

Université de Montréal

**Vieillesse et réorganisation neurofonctionnelle
pour le traitement du sens métaphorique des mots**

par

Beatriz MEJÍA-CONSTAÍN

Département de psychologie
Faculté des arts et des sciences

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

Mars 2010

©Beatriz Mejía-Constaín, 2010

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

**Viellissement et réorganisation neurofonctionnelle pour le
traitement du sens métaphorique des mots**

présentée par

Beatriz MEJÍA-CONSTAÍN

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Maryse Lassonde

présidente - rapporteuse

Yves Joannette

directeur de recherche

Oury Monchi

co-directeur de recherche

Sven Joubert

membre du jury

Linda Garcia

examinatrice externe

Gonia Jarema

représentante du doyen de la FES

Thèse acceptée le:

*" Quand tu partiras pour Ithaque,
souhaite que le chemin soit long,
riche en péripéties et en expériences... "*

*Garde toujours Ithaque présente à ton esprit.
Y parvenir est ton but final.
Mais ne hâte pas du tout ton voyage.
Mieux vaut qu'il dure de nombreuses années;
et qu'aux jours de ta vieillesse enfin tu jettes l'ancre dans ton île,
riche de tout ce que tu as gagné en chemin
sans t'attendre à ce qu'Ithaque te donne des richesses... "*

Konstantínos Kaváfis

Sommaire

Compte tenu de l'importante augmentation de l'espérance de vie de la population générale observée dans les dernières décennies, les études portant sur les modifications des fonctions cognitives lors du vieillissement normal et pathologique se révèlent d'un grand intérêt. Les résultats rapportés dans cette thèse contribuent à une meilleure compréhension de la nature des modifications avec l'âge du traitement du sens métaphorique des mots et du phénomène de réorganisation fonctionnelle sous-tendant ces processus.

Après une revue de littérature (chapitre 1), un premier article définissant la problématique générale du traitement du langage lors du vieillissement normal inaugure la série de travaux présentés dans cette thèse. Cet article, présenté dans le chapitre 2, confirme l'importance du développement d'études spécifiques permettant de faire le lien entre les différentes hypothèses portant sur les changements cognitifs propres au vieillissement normal et celles portant sur les changements propres au substrat neurobiologique du langage.

Le chapitre 3 présente une étude comportementale ayant pour objectif d'évaluer la disponibilité des ressources attentionnelles pour le traitement phonologique et sémantique des mots ainsi que son évolution possible avec l'âge. Les conclusions tirées de cette étude vont dans le sens d'une restriction des ressources attentionnelles particulièrement pour le traitement du sens métaphorique des mots lors du vieillissement normal.

Le chapitre 4 présente une étude en neuroimagerie fonctionnelle. Cette étude a été réalisée afin de comparer les profils d'activation cérébrale des participants jeunes et âgés lors du traitement du sens métaphorique des mots. Les résultats obtenus soulignent qu'autant pour les participants jeunes que pour les participants âgés, le traitement du sens métaphorique des mots pourrait imposer au cerveau le partage des ressources attentionnelles. Néanmoins, ils montrent une réorganisation fonctionnelle chez les participants âgés.

L'ensemble des travaux présentés appuie l'hypothèse d'une attribution différentielle des ressources attentionnelles ainsi que celle d'une réorganisation fonctionnelle chez les participants âgés pour le traitement du sens métaphorique des mots. Les résultats viennent enrichir la compréhension des modèles neurocognitifs du vieillissement en ce qui concerne l'évolution des bases neurobiologiques du langage.

Mots clés: vieillissement, réorganisation fonctionnelle, langage, traitement sémantique, métaphores, hémisphère droit, hémisphère gauche, imagerie par résonance magnétique fonctionnelle.

Summary

Given the significant increase in life expectancy of the general population observed in recent decades, the study of alterations in cognitive functions during normal and pathological ageing is of great importance. The results reported in this thesis contribute to a better understanding of the nature of the age-related changes on processing metaphoric meaning of words and the phenomenon of functional reorganization underlying these processes.

After a brief literature review (chapter 1), a first article offering a general view of the problem of language processing in normal aging introduces the series of studies presented in this thesis. This article, presented in Chapter 2, points out the importance of developing specific protocols aiming to establish a link between the different hypotheses concerning cognitive changes during normal aging and those related to changes in neurobiological substrate of language.

Chapter 3 presents a behavioural study aiming to assess the availability of attentional resources for the phonological and semantic processing of words and its possible evolution with age. The findings of this study are consistent with the idea of an age-related restriction of available attentional resources for the processing of metaphorical meaning of words.

Chapter 4 presents a neuroimaging study. This study was conducted to compare patterns of brain activation of young and older participants during the processing of metaphoric meaning of words. The results emphasize that both, younger and older participants, require the sharing of attentional resources during processing metaphorical meaning of words, but show a functional reorganization in the older group.

Taken together, the studies presented here support the hypothesis of an age-related restriction of available attentional resources and of an age-related functional reorganization for the processing of metaphorical meaning of words. The results enrich our understanding of neurocognitive aging models regarding the evolution of neurobiological bases of language.

Key words: aging, functional reorganisation, language, semantic processing, metaphors, right hemisphere, left hemisphere, functional magnetic resonance imaging.

Table des matières

Liste des tableaux	<i>ix</i>
Liste des figures	<i>ix</i>
Liste des abréviations	<i>x</i>
Liste des annexes	<i>xi</i>
CHAPITRE 1 Introduction	<i>17</i>
CHAPITRE 2 Révision de la littérature pour un positionnement de la problématique générale: langage et vieillissement	<i>43</i>
Modifications de la dynamique inter-hémisphérique: un indice de l'effet de l'âge sur le langage? Beatriz Mejía-Constaín, Nathalie Walter & Yves Joannette <i>Rééducation Orthophonique, 2004, 219: 57-66</i>	
CHAPITRE 3 Étude comportementale	<i>59</i>
Étude 1 Age-dependent evolution of the attentional resources for the phonological and semantic processing of words: cues in favor of an extension of the HAROLD model to language. Beatriz Mejía-Constaín, Nathalie Walter, Marianne Arsenault & Yves Joannette <i>Brain and Language, 2005, 95: 76-77</i>	
CHAPITRE 4 Étude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle	<i>71</i>
Étude 2 When metaphors go literally beyond their territories: The impact of age on figurative language Beatriz Mejía-Constaín, Oury Monchi, Nathalie Walter, Marianne Arsenault, Noureddine Senhadji & Yves Joannette <i>Italian Journal of Linguistics, 2010, 22(1): 41-60</i>	
CHAPITRE 5 Discussion générale	<i>95</i>
Références	<i>113</i>
Annexes	<i>xii</i>

Liste des tableaux

CHAPITRE IV **Étude en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle**

Table 1	Metaphors versus Reference	83
Table 2	Metaphors versus Distracters	84
Table 3	Metaphors versus Literals	84

Liste des figures

CHAPITRE II **Révision de la littérature pour un positionnement de la problématique générale: langage et vieillissement**

Figure 1	Exemples de profil d'activation cérébrale illustrant une réduction des asymétries hémisphériques reliées à l'âge (issu et adapté de Cabeza, 2002)	53
----------	---	----

CHAPITRE III **Étude comportementale**

Figure 1	Examples of stimuli	62
Figure 2	Response times for both phonological and semantic tasks in both conditions	63
Figure 3	Comparison of dual task condition in the young group and the simple task condition in the older group	63

Liste des abréviations

En langue française

AB	Aire de Brodmann
CPF	Cortex préfrontal
IRM	Imagerie par résonance magnétique
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle
PEC	Potentiels évoqués cognitifs
TEP	Tomographie par émission de positons

En langue anglaise

AD	Abstract distracter
BA	Brodmann area
BOLD	Blood oxygen level dependent
CD	Concrete distracter
fMRI	Functional magnetic resonance imaging
HAROLD	Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults
LCD	Liquid crystal display
LH	Left hemisphere
LT	Literal target
MNI	Montreal Neurological Institute
MT	Metaphorical target
PASA	Posterior Anterior Shift in Aging
PFC	Prefrontal cortex
RH	Right hemisphere
ROI	Region of interest
RT	Response time
SD	Standard deviation
TI	Temporal inferior
TS	Temporal superior
WAIS	Wechsler Adult Intelligence Scale

Liste des annexes

ANNEXE 1	Liste de stimuli	<i>123</i>
ANNEXE 2	Liste de stimuli par catégorie de paires	<i>127</i>

CHAPITRE I

Introduction

1. Aperçu de l'évolution des connaissances des bases neuro-anatomiques du langage	19
2. La compréhension des métaphores	22
2.a Deux types de modèles psycholinguistiques du traitement des métaphores	23
2.b Le substrat neuro-anatomique du traitement des métaphores: est-il pertinent de parler de gauche et de droit?	25
2.c Ressources cognitives et traitement des métaphores	29
2.d Vieillesse et traitement des métaphores	31
3. Vieillesse, cerveau et cognition	34
4. L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle comme méthodologie pour explorer l'organisation fonctionnelle du cerveau	36
5. Problématique, question générale, objectifs spécifiques	37
6. Structure de la thèse	38

Les spéculations visant à élucider les mystères du cerveau remontent à des époques très anciennes. Le domaine de la neuropsychologie, en tant que corpus de connaissances permettant de comprendre le lien entre cerveau et comportement, s'est constitué de façon progressive depuis plusieurs siècles. Différentes hypothèses concernant la relation âme-cerveau, esprit-cerveau ou comportement-cerveau ont connu leurs heures de gloire avant de se voir remettre en question. L'évolution non linéaire de ces connaissances impose une lecture critique capable de relativiser l'état du savoir à chaque époque. Dans ce travail, les grandes lignes des connaissances scientifiques ayant tenté de lever le voile sur les liens entre le fonctionnement du cerveau et le langage seront résumées. Par la suite, l'accent sera mis sur l'étude des processus impliqués dans le traitement de la dimension métaphorique de la communication et ce, en faisant le lien avec le cerveau intact et en condition pathologique. La dimension temporelle (âge) sera finalement introduite afin de rendre compte des effets possibles du vieillissement normal sur ces processus. Ceci ne constitue pas la chronique d'une série de découvertes scientifiques, mais un aperçu de l'histoire de l'évolution, de la révolution et de la rénovation d'une pensée.

1 Aperçu de l'évolution des connaissances des bases neuro-anatomiques du langage

Dès le V^e siècle avant Jésus-Christ, les intuitions du père de la médecine, Hippocrate, placent le cerveau dans une position centrale mais en opposition par rapport au cœur, en considérant ce premier comme le support de l'âme. En effet, le philosophe présume déjà que le cerveau est le siège de l'intelligence. Ainsi, il consigne dans ses *Aphorismes* que "ceux ayant reçu un coup dans la tête, sont nécessairement privés de la parole" (section VII, No.58; dans Vera, 1970, p 107). Toutefois, ses écrits sont vagues et ne permettent pas de déterminer s'il s'agissait d'une altération du langage, de la parole ou de la voix. Les siècles suivants voient d'ailleurs peu d'avancées sur le sujet, et les progrès significatifs ultérieurs n'ont lieu qu'au début du XIX^e siècle.

Avec la pensée que "le cerveau est composé de plusieurs organes indépendants ayant des fonctions distinctes, d'ordre mental, moral...", Franz Gall (1810) s'inscrit dans

les origines de la neuropsychologie. Il tente de localiser les fonctions mentales et les caractéristiques émotionnelles par l'observation et l'analyse rigoureuse des bosses du crâne. Il fonde ainsi la phrénologie, théorie qui sera disqualifiée par ses collègues scientifiques de l'époque, en raison d'un manque de rigueur donnant lieu à une interprétation biaisée. La phrénologie est certes une erreur dans son ensemble, mais la contribution de Gall aux neurosciences a cependant été de premier ordre. Il demeure inscrit dans l'histoire comme un grand anatomiste, précurseur de la théorie des localisations cérébrales. C'est avec lui qu'apparaît une nouvelle conception, soit le découpage de la conscience en facultés mentales, qui donnera lieu à l'idée du fractionnement du cerveau en modules fonctionnels.

