats obtenus ici suggèrent que lorsque le niveau de difficulté augmente pour une tâche, l'hémisphère non sollicité habituellement est recruté et est couplé à son homologue afin d'accomplir la tâche complexe.

2 **Dimensions méthodologiques**

Les trois études rapportées dans cette thèse ont eu recours à des tâches requérant la réalisation d'inférences logiques et pragmatiques; ces tâches correspondent plus précisément à des résolutions de syllogismes et à la présentation d'une histoire suivie de 30 affirmations à juger. Plusieurs autres types d'inférences existent et sont définies dans la littérature (Singer, 1994) et auraient pu être utilisées pour l'évaluation des habiletés inférentielles. Le recours à ces deux types d'habiletés inférentielles voulait faciliter leur distinction et permettait de catégoriser facilement les inférences présentées. Toutefois, la distinction logique-pragmatique pour les habiletés inférentielles est parfois discutable (Keenan, 1978) vu son caractère très dichotomique. La conjonction de résultats obtenus par le biais de différents stimuli auraient sans conteste donné plus de poids au niveau de la convergence des résultats et de l'identification propre de l'impact d'une lésion droite et gauche sur le traitement inférentiel et sur le substrat neurobiologique impliqué. Un autre aspect de la nature des tâches qui peut être mis en cause concerne sa dimension uniquement verbale. En effet, les tâches inférentielles proposées ici se limitaient à des stimuli verbaux (un texte et des phrases). Des inférences visuelles, c'est-à-dire des "histoires en images" auraient également pu permettre de réaliser des comparaisons selon la modalité de présentation. Toutefois, comme l'objectif de ce travail était initialement motivé par la présence de troubles de la communication verbale chez des individus CLD, le recours à des tâches uniquement verbales semblait justifié dans un premier temps. Il est certain qu'une comparaison avec les habiletés de résolution d'inférences non verbales pourrait permettre un jour de constater si les déficits rapportés ici sont spécifiques ou non au traitement des informations verbales, ou si au contraire ils concernent quelque traitement inférentiel que ce soit.

La notion de localisation et d'uniformité lésionnelle est un autre enjeu de taille dans le cadre de cette recherche clinique. Le premier point à souligner est le caractère hétérogène de la localisation des lésions parmi les individus cérébrolésés examinés. Dans le contexte de telles études de groupes, il est impossible de faire appel à des participants ayant subi un accident vasculaire localisé précisément au même endroit

pour tous. Le recours à des participants cérébrolésés s'insère donc dans la recherche du meilleur compromis entre d'une part la description de cas uniques et d'autre part la possibilité de généralisation de résultats reposant sur un groupe de participants, tout en étant conscient qu'un certain degré d'hétérogénéité peut être imputable aux variabilités lésionnelles individuelles. Afin d'augmenter la puissance statistique, nous avons choisi, pour les études comportementales, de nous intéresser à deux échantillons de bonne taille constitués de participants CLD (n=30) et CLG (n=14), tout en utilisant des statistiques autant quantitatives que descriptives et exploratoires (analyses en grappes). Il apparaît donc que, malgré leurs limites, les observations rapportées ici sont de nature à offrir un éclairage sur les impacts de lésions droites et gauches sur les habiletés inférentielles.

Outre les facteurs liés strictement aux études présentées ici, plusieurs autres facteurs ont également pu affecter la bonne compréhension des inférences et confondre jusqu'à un certain point les résultats. Le premier de ces facteurs concerne les connaissances générales de chacun des participants. Celles-ci correspondent à des éléments très difficiles à contrôler et peuvent avoir contribué à amoindrir la force des résultats. Toutefois, l'identification et la formalisation des connaissances des participants pose un véritable défi. On peut ainsi distinguer les connaissances générales des connaissances sur les événements. Les connaissances spécifiques sont restreintes à un domaine particulier et davantage individuelles. Dans les tâches présentées ici, il est évident que le fait d'avoir déjà été en contact avec des syllogismes peut certainement avoir eu une influence positive sur les stratégies utilisées pour résoudre ceux-ci. De plus, des connaissances générales liées à ce qui se rapportent dans l'histoire peuvent également venir influencer la juste compréhension d'inférences pragmatiques. Ainsi, la littérature suggère que les passages ambigus d'une histoire sont résolus et interprétés grâce aux expériences passées. Les connaissances générales quant à elles guident la génération d'inférences en influençant la construction de la macrostructure du discours (Kintsch & van Dijk, 1978).

Une autre composante qui a pu affecter nos résultats correspond à la mémoire de travail. Celle-ci permet d'effectuer des traitements cognitifs sur les éléments qui y sont temporairement stockés (Baddeley, 1986). Elle est largement impliquée dans des processus faisant appel à un raisonnement, comme lire, écrire ou calculer par exemple. Elle devient donc un facteur important dans la compréhension générale du discours et, conséquemment, dans la compréhension des inférences. Une mémoire de travail limitée peut s'avérer nuisible lors de tâches similaires à celles proposées ici. De surcroît, la littérature révèle des déficits au niveau de la mémoire de travail en lien avec l'âge (Wright & Newhoff, 2002; Grant & Dagenbach, 2000). Pour les études comportementales, les participants recrutés étaient pour la plupart des participants âgés. Toutefois, les modalités d'évaluation utilisées dans les études ont voulu minimiser l'impact d'une mémoire de travail faible puisque pour les deux études comportementales, les stimuli (les syllogismes, l'histoire et les affirmations) restaient visibles pour les participants. De plus, les participants en lien avec ces études ont été appariés en âge. Il aurait néanmoins été précieux de corréler les performances obtenues par les participants et une mesure neuropsychologique de mémoire de travail.

En somme, malgré le fait que les études rapportées ici auraient pu gager en précision grâce à des contrôles plus systématiques de facteurs susceptibles de devenir confondants, la nature des tâches proposées, et le choix des participants ont contribué à maintenir à la marge les éventuels impacts de ces facteurs.

3 Mise en perspectives des faits observés

Mise en perspective des deux études comportementales

Le but des études comportementales était d'observer l'impact d'une lésion cérébrale, droite et gauche, lors de la résolution d'inférences de deux types, soit logiques et pragmatiques. Les résultats des deux études mis en commun révèlent que lors d'une lésion cérébrale acquise, l'impact sur la compréhension des inférences semble significatif lorsque la latéralisation de cette lésion est droite. Par ailleurs, une lésion à

l'hémisphère gauche, ne semble pas, selon nos résultats, affecter la bonne compréhension des deux types inférences présentés ici.

Ces résultats convergent avec ce que la littérature suggère, à savoir que la survenue d'une lésion acquise à l'hémisphère droit du droitier pourrait être la source de troubles de la communication verbale. Ainsi, une difficulté dans la juste compréhension des inférences serait probablement un des éléments explicatifs du déficit pragmatique rencontré chez certains CLD (Joanette *et al.*, 1990; Myers, 1999). Toutefois, ce facteur ne semble pas être présent chez tous les CLD. En effet, les analyses en grappes effectuées dans le cadre des deux études comportementales ont permis de constater l'hétérogénéité des déficits inférentiels chez les CLD. Les CLD recrutés ne présentent pas tous un déficit inférentiel pouvant interférer avec la compréhension verbale. Dans les résultats rapportés ici comme dans la littérature, une certaine variabilité se remarque au sein de cette population clinique. L'hétérogénéité de l'incidence des troubles de la communication verbale chez les CLD n'a que très peu été étudiée. Une méta-analyse effectuée en 1991 (Joanette, Goulet & Daoust, 1991) concluait qu'environ un CLD sur deux pouvait présenter un ou plusieurs signes cliniques de troubles de la communication verbale, tels que troubles de la prosodie, du traitement sémantique des mots, des habiletés discursives et pragmatiques. Plus récemment, une estimation de la prévalence des troubles de la communication chez les CLD en centre de réadaptation porte à près de 80% la proportion de CLD présentant l'un ou l'autre des troubles de la communication (Côté, Payer, Giroux & Joanette, 2007). Ainsi, les troubles de la communication verbale peuvent prendre différentes formes cliniques ou profils cliniques. Ce fait indique clairement que la présence de troubles de la communication verbale ne se retrouve pas chez l'ensemble des patients atteints d'une lésion droite, tout comme une lésion acquise à l'hémisphère gauche ne conduit pas inéluctablement à des troubles aphasiques. Les résultats rapportés ici sur l'une des causes possibles, un trouble des habiletés inférentielles, vont dans le même sens.