Cette conception basée sur les relations anatomofonctionnelles directes, soit le courant localisationniste, connaît plusieurs représentants dont l'un est le premier à s'intéresser formellement à la localisation du langage dans le cerveau. S'inspirant de la phrénologie de Gall, Jean-Baptiste Bouillaud (1825) rapporte des observations cliniques lui permettant de faire le lien entre la perte de la parole et la lésion des régions antérieures du cerveau. Une décennie plus tard, Marc Dax (1836) soutient, à partir d'observations personnelles de plusieurs patients, que le centre du langage est situé spécifiquement dans l'hémisphère gauche du cerveau et ce, en signalant la coexistence d'une hémiplégie droite avec la perte de cette fonction. Toutefois, les observations de Dax n'ont été publiées que tardivement par son fils en 1865 et la communauté scientifique de l'époque ne les ont pas considérées comme des précurseurs (Quintanar, 1994). En effet, malgré l'existence de ces rapports scientifiques précédents, le courant localisationniste reconnaît un autre scientifique, de la même époque, comme le principal représentant. C'est ainsi que, à partir des observations cliniques d'un patient lui permettant de faire le lien entre un trouble particulier du langage et une lésion cérébrale latéralisée, le célèbre Paul Broca (1861) conclut à une asymétrie fonctionnelle des hémisphères cérébraux. Il postule que la "perte de la faculté du langage articulé", ou *aphémie*, est liée à des lésions frontales gauches, dans une région baptisée plus tardivement en son honneur "aire de Broca". Les travaux de Broca (1861, 1863, 1865), ont réveillé un grand intérêt dans la

communauté scientifique et constituent le début de l'identification de nouvelles régions cérébrales impliquées dans la production et la compréhension du langage.

Une nouvelle vision suggérant l'existence de nombreux schémas qui superposent modules et fonctions cognitives aux centres cérébraux reliés par des faisceaux neuronaux est proposée quelques années plus tard par Wernicke (1874) et Lichtheim (1885). Ce nouveau courant, dit associationniste, voit également son origine dans des travaux portant sur le langage. Par exemple, Wernicke (1874) démontre que la lésion de la première circonvolution temporale gauche, aire à laquelle il laissera son nom, est la cause d'un trouble de la compréhension des mots, désigné *aphasie sensorielle*. Par ailleurs, le modèle Wernicke-Lichtheim considère que les "centres" traditionnels du langage représentent les bases neurobiologiques des différentes composantes de cette fonction. Ces centres, situés au niveau de l'hémisphère gauche, comprennent notamment l'aire de Wernicke pour le "centre des images auditives des mots" et l'aire de Broca pour le "centre des images motrices des mots". Il apparaît que le traitement de la forme des mots (traitement phonologique) comprend leurs représentations auditive et motrice, alors que le traitement du sens des mots (traitement sémantique) est entièrement réalisé par le centre des images auditives ou des concepts. D'après ce modèle, les altérations langagières peuvent être le résultat d'une lésion localisée, touchant soit l'un, l'autre ou plusieurs "centres" donnés, mais elles peuvent également résulter d'une interruption des connexions entre ces différentes régions. Enfin, Lichtheim (1885) a été le premier à décrire un type de trouble du langage nommé *aphasie de conduction* survenant à la suite d'une lésion du faisceau arqué, structure anatomique qui relie les aires de Broca (expression du langage) et de Wernicke (perception du langage).

Parallèlement aux courants localisationniste et associationniste, le courant globaliste, représenté entre autres par John Hughlings-Jackson (1835-1911), propose pour sa part que le phénomène pathologique reflète la dissolution d'un comportement normal. Il ne met pas l'accent sur les structures neuro-anatomiques mais sur les mécanismes d'ordre psychologique puisque la localisation des symptômes ne peut pas, selon lui, être réduite à la localisation fonctionnelle. Selon Taylor *et al.* (1932), Hughlings-

Jackson distingue les impacts des lésions du cerveau entre deux types de dissolution, découlant de l'organisation hiérarchique en niveau d'intégration, à savoir la dissolution locale (pour les fonctions d'un niveau plus automatique) et la dissolution uniforme ou globale (pour les niveaux supérieurs d'intégration, davantage volontaires). Dans le domaine du langage, la vision jacksonnienne situe le traitement phonologique (traitement de la forme) à un niveau hiérarchique plus bas donc plus automatique, alors que le traitement sémantique (traitement du sens) relève de niveaux supérieurs plus volontaires.

Dans l'ensemble, les asymétries cérébrales décrites au XIX^e siècle suggèrent que l'hémisphère gauche dispose d'une position de "dominance" pour le langage et ne laissent à l'hémisphère droit aucun rôle à jouer dans le traitement de cette fonction. Il faudra attendre la seconde moitié du XX^e siècle pour une revendication qui changera cette conception. En effet, certains aspects du langage non-littéral, dont la compréhension des métaphores, seront identifiés plus tardivement comme étant typiquement supportés par l'hémisphère droit. Cela illustre d'ailleurs bien l'histoire de la neuropsychologie, qui, tout comme les autres sciences, voit évoluer ses schèmes de pensée, lesquelles peuvent à tout moment être affirmées ou infirmées.

2 La compréhension des métaphores

Une brève révision des principaux modèles psycholinguistiques applicables à la compréhension des métaphores fera l'objet de la première partie de cette section. Une revue de la littérature illustrera également l'évolution des connaissances au sujet du substrat neuroanatomique sous-tendant la compréhension des métaphores ainsi que les principales hypothèses quant à la nature de la contribution de chaque hémisphère cérébral à leur traitement. Enfin, le panorama scientifique actuel concernant les modifications possibles des mécanismes neurocognitifs impliqués dans le traitement des métaphores lors du vieillissement normal sera présenté.

2.a Deux types de modèles psycholinguistiques du traitement des métaphores

Dans le contexte social, la communication ne se limite pas à la transmission directe et littérale de l'information; les métaphores abondent. Il est bien connu que ces figures linguistiques constituent des éléments fondamentaux de communication dans la vie de tous les jours et qu'elles ne sont pas l'apanage du langage poétique ou littéraire. Pour ces raisons, depuis plusieurs décennies, les processus impliqués dans la compréhension des métaphores ont fait l'objet d'études d'ordre psychologique et linguistique.

La métaphore peut être définie comme une figure de style dans laquelle une phrase ou un mot fait référence à quelque chose qu'elle ne dénote pas de façon littérale. Il y a dans l'étymologie du terme une notion de "transport" (le mot métaphore vient du grec μεταφορά: metaphorá, au sens propre, transport). Dans *Poétique*, Aristote (350 av. J.C.) caractérise la métaphore comme "le transport à une chose d'un nom qui en désigne une autre". Elle consiste effectivement à transférer une signification à partir d'une analogie ou d'une comparaison implicite établie entre deux mots ou réalités. La phrase "Ce vendeur est un renard" ne veut évidemment pas dire que le vendeur est un animal mais évoque le caractère rusé de celui-ci, ce qui permet de décrire sa personnalité. Ainsi, les métaphores constituent une "violation dénotative"¹ dans la mesure où elles décrivent une chose dans des termes qui ne seraient pas directement reliés à l'objet ou à la situation en question (Billow, 1975) et s'inscrivent dans le domaine du langage connotatif².

Différents modèles psycholinguistiques ont tenté d'expliquer certains aspects des mécanismes sous-jacents à la compréhension des métaphores. Ces modèles peuvent être classés en deux types: les modèles d'accès indirect et les modèles d'accès direct. Le modèle traditionnel connu comme "*standard pragmatic model*" (modèle standard pragmatique) (Grice, 1975; Searle, 1979) est un modèle d'accès indirect. Selon ce point de vue, l'interlocuteur essaie de trouver l'interprétation connotative (métaphorique) après avoir rejetée l'interprétation littérale qui ne serait pas pertinente

¹ Qui renvoie à un être ou à un objet extérieur au langage.

² Qui est susceptible d'être interprété de manière indirecte.

dans le contexte. Ainsi, la compréhension du langage non-littéral (dont les métaphores) implique au moins deux étapes et une durée de traitement plus longue comparativement à la compréhension du langage littéral (Clark & Lucy, 1975). Certaines études montrent effectivement des temps de réponse significativement plus élevés lors du traitement du sens métaphorique que lors du traitement du sens littéral. Ceci a été documenté pour les métaphores conventionnelles au niveau lexical (Bonnaud, Gil & Ingrand, 2002; Mercure, 2004; Kacinik & Chiarello, 2007) et exclusivement pour les métaphores non conventionnelles (nouvelles) lorsqu'il s'agit de phrases (Ahrens *et al.*, 2007). Toutefois, ces résultats sont contradictoires avec ceux d'autres études qui ne rapportent pas de différence significative en ce qui concerne les temps de réponse lors de la compréhension des phrases à contenu métaphorique (Blasko & Connine, 1993; Stringaris *et al.*, 2007; Mashal *et al.*, 2007).

À l'opposé du modèle traditionnel, le "*class-inclusion model*" (modèle d'inclusion de classe: Glucksberg & Keyser, 1990) propose que les processus de compréhension du langage littéral et métaphorique sont identiques. Il s'agit d'un modèle d'accès direct. En effet, les métaphores sont interprétées directement comme une assertion catégorielle plutôt qu'à travers un processus de comparaison des propriétés. Selon Glucksberg & Keyser (1990), c'est le principe général de catégorisation qui permet de distinguer la comparaison littérale de la comparaison métaphorique. Ainsi, la métaphore est l'expression d'une inclusion de classe implicite. Enfin, la nature catégorielle de cette dernière est en définitive la base de la métaphore. De la même manière que les catégories de fruits et d'agrumes se répartissent dans deux classes basse et super ordonnée dans la phrase "Ce vendeur est un renard", la catégorie fonctionnelle de créatures rusées, créée par la métaphore, correspond au niveau super ordonné. Par conséquent, *renard*, qui est l'exemple-type d'un ensemble donné de propriétés, peut servir à attribuer cet ensemble à un vendeur particulier. Enfin, en accord avec ce modèle, Glucksberg (2003) propose que la compréhension du sens métaphorique se fait de façon automatique et que la durée du traitement est comparable à celle des sens littéraux.

Dans leur ensemble, les résultats des études demeurent contradictoires, tout au moins en apparence. Il est néanmoins possible que le caractère direct ou indirect de l'accès au sens métaphorique dépende de plusieurs variables telles que le contexte (ex. sens métaphorique d'une phrase vs d'un mot isolé) et la conventionalité (ex. métaphore conventionnelle ou nouvelle). Enfin, il n'y a pas encore de consensus par rapport au modèle psycholinguistique qui expliquerait de façon plus précise les mécanismes impliqués lors du traitement de métaphores. De la même façon, les questions du substrat neuro-anatomique sous-tendant ce processus et de la contribution de chaque hémisphère cérébral demeurent un objet de débats.

2.b Le substrat neuro-anatomique du traitement des métaphores: est-il pertinent de parler de gauche et de droit?

La conception selon laquelle l'hémisphère gauche est le responsable exclusif des fonctions langagières a régné jusqu'à récemment. Cette vision a été remise en cause par les observations des pionniers comme Eisenson (1959, 1962) et Critchley (1962), qui ont décrit la présence de déficits subtils de la communication verbale et non verbale chez les personnes ayant subi une lésion de l'hémisphère droit. Eisenson (1962) fait notamment référence aux difficultés présentes sur le plan du traitement des aspects les plus abstraits du langage. Il note par exemple que les individus atteints d'une lésion cérébrale droite éprouvent nettement plus de difficultés que les individus neurologiquement intacts à compléter des phrases exigeant l'utilisation d'un mot abstrait, mais que leurs performances se rapprochent de celles des normaux lorsque les phrases réclament un mot concret. Enfin, dans l'ensemble de ses travaux, Eisenson met l'accent sur la spécificité de la contribution de chaque hémisphère cérébral au traitement du langage. Ceci constituerait un défit à la conception classique compte tenu de l'étendue de la littérature appuyant les connaissances relatives aux lésions cérébrales gauches et leurs conséquences sur les fonctions langagières.

Dans ce contexte, un certain nombre de chercheurs et de cliniciens, inspirés des travaux d'Eisenson, ont continué à étudier le rôle de l'hémisphère droit dans le domaine du langage. Suite à ces travaux certaines difficultés éprouvées par les

cérébrolésés droits sont désormais bien connues. Les déficits mentionnés peuvent toucher les habiletés discursives et la manipulation du contenu émotionnel dans le message verbal, ainsi que la compréhension et l'expression de la prosodie et les aspects lexico-sémantiques (pour une revue, voir Joannette, Goulet & Hannequin, 1990). La présence des difficultés sur le plan de la dénomination (Joannette & Goulet, 1988), de l'évocation lexicale (Faure & Blanc-Garin, 1994), de la formulation abstraite des énoncés, de la compréhension de l'ironie et des actes de langage indirects (Champagne *et al.*, 2002) peuvent également apparaître comme autres troubles de la communication verbale chez des cérébrolésés droits. Enfin, certains individus atteints d'une lésion de l'hémisphère droit peuvent aussi présenter un déficit de la compréhension des métaphores (Brownell, Potter & Michelow, 1984; Brownell *et al.*, 1990; Champagne *et al.*, 2002).

Les premières études concluant à une contribution préférentielle de l'hémisphère droit pour le traitement des métaphores sont basées sur des données obtenues avec des individus cérébrolésés (McIntyre *et al.*, 1976; Brownell, Potter & Michelow, 1984; Brownell *et al.*, 1990; Kemper *et al.*, 1999). Dans leur étude, Brownell Potter & Michelow (1984) ont présenté, à deux groupes de participants atteints d'une lésion cérébrale latéralisée et à un groupe témoin, des triades des mots pouvant être reliés par un sens littéral ou métaphorique. Les auteurs ont montré que, à la différence des individus atteints d'une lésion de l'hémisphère gauche, les cérébrolésés droits ont tendance à choisir les liens littéraux en négligeant les liens métaphoriques. Par opposition, les participants du premier groupe ont choisi plus souvent les liens métaphoriques. Enfin, les individus sans lésion cérébrale ont quant à eux choisi, sans montrer de préférences, des mots liés autant par un sens littéral que métaphorique. Pour certains, cette double dissociation a donné lieu à l'hypothèse que, dans le cerveau intact, l'hémisphère droit aurait un rôle plus important dans le traitement des aspects figuratifs du langage, dont la métaphore. Toutefois, le fait d'avoir des résultats provenant exclusivement d'études de populations cérébrolésées représente une limite théorique pour l'établissement d'inférences valides quant à la nature de la participation de chacun des hémisphères au traitement des métaphores lorsque ceux-ci se trouvent en état de normalité. En d'autres termes, il est toujours possible de

remettre en question les conclusions relatives à la spécialisation hémisphérique lorsqu'elle ne se définit que par exclusion ou déficit neurologique. En effet, le déficit cognitif peut refléter à la fois la perte de la fonction et la réorganisation cognitive de celle-ci afin de compenser le déficit. Ainsi, les troubles présents lors de la compréhension des métaphores à la suite d'une lésion droite peuvent être autant le résultat de la lésion que celui de mécanismes compensatoires adaptatifs ou mal adaptatifs. Enfin, la discussion concernant les compétences langagières de l'hémisphère droit peut également s'articuler autour de la distinction proposée par Hannequin *et al.* (1987) entre le caractère potentiel ou effectif de cette contribution. Plusieurs auteurs se sont attaqués ultérieurement à éclaircir cette problématique dans le contexte du cerveau normal.

Malgré les résultats de quelques études réalisées cette fois-ci avec une population neurologiquement intacte et appuyant l'hypothèse d'une participation exclusive ou prépondérante de l'hémisphère droit au traitement des métaphores (Bottini *et al.*, 1994; Anaki *et al.*, 1998; Mashal *et al.*, 2007), plusieurs auteurs ont obtenu des données contradictoires (Lee & Dapretto, 2006; Stringaris *et al.*, 2007; Rapp *et al.*, 2007). Par exemple, les activations de l'hémisphère droit observées dans l'étude de Bottini *et al.* (1994) ont été interprétées par certains chercheurs comme étant en lien possible avec la nature hautement complexe de la tâche (ex. jugement quant à la plausibilité de la métaphore) plutôt que par une implication spécifique de l'hémisphère droit au traitement des métaphores (Eviatar & Jus, 2006; Rapp *et al.*, 2004; Stringaris *et al.*, 2007). Pour leur part, dans une étude utilisant la technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, Lee & Dapretto (2006) ont présenté des triades des mots dont celui du milieu pouvait avoir un lien littéral ou métaphorique avec l'un des deux autres mots. La comparaison directe entre la condition non-littérale (métaphorique) et la condition littérale a montré une activation significative des régions préfrontales (AB 44) et temporo-pariétales gauches (AB 21 et AB 40) exclusivement. Ils appuient le point de vue selon lequel l'activation cérébrale à prédominance droite décrite dans d'autres études reflète la nature complexe propre du langage figuratif, plutôt qu'une spécialisation de l'hémisphère droit dans la compréhension des métaphores. En utilisant la même technique de

neuroimagerie, Rapp *et al.* (2007) ont calculé des index de latéralité à partir des activations cérébrales significatives obtenues lors du traitement des phrases à contenu métaphorique et littéral. En se basant sur une revue de littérature, ils ont identifié plusieurs régions d'intérêt (ROI) parmi lesquelles le gyrus frontal inférieur (parties operculaire et triangulaire), les gyrus temporaux supérieur, moyen et inférieur, le précunéus, le pôle temporal et l'hippocampe. Aucun effet significatif de latéralité n'a été trouvé pour le traitement des métaphores comparativement au traitement des phrases avec un sens littéral (Rapp *et al.*, 2007). Les auteurs soutiennent que la contribution de l'hémisphère droit à la compréhension des métaphores peut varier selon certains facteurs propres au type de stimuli utilisés tels que la saillance, le contexte, la nouveauté ou la distance sémantique. Ces facteurs ont déjà fait l'objet d'amples discussions entre plusieurs auteurs comme Giora *et al.* (2000), Mashal *et al.*, (2005), Mashal *et al.* (2007), Ahrens *et al.* (2007) et Kasinik & Chiarello (2007) et constituent, sans doute, des variables confondantes dans les protocoles expérimentaux.

Enfin, dans une révision récente du problème réalisée à la lumière des observations en neuroimagerie fonctionnelle disponibles à l'heure actuelle, Giora (2007) conclut à une contribution partagée des deux hémisphères cérébraux pour le traitement des métaphores, remettant ainsi en cause la conception traditionnelle selon laquelle il y aurait une division stricte du processus de traitement, division basée sur la dichotomie gauche-droite. Certains auteurs, allant plus loin dans leurs conclusions, considèrent au premier plan la possibilité d'une coopération interhémisphérique complexe et dynamique autant pour le traitement littéral que pour le traitement figuratif (métaphores) du langage. Arzouan, Goldstein & Faust (2007) ont récemment publié une étude utilisant deux techniques combinées de façon sophistiquée et permettant une haute résolution temporelle, à savoir les techniques de potentiels évoqués événementiels et d'estimation de la source. Lors d'une tâche de jugement sémantique les participants devaient décider s'il y avait un lien ou non entre les mots de chaque paire présentée. Ils ont conclu que les deux hémisphères cérébraux contribuent de façon distincte aux étapes spécifiques du traitement des métaphores. Ainsi,

L'implication de l'hémisphère droit serait nécessaire mais non suffisante, pour garantir la compréhension de ce type de langage figuratif.

Considérées dans leur ensemble, les conclusions des études concernant les bases neuro-anatomiques du traitement des métaphores pointent dans la direction d'une participation orchestrée et dynamique des deux hémisphères cérébraux. Ceci est compatible avec la conception selon laquelle les deux hémisphères sont actifs de façon simultanée et contribuent avec leurs ressources respectives à la réalisation de toute fonction cognitive de haut niveau (Sergent, 1995).

2.c Ressources cognitives et traitement des métaphores

Le traitement des métaphores a souvent été jugé comme correspondant à un traitement plus complexe que celui du traitement du sens littéral des mots ou des phrases. C'est pourquoi il a souvent été suggéré que le traitement du sens métaphorique requiert probablement de plus des ressources cognitives. La définition du concept de ressources cognitives peut se faire autour de trois abstractions (Salthouse, Kausle & Sauls, 1988). La première fait référence à la capacité d'attention (Kanheman, 1973; Wickens, 1989). Selon la deuxième conception, les ressources cognitives sont définies en termes de temps ou vitesse de traitement (Jensen, 1982). Enfin, une dernière catégorie les conçoit en termes d'espace ou de capacité de la mémoire de travail (Baddeley, 1986). Pour sa part, Li (2002) préfère le terme général de ressources de traitement qu'il définit comme l'ensemble constitué par la mémoire de travail, l'attention et la vitesse de traitement de l'information. Indépendamment de la définition retenue, les auteurs reconnaissent que la quantité d'information pouvant être traitée par un système cognitif donné est limitée (Navon & Gopher, 1979). Ainsi, toute tâche exigeant la réalisation conjointe de deux ou plusieurs activités implique une compétition pour les mêmes ressources et, par conséquent, une détérioration de la performance (Kanheman & Treisman, 1984; Navon & Gopher, 1979). Il importe de noter que, dans le cas des processus de haut niveau, comme le traitement des aspects les plus complexes du langage, ce concept de détérioration de la performance pourrait être mieux défini comme une différence de

performance ou de vitesse du traitement par rapport à un processus de moindre complexité.

Depuis deux siècles, il est bien connu que l'hémisphère gauche est capable de traiter le langage dans sa forme et dans son sens. Mis à part l'impact spécifique de l'hémisphère gauche sur les habiletés de traitement linguistique, plusieurs auteurs expliquent certains problèmes de communication verbale présents chez les individus atteints d'une lésion cérébrale gauche en termes d'une distribution ou d'un accès insuffisant ou inadéquat aux ressources cognitives (pour une revue, voir McNeil, Odell & Tseng, 1991). En ce qui concerne le traitement du sens métaphorique, le rôle de cet hémisphère ne semble généralement pas être sujet de débat. En effet, la reconnaissance d'une contribution dominante de l'hémisphère droit pour le traitement des métaphores n'exclut généralement pas l'acceptation d'une participation de l'hémisphère gauche. Par ailleurs, définir la contribution de l'hémisphère droit semble plus problématique. En effet, cette question demeure sans réponse concluante. Certains chercheurs mettent l'accent sur l'hypothèse d'un rôle aspécifique de l'hémisphère droit dans le traitement des métaphores. En d'autres termes, cette participation se ferait sur le plan des ressources cognitives ou des ressources attentionnelles additionnelles nécessaires à l'accomplissement des tâches cognitives exigeantes, dont le traitement des métaphores (Tompkins, 1990; Gagnon *et al.*, 2003; Monetta, Ouellet-Plamondon & Joannette, 2006). Dans cette ligne d'idées, autant dans l'étude de Tompkins (1990) que dans celle de Gagnon *et al.* (2003), les participants cérébrolésés droits ne présentent pas de performances significativement inférieures à celles des participants cérébrolésés gauches lors du traitement des métaphores. Les auteurs suggèrent que ces résultats doivent être interprétés en considérant la nature exigeante de ce type de tâche cognitive. Par conséquent, ils trouvent une explication dans l'hypothèse d'une diminution de la capacité d'allocation des ressources cognitives survenue à la suite d'une lésion cérébrale indépendamment de sa latéralisation. Pour leur part, Monetta, Ouellet-Plamondon & Joannette (2006), ont réussi à reproduire le profil de performance des individus atteints d'une lésion cérébrale droite lors du traitement des métaphores. Ils ont proposé à un groupe d'individus neurologiquement indemnes la même tâche que celle utilisée par Gagnon

et al. (2003) en condition simple (plein accès aux ressources attentionnelles) et double (partage des ressources attentionnelles entre deux tâches). Dans la condition de double tâche, les individus intacts du point de vue neurologique ont vu leurs performances plus affectées lors du traitement des stimuli impliquant l'établissement d'un lien métaphorique entre deux mots que lors du traitement des stimuli impliquant des liens littéraux. Ces résultats seraient comparables à ceux des cérébrolésés droits en condition simple. Les auteurs infèrent donc que la contribution de l'hémisphère droit au traitement des métaphores serait fondée, au moins en partie, sur l'apport des ressources attentionnelles nécessaires pour les processus plus exigeants du point de vue cognitif.