Mise en perspective des études comportementales par rapport à l'étude en imagerie optique diffuse

L'étude en imagerie optique diffuse a permis de constater, entre autres, l'implication du lobe frontal (droit et gauche) dans la résolution d'inférences logiques. L'implication de l'hémisphère gauche rapportée ici, ne converge pas avec la littérature s'intéressant aux participants cérébrolésés qui, comme stipulé plus haut, suggère qu'une lésion à l'hémisphère droit est plus susceptible d'affecter la compréhension efficiente des inférences mais qu'une telle lésion à l'hémisphère gauche ne semble pas affecter significativement cette compréhension. Il semble y avoir là une relative incompatibilité entre les résultats comportementaux et ceux obtenus via l'imagerie optique diffuse. Comment expliquer cet apparent manque de convergence?

À partir des résultats obtenus, on peut supposer que la participation efficiente de l'hémisphère droit semble nécessaire à la réalisation adéquate d'inférences logiques. L'imagerie optique diffuse montre une implication cérébrale bilatérale dans la résolution de telles inférences. On peut également supposer que le couplage des deux hémisphères apparaît comme étant primordial à la bonne réalisation de tâches inférentielles logiques. Ainsi, l'hémisphère droit serait nécessaire mais non suffisant à l'accomplissement de ce type de tâche. Dans le cas où l'hémisphère droit est lésé, la résolution d'inférences semble alors en être significativement affectée, tout au moins chez une certaine proportion d'individus. Inversement, lorsqu'une lésion survient à l'hémisphère gauche, l'hémisphère droit semble être capable de prendre en charge le processus de résolution d'inférences dans la mesure où il ne correspond pas à un niveau de complexité supérieur.

Résoudre des inférences constitue donc une opération cognitive complexe requérant plusieurs étapes. L'attention portée aux différents éléments composant le discours, la conversation ou la situation dans laquelle l'inférence doit être effectuée est sans contredit une étape cruciale. Des capacités d'attention fonctionnelles sont donc requises pour initier le processus inférentiel. Ensuite, vient l'étape de la sélection des éléments pertinents qui seront utilisés ultérieurement dans le processus. Puis, il est

primordial d'intégrer les éléments les uns par rapport aux autres afin de combiner les informations appropriées. Finalement, effectuer des inférences précises dépend également de l'association d'éléments du discours et de l'expérience personnelle ou de connaissances générales (Myers, 1999). Toutes ces étapes préalables à la génération d'inférences, qu'elles soient pragmatiques ou logiques, impliquent une panoplie de processus cognitifs intacts. Des capacités attentionnelles, mnésiques (mémoire de travail, mémoire épisodique et sémantique), langagières ainsi qu'exécutives (flexibilité cognitive et inhibition) sont requises pour résoudre des inférences (Myers, 1999). Il s'agit donc d'un processus multidimensionnel qui exige la contribution de plusieurs processus cognitifs élémentaires, chacun dépendant d'un réseau neuronal propre. Il serait nécessaire de disséquer tous les processus cognitifs impliqués afin d'obtenir le substrat neuroanatomique lié à la génération d'inférences. Il s'agit là d'un travail colossal et surtout avec de multiples implications et ramifications cognitives. Sans nier qu'il existe probablement une grande variabilité individuelle dans l'accomplissement de tels processus. Cependant, nos résultats peuvent suggérer que la complexité du processus inférentiel favorise la mise en œuvre des deux hémisphères pour la résolution d'inférences. Ce résultat trouve appui dans la littérature puisque des études ont montré une implication des deux hémisphères cérébraux lorsque l'on présentait du matériel complexe à des participants (Bookheimer, 2002; Démonet *et al.*, 2005; Xu *et al.*, 2005).

Par ailleurs, il faut également souligner que les résultats d'imagerie ont été obtenus via une technique relativement nouvelle: l'imagerie optique diffuse. Parmi les avantages que cette technique offre (Ferrari, Mottola & Quaresima, 2004), on remarque notamment qu'il s'agit d'une technique non invasive avec une résolution temporelle nettement supérieure à la plupart des modalités d'imagerie fonctionnelle. Toutefois, ce type d'imagerie fournit une précision spatiale moindre qu'avec l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. De manière générale, la résolution spatiale est de plusieurs millimètres, c'est pourquoi il aurait été intéressant de coupler l'imagerie optique diffuse à une autre technique dont la modalité spatiale est meilleure. Une autre critique pouvant être adressée à l'imagerie optique diffuse est que la mesure de l'activité neuronale n'est qu'indirecte. La technique permet de

déduire, à partir des concentrations de sang oxygéné et désoxygéné, une activité neuronale dans la région cérébrale correspondante. De plus, la lumière utilisée ne se propage que sur de courtes distances, que sur la surface du cortex. Les limites de la technique utilisée peuvent inévitablement nuire à une compréhension totale de l'activation cérébrale impliquée dans la résolution de syllogismes, bien que plusieurs constats ont pu se dégager de cette étude, principalement lorsqu'elle est mise en relief avec des résultats comportementaux. Il reste que les avantages de cette technique (e.g., convivialité de positionnement, silence, etc.) demeurent probablement plus importants que les inconvénients et limites que toute technique de neuroimagerie fonctionnelle présente.

En résumé, les résultats obtenus au cours des études constituant le corps de ce travail montrent bien qu'il n'est pas exclu que chacun des deux hémisphères participe au traitement des inférences. Il est sans conteste possible d'envisager alors que l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche coopèrent dans le but de rendre le traitement des inférences le plus efficient possible (Sergent, 1994).

4	Impact des résultats
----------	-----------------------------

Les études rapportées dans ces pages ont servi à explorer le déficit pragmatique relevé chez certains CLD en mettant à l'épreuve l'hypothèse du déficit inférentiel. Les résultats obtenus grâce aux trois études effectuées dans le cadre de cette thèse montrent que l'exploration du rôle respectif des hémisphères gauche et droit favorise une meilleure compréhension de la contribution propre de chaque hémisphère à la génération d'inférences. Rappelons ici que le maintien de bonnes habiletés de communication sur le plan pragmatique a été initialement attribué à l'hémisphère droit car, de manière historique, les observations de déficits pragmatiques ont été corrélées avec une lésion cérébrale acquise, latéralisée à l'hémisphère droit. Cependant, à partir des conclusions obtenues dans les travaux présentés ici, il semblerait que de telles habiletés ne reposent pas uniquement sur l'intégrité du seul hémisphère droit. Dans la même lignée, une série d'études utilisant des participants

sains neurologiquement ont démontré des activations cérébrales gauche à des tâches de langage non littéral (Coulson & van Petten, 2007; Lee & Dapretto, 2006; Rapp, Leude, Erb, Grodd & Kircher, 2004), d'autres des activations davantage bilatérales (Faust & Weisper, 2000; Schmidt, DeBuse & Seger, 2007). La dimension pragmatique de la communication est une dimension complexe et ne semble pas aussi latéralisée qu'on aurait pu le soupçonner au départ. L'hémisphère gauche s'avère donc jouer un rôle dans la pleine réalisation de tâches inférentielles, et conséquemment au niveau de la pragmatique.

Sur le plan clinique, une meilleure compréhension de l'impact d'une lésion cérébrale ainsi que des réseaux neuronaux impliqués dans la résolution d'inférences peut certes conduire au développement d'outils d'évaluation plus sensibles et axés sur un meilleur dépistage des déficits inférentiels. Ceci pourrait résulter en une prise en charge plus adéquate des patients présentant des troubles de communication. Ainsi, si le rôle de l'hémisphère droit est mieux défini par rapport à celui de son homologue gauche, il est possible de penser que les thérapies pourraient s'orienter selon une meilleure utilisation du potentiel résiduel de la masse cérébrale intacte.

5	Orientations futures
----------	-----------------------------

Les trois études rapportées ici ont permis d'améliorer notre compréhension du déficit inférentiel chez les participants cérébrolésés mais ont aussi contribué à une meilleure compréhension de la dynamique existante entre l'hémisphère gauche et droit pour le traitement des inférences. Toutefois, dans le cadre de l'étude en imagerie optique diffuse, seulement des participants jeunes et sains neurologiquement ont été recrutés et confrontés au traitement d'inférences logiques. Il serait grandement profitable de réutiliser l'imagerie optique diffuse afin d'examiner s'il y existe des modifications du réseau neuronal en lien avec le vieillissement. En effet, le modèle HAROLD (*hemispheric asymmetry reduction in older adults*) proposé par Cabeza (2002), suggère que l'activité durant certaines tâches cognitives tend à être moins latéralisée chez les adultes âgés performants comparé aux jeunes adultes, ce qui signifie que le

vieillesse peut affecter l'organisation fonctionnelle pour la cognition. Dans un avenir rapproché, une étude s'impose quant aux possibles modifications du réseau neuronal en lien avec le vieillissement et le traitement d'inférences. Bien sûr, d'autres inférences pourraient également être incluses dans le protocole afin d'élargir notre compréhension et éviter de se restreindre uniquement aux syllogismes. En outre, l'étude en imagerie utilise une technique relativement nouvelle avec des forces et des limites. Afin de contrer une de ses limites, on pourrait imaginer un couplage entre l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle et l'imagerie optique diffuse. Ceci permettrait d'affiner les profils d'activation déjà connus et d'obtenir une cartographie fonctionnelle beaucoup plus raffinée et détaillée.

Il est également à souligner que l'habileté à générer et manipuler des inférences a largement été investiguée en relation avec une lésion cérébrale droite. Cependant, on retrouve au sein d'autres populations cliniques, comme dans la schizophrénie, les traumatismes crânio-cérébraux et les maladies neurodégénératives, des difficultés à effectuer des inférences (pour une revue, Cummings, 2007). Peu importe la cause sous-jacente qui est probablement très distincte pour chacune de ces conditions, un déficit des habiletés inférentielles peut sérieusement affecter les habiletés des patients à gérer leur vie de tous les jours et interagir avec autrui. Vu l'augmentation de l'incidence des maladies neurodégénératives dans les années à venir et puisque les patients souffrant de démences, par exemple d'Alzheimer ou de Parkinson, ne sont pas épargnés de la possible présence de déficits pragmatiques (Chapman, Ulatowska, King, Johnson & McIntire, 1995; Cherney & Canter, 1992; McNamara & Durso, 2003; Monetta & Pell, 2007), il importe certainement de s'intéresser à ces populations cliniques qui ont été moins étudiées au niveau de leurs habiletés pragmatiques et de leurs habiletés de compréhension des inférences.

Ce travail a permis de mieux cerner la contribution respective de chacun des deux hémisphères au traitement des inférences, en appuyant l'idée que chaque hémisphère a un poids relatif dans cette sphère du langage. Évidemment, multiplier les sources d'informations scientifiques, telles que les procédures expérimentales, les stimuli et les populations, permettra assurément d'augmenter les connaissances relatives au rôle

que jouent les hémisphères gauche et droit. Pour le clinicien comme le chercheur, la compréhension du fonctionnement du cerveau sain et lésé, dans toutes les sphères de la cognition, est garante de meilleures interventions.

Index des auteurs

A	Acuna B.D.	28, 78	Alexander M.P.	77, 89
	Albert M.L.	16	Ansaldo A.I.	20, 33, 68
B	Baddeley A.D.	100	Borod J.C.	33
	Banich M.T.	89	Bosco F.M.	20
	Bara B.G.	20	Bouillaud J.B.	14
	Baumgaertner A.	26-27, 36, 47, 58-59, 68, 78	Bowden E.	22
	Beeman M.	22, 26, 35-36, 58, 68, 78	Bowden E.M.	35
	Bélangier R.	23	Bracewell R.J.	15
	Belger A.	89	Braun A.	27, 103
	Berko-Gleason J.	16	Breuleux A.	15
	Bihrlé A.M.	21, 26, 33-34, 36, 58, 68, 77- 78	Broca P.	14
	Bloise C.G.R.	26, 47, 58, 59	Brookshire R.H.	26, 27, 36
	Bloom R.L.	33	Brownell H.H.	21-22, 26, 33- 34, 36, 58, 68, 77-78
	Bookheimer S.	27, 103	Bucciarelli M.	20
			Buchel C.	27
			Burgess P.W.	77, 89
	C	Cabeza R.	105	Clark H.H.
Canter G.		106	Clark L.F.	25
Cappa S.		27, 78	Code C.	33
Caramazza A.		26, 35, 58, 78	Copeland D.E.	35
Cardebat D.		15-16, 27, 103	Côté H.	101
Carrington J.		26, 58	Coulson S.	104
Champagne-Lavau M.		36, 46	Crivello F.	27, 78
Chantraine Y.		15	Crothers E. J.	24, 36, 58
Chapman S.		106	Cummings L.	106
Cherney L.		106	Cutica I.	20
Clancy Z.		24, 27		
D		Dagenbach D.	100	DeBuse C.J.
	Daoust H.	58, 101	DeLuca D.	26, 35, 58, 78
	Dapretto M.	104	Démonet J.-F.	27, 103
	Davis G.A.	59	Dolan R.J.	27-28, 67, 78
	De Soto C.B.	38, 61, 62, 67, 80	Donoghue J.P.	28, 78
			Durso R.	106
E	Ehrlich M.-F.	17, 19	Erb M.	104
	Eisenson J.	20, 21, 33	Eustache F.	59
	Eliassen J.C.	28, 78		

F	Fassbinder W.	26, 27, 36, 58, 68, 78	Ferreira F.	23, 34, 57, 77
	Faust M.	105	Flamm L.	21, 33, 77
	Fayol M.	23	Foldi N.S.	21, 33, 77
	Fazio F.	27, 78	Frattali C.	27, 103
	Ferrari M.	103	Frederiksen C.H.	15
			Frith C.	27
G	Gall F.J.	14	Goodenough-Trépanier C.	26, 36, 58
	Gardner H.	21-22, 26, 33- 34, 36, 58-59, 68, 77-78	Goodglass H.	16
	Gersbacher M.A.	22, 35	Gordon J.	26, 35, 58, 78
	Gerstman L.J.	33	Goulet P.	20-22, 25, 33, 58, 68, 101
	Gibbs R.W.	20, 33	Graesser A.C.	15, 19, 25, 35
	Giroux F.	21, 33, 77	Grafman J.	24, 60
	Giroux F.,	101	Grant D.	100
	Goel V.	27-28, 60, 67, 77-78, 89	Grassi F.	27, 78
	Gold R.J.	28, 60, 67, 78, 89	Green E.	16
			Greenlee M.W.	28, 78, 89
			Grodd W.	104
	H	Haberman J.	24, 27	Hier D.B.
Hamby S.		21, 33, 59, 77	Hörnig R.	35
Handel S.		38, 61, 62, 67, 80	Houdé O.	27, 78
Hannequin D.		20-21, 25, 33, 68, 101	Hough M.S.	17, 26, 58
Harris R.J.		23, 35, 57	Houle S.	28, 60, 67, 78, 89
			Hyde M.R.	16
J	Jacobs J.R.	22, 26, 36, 58, 78	Johnson J.	106
	Jasper H.H.	81	Johnson N.S.	16
	Jayaram N.	26, 27, 36, 58, 68, 78	Johnson-Laird P.N.	57
	Joanette Y.	15-16, 20-22, 25, 33, 36, 46- 47, 58, 68, 77, 101	Joubert S.	21, 33
			Jung-Beeman M.	24, 27
			Just M.A.	27

K	Kaplan J.	22, 26, 33, 36, 58, 78	Kempler D.	26, 33
	Kapur S.	28, 60, 67, 78, 89	Kiefer F.	16
	Kassubek J.	28, 78, 89	King K.	106
	Keenan J.	98	Kintsch W.	16-18, 35, 99
	Kemeny S.	27, 103	Kircher T.T.	104
			Knauff M.	28, 78, 89
		Kummer W.	16	
L	Langston M.C.	19	Leube D.T.	104
	Lechevalier B.	59	Lhermitte F.	59
	Lecours A.-R.	59	Linebaugh C.W.	21
	Lee S.S.	104	Ling K.	21, 33, 77
	Lehman-Blake M.	26, 27, 36, 58, 68, 78	London M.	38, 61, 62, 67, 80
	Lemieux S.	21, 33	Luria A.R.	89
M	Magliano J.P.	19	Millis K.K.	15
	Mandler J.M.	16	Molloy R.	26, 58
	Mason R.A.	27	Monaco G.E.	23, 35, 57
	Mateer C.A.	26, 36, 58, 78	Monetta L.	47, 106
	Mazoyer B.	27, 78	Mottola L.	103
	McDonald S.	21, 26, 27, 33, 36, 58, 78	Moutier S.	27, 78
	McIntire D.	106	Mross E.F.	18, 39
	McKoon G.	25, 35	Mulack T.	28, 78, 89
	McNamara P.	106	Murray L.	47
	McNeil M.	47	Myers P.S.	19-23, 25-26, 33-34, 36, 58, 68, 78, 101, 103
	Mey Jacob L.	33		
	Michel D.	33, 77		
	Michelow D.	21		
	N	Nespoulous J.-L.	16, 22, 33, 58	
Newhoff M.		59, 60, 68, 100		
Nicholas L.E.		26, 27, 36		
O	Oberauer K.	35	Oldfield O.D.	37, 63, 79
	Obler L.	16, 33	Osherson D.	27, 78
	Odell K.	47	Ouellet-Plamondon C.	47