Dans l'ensemble, ces résultats permettent de formuler l'hypothèse selon laquelle les déficits de communication à la suite d'une lésion cérébrale quelconque s'expliqueraient, au moins en partie, par le biais d'une diminution des ressources cognitives disponibles. Ces ressources cognitives sont de nature transversale puisqu'elles soutiennent des processus cognitifs de différents types dont les processus langagiers sont un exemple. Une diminution ou une difficulté d'allocation de ces ressources serait pour certains auteurs l'une des raisons des troubles présents chez les cérébrolésés droits lors de la compréhension des métaphores. Mais, mise à part une lésion, dans quelles autres conditions le cerveau pourrait-il être soumis à une baisse des ressources cognitives? Partant de l'hypothèse que le traitement des métaphores exige la mise en œuvre de processus cognitifs requérant une plus grande quantité de ressources attentionnelles, la question de la possibilité de changements sur ce plan lors du vieillissement normal s'avère pertinente.

2.d Vieillesse et traitement des métaphores

Bien que la communication verbale se modifie avec l'âge (Van der Linden & Hupet, 1994), la compréhension du langage est l'un des aspects typiquement considéré comme étant préservé lors du vieillissement normal (Wingfield & Grossman, 2006). Par ailleurs, la littérature concernant l'effet possible de l'âge sur la compréhension des métaphores demeure relativement pauvre et se limite la plupart du temps à des

études comportementales. Dans leur ensemble, les résultats rapportés à ce sujet convergent dans le sens d'une absence de différences significatives lorsque les performances des adultes jeunes et âgés sont comparées (Szuchman & Erber, 1990; Gregory & Waggoner, 1996; Newsome & Glucksberg, 2002). Une étude rapporte même une performance inférieure des participants adultes jeunes par rapport à celle de leurs homologues âgés (Bonnaud, Gil & Ingrand, 2002). Ainsi, les habiletés impliquées dans la compréhension des métaphores semblent intactes lors du vieillissement normal. Par ailleurs, le fait de démontrer des performances comparables voire meilleures que celles des adultes jeunes ne répond pas à une question fondamentale: le problème de l'existence possible de différences concernant les processus cognitifs sous-jacents qui demeurent "invisibles" à la simple analyse des performances. Au moins trois considérations ressortent de ce questionnement:

- la première fait référence à la possibilité que les adultes âgés utilisent des stratégies cognitives différentes de celles des adultes jeunes,
- la deuxième évoque l'effet possible sur le traitement du langage des changements dans la gestion des ressources attentionnelles propre du vieillissement,
- enfin, la troisième découle des observations en neuroimagerie fonctionnelle qui mettent en évidence la présence de changements au plan des réseaux neuronaux impliqués dans différents processus cognitifs.

En ce qui concerne la première considération, il est traditionnellement accepté que le vieillissement s'accompagne de changements sur le plan des stratégies cognitives (Light, 1991). Il est à noter que le fait de se servir de stratégies cognitives différentes peut ou non avoir un effet bénéfique sur les performances. Par exemple, Schacter *et al.*, (1996) ont trouvé que dans une condition exigeante d'évocation indicée, les participants âgés montraient une activation plus faible au niveau des régions du cortex préfrontal (CPF) mais une activation plus marquée au niveau de l'aire de Broca, comparativement aux participants jeunes. Les auteurs proposent que, au lieu d'employer des stratégies mnésiques (propres du CPF), les adultes âgés ont eu recours à des stratégies phonologiques inefficaces (par le biais du recrutement de l'aire de Broca). Par ailleurs, lorsque les performances sont maintenues, l'emploi d'une stratégie consciente ou d'un mécanisme compensatoire a été évoqué par

certain auteurs. En ce qui a trait à la compréhension des métaphores, l'analyse qualitative des réponses fournies par les participants âgés suggère, dans certains cas, l'existence de stratégies cognitives différentes en présence d'une performance préservée. Gregory & Waggoner (1996) ont proposé à deux groupes d'adultes (jeunes et âgés) des métaphores à contenu émotionnel (ex : « *Joe was crashing thunder* », signifiant qu'il était en colère). Quatre contenus émotionnels ont été utilisés : la joie, la colère, la tristesse et la peur. Les participants devaient sélectionner, parmi deux possibilités, l'interprétation valide et expliquer par écrit les raisons de leurs choix. Les deux groupes ont présenté des performances similaires en ce qui concerne la sélection des interprétations. L'explication fournie constitue la différence principale: les participants âgés avaient tendance à créer des histoires à propos du protagoniste de l'énoncé tandis que les participants jeunes se concentraient sur les attributs de la métaphore proprement dite. Enfin, ces auteurs soulignent l'existence de styles cognitifs différents avec l'âge qui pourraient effectivement expliquer l'utilisation de stratégies cognitives diverses.

La deuxième considération (modification de la gestion des ressources attentionnelles avec l'âge) évoque les changements possibles quant à la gestion des ressources attentionnelles. Mises à part les lésions cérébrales et les conditions pathologiques telles que la maladie d'Alzheimer, le processus de vieillissement normal est reconnu pour imposer également une diminution des ressources cognitives disponibles (Salthouse, 1994). Il a par exemple été démontré que la performance des adultes âgés est altérée dans un contexte de manipulation de l'attention divisée (Anderson, Craik & Naveh-Benjamin, 1998). Une autre preuve découle des observations concernant le recrutement des régions cérébrales additionnelles chez les adultes âgés documentés par certains auteurs (entre autres, Reuter-Lorenz *et al.*, 2000) et pouvant être le reflet d'un besoin supplémentaire de ressources attentionnelles. Compte tenu de la nature exigeante en ressources du traitement du langage non-littéral comparativement au traitement du langage littéral, il est possible de soupçonner que des modifications sont possibles sur ce plan lors du vieillissement normal (Champagne, Jean-Louis & Joannette, 2006). Bien que ces auteurs n'aient pas trouvé de différence significative entre les individus âgés et les individus jeunes évalués, ils infèrent un effet de l'âge

sur une étape précoce du traitement du langage non-littéral qu'ils supposent plus exigeante en ressources cognitives. Toutefois, il n'y a pas à l'heure actuelle suffisamment de preuves appuyant cette hypothèse dans le contexte du traitement des métaphores.

Enfin, la troisième considération résulte des observations impliquant une modification avec l'âge du substrat neuroanatomique sous-tendant différents processus cognitifs. Ceci a été possible grâce à l'utilisation de différentes techniques de neuroimagerie dont la résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) et la tomographie par émission de positrons (TEP). Dans leur ensemble, les résultats de ces études mettent en évidence une diminution des asymétries cérébrales, ainsi qu'une antériorisation ou une postériorisation des activations cérébrales en présence d'une performance préservée chez les adultes âgés. Ces phénomènes ont été décrits sous les acronymes HAROLD et PASA et ils feront l'objet d'une révision plus approfondie dans la section suivante.

3 Vieillesse, cerveau et cognition

Certains aspects de la réorganisation neurofonctionnelle associée à la préservation de plusieurs fonctions cognitives lors du vieillissement normal ont été décrits sous le phénomène *HAROLD* (*Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults*) (Cabeza, 2002). Cette proposition repose sur un certain nombre d'observations en neuroimagerie fonctionnelle qui convergent dans le sens d'une activation cérébrale tendant à être moins latéralisée chez les personnes âgées ayant conservé un fonctionnement cognitif optimal lorsque les profils des activations cérébrales sont comparés à ceux des jeunes adultes. Plus particulièrement, ces études montrent une réduction des asymétries cérébrales, notamment dans les régions frontales du cerveau (Cabeza *et al.* 1997; Grady *et al.* 1999; Grady et Craik 2000; Reuter-Lorenz *et al.* 2000; Logan *et al.* 2002; Nielson, Langenecker & Garavan, 2002). Cette réduction de la latéralisation des activations cérébrales suggérée par le phénomène *HAROLD* est interprétée soit comme le reflet de l'augmentation des activations contralatérales

permettant la mise en place d'un mécanisme compensatoire pour contrecarrer le déclin cognitif lié au vieillissement, soit comme un mécanisme de dédifférenciation expliqué par la présence des difficultés de recrutement des mécanismes neuronaux spécialisés (Cabeza 2002). Enfin, la plupart des indices supportant ce phénomène proviennent des études sur la mémoire épisodique, la mémoire sémantique, la mémoire de travail, la perception et le contrôle inhibitoire. Malgré l'existence de quelques études sur le traitement du langage avec des résultats qui vont dans la même direction, il n'existe présentement pas de preuve assez robuste pour permettre de généraliser ce phénomène aux ensembles neurofonctionnels sous-tendant le langage.

De la même façon que le profil d'activation cérébrale interhémisphérique change avec l'âge, il est possible d'anticiper que certains changements sur le plan intrahémisphérique semblent également avoir lieu. En effet, l'existence d'une réorganisation intrahémisphérique a été rapportée dans plusieurs études et suggère un déplacement des activations frontales vers les régions occipito-temporales et vice-versa (voir Grady *et al.* 2006 pour un état de l'art sur ce sujet). Une diminution des activations du cortex préfrontal a été rapportée dans des études de neuroimagerie fonctionnelle portant sur la mémoire, telle que la reconnaissance des visages (Grady *et al.* 1994) et a été interprétée comme un problème d'encodage. Par ailleurs, d'autres études décrivent le phénomène inverse, c'est-à-dire une augmentation de l'activation des régions frontales du cerveau (Cabeza *et al.* 2002; Grady *et al.* 2002). Ce dernier phénomène est décrit par Davis *et al.* (2008) par l'acronyme *PASA* (*Posterior Anterior Shift in Aging*). Ce fait a été observé dans différents domaines de la cognition mais sa généralisation au domaine du traitement sémantique des mots n'a pas été démontrée. Pour le moment, quelques auteurs rapportent l'absence de résultats compatibles avec ce phénomène lorsque la mémoire sémantique est sollicitée (Persson *et al.*, 2004).

Il y a, à l'heure actuelle, peu d'études sur le traitement du langage explorant ces deux phénomènes de façon explicite. Dans leur étude, Ouellet-Plamondon *et al.*, (2006) ont proposé une tâche de jugement sémantique à un groupe d'individus jeunes et âgés. Les participants devaient décider si un mot présenté à l'écran d'un ordinateur

correspondait au nom d'un animal ou non. Ils ont effectivement observé une réorganisation inter- et intrahémisphérique ainsi qu'une réorganisation cortico-sous-corticale, associée à une performance préservée chez les adultes âgés. De plus, Wingfield & Grossman (2006) rapportent dans une revue de littérature, que plusieurs études sur la compréhension de phrases appuient le phénomène de réduction des asymétries cérébrales décrite dans le phénomène HAROLD. Toutefois, aucune de ces études ne permet de généraliser ces phénomènes au traitement des métaphores.