P	Park G.	27, 103	Pineau A.	27, 78	
	Parrish T.	24, 27	Poissant H.	23, 24, 36, 57, 58	
	Parsons L.M.	27, 78	Potter H.H.	26, 34, 36, 58, 68, 78	
	Patry R.	16	Powelson J.	21, 33, 36, 58, 77	
	Payer M.	101			
	Pell M.	106			
	Perani D.	27, 78			
<hr/>					
Q	Quaresima V.	103			
<hr/>					
R	Radel M.	26, 58	Read D.E.	35	
	Radvansky G.A.	35	Renaud A.	15	
	Rapp A.M.	104	Roman M.	21	
	Ratcliff R.	25, 35			
<hr/>					
S	Saddy J.D.	26	Shuren J.E.	24, 60	
	Salih H.R.	28, 78, 89	Siegal M.	26, 58	
	Sanes J.N.	28, 78	Silverman J.	21, 33, 77	
	Schank R.C.	22	Singer M.	19, 23-24, 34-36, 57, 77, 98	
	Schmidt G.L.	105	Ska B.	21-22, 33, 58	
	Schneiderman E.I.	26, 58	Sperber D.	57	
	Schnur T.	27, 78	Spurzheim J.C.	14	
	Searle J.	20	Stemmer B.	21, 33, 77	
	Seger C.A.	105	Stip E.	36, 46	
	Sergent J.	104	Stuss D.T.	77, 89	
	Seron X.	59			
	Shallice T.	77, 89			
	<hr/>				
	T	Tardieu H.	17, 19	Trabasso T.	19
Thierry G.		27, 103	Tseng C.	47	
Timko M.L.		26, 47, 58, 59	Tzourio-Mazoyer N.	27, 78	
Tompkins C.A.		26-27, 36, 47, 58-59, 68, 78			
<hr/>					
U	Ulatowska H.	106			

V	Van den Broek P.W.	35, 57, 77	Van Petten C.	104
	Van Dijk T.A.	16-18, 99	Vanhalle C.	21, 33, 77
	Van Lancker D.R.	26, 33, 77	Virtue S.	24, 27
W	Wales R.	26, 27, 36, 58, 78	Weissman D.H.	89
	Wapner W.	21, 33, 59, 77	Wernicke K.	15
	Weidenfeld A.	35	Weylman S.T.	21
	Weinstein E.A.	20, 33	Wilhelm O.	35
	Weintraub S.	16	Wilson D.	57
	Weisper S.	105	Winner E.	21, 26, 33, 78
			Wright H.H.	59, 60, 68, 100
X	Xu J.	27, 103		
Z	Zago L.	27, 78	Zurif E.B.	26, 35, 58, 78
	Zurif E.	26, 36, 58	Zwaan R.A.	15

Références

Elles rassemblent les références citées dans l'introduction (chapitre 1) et la discussion (chapitre 4) de la thèse.

- Acuna B.D., Eliassen J.C., Donoghue J.P. & Sanes J.N. (2002). Frontal and parietal lobe activation during transitive inference in humans. *Cerebral Cortex*, 12(12), 1312-1321.
- Baddeley A.D. (1986). *Working memory*. Oxford: Oxford University Press.
- Bara B.G., Bosco F.M. & Bucciarelli M. (1999). Developmental pragmatics in normal and abnormal children. *Brain and Language*, 68, 507-528.
- Beeman M. (1993). Semantic processing in the right hemisphere may contribute to drawing inferences from discourse. *Brain and Language*, 44, 80-120.
- Beeman M. (1998). Coarse semantic coding and discourse comprehension. In M. Beeman & C. Chiarello (Eds.) *Right hemisphere language comprehension: Perspectives from cognitive neuroscience* (pp. 255-284). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Beeman M., Bowden E. & Gersbacher M.A. (2000). Right and left hemisphere cooperation for drawing predictive and coherence inference during normal story comprehension. *Brain and Language*, 71, 310-336.
- Bélanger R. (1992). Capacités inférentielles en contexte narratif chez les cérébrolésés droits. Mémoire de maîtrise, Université de Montréal.
- Berko-Gleason J., Goodglass H., Obler L., Green E., Hyde M.R. & Weintraub S. (1980). Narrative strategies of aphasic and normal-speaking subjects. *Journal of Speech and Hearing Research*, 23, 370-382.
- Bihrlé A.M., Brownell H.H., Powelson J.A. & Gardner H. (1986). Comprehension of humorous and nonhumorous materials by left and right brain-damaged patients. *Brain and Cognition*, 5, 399-411.
- Bookheimer S. (2002). Functional MRI of language: new approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience*, 25, 151-188.
- Bouillaud J.B. (1825). Recherches cliniques propres à démontrer que la perte de la parole correspond à la lésion des lobules antérieurs du cerveau. *Archives générales de médecine*, 8, 25-45.

Broca P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie. *Bulletin de la Société Anatomique*, 36, 330-357.

Broca P. (1863). Localisations des fonctions cérébrales. Siège de la faculté du langage articulé. *Bulletin de la Société d'Anthropologie*, 4, 200-208.

Broca P. (1865). Sur la faculté du langage articulé. *Bulletin de la Société d'Anthropologie*, 6, 337-393.

Brookshire R.H. & Nicholas L.E. (1984). Comprehension of directly and indirectly stated main ideas and details in discourse by brain-damaged and non-brain damaged Listeners. *Brain and Language*, 21, 21-36.

Brownell H.H., Michelow D., Powelson J. & Gardner H. (1983). Surprise but not sensitivity to verbal humour in right hemisphere patients. *Brain and Language*, 18, 20-27.

Brownell H.H., Potter H.H., Bihrlé A.M. & Gardner H. (1986). Inference deficits in right brain damaged patients. *Brain and Language*, 27, 310-321.

Cabeza R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychological Aging*, 17 (1), 85-100.

Caramazza A., Gordon J., Zurif E.B. & DeLuca D. (1976). Right-hemispheric damage and verbal problem solving behavior. *Brain and Language*, 3, 41-46.

Cardebat D. & Joannette Y. (1994). Perturbations discursives en pathologie du langage: De la description...à l'interprétation. In X. Seron, M. Jeannerod (Eds), *Neuropsychologie Humaine* (pp.408-418). Liège: Mardaga.

Chantraine Y., Joannette Y. & Cardebat D. (1998). Impairments of Discourse-Level Representations and Processes. In B. Stemmer, H.A. Whitaker (Eds), *Handbook of Neurolinguistics* (pp. 261-274). San Diego: Academic Press.

Chapman S., Ulatowska H., King K., Johnson J. & McIntire D. (1995). Discourse in early Alzheimer's disease versus normal advanced aging. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 4, 124-129.

- Cherney L & Canter G. (1992). Informational content in the discourse of patients with probable Alzheimer's disease and patients with right brain damage. *Clinical Aphasiology*, 21, 123-134.
- Côté H., Payer M., Giroux F., & Joannette Y. (2007). Towards a description of clinical communication profiles following right-hemisphere damage. *Aphasiology*, 21 (6/7/8), 739-749.
- Coulson S. & Van Petten C. (2007). A special role for the right hemisphere in metaphore comprehension? ERP evidence from hemifield presentation. *Brain Research*, 1146, 128-145.
- Crothers E. J. (1978). Inference and coherence. *Discourse Processes*, 1, 51-71.
- Cummings L. (2007). Pragmatics and adult language disorders: Past achievements and futures directions. *Seminars in Speech and Language*, 28 (2), 96-110.
- Cutica I., Bucciarelli M. & Bara B.G. (2006). Neuropragmatics: Extralinguistic pragmatic ability is better preserved in left-hemisphere-damaged patients than in right-hemisphere-damaged patients. *Brain and Language*, 98, 12-25.
- Démonet J.-F., Thierry G. & Cardebat D. (2005). Renewal of the neurophysiology of language: Functional neuroimaging. *Physiological Reviews*, 85, 49-95.
- Ehrlich M.-F. & Tardieu H. (1993). Modèles mentaux, modèles de situation et compréhension de textes. In M.-F. Ehrlich, H. Tardieu, M. Cavazza, *Les modèles mentaux: Approche cognitive des représentations* (pp. 47-77). Paris: Masson.
- Eisenson J. (1959). Language dysfunctions associated with right brain damage. *American Speech and Hearing Association*, 1, 107.
- Eisenson J. (1962). Language and intellectual modifications associated with right cerebral damage. *Language and Speech*, 5, 49-53.
- Faust M. & Weisper S. (2000). Understanding metaphoric sentences in the two cerebral hemispheres. *Brain and Cognition*, 43, 186-191.

- Fayol M. (2000). La lecture au cycle III: difficultés, prévention et remédiations. *L'exploitation de l'évaluation nationale en CE2: la lecture - Actes du séminaire national*, Paris, 9-10 octobre.
- Ferrari M., Mottola L. & Quaresima V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29 (4), 463-487.
- Foldi N.S. (1987). Appreciation of pragmatic interpretations of indirect commands: Comparison of right- and left-hemisphere brain-damaged patients. *Brain and Language*, 31, 88-108.
- Frederiksen C.H., Bracewell R.J., Breuleux A. & Renaud A. (1990). The cognitive representation and processing of discourse: Function and dysfunction. In Y. Joannette & H.H. Brownell (Eds), *Discourse ability and brain damage theoretical and empirical perspectives* (pp. 69-110). New York: Springer-Verlag.
- Gall F.J. & Spurzheim J.C. (1810). *Anatomie et physiologie du système nerveux en général et du cerveau en particulier, avec des observations sur la possibilité de reconnaître plusieurs dispositions intellectuelles et morales de l'homme et des animaux par la configuration de leur tête*. Volume 1. Paris: F. Schoell.
- Gardner H., Ling K., Flamm L. & Silverman J. (1975). Comprehension and appreciation of humour in brain damaged patients. *Brain*, 98, 399-412.
- Gibbs R.W. (1999). Interpreting what speakers say and implicate. *Brain and Language*, 68, 466-485.
- Goel V. & Dolan R.J. (2000). Anatomical segregation of component processes in an inductive inference task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (1), 1-10.
- Goel V. & Dolan R.J. (2001). Functional neuroanatomy of three-term relational reasoning. *Neuropsychologia*, 39(9), 901-909.
- Goel V. & Dolan R. (2004). Differential involvement of left prefrontal cortex in inductive and deductive reasoning. *Cognition*, 93 (3), B109-B121.

- Goel V., Buchel C., Frith C. & Dolan R.J. (2000). Dissociation of mechanisms underlying syllogistic reasoning. *NeuroImage*, 12 (5), 204-514.
- Goel V., Gold B., Kapur S., & Houle S. (1998). Neuroanatomical correlates of human reasoning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10 (3), 293-302.
- Goel V., Gold R.J., Kapur S. & Houle S. (1997). The seats of reason: a localization study of deductive and inductive reasoning using PET (O15) blood flow technique. *NeuroReport*, 8(5), 1305-1310.
- Goodenough-Trépanier C., Powelson J. & Zurif E. (1982). Bridging in Right Hemisphere Patients. Oral communication at the *Academy of Aphasia* annual meeting, Lake Mohonk.
- Graesser A.C., Singer M. & Trabasso T. (1994). Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychological Review*, 101, 371-395.
- Graesser A.C. & Clark L.F. (1985). *The structures and procedures of implicit knowledge*. Norwood, NJ: Ablex.
- Graesser A.C., Millis K.K. & Zwaan R.A. (1997). Discourse Comprehension. *Annual Review of Psychology*, 48, 163-189.
- Grant D. & Dagenbach D. (2000). Further considerations regarding inhibitory processes, working memory, and cognitive aging. *American Journal of Psychology*, 113, 69-83.
- Hannequin D., Goulet P. & Joannette Y. (1987). *La contribution de l'hémisphère droit à la communication verbale*. Paris: Masson.
- Harris R.J. & Monaco G.E. (1978). The psychology of pragmatic implication: information processing between the lines. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 1-22.
- Hirst W., LeDoux J. & Stein S. (1984). Constraints of processing indirect speech acts: Evidence from aphasiology. *Brain and Language*, 23, 26-33.
- Houdé O., Zago L., Crivello F., Moutier S., Pineau A., Mazoyer B. & Tzourio-Mazoyer N. (2001). Access to deductive logic depends on a right ventromedial

prefrontal area devoted to emotion and feeling: Evidence from a training paradigm. *NeuroImage*, 14, 1486-1492.

Hough M.S. (1990). Narrative comprehension in adults with right and left hemisphere brain-damage: theme organization. *Brain and Language*, 38 (2), 253-77.

Joanette Y. & Ansaldo A.I. (2001). Aphasie et troubles de la communication verbale de nature non aphasique chez les cérébrolésés droits: le paradoxe. In Bulletin de la Communauté Suisse de travail pour l'Aphasie (CSA). *Aphasie et Domaines Associés* (pp. 7-27). Édition 2, vol 15.

Joanette Y. & Goulet P. (1986). Criterion-specific reduction of verbal fluency in right-brain-damaged right-handers. *Neuropsychologia*, 24, 875-879.

Joanette Y., Goulet P. & Daoust H. (1991). Incidence et profils des troubles de la communication verbale chez les cérébrolésés droits. *Revue de Neuropsychologie*, 1(1), 3-27.

Joanette Y., Goulet P. & Hannequin D. (1990). *Right hemisphere and verbal communication*. New York, Springer-Verlag.

Joanette Y., Goulet P., Ska B. & Nespoulous J.-L. (1986). Informative content of narrative discourse in right brain-damaged right-handers. *Brain and Language*, 29, 81-105.

Kaplan J.A., Brownell H.H., Jacobs J.R. & Gardner H. (1990). The effects of right hemisphere damage on the pragmatic interpretation of conversational remarks. *Brain and Language*, 38 (2), 315-333.

Keenan J. (1978). Psychological issues concerning comprehension: comments on "psychology of pragmatic implication, information between the lines" by Harris & Monaco. *Journal of Experimental Psychology: General*, 107, 23-27.

Kiefer F. (1977). Reviews of studies in text grammars. *Journal of Pragmatics*, 1, 177-193.

Kintsch W. & Van Dijk T.A. (1975). Comment on se rappelle et on résume des histoires. *Langages*, 40, 98-116.

Kintsch W. & Van Dijk T.A. (1978). Toward a model of text comprehension and production. *Psychological Review*, 85 (5), 363-394.

Kintsch W. (1988). The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model, *Psychological Review*, 95, 163-182.

Kintsch, W. (1998). *Comprehension*. New York: Cambridge University Press.

Knauff M., Mulack T., Kassubek J., Salih H.R. & Greenlee M.W. (2002). Spatial imagery in deductive reasoning: A functional MRI study. *Brain Research Cognitive Brain Research*, 13(2), 203-212.

Kummer W. (1972). Outlines of a model for a grammar of discourse. *Poetics*, 3, 29-56.

Langston M.C., Trabasso T. & Magliano J.P. (1999). Modeling online comprehension. In A. Ram & K. Moorman, *Computational models of reading and understanding* (pp. 181-226). Cambridge, MA: MIT Press.

Lee S.S. & Dapretto M. (2006). Metaphorical vs. literal word meanings: fMRI evidence against a selective role of the right hemisphere. *NeuroImage*, 29(2), 536-544.

Mandler J.M. & Johnson N.S. (1977). Remembrance of things parsed: story structure and recall. *Cognitive Psychology*, 9, 111-151.

Mason R.A. & Just M.A. (2004). How the brain processes causal inferences in text: A theoretical account of generation and integration component processes utilizing both cerebral hemispheres. *Psychological Science*, 15, 1-7.

McDonald S. & Wales R. (1986). An investigation of the ability to process inferences in language following right hemisphere brain damage. *Brain and Language*, 29, 68-80.

McDonald S. (1996). Clinical insights into pragmatic theory: Frontal lobe deficits and sarcasm. *Brain and Language*, 68, 486-506.

McKoon G. & Ratcliff R. (1992). Inferencing during reading. *Psychological Review*, 99, 440-466.

- McNamara P. & Durso R. (2003). Pragmatic communication skills in patients with Parkinson's disease. *Brain and Language*, 84, 414-423.
- Molloy R., Brownell H.H. & Gardner H. (1990). Discourses comprehension by right-hemisphere stroke patients: deficits of prediction and revision. In Y. Joannette, H. Brownell (Eds), *Discourses Ability and Brain Damage: Theoretical and Empirical Perspectives* (pp. 113-130). Springer Verlag, New-York.
- Monetta L. & Pell M. (2007). Effects of verbal working memory deficits on metaphor comprehension in patients with Parkinson's disease. *Brain and Language*, 101(1), 80-89.
- Mross E.F. (1990). Text Analysis: Macro-and Microstructural Aspects of Discourse Processing. In Y. Joannette, H.H. Brownell, *Discourse ability and brain damage theoretical and empirical perspectives* (pp. 50-68). New York: Springer-Verlag.
- Myers P.S. (1999). *Right Hemisphere Damage*. San Diego, CA: Singular Publishing Group.
- Myers P.S. & Linebaugh C.W. (1981). Comprehension of idiomatic expressions by right-hemisphere-damaged adults. In *11^e Clinical Aphasiology Conference*. Kerrville, Texas: 10-14 mai.
- Myers P.S. (1991). Inference failure: the underlying impairment in right-hemisphere communication disorders. *Clinical Aphasiology*, 20, 167-180.
- Myers P.S. (1994). Communication disorders associated with right-hemisphere brain damage. In R. Chapey (Ed.). *Language intervention strategies in adult aphasia* (pp.513-534). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Obler L.K. & Albert M.L. (1984). Language in Aging. In M.L. Albert (Ed.). *Neurology of Aging* (pp. 245-253). New York: Oxford.
- Osherson D., Perani D., Cappa S., Schnur T., Grassi F. & Fazio F. (1998). Distinct brain loci in deductive versus probabilistic reasoning. *Neuropsychologia*, 36(4), 369-376.