4 L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle comme méthodologie pour explorer l'organisation fonctionnelle du cerveau

Dès la fin du XIX^e siècle, de nombreuses approches technologiques résultant de la révolution scientifique ont donné lieu à diverses applications dans l'étude du système nerveux central. Entre autres, les progrès de l'électromagnétisme, de la chimie organique et de la microscopie sont à la base d'outils servant à l'étude du cerveau et ont permis de renouveler les méthodes de recherche reposant jusqu'alors essentiellement sur l'anatomie descriptive. En effet, les fondements théoriques concernant l'organisation du langage au niveau cérébral se sont longtemps appuyés sur l'approche du déficit lésionnel, soit la concordance d'une lésion cérébrale (transitoire ou permanente) et l'observation de déficits cliniques observée. Ceci permettait alors de déduire la pertinence et, dans certains cas, le rôle spécifique de cette région dans l'architecture fonctionnelle du cerveau pour le langage (Bookheimer, 2002). Dès lors, la connaissance de l'anatomie fonctionnelle du cerveau était la condition essentielle pour relier les signes cliniques et la topographie des lésions symptomatiques, mais il n'y avait pas de façon d'imager cette cartographie fonctionnelle. Grâce aux développements technologiques, la neuroimagerie permet aujourd'hui, avec une grande précision, de situer les lésions et déceler le dysfonctionnement des différentes régions cérébrales, comme celles associées au langage.

L'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) est une technique d'exploration cérébrale à caractère non invasif parmi les plus utilisées qui permet de décrire l'organisation neurofonctionnelle à la base du déploiement des processus cognitifs complexes tels que ceux impliqués dans le traitement du langage. Cette exploration met en jeu certaines techniques d'IRM capables de détecter en temps réel d'infimes variations de l'irrigation sanguine. En effet, elle ne détecte pas directement l'activité cérébrale mais profite de l'existence d'un couplage entre l'activité neuronale et la variation de certains paramètres cérébrovasculaires. En effet, l'augmentation de l'activité neuronale s'accompagne localement d'une augmentation du volume sanguin cérébral, du débit sanguin cérébral et de l'oxygénation sanguine. Plus spécifiquement, cette technique exploite les modifications fonctionnelles propres de la susceptibilité magnétique du sang en aval des groupes neuronaux activés (Fox et Raichle, 1986). L'IRMf permet ainsi, par comparaison avec une situation de référence, de cartographier les activités fonctionnelles du cerveau. Les contrastes obtenus sur la base de ces propriétés ont été baptisés "BOLD" (pour *Blood Oxygen Level Dependent*). Ils exploitent la diminution de la concentration de la désoxyhémoglobine en aval des neurones activés qui induit une diminution de la différence de susceptibilité magnétique, donc une diminution du champ magnétique perturbateur qui entraîne une réponse IRM positive (augmentation de l'intensité du signal).

5 Problématique, question générale, objectifs spécifiques

Le résumé des connaissances présentement disponibles quant aux sous-basements neurofonctionnels du traitement du sens métaphorique des mots et de sa dynamique cognitive et neurofonctionnelle dans un contexte de vieillissement montre ses importantes limites. Par conséquent, l'objectif de cette thèse est de mieux comprendre la nature et la direction des changements possibles, aussi bien au niveau des processus cognitifs qu'à celui des substrats neurobiologiques qui les sous-tendent, dans le traitement du sens métaphorique des mots lors du vieillissement normal.

En effet, l'existence d'une réorganisation fonctionnelle dans le contexte du vieillissement normal a récemment été rapportée pour certains aspects du langage (Wingfield & Grossman, 2006). Par ailleurs, la possibilité de changements dans le domaine du langage figuratif n'a pas encore été documentée. Le traitement des métaphores, étant amplement étudié chez les jeunes et étant considéré comme l'une des fonctions préservées chez les personnes âgées, offre un excellent champ d'étude afin d'observer une éventuelle réorganisation fonctionnelle du langage avec l'âge. L'un des objectifs de cette thèse est donc d'étudier ce phénomène de réorganisation fonctionnelle pour la compréhension du sens métaphorique des mots. Le recrutement des réseaux neuronaux additionnels reflétant le besoin de ressources attentionnelles supplémentaires afin de maintenir la performance à une tâche donnée pourrait être l'une des explications possibles à la réorganisation fonctionnelle décrite pour certaines fonctions cognitives chez les personnes âgées. Ainsi, un autre objectif de ce travail est de vérifier la disponibilité des ressources attentionnelles pour le traitement du sens métaphorique des mots et son évolution possible avec l'âge.

6 Structure de la thèse

Ce travail est structuré autour de trois articles.

Un article introductoire concernant la problématique générale constitue le chapitre 2 de la thèse. Cet article s'intitule *Modifications de la dynamique inter-hémisphérique: un indice de l'effet de l'âge sur le langage?*

Puis, afin de répondre aux objectifs mentionnés ci-dessus, une étude comportementale a été réalisée afin de vérifier la disponibilité des ressources attentionnelles pour le traitement du sens métaphorique des mots et son évolution possible avec l'âge. Les résultats de cette étude sont décrits dans l'article inclus dans le troisième chapitre et intitulé: *Age-dependent evolution of the attentional resources for the phonological and semantic processing of words: cues in favor of an extension of the HAROLD model to language.*

Enfin, une autre étude menée à l'aide de la technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle a été réalisée afin de décrire les profils d'activation cérébrale des participants jeunes et âgés lors du traitement du sens métaphorique des mots et mettre à l'épreuve l'hypothèse d'une éventuelle réorganisation fonctionnelle. Le chapitre 4 rapporte l'étude intitulée: *When metaphors go literally beyond their territories: The impact of age on figurative language.*

CHAPITRE II

Révision de la littérature pour un positionnement de la problématique générale: langage et vieillissement

**Modifications de la dynamique inter-hémisphérique:
un indice de l'effet de l'âge sur le langage? 43**

Beatriz Mejía-Constaín, Nathalie Walter & Yves Joannette
Rééducation Orthophonique 2004, 219: 57–66

Révision de la littérature

Résumé	45
Abstract	46
Introduction	47
Conceptions classiques	47
Développement et vieillissement	49
Le dénominateur commun des changements biologiques et cognitifs	51
Conclusions: implications cliniques	53
Références	55

Résumé

À ce jour, la majorité des modèles neurocognitifs du langage proposent une organisation fonctionnelle qui postule une fixation définitive à l'âge adulte comme s'il s'agissait de son état final. Des propositions récentes basées sur des observations faites en neuroimagerie fonctionnelle suggèrent que l'organisation fonctionnelle du cerveau continuerait à évoluer avec l'âge, même au cours de la vie adulte. Ces faits suggèrent que les sous-basements neurobiologiques du langage subissent des modifications similaires avec le vieillissement. Cet article vise à résumer ces faits et à présenter les impacts de ces éventuels changements sur l'évolution avec l'âge du rôle anticipé de chacun des hémisphères pour le langage. La prise en compte du facteur "vieillessement" devrait ainsi avoir des impacts sur la conception des bases neurobiologiques du langage tout comme sur les façons d'aider au mieux les individus porteurs de troubles de la communication après une lésion cérébrale. Ces avancées en neurosciences cognitive du langage représentent une étape fondamentale pour l'élaboration de programmes de prise en charge mieux adaptés aux survivants des accidents vasculaires cérébraux qui sont de plus en plus âgés.

Mots clés: langage, représentation neurobiologique, dynamique inter-hémisphérique, modèles neurocognitifs du vieillissement.

Abstract

Modifications of interhemispheric dynamics: an index of the influence of age on language?

Most current neurocognitive models of language propose a functional organization which asserts the notion of a definitive fixation point, as if language had reached its final state. Recent models based on findings from functional neuroimaging suggest that the functional organization of the brain continues to evolve with age, even during adulthood. This suggests that the neurobiological substrates of language undergo similar changes with aging. The purpose of the present article is to review these findings and to examine the impact of these changes on the age-related evolution of the role of each hemisphere in language. Taking into account the effect of aging also influences the way we conceptualize the neurobiological bases of language, as well as methods used for assisting individuals who suffer language from deficits following a brain lesion. These types of advances in the cognitive neuroscience of language represent a fundamental step for the development of rehabilitation programs designed for stroke survivors, who are becoming older as the population ages.

Keywords: language, neurobiological representation, inter-hemispheric dynamics, neurocognitive models of aging.

Introduction

Traditionnellement, les modèles neurocognitifs du langage ne prennent pas en compte la dimension temporelle propre à tout processus humain dans ces représentations. L'étude de l'organisation cérébrale du langage s'est basée, entre autres, sur des données provenant du développement de l'enfant et de l'évolution des êtres vivants, pour lesquels le facteur temps est évidemment le protagoniste principal. Les modèles neurocognitifs traditionnels proposent néanmoins une organisation fonctionnelle du langage qui reflète seulement le niveau "adulte" de l'établissement du langage, comme s'il s'agissait du dernier état possible. Dans cet article, nous allons faire une brève allusion aux conceptions classiques du langage pour ensuite nous intéresser aux changements neurobiologiques propres au développement et au vieillissement qui affectent le langage. Par la suite, nous allons considérer différentes hypothèses qui tentent d'expliquer la cause des changements cognitifs propres au vieillissement normal et comment ces changements peuvent affecter la dynamique inter-hémisphérique sous-tendant le langage. Parmi ces hypothèses, nous regarderons avec une attention spéciale celle de la "concentration" proposée par Jason Brown (1976) et celles de la "dédiérenciation" et de la "compensation" avancées plus récemment par Roberto Cabeza (2002). Nous suggérons que le fait d'inclure la dimension temporelle dans les modèles du langage a des implications majeures tant sur le plan théorique que sur celui de l'implication clinique.

Conceptions classiques

Il semble évident au regard d'un clinicien en orthophonie que les modèles classiques du langage souffrent d'une réductionnisme excessif. Pour une revue, voir Caplan, (1994). En dépit de certaines limites dont nous discuterons plus bas, les modèles traditionnels du langage, tel que celui de Wernicke-Lichtheim-Geschwind (Poeppel & Hickok, 2004), sont encore aujourd'hui acceptés comme point de départ de l'étude de l'évolution normale et/ou pathologique des processus langagiers. Ce modèle

considère, entre autres, que des "centres" traditionnels du langage représentent les seules bases neurobiologiques des différentes composantes du langage. Ces centres, situés au niveau de l'hémisphère gauche, comprennent notamment l'aire de Wernicke pour le "centre des images auditives des mots" et l'aire de Broca pour le "centre des images motrices des mots". Par conséquent, d'après ce modèle, les altérations du langage sont le résultat d'une lésion focalisée qui touche soit l'un, l'autre ou plusieurs "centres" bien localisés. Les déficits langagiers observés peuvent également résulter d'une interruption des connexions entre ces différents centres.

En dépit de ses avantages explicatifs, on peut signaler essentiellement quatre grandes faiblesses à ce modèle:

1. l'absence d'implication de l'hémisphère droit dans les processus langagiers (aspects sémantiques, prosodiques, pragmatiques, etc.);
2. un manque de considération des interactions du langage avec les autres systèmes cognitifs essentiels tels que la mémoire sémantique ou l'attention;
3. la négligence de l'influence de la culture et de l'expérience personnelle sur l'organisation du langage;
4. l'oubli total de la dimension temporelle qui rend possible le caractère dynamique du fonctionnement cérébral.