- Parsons L.M. & Osherson D. (2001). New evidence for distinct right and left brain systems for deductive versus probabilistic reasoning. *Cerebral Cortex*, 11(10), 954-965.
- Patry R. & Nespoulous J.-L. (1990). Discourse Analysis in Linguistics: Historical and Theoretical Background. In Y. Joannette & H.H. Brownell, *Discourse ability and brain damage theoretical and empirical perspectives* (pp. 3-27). New York: Springer-Verlag.
- Poissant H. (1989). The role of inferences in understanding. *Reading-Canada-Lecture*, 7, 218-230.
- Rapp A.M., Leube D.T., Erb M., Grodd W. & Kircher T.T. (2004). Neural correlates of metaphor processing. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 20(3), 395-402.
- Schank R.C. (1976). The role of memory in language processing. In C. Cofer (Ed.). *The nature of human memory*. San Francisco: Freeman.
- Schmidt G.L., DeBuse C.J. & Seger C.A. (2007). Right hemisphere metaphor processing? Characterizing the lateralization of semantic processes. *Brain and Language*, 100, 127-141.
- Schneiderman E.I. & Saddy J.D. (1988). A linguistic deficit resulting from right-hemisphere damage. *Brain and Language*, 34, 38-53.
- Searle J. (1969). *Speech Acts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Sergent J. (1994). Spécialisation fonctionnelle et coopération des hémisphères cérébraux. In X. Seron & M. Jeannerod (Eds.). *Neuropsychologie Humaine*. Liège: Mardaga.
- Shuren J.E. & Grafman J. (2002). The neurology of reasoning. *Archives of Neurology*, 59, 916-919.
- Siegal M., Carrington J. & Radel M. (1996). Theory of mind and pragmatic understanding following right hemisphere damage. *Brain and Language*, 53, 40-50.
- Singer M. & Ferreira F. (1983). Inferring consequences in story comprehension. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 22, 437-448.

- Singer M. (1994). Discourse inference processes. In M.A. Gernsbacher (Ed.), *Handbook of psycholinguistics* (pp. 479-515). San Diego: Academic Press.
- Stemmer B., Giroux F. & Joannette Y. (1994). Production and evaluation of requests by right hemisphere brain damaged individuals. *Brain and Language*, 47, 1-31.
- Tompkins C.A. & Mateer C.A. (1985). Right hemisphere appreciation of prosodic and linguistic indications of implicit attitude. *Brain and Language*, 24, 185-203.
- Tompkins C.A., Bloise C.G.R., Timko M.L. & Baumgaertner A. (1994). Working memory and inference revision in brain-damaged and normally aging adults. *Journal of Speech and Hearing Research*, 37, 896-912.
- Tompkins C.A., Fassbinder W., Lehman-Blake M., Baumgaertner A. & Jayaram N. (2004). Inference generation during text comprehension by adults with right hemisphere brain damage: activation failure versus multiple activation. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 47, 1380-1395.
- Van Dijk T.A. & Kintsch W. (1983). *Strategies of Discourse Comprehension*. New York, Academic Press.
- Van Lancker D.R. & Kempler D. (1987). Comprehension of familiar phrases by left-but not by right hemisphere damaged patients. *Brain and Language*, 32, 265-277.
- Vanhalle C., Lemieux S., Joubert S., Goulet P., Ska B. & Joannette Y. (2000). Processing of speech acts by right hemisphere brain-damaged patients: An ecological approach. *Aphasiology*, 14(11), 1127-1142.
- Virtue S., Haberman J., Clancy Z., Parrish T. & Jung-Beeman M. (2006). Neural activity of inferences during story comprehension. *Brain Research*, 1084, 104-114.
- Wapner W., Hamby S. & Gardner H. (1981). The role of the right hemisphere in the apprehension of complex linguistic materials. *Brain and Language*, 14, 15-32.
- Weinstein E.A. (1964). Affections of speech with lesions of the non-dominant hemisphere. *Research Publications of the Association for Research in Nervous and Mental Disease*, 42, 220-228.

Wernicke K. (1874). *Der aphasische Symptomenkomplex*. Breslau: Cohen and Weigert.

Weylman S.T., Brownell H.H., Roman M. & Gardner H. (1989). Appreciation of indirect requests by left and right damaged patients: The effects of verbal context and conventionality of wording. *Brain and Language*, 36, 580-591.

Winner E. & Gardner H. (1977). Comprehension of metaphor in brain damaged patients. *Brain*, 100, 719-727.

Wright H.H. & Newhoff M. (2002). Age-related differences in inference revision processing. *Brain and Language*, 80, 226-239.

Xu J., Kemeny S., Park G., Frattali C. & Braun A. (2005). Language in context: emergent features of word, sentence and narrative comprehension. *NeuroImage*, 25, 1002-1015.

Annexes

- | | |
|---|------------|
| 1. Histoire et affirmations utilisées pour la tâche d'inférences pragmatiques | <i>127</i> |
| 2. Stimuli utilisés pour la tâche d'inférences logiques (étude comportementale) | <i>129</i> |
| 3. Stimuli utilisés pour la tâche d'inférences logiques (étude en imagerie optique diffuse) | <i>132</i> |

1	Histoire et affirmations utilisées pour la tâche d'inférences pragmatiques
----------	---

Aujourd'hui, la sortie à la plage s'est transformée en cauchemar pour la famille Durand. D'abord, Sylvie a piqué le ballon de plage avec une aiguille après que sa mère eut terminé de le gonfler. Yves, attristé, s'est alors amusé à tirer les moustaches de son père qui dormait. Furieux, ce dernier a couru après Yves qui fini par tomber dans la boue. Quant à Sylvie, elle est tombée tout habillée dans l'eau en voulant éviter la bousculade des coureurs. Puis, la branche sur laquelle oncle François s'est assis pour admirer le spectacle s'est brisée. Par la suite, Yves et Sylvie ont jeté une allumette dans un tas de bois auquel ils ont ajouté les revues d'oncle François; il ne pourra plus les lire. Par chance, madame Durand est vite accourue pour verser de l'eau sur l'œuvre diabolique des enfants. Enfin, monsieur Durand qui avait oublié sa glace au soleil, a dû boire sa limonade sans glaçon pendant que madame Durand chicanait oncle François qui avait renversé du vin sur la nappe à pique-nique neuve. Les Durand se souviendront longtemps de cette journée à la plage.

Affirmations vraies (V)

Sylvie a piqué le ballon de plage.	Monsieur Durand a bu de la limonade.
Le ballon de plage a été gonflé.	Yves et Sylvie ont ajouté les revues d'oncle François à un tas de bois.
Madame Durand a versé de l'eau sur l'œuvre diabolique des enfants.	Oncle François s'est assis sur une branche.
Oncle François a renversé du vin.	Yves a tiré les moustaches de son père.
Madame Durand a chicané oncle François.	Monsieur Durand a dormi.

Affirmations fausses (F)

Sylvie a joué au ballon.	Yves et Sylvie ont déchiré les revues d'oncle François.
Oncle François a lu ses revues.	Oncle François a nettoyé la nappe à pique-nique.
Madame Durand a caché le ballon de plage.	François a déchiré la nappe à pique-nique.
Monsieur Durant s'est baigné.	Yves a lancé de la boue à son père.
Sylvie a brûlé sa robe.	
Sylvie a mordu le ballon de plage.	

Affirmations à inférer (I)

Le ballon de plage a été crevé.

Yves s'est sali.

Yves et Sylvie ont fait un feu.

Le père a été réveillé.

Sylvie s'est mouillée.

Un feu a été éteint.

Oncle François est tombé.

La nappe à pique-nique a été tachée.

Les revues d'oncle François ont brûlé

La glace de monsieur Durand a fondu.

2	Stimuli utilisés pour la tâche d'inférences logiques (étude comportementale)
----------	---

Syllogismes endocentriques, marqués, congruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est plus laid que B	C n'est pas aussi laid que B	Lequel est le plus laid?	EMC	A
A est plus mauvais que C	B n'est pas aussi mauvais que C	Lequel est le plus mauvais?	EMC	A
B est plus léger que A	C n'est pas aussi léger que A	Lequel est le plus léger?	EMC	B
B est plus mince que A	C n'est pas aussi mince que A	Lequel est le plus mince?	EMC	B
C est plus bas que A	B n'est pas aussi bas que A	Lequel est le plus bas?	EMC	C
C est plus étroit que A	B n'est pas aussi étroit que A	Lequel est le plus étroit?	EMC	C
C est plus faible que A	B n'est pas aussi faible que A	Lequel est le plus faible?	EMC	C
C est plus petit que B	A n'est pas aussi petit que B	Lequel est le plus petit?	EMC	C

Syllogismes endocentriques, marqués, incongruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est plus laid que C	B n'est pas aussi laid que C	Lequel est le plus beau?	EMI	B
A est plus mauvais que C	B n'est pas aussi mauvais que C	Lequel est le meilleur?	EMI	B
A est plus petit que B	C n'est pas aussi petit que B	Lequel est le plus grand?	EMI	C
A n'est pas aussi mince que B	C est plus mince que B	Lequel est le plus épais?	EMI	A
B est plus léger que C	A n'est pas aussi léger que C	Lequel est le plus lourd?	EMI	A
C est plus bas que B	A n'est pas aussi bas que B	Lequel est le plus haut?	EMI	A

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
C est plus étroit que A	B n'est pas aussi étroit que A	Lequel est le plus large?	EMI	B
C n'est pas aussi faible que A	B est plus faible que A	Lequel est le plus fort?	EMI	C

Syllogismes endocentriques, non marqués, congruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est plus beau que C	B n'est pas aussi beau que C	Lequel est le plus beau?	ENC	A
A est plus fort que B	C n'est pas aussi fort que B	Lequel est le plus fort?	ENC	A
A est plus grand que B	C n'est pas aussi grand que B	Lequel est le plus grand?	ENC	A
B est meilleur que C	A n'est pas aussi bon que C	Lequel est le meilleur?	ENC	B
B est plus haut que A	C n'est pas aussi haut que A	Lequel est le plus haut?	ENC	B
B est plus lourd que C	A n'est pas aussi lourd que C	Lequel est le plus lourd?	ENC	B
C est plus épais que A	B n'est pas aussi épais que A	Lequel est le plus épais?	ENC	C
C est plus long que B	A n'est pas aussi long que B	Lequel est le plus long?	ENC	C

Syllogismes endocentriques, non marqués, incongruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est plus gros que B	C n'est pas aussi gros que B	Lequel est le plus maigre?	ENI	C
A est plus lourd que B	C n'est pas aussi lourd que B	Lequel est le plus léger?	ENI	C
B est plus épais que C	A n'est pas aussi épais que C	Lequel est le plus mince?	ENI	A
B est plus grand que A	C n'est pas aussi grand que A	Lequel est le plus petit?	ENI	C
B est plus haut que C	A n'est pas aussi haut que C	Lequel est le plus bas?	ENI	A

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
C est plus beau que A	B n'est pas aussi beau que A	Lequel est le plus laid?	ENI	B
C est plus large que B	A n'est pas aussi large que B	Lequel est le plus étroit?	ENI	A
C est plus long que A	B n'est pas aussi long que A	Lequel est le plus court?	ENI	B

Syllogismes exocentriques, non marqués, congruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est plus grand que C	A n'est pas aussi grand que B	Lequel est le plus grand?	XNC	B
A est plus gros que C	A n'est pas aussi gros que B	Lequel est le plus gros?	XNC	B
A est plus large que B	A n'est pas aussi large que C	Lequel est le plus large?	XNC	C
B est meilleur que A	B n'est pas aussi bon que C	Lequel est le meilleur?	XNC	C
B est plus épais que A	B n'est pas aussi épais que C	Lequel est le plus épais?	XNC	B
B est plus fort que A	B n'est pas aussi fort que C	Lequel est le plus fort?	XNC	C
B est plus haut que C	B n'est pas aussi haut que A	Lequel est le plus haut?	XNC	A
C est plus lourd que B	C n'est pas aussi lourd que A	Lequel est le plus lourd?	XNC	A

3	Stimuli utilisés pour la tâche d'inférences logiques (étude en imagerie optique diffuse)
----------	---

Syllogismes endocentriques congruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est moins court que B	C est plus court que B	Lequel est le plus court?	EC	C
A est moins étroit que C	B est plus étroit que C	Lequel est le plus étroit?	EC	B
A est moins maigre que C	B est plus maigre que C	Lequel est le plus maigre?	EC	B
A est plus beau que B	C est moins beau que B	Lequel est le plus beau?	EC	A
A est plus étroit que B	C est moins étroit que B	Lequel est le plus étroit?	EC	A
A est plus large que B	C est moins large que B	Lequel est le plus large?	EC	A
A est plus maigre que B	C est moins maigre que B	Lequel est le plus maigre?	EC	A
B est moins large que C	A est plus large que C	Lequel est le plus large?	EC	A
B est moins long que A	C est plus long que A	Lequel est le plus long?	EC	C
B est plus bas que A	C est moins bas que A	Lequel est le plus bas?	EC	B
B est plus faible que A	C est moins faible que A	Lequel est le plus faible?	EC	B
B est plus gros que C	A est moins gros que C	Lequel est le plus gros?	EC	B
B est plus haut que A	C est moins haut que A	Lequel est le plus haut?	EC	B
B est plus long que C	A est moins long que C	Lequel est le plus long?	EC	B
B est plus mince que C	A est moins mince que C	Lequel est le plus mince?	EC	B
C est moins beau que A	B est plus beau que A	Lequel est le plus beau?	EC	B

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
C est moins court que B	A est plus court que B	Lequel est le plus court?	EC	A
C est moins épais que B	A est plus épais que B	Lequel est le plus épais?	EC	A
C est moins étroit que B	A est plus étroit que B	Lequel est le plus étroit?	EC	A
C est moins faible que B	A est plus faible que B	Lequel est le plus faible?	EC	A
C est moins joyeux que A	B est plus joyeux que A	Lequel est le plus joyeux?	EC	B
C est moins lourd que A	B est plus lourd que A	Lequel est le plus lourd?	EC	B
C est moins mince que B	A est plus mince que B	Lequel est le plus mince?	EC	A
C est plus beau que B	A est moins beau que B	Lequel est le plus beau?	EC	C
C est plus fort que B	A est moins fort que B	Lequel est le plus fort?	EC	C
C est plus joyeux que A	B est moins joyeux que A	Lequel est le plus joyeux?	EC	B
C est plus joyeux que B	A est moins joyeux que B	Lequel est le plus joyeux?	EC	C
C est plus laid que B	A est moins laid que B	Lequel est le plus laid?	EC	C
C est plus laid que B	A est moins laid que B	Lequel est le plus laid?	EC	C
C est plus triste que B	A est moins triste que B	Lequel est le plus triste?	EC	C

Syllogismes endocentriques incongruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est moins beau que B	C est plus beau que B	Lequel est le plus laid ?	EI	A
A est moins épais que B	C est plus épais que B	Lequel est le plus mince?	EI	A
A est moins lourd que B	C est plus lourd que B	Lequel est le plus léger?	EI	A

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est moins mince que B	C est plus mince que B	Lequel est le plus épais?	EI	A
A est plus bas que C	B est moins bas que C	Lequel est le plus haut?	EI	B
A est plus beau que B	C est moins beau que B	Lequel est le plus laid?	EI	C
A est plus étroit que C	B est moins étroit que C	Lequel est le plus large?	EI	B
A est plus faible que C	B est moins faible que C	Lequel est le plus fort?	EI	B
A est plus laid que B	C est moins laid que B	Lequel est le plus beau?	EI	C
A est plus long que B	C est moins long que B	Lequel est le plus court?	EI	C
A est plus triste que C	B est moins triste que C	Lequel est le plus joyeux?	EI	B
B est moins bas que A	C est plus bas que A	Lequel est le plus haut?	EI	B
B est moins beau que C	A est plus beau que C	Lequel est le plus laid?	EI	B
B est moins gros que A	C est plus gros que B	Lequel est le plus maigre?	EI	B
B est moins joyeux que A	C est plus joyeux que A	Lequel est le plus triste ?	EI	B
B est moins large que A	C est plus large que A	Lequel est le plus étroit?	EI	B
B est moins léger que C	A est plus léger que C	Lequel est le plus lourd?	EI	B
B est moins triste que A	C est plus triste que A	Lequel est le plus joyeux?	EI	B
C est moins faible que B	A est plus faible que B	Lequel est le plus fort?	EI	C
C est moins fort que B	A est plus fort que B	Lequel est le plus faible?	EI	C
C est moins haut que B	A est plus haut que B	Lequel est le plus bas?	EI	C
C est moins large que B	A est plus large que B	Lequel est le plus étroit?	EI	C