Sans diminuer l'importance des trois premières critiques par rapport à la dernière, nous pouvons dire cependant que ce modèle propose une organisation fonctionnelle du langage qui représente exclusivement celle de l'adulte jeune ou d'âge moyen, mais qui néglige toute considération de l'éventuelle évolution des bases neurobiologiques du langage chez l'adulte âgé. Quelques auteurs soupçonnent cependant que l'organisation fonctionnelle sous-tendant le langage implique des changements qui s'inscrivent tout au long de la vie (Joanette, 1985; Brown, 1976). Une telle conception se présente à l'encontre de la limite temporelle qui coïncide traditionnellement avec la fin du développement des bases neurobiologiques du langage chez l'enfant. Elle inclut toute la dynamique propre aux changements neurobiologiques et cognitifs du processus du vieillissement.

Développement et vieillissement

En transposant nos connaissances sur l'acquisition du langage chez l'enfant, nous pouvons mettre l'accent sur le caractère dynamique et temporel de l'évolution de cet important domaine de la cognition durant tous les stades de la vie. De multiples observations cliniques et études du processus de récupération chez les enfants ayant subi une lésion cérébrale unilatérale gauche ou droite, offrent des informations extrêmement pertinentes pour la compréhension d'un tel dynamisme. Il est surprenant de voir que ces enfants atteignent souvent un niveau normal de langage, comparable à celui d'enfants sains (Feldman, Holland, Kemp & Janowsky, 1992; Varga-Khadem, Isaacs, Papeleoudi, Polkey & Wilson, 1991). De telles observations ont servi, au premier abord, à supporter l'idée d'une "équipotentialité" relative, à un stade initial du développement, des deux hémisphères en ce qui concerne le langage, alors que par la suite elles sont venues renforcer l'idée de la grande plasticité du cerveau en développement. Nous savons qu'avec l'expérience, une réorganisation massive se produit dans les réseaux responsables du langage, non seulement en cas de lésions, mais aussi en condition normale. Par exemple, une étude en potentiels évoqués cognitifs (PEC), réalisée par Mills, Coffey-Corina & Neville (1997), a montré les changements dans l'organisation de l'activité cérébrale reliée à la compréhension de mots isolés chez des enfants âgés de 13 à 20 mois. Les auteurs ont ainsi présenté aux participants des séries de mots: certains d'entre eux étaient connus tandis que d'autres ne l'étaient pas. Les PEC présentaient des variations précoces (autour de 200 ms après l'apparition de chaque stimulus) en fonction de la compréhension des mots. Pour les enfants âgés de 13 à 17 mois, les différences électrophysiologiques relatives à la compréhension des mots étaient présentes de façon bilatérale et largement distribuées aux régions antérieures et postérieures de la surface du cerveau. En revanche, chez les enfants âgés de 20 mois, ces effets étaient limités aux zones temporales et pariétales de la partie gauche du cerveau.

Dans une revue de littérature, Nobre & Plunkett (1997) mentionnent également une autre étude où Mills, Thal, Dilulio, Castaneda & Neville (1995) trouvent un profil

similaire de PEC pour la compréhension des mots de fonction (mots grammaticaux, par contraste aux mots de contenu) mais chez des enfants plus âgés. De manière générale, les auteurs s'entendent pour établir un lien entre les changements de l'activité neuronale et la courbe de développement du lexique des enfants. Ces études montrent qu'un dynamisme propre des réseaux neuronaux sous-tendant le langage s'établit avec le développement. Bien que ce dynamisme suppose une augmentation progressive de la latéralisation des fonctions langagières, il ne peut pas être considéré comme homogène ni être remplacé par les modèles adultes puisqu'il dépend de la qualité des acquisitions langagières et de leur date d'apparition.

Ainsi, on ne peut pas considérer les bases neurobiologiques du langage en développement chez l'enfant comme étant une version immature des celles de l'adulte. De la même façon, il n'est pas non plus possible d'accepter que ces mêmes bases, cette fois chez la personne âgée, ne soient que la version appauvrie de ce qui était installé chez l'adulte jeune. Est-ce que les changements cognitifs généraux propres au vieillissement normal surviennent dans des systèmes "encapsulés" qui n'ont aucune influence sur le système du langage? Est-ce que le système du langage est "imperméable" aux changements des réseaux neuronaux propres au vieillissement normal? En d'autres mots, est-ce que les bases neurobiologiques du langage sont "insensibles" au passage du temps depuis l'âge adulte?

Pour fournir un début de réponse, il semble nécessaire de considérer plusieurs hypothèses relatives aux changements cognitifs liés au processus du vieillissement normal. Du point de vue biologique, des études comme celles de Morrison & Hof (1997) mettent en lumière des modifications neurochimiques affectant même les réseaux neuronaux structurellement intacts chez les personnes âgées. Par ailleurs, un changement dans les structures cérébrales, propre au vieillissement, a aussi été mis en évidence grâce aux techniques d'imagerie cérébrale (Coffey, Ratcliff, Saxton, Bryan, Fried & Lucke, 2001). Du point de vue cognitif, quelques études comme celle de Schacter, Savage, Alpert, Rauch & Albert (1996) révèlent certaines différences au niveau des stratégies cognitives utilisées par les personnes âgées lors de la résolution de tâches cognitives en comparaison aux stratégies typiquement utilisées par des

personnes plus jeunes. Par ailleurs, d'autres auteurs privilégient l'hypothèse d'une réduction générale des "ressources de traitement" (Li, 2002) chez les adultes âgés. En dépit du fait que Li (2002) considère les ressources de traitement comme étant un ensemble constitué de la mémoire de travail, de l'attention et de la vitesse de traitement de l'information, certains auteurs se sont attachés à étudier chacune de ces dimensions de manière isolée chez les personnes âgées (Braver & Barch, 2002; Anderson, Iidaka, Cabeza, Kapur, McIntosh & Craik, 2000; Braver & Barch, 2002; Verhaeghen & Cerella, 2002).

Le dénominateur commun des changements biologiques et cognitifs

Quelques propositions théoriques visent à réconcilier les changements biologiques et cognitifs lors du vieillissement. Ces propositions ont en commun l'inclusion de la dimension temporelle, non seulement comme un phénomène périphérique aux changements du langage mais comme une variable entraînant des conséquences identifiables. La première parmi ces hypothèses est celle de la "concentration" proposée par Jason Brown en 1976. Dans sa vision des choses, l'auteur postule que les réseaux neuronaux sous-tendant les processus langagiers subissent une "concentration" vers certaines zones spécifiques de l'hémisphère gauche avec l'âge. C'est donc dire que le langage se latéraliserait progressivement tout au long de la vie. Pour Brown (1976), c'est justement ce processus de restriction progressive (intra et inter-hémisphérique) du substrat neurobiologique du langage qu'appuie l'existence des pôles "Broca" et "Wernicke" de la zone du langage. Selon cette conception, une lésion localisée à l'hémisphère droit conduirait, avec l'âge, de moins en moins à l'apparition d'une aphasie. Et c'est également ainsi que la survenue d'une lésion temporale provoquerait une aphasie de Wernicke beaucoup plus sévère chez les personnes âgées que chez les jeunes. Avec l'âge, les composantes du langage subiraient une telle "concentration" autour de l'aire de Wernicke, qu'une lésion à cet endroit aurait sans doute des conséquences néfastes pour le langage. Or, cette proposition théorique n'a jamais reçu d'appuis empiriques. Les seules études

(Nocentini, Goulet, Drolet & Joanne, 1999) ayant tenté d'y trouver des appuis observés n'ont réussi qu'à offrir des résultats négatifs.

Après plusieurs décennies sans aucune réflexion théorique dans ce sens, voilà que des propositions, cette fois basées sur des faits observés et notamment sur des études en neuroimagerie, sont maintenant disponibles. C'est ainsi que récemment, Cabeza (2002) a proposé un modèle [HAROLD: Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults (Réduction de l'asymétrie interhémisphérique chez l'adulte âgé)] pour décrire les effets de l'âge sur la représentation cérébrale des fonctions cognitives. Ce modèle suggère qu'il y ait une réduction de l'asymétrie cérébrale chez les personnes âgées, mais seulement chez celles ayant conservé un fonctionnement optimal par rapport aux adultes jeunes. Cette réduction de l'asymétrie cérébrale peut résulter aussi bien d'une augmentation de l'activation des régions cérébrales qui n'étaient pas sollicitées auparavant, ou encore d'une diminution de l'activation des aires initialement dévolues au processus cognitif concerné (voir figure 1). Pour expliquer cette réduction de l'asymétrie cérébrale, Cabeza se sert de deux hypothèses: la "dédifférenciation" et la "compensation". En ce qui concerne la première hypothèse, Cabeza (2002) propose que la réduction des asymétries reflète une difficulté à recruter des réseaux neuronaux spécialisés qui étaient disponibles lorsque la personne était un jeune adulte. Pendant le vieillissement, différentes composantes de la cognition commencent à utiliser des ressources similaires. En d'autres mots, le processus de différenciation fonctionnel chez l'enfant est renversé grâce au processus de dédifférenciation fonctionnelle chez l'adulte âgé. Cabeza (2002, 2001) mentionne, quant à l'hypothèse de "compensation", que le recrutement des réseaux neuronaux bihémisphériques chez les adultes âgés peut être le résultat d'un processus de compensation dû au déclin cognitif qu'ils présentent. Dans ce cas, il est nécessaire pour eux d'utiliser des stratégies alternatives pour accomplir les mêmes tâches cognitives en faisant appel à différents réseaux neuronaux. Le modèle est basé sur des données relatives à la mémoire épisodique, à la mémoire sémantique, à la mémoire de travail, au contrôle inhibiteur et à la perception. Jusqu'à présent, il n'existe pas vraiment de données permettant de généraliser ce modèle au traitement du langage. En accord avec le lien commun de ces deux dernières hypothèses, soit l'influence du

temps dans les réseaux neuronaux sous-tendant différentes fonctions cognitives, il est possible aussi que la dynamique sous-tendant le langage subisse une telle modification. De fait, une étude de Bellis, Nicol et Kraus (2000) utilisant les potentiels évoqués cognitifs a mis en lumière une réduction des asymétries cérébrales dans le cadre d'une tâche de discrimination de syllabes, chez des adultes de plus de 55 ans par rapport à des jeunes (20 à 25 ans) et à des enfants (8 à 11 ans).

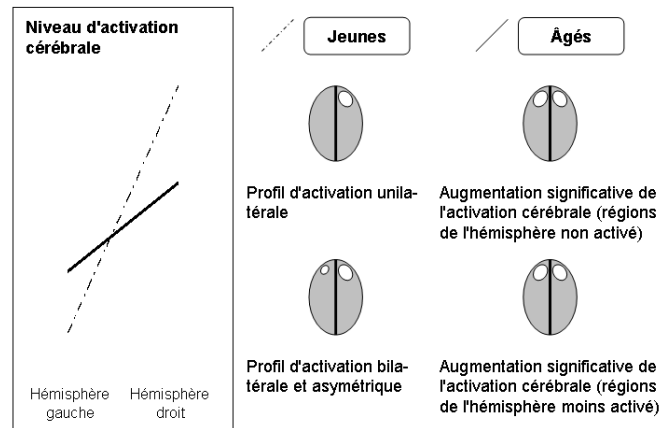


Figure 1. Exemples de profil d'activation cérébrale illustrant une réduction des asymétries hémisphériques liées à l'âge (issu et adapté de Cabeza, 2002).

Conclusions: implications cliniques

La prise en compte de la dimension temporelle dans les modèles du langage devrait entraîner des impacts sur les conceptions théoriques autant que sur les implications cliniques. En effet, l'exploration des changements neurocognitifs liés au vieillissement normal, dans le domaine du langage, est une étape fondamentale pour permettre l'élaboration de programmes de prise en charge mieux adaptés à une population vieillissante normale et cérébrolésée. Il apparaît en effet évident que les stratégies de prise en charge des individus qui souffrent de troubles de la communication, suite à une lésion hémisphérique gauche ou droite, devront prendre en considération ce phénomène de dédifférenciation. Il est fort possible que la réduction de l'asymétrie cérébrale, observable en neuroimagerie fonctionnelle et associée au phénomène de dédifférenciation, puisse alors devenir un indice de bonne

récupération (Ansaldo, 2004) car elle témoignerait alors de la plasticité cérébrale susceptible de permettre une réinstallation optimale des comportements langagiers. Dans tous les cas, ce cadre de réflexion change notre façon de concevoir l'organisation fonctionnelle du cerveau pour le langage chez l'adulte, quel que soit son âge, en lui insufflant une dimension de changement et de plasticité tout au long de sa vie.

Références

- Anderson, N.D., Iidaka, T., Cabeza, R., Kapur, S., McIntosh, A.R., & Craik, F.I.M. (2000). The Effects of Divided Attention on Encoding- and Retrieval-Related Brain Activity: A PET Study of Younger and Older Adults. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 12, 775-92.
- Ansaldo, A.I. (2004). La contribution de l'hémisphère droit à la récupération de l'aphasie: exemples de plasticité adaptée et dysfonctionnelle et pistes d'intervention orthophonique. *Rééducation orthophonique*, 19, 79-94.
- Bellis, T., Nicol, T., & Kraus, N. (2000). Aging affects hemispheric asymmetry in the neural representation of speech sounds. *Journal of Neuroscience*, 20, 791-797.
- Braver, T.S., & Barch, D.M. (2002). A theory of cognitive control, aging cognition, and neuromodulation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 809-817.
- Brown, J. (1976). The neural organization of language: aphasia and lateralization. *Brain and Language*, 3, 482-494.
- Cabeza, R. (2001). Cognitive neuroscience of aging: Contributions of functional neuroimaging. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42, 277-286.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.
- Caplan, D. (1994). Language and the brain. In M.A. Gernsbacher (Ed.) *Handbook of Psycholinguistics*. San Diego (CA): Academic Press.
- Coffey, C.E., Ratcliff, G., Saxton, J.A., Bryan, R.N., Fried, L.P., & Lucke, J.F. (2001). Cognitive Correlates of Human Brain Aging: A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Investigation. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 13, 471-485.
- Feldman, H., Holland, A., Kemp, S., & Janowsky, J. (1992). Language development after unilateral brain injury. *Brain and Language*, 42, 89-102.
- Joanette, Y. (1985). Hémisphère droit et langage: la quatrième dimension. *Annales de la Fondation Fyssen*, 1, 25-32.

- Li, S. (2002). Connecting the Many levels and Facets of Cognitive Aging. *American Psychological Society*, 11, 38-42.
- Mills, D.L., Coffey-Corina, S.A., & Neville, H.J. (1997). Language comprehension and cerebral specialization from 13 to 20 months. *Developmental Cognitive Neuropsychology*, 13, 397-445.
- Morrison, J.H., & Hof, P.R. (1997). Life and death of neurons in the aging brain. *Science*, 278, 412-429.
- Nobre, A.C., & Plunkett, K. (1997). The neural system of language: structure and development. *Current Opinion in Neurobiology*, 7, 262-268.
- Nocentini, U., Goulet, P., Drolet, M., & Joannette, Y. (1999). Age-related evolution of the contribution of the right hemisphere to language: absence of evidence. *International Journal of Neuroscience*, 99, 59-67.
- Poeppel, D. & Hickok, G. (2004). Towards a new functional anatomy of language. *Cognition*, 92, (1-2): 1-12.
- Shacter, D.L., Savage, C.R., Alpert, N.M., Rauch, S.L., & Albert, M.S. (1996). The role of hippocampus and frontal cortex in age-related memory changes: A PET study. *NeuroReport*, 7, 1165-1169.
- Varga-Khadem, F., Isaacs, E.B., Papeleoudi, H., Polkey, C.E., & Wilson, J. (1991). Development of language in 6 hemispherectomized patients. *Brain*, 114, 473-495.
- Verhaeghen, P., & Cerella, J. (2002). Aging, executive control, and attention: a review of meta-analyses. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 26, 849-857.

Étude comportementale

Étude 1

59

Age-dependent evolution of the attentional resources for the phonological and semantic processing of words: cues in favor of an extension of the HAROLD model to language.

Beatriz Mejía-Constaín, Nathalie Walter, Marianne Arsenault & Yves Joanette

Brain and Language, 2005, 95: 76-77

ÉTUDE 1

Age-dependent evolution of the attentional resources for the phonological and semantic processing of words: cues in favor of an extension of the HAROLD model to language

Beatriz Mejía-Constaín, Nathalie Walter, Marianne Arsenault & Yves Joanette

Brain and Language, 2005, 95: 76-77

Introduction	61
Methods	61
Participants	61
Materials	62
Procedure	62
Results	63
Conclusion	64
Acknowledgment	64
References	65
Commentaire et précisions	66

Introduction

A number of recent studies provided evidence supporting the idea that a wide range of age-related changes in cognition are accompanied by changes in the inter-hemispheric dynamics (Cabeza, 2001, 2002). To account for age-related changes in the neurobiological correlates of a number of cognitive processes, Cabeza (2002) has proposed the HAROLD model (Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults). This model suggests that brain functional organization for cognition suffers an age-related reduction of the functional asymmetries typically found in young adults. This pattern of evolution seems to occur particularly in high-performing older adults (Cabeza *et al.*, 2002) and has been shown for different kinds of memory, perception and inhibitory processes. However, despite the fact that the neural bases of language could follow a similar pattern with age, there is still no evidence regarding a possible reduction in hemispheric asymmetries of areas sustaining language processing.

One possible account for the reported reduction in cerebral asymmetries with age could be that there is a need for a larger neuronal pool to sustain the increase in attentional resources required for the maintenance of performance (Reuter-Lorenz *et al.*, 1999). In other words, older adults may need to recruit additional brain areas, and particularly homologous contralateral regions, to generate the same amount of resources as young adults generate.

The goal of the present study was to explore whether there exist aged-related changes in the amount of attentional resources available for the phonological and semantic processing of words. More specifically, it was expected that young adults under restricted attentional resources condition would exhibit performance similar to that of older adults having full access to their resources.

Methods

Participants. Twelve young adults (mean of age of 23.58 years) and twelve older adults (mean of age of 63.83 years) participated in this study. All participants were

native French-speakers, right-handers, with a high level of education (≥ 13 years) and without any previous psychiatric or neurological history.

Materials. There were two experimental tasks (figure 1). The phonological task was a rhyme judgment in which participants had to decide whether or not a presented pair of words rhymed. There were 100 pairs of words where half were targets (e.g. *turban/turban* and *volcan/volcano*) and half distractors (e.g. *turban/turban* and *cidre/cider*). Two complexity levels based on the transparency (by reference to grapheme/phoneme conversion) were included in the preparation of the stimuli. The semantic task was a semantic judgment in which participants had to decide whether or not they perceived a semantic relationship between two words. Stimuli were 100 pairs of words where half were targets (e.g. *chaleur/warm* and *passion/passion*) and half distractors (e.g. *chaleur/warm* and *article/article*). Two complexity levels considering concreteness or abstractedness of the words were included in the preparation of the stimuli. Examples of the task are presented in figure 1.

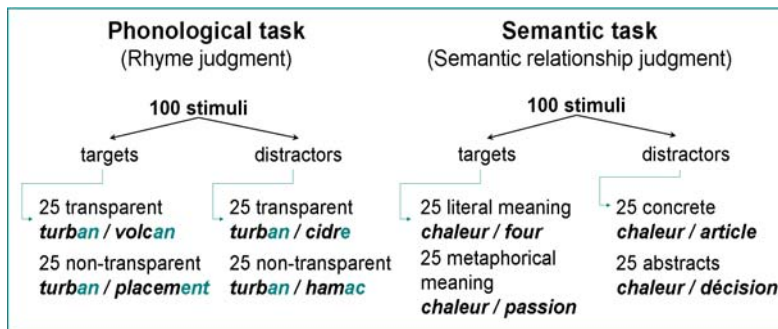


Figure 1. Examples of stimuli

Procedure. Both tasks were proposed in a simple/dual-task paradigm. Stimuli were presented in the center on a computer screen. The first word of each pair was projected during 1000 ms followed by the second word of the pair which was projected during 200 ms. All pairs were presented in a pseudo-random order and a time limit of 3500 ms to answer was allowed. Participants were instructed to answer as rapidly and accurately as possible by pressing one of two buttons (yes/no) with their right hand. In the dual-task condition participants were asked to simultaneously countdown by two, starting at 100, keeping a steady rhythm.

Results

Response times were analyzed and compared for correct responses in the two groups. The data were submitted to a 2 (group of age: young and older adults) x 2 (condition: simple- and dual-task) ANOVA with repeated measures on condition. At an alpha level of 5%, significant main effect was obtained for condition ($F_{(1,22)} = 8.29$, $p < 0.05$) for the rhyme judgment task. The age effect was at the limit of the significance threshold on this task ($F_{(1,22)} = 4.30$, $p = 0.05$) and no age x condition interaction was found significant. For the semantic judgment task, significant main effects for age ($F_{(1,22)} = 4.63$) and condition ($F_{(1,22)} = 18.40$) were obtained and the interaction age x condition almost reached the significant level ($F_{(1,22)} = 3.698$, $p = 0.068$). These results are represented in figure 2. Finally, Student's t-test comparing dual task condition in the young group and the simple task condition in the older group showed no significant difference regardless of the task (see figure 3).

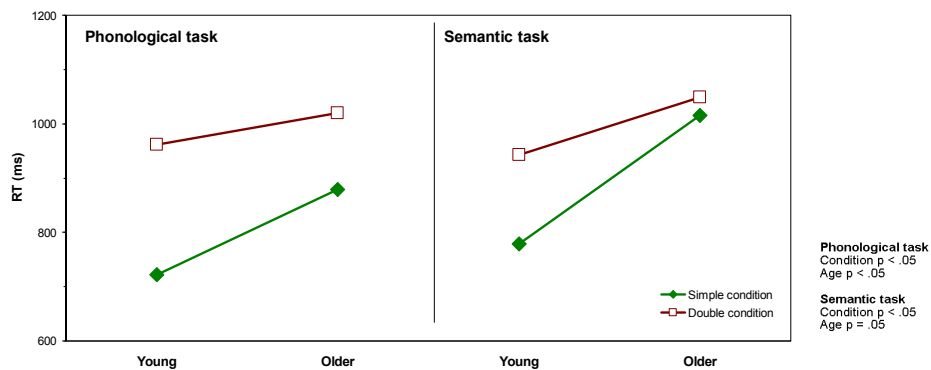


Figure 2. Response times for both phonological and semantic tasks in both conditions

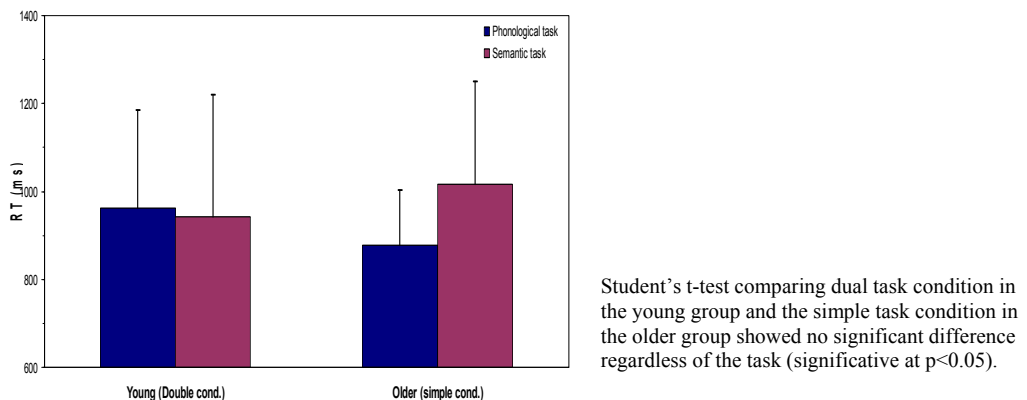


Figure 3. Comparison of dual task condition in the young group and the simple task condition in the older group

Conclusion

These results first indicate that, according to the expected impact of age on the performance at the two tasks, the performance of young adults under a restricted attentional resources condition is similar to that of older adults having full access to their resources (simple condition). Moreover, at least for the semantic judgment task, the presence of a marginally significant interaction suggest that older adults have a tendency to perform at a ceiling level with regard to attentional resource limitation. Taken together, these results are compatible with the idea of an age-related restriction of available attentional resources for the processing of words. Since accuracy was comparable between the two groups, it appears that older adults do require more attentional resources in order to maintain similar performance. Functional neuroimaging data will be necessary to fully confirm the prediction of the HAROLD model in the sense of an expected concurrent dedifferentiation of the neural basis associated with such phonological and semantic processes.