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
C est moins long que B	A est plus long que B	Lequel est le plus court?	EI	C
C est moins maigre que B	A est plus maigre que B	Lequel est le plus gros?	EI	C
C est moins mince que B	A est plus mince que B	Lequel est le plus épais?	EI	C
C est plus épais que B	A est moins épais que B	Lequel est le plus mince?	EI	A
C est plus fort que B	A est moins fort que B	Lequel est le plus faible?	EI	A
C est plus gros que B	A est moins gros que B	Lequel est le plus maigre?	EI	A
C est plus laid que B	A est moins laid que B	Lequel est le plus beau?	EI	A
C est plus large que B	A est moins large que B	Lequel est le plus étroit?	EI	A

Syllogismes exocentriques congruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est moins étroit que B	A est plus étroit que C	Lequel est le plus étroit?	XC	B
A est moins gros que B	A est plus gros que C	Lequel est le plus gros?	XC	B
A est moins joyeux que B	A est plus joyeux que C	Lequel est le plus joyeux?	XC	B
A est moins maigre que B	A est plus maigre que C	Lequel est le plus maigre?	XC	B
A est moins triste que B	A est plus triste que C	Lequel est le plus triste?	XC	B
A est plus épais que C	A est moins épais que B	Lequel est le plus épais?	XC	B
A est plus lourd que C	A est moins lourd que B	Lequel est le plus lourd?	XC	B
B est moins épais que C	B est plus épais que A	Lequel est le plus épais?	XC	C
B est moins étroit que C	B est plus étroit que A	Lequel est le plus étroit?	XC	C

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
B est moins faible que C	B est plus faible que A	Lequel est le plus faible?	XC	C
B est moins léger que A	B est plus léger que C	Lequel est le plus léger?	XC	A
B est moins mince que C	B est plus mince que A	Lequel est le plus mince?	XC	C
B est plus faible que C	B est moins faible que A	Lequel est le plus faible?	XC	A
B est plus fort que C	B est moins fort que A	Lequel est le plus fort?	XC	A
B est plus laid que A	B est moins laid que C	Lequel est le plus laid?	XC	C
B est plus léger que A	B est moins léger que C	Lequel est le plus léger?	XC	C
B est plus maigre que C	B est moins maigre que A	Lequel est le plus maigre?	XC	A
C est moins beau que B	C est plus beau que A	Lequel est le plus beau?	XC	B
C est plus faible que B	C est moins faible que A	Lequel est le plus faible?	XC	A
C est plus gros que A	C est moins gros que B	Lequel est le plus gros?	XC	B

Syllogismes exocentriques incongruents

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est moins épais que B	A est plus épais que C	Lequel est le plus mince?	XI	C
A est moins léger que C	A est plus léger que B	Lequel est le plus lourd?	XI	B
A est moins mince que C	A est plus mince que B	Lequel est le plus épais?	XI	B
A est plus bas que B	A est moins bas que C	Lequel est le plus haut?	XI	B
A est plus bas que B	A est moins bas que C	Lequel est le plus haut?	XI	B
A est plus faible que C	A est moins faible que B	Lequel est le plus fort?	XI	C

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est plus joyeux que B	A est moins joyeux que C	Lequel est le plus triste?	XI	B
A est plus maigre que C	A est moins maigre que B	Lequel est le plus gros?	XI	C
B est moins bas que C	B est plus bas que A	Lequel est le plus haut?	XI	A
B est moins court que A	B est plus court que C	Lequel est le plus long?	XI	C
B est moins court que C	B est plus court que A	Lequel est le plus long?	XI	A
B est moins épais que C	B est plus épais que A	Lequel est le plus mince?	XI	A
B est moins épais que C	B est plus épais que A	Lequel est le plus mince?	XI	A
B est moins épais que C	B est plus épais que A	Lequel est le plus mince?	XI	A
B est moins épais que C	B est plus épais que A	Lequel est le plus mince?	XI	A
B est moins épais que C	B est plus épais que A	Lequel est le plus mince?	XI	A
B est moins épais que C	B est plus épais que A	Lequel est le plus mince?	XI	A
B est moins joyeux que C	B est plus joyeux que A	Lequel est le plus triste?	XI	A
B est moins large que C	B est plus large que A	Lequel est le plus étroit?	XI	A
B est moins léger que A	B est plus léger que C	Lequel est le plus lourd?	XI	C
B est plus bas que C	B est moins bas que A	Lequel est le plus haut?	XI	C
B est plus étroit que C	B est moins étroit que A	Lequel est le plus large?	XI	C
B est plus léger que A	B est moins léger que C	Lequel est le plus lourd?	XI	A
C est moins bas que A	C est plus bas que B	Lequel est le plus haut?	XI	B
C est moins étroit que A	C est plus étroit que B	Lequel est le plus large?	XI	B

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
C est moins joyeux que A	C est plus joyeux que B	Lequel est le plus triste?	XI	B
C est moins laid que B	C est plus laid que A	Lequel est le plus beau?	XI	A
C est plus court que B	C est moins court que A	Lequel est le plus long?	XI	B
C est plus maigre que B	C est moins maigre que A	Lequel est le plus gros?	XI	B
C est plus mince que B	C est moins mince que A	Lequel est le plus épais?	XI	B
A est moins triste que B	A est plus triste que C	Lequel est le plus triste?	XI	B
A est plus court que C	A est moins court que B	Lequel est le plus court?	XI	B
A est plus haut que B	A est moins haut que C	Lequel est le plus haut?	XI	C
B est moins beau que A	B est plus beau que C	Lequel est le plus beau?	XI	A
B est moins joyeux que C	B est plus joyeux que A	Lequel est le plus joyeux?	XI	C
B est moins maigre que C	B est plus maigre que A	Lequel est le plus maigre?	XI	C
B est moins mince que A	B est plus mince que C	Lequel est le plus mince?	XI	A
B est plus court que A	B est moins court que C	Lequel est le plus court?	XI	C
C est moins bas que A	C est plus bas que B	Lequel est le plus bas?	XI	A
C est plus haut que A	C est moins haut que B	Lequel est le plus haut?	XI	B

Syllogismes références

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est un boeuf	B est une anguille	Lequel est le plus grand?	Ref	A
A est un cheval	C est un cochon	Lequel est le plus petit?	Ref	C

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
A est un escargot	C est un canard	Lequel est le plus petit?	Ref	A
A est un homard	C est un gorille	Lequel est le plus petit?	Ref	A
A est un loup	B est une hirondelle	Lequel est le plus grand?	Ref	A
A est un perroquet	C est une baleine	Lequel est le plus petit?	Ref	A
A est un rhinocéros	C est une poule	Lequel est le plus grand?	Ref	A
A est un zèbre	B est un chat	Lequel est le plus grand?	Ref	A
A est une marmotte	B est une crevette	Lequel est le plus grand?	Ref	A
A est une poule	B est un rhinocéros	Lequel est le plus petit?	Ref	A
B est un boa	A est une coccinelle	Lequel est le plus grand?	Ref	B
B est un chat	A est un zèbre	Lequel est le plus petit?	Ref	B
B est un cheval	A est une crevette	Lequel est le plus grand?	Ref	B
B est un gorille	A est un homard	Lequel est le plus grand?	Ref	B
B est un kangourou	C est un hamster	Lequel est le plus grand?	Ref	B
B est un lion	A est une sauterelle	Lequel est le plus grand?	Ref	B
B est un moineau	A est un requin	Lequel est le plus petit?	Ref	C
B est un phoque	A est un rat	Lequel est le plus grand?	Ref	B
B est un rat	A est un phoque	Lequel est le plus grand?	Ref	A
B est un rhinocéros	A est une poule	Lequel est le plus grand?	Ref	B
B est une araignée	A est un saumon	Lequel est le plus petit?	Ref	B

Phrase 1	Phrase 2	Question	Type de syllogisme	Réponse
C est un chien	B est une mouche	Lequel est le plus grand?	Ref	C
C est un éléphant	B est une souris	Lequel est le plus grand?	Ref	C
C est un hamster	B est un kangourou	Lequel est le plus petit?	Ref	C
C est un phoque	B est un rat	Lequel est le plus grand?	Ref	C
C est un pigeon	B est un ours	Lequel est le plus petit?	Ref	C
C est une araignée	B est un saumon	Lequel est le plus petit?	Ref	C
C est une baleine	B est un perroquet	Lequel est le plus grand?	Ref	C
C est une crevette	B est un cheval	Lequel est le plus petit?	Ref	C
C est une fourmi	B est une girafe	Lequel est le plus petit?	Ref	C