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.

References

- Cabeza, R. 2001. Cognitive Neuroscience of Aging: Contributions of Functional Neuroimaging. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42, 277-286.
- Cabeza, R. 2002. Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantorre, J. K., & McIntosh, A. R. 2002. Aging Gracefully: Compensatory Brain Activity in High-Performing Older Adults. *Neuroimage*, 17, 1394-1402.
- Reuter-Lorenz, P. A., Stanczak, L, & Miller, A. C. 1999. Neural Recruitment and Cognitive Aging: Two Hemispheres Are Better than One, Especially as You Age. *Psychological Science*, 10, 494-500.

Commentaire et précisions

L'objectif de cette étude était d'explorer la disponibilité des ressources attentionnelles pour le traitement phonologique et sémantique des mots ainsi que son évolution possible avec l'âge. La prise en considération d'une tâche impliquant le traitement phonologique des mots avait pour objectif de documenter la présence possible des particularités en lien avec le traitement léxico-sémantique. L'hypothèse générale considérée était que, en condition de ressources attentionnelles restreintes, les jeunes adultes devraient présenter une performance similaire à celle des participants âgés en condition de plein accès à leurs ressources attentionnelles.

En accord avec l'impact attendu de l'âge sur la performance dans les deux conditions, la performance des participants jeunes en condition de ressources attentionnelles restreintes (double tâche), est similaire à la performance des participants âgés avec un plein accès à leurs ressources attentionnelles (condition simple). Pour la tâche de jugement sémantique exclusivement, l'interaction entre l'âge et la condition atteint presque un niveau significatif. Ceci pourrait suggérer que les adultes âgés tendent à "plafonner", faisant en sorte que l'impact de la restriction des ressources attentionnelles est moindre pour ce groupe d'âge. Lorsque cette interaction est décomposée, ce phénomène est expliqué par les stimuli impliquant un lien métaphorique seulement. Ceci est en accord avec l'hypothèse de restriction des ressources attentionnelles propre des fonctions cognitives de haut niveau lors du vieillissement normal. Enfin, ces résultats mettent en évidence l'intérêt d'une réplication de cette étude avec un plus grand nombre de participants.

En somme, l'ensemble de ces résultats est compatible avec l'idée d'une relation dépendante entre l'âge et la disponibilité de ressources attentionnelles pour le traitement du sens métaphorique des mots. Particulièrement, ces données convergent avec celles d'autres études mettant en évidence des performances comparables entre les participants jeunes et âgés lors de la compréhension des métaphores (Szuchman & Erber, 1990; Gregory & Waggoner, 1996; Newsome & Glucksberg, 2002) au coût d'un apport supplémentaire des ressources attentionnelles (Monetta, Ouellet-

Plamondon & Joannette, 2007). Enfin, ces résultats ne peuvent être expliqués par un déficit de la mémoire de travail ou par un vocabulaire moins riche chez le groupe âgé, compte tenu qu'ils ont obtenu des résultats dans les normes lors des épreuves neuropsychologiques évaluant ces deux sphères (épreuve de Brown-Peterson et sous-test de vocabulaire du WAIS III).

**Étude en imagerie par résonance
magnétique fonctionnelle**

Étude 2

71

**When metaphors go literally beyond their territories:
The impact of age on figurative language**

Beatriz Mejía-Constaín, Oury Monchi, Nathalie Walter, Marianne
Arsenault, Nouredine Senhadji & Yves Joannette

Italian Journal of Linguistics, 2010, 22(1): 41-60

When metaphors go literally beyond their territories:

The impact of age on figurative language

Beatriz Mejía-Constaín, Oury Monchi, Nathalie Walter,
Marianne Arsenault, Nouredine Senhadji & Yves Joanette
Italian Journal of Linguistics, 2010, 22(1): 41-60

Abstract	73
Introduction	74
Method	78
Participants	78
Tasks and procedure	78
Functional MRI acquisition	79
Data analysis	80
Results	82
Behavioral results	82
fMRI results	82
Discussion	85
Acknowledgment	89
References	90

Abstract

As one of the most integrated components of language, the understanding of metaphors has sparked some of the greatest interest and debate with regard to how and where it is sustained by the brain. Traditionally, the right hemisphere was thought to be the locus of metaphor comprehension. However, the recent literature reported in this article suggests that the processing of metaphors is the product of a complex interplay and cooperation between the two hemispheres. In fact, the question of how the aging brain processes metaphors remains unresolved. The present study aims to provide insight into the nature of changes in the processing of metaphors in normal aging. We describe the different patterns of interhemispheric activation in younger and older adults during the processing of literal and conventional metaphorical meanings of words. A total of 10 younger adults and 10 older adults were scanned via 3T functional magnetic resonance imaging while performing a semantic judgment task using pairs of words: targets with literal or conventional metaphorical relationships and distractors paired with concrete or abstract words. The metaphorical-literal contrast corresponded to significant increases in activity in the superior frontal gyrus bilaterally in both groups and in the inferior frontal gyrus and the posterior cingulate cortex in the older group only. Both groups showed a left lateralization. We concluded that aging is associated with changes in the pattern of neural activity when processing conventional metaphors. The results are analyzed in the light of the recent literature proposing age-related neurofunctional reorganization, namely, the HAROLD and PASA phenomena in the context of language processing.

Keywords: aging, language, conventional metaphors, functional reorganization, functional magnetic resonance imaging

Introduction

Figurative language allows speakers to communicate by expressing meanings that go beyond the literal interpretation of words. Several forms of figurative language exist, including idioms, speech forms or expressions of a given language that are peculiar grammatically or cannot be understood from the individual meanings of their elements (e.g., under the weather); proverbs, which briefly express some practical truth, moral belief, or social norm (e.g., a stitch in time saves nine); irony, the use of words to express something different from and often opposite to their literal meaning; and metaphor, a figure of speech that involves an explicit or implicit comparison between two relatively unlike ideas (e.g., the road was a ribbon of moonlight). Among these various types of figurative language, the metaphor has sparked some of the greatest interest and debate in the research community with regard to how and where it is processed by the brain. A wide range of studies have attempted to determine what characteristics are distinctive to the processing of metaphors by contrasting it with the processing of literal meanings. Consequently, they have identified a number of factors that can influence, modulate, or even confound the components involved. Intrinsic factors such as the degree of meaning salience (Giora *et al.* 2000), novelty (Mashal *et al.* 2007; Ahrens *et al.* 2007; Mashal *et al.* 2009), semantic distance (Mashal *et al.* 2005), and sentential context (Kacirik & Chiarello 2007) are well recognized. Some of these factors impose comparisons not only with literal meanings, but also between different kinds of metaphors. For instance, metaphors may be nominal (i.e., involve the metaphorical use of a noun such as “my job is a jail”) or predicative (i.e., involve the metaphorical use of a verb such as “the rumor flew through the office”) (Torreano *et al.* 2005). Other types include conventional (familiar) and novel (unfamiliar) metaphors (Mashal *et al.* 2007; Mashal *et al.* 2009). Finally, polysemous words (i.e., words having more than one meaning) can also have metaphorical meanings (Brownell *et al.* 1990), as in the case of “warm” meaning both “moderately hot” and “loving.” In this context, generalizing results has been difficult. Additionally, extrinsic factors such as the type of task performed or the methodology of the study may challenge the strength of the conclusions (Giora 2007).

Notwithstanding the above-mentioned discussion, the debate on the processing of metaphors has centered on the possibility of a hemispheric specialization (or dominance), a problem that has been investigated by many scholars of language during the last 25 years. Traditionally, the right hemisphere (RH) has been recognized as the locus of metaphor comprehension (for a review, see Kacirik & Chiarello 2007). Therefore, its integrity was a requisite for the successful interpretation of metaphorical meanings. This view was supported principally by studies of individuals with RH damage who showed altered comprehension of this kind of figurative language (Brownell *et al.* 1984; Brownell *et al.* 1990; Kempler *et al.* 1999). A number of studies employing divided visual field and neuroimaging techniques have also provided support for this hypothesis (Anaki *et al.* 1998; Bottini *et al.* 1994; Mashal *et al.* 2007). By contrast, some researchers have argued against the exclusive involvement of the RH, suggesting that both literal and nonliteral (metaphorical) meanings are processed in the left hemisphere (LH), even though they may solicit different pathways (Rapp *et al.* 2004; Lee & Dapretto 2006; Stringaris *et al.* 2007). In a recent revision of the problem, Giora (2007) identified a subverted classical division of labor between hemispheres in the light of all the evidence currently available. In a more conciliatory position, some authors have supported a shared right-left hemispheric contribution, proposing a mechanism of interhemispheric cooperation (Gagnon *et al.* 2003; Eviatar & Just 2006; Kacirik & Chiarello 2007).

Taken together, the results reported in this wide scope of existing literature suggest that the processing of metaphors is the product of a complex interplay and cooperation between the two hemispheres. But what is the nature of this cooperation? Do both hemispheres contribute to specific linguistic components? Is one hemisphere involved in a more general kind of computation? Or, perhaps one hemisphere provides the additional attentional resources needed to accomplish a complex cognitive task? It is widely known that, according to the limited resource theory, the brain has a limited processing capacity and resources such as attention must be allocated according to the complexity of the tasks (Banich 1998). With these

questions in mind, some researchers have provided evidence that suggests the contribution of the RH to the processing of metaphors is, at least to some extent, the expression of its complementary role of supplying the additional attentional resources needed for this effortful kind of processing (Tompkins 1990; Monetta *et al.* 2006).

In view of this extensive debate, yet another question needs to be addressed. Most importantly, the issue of how the aging brain processes metaphors has remained almost untouched, despite the multitude of studies on aging and cognition. The resulting lack of insight can be an important limitation to obtaining a complete picture of the problem for two reasons: First, to arrive at general conclusions, the results of studies of younger participants are frequently compared with those of older participants, which can constitute a source of error. Second, possible changes in interhemispheric cooperation during the life span could provide some insight into the nature of each hemisphere contribution. To the best of our knowledge, only one study to date has attempted to deal with this question: Using event-related potentials, Bonnaud *et al.* (2002) aimed to compare electrophysiological data for young and older adults during a semantic judgment task involving the comprehension of metaphorical links. They reported larger amplitudes of the N400 elicited by metaphorical relationships between pairs of words in comparison with nonmetaphorical semantic links in both groups. Interestingly, their results showed that the older adults made significantly fewer errors when making semantic judgments involving metaphors than did the younger adults. This difference in accuracy is consistent with the reported relative preservation of semantic aspects of language during aging (for a review, see Wingfield & Grossman 2006). Unfortunately, the authors did not report any data regarding the hemispheric interplay during the processing of metaphors.

In a more general context, a considerable number of studies have integrated different sources of evidence and suggest that a relationship exists between age-related changes in neural architecture, interhemispheric dynamics, and changes in cognitive function (Coffey *et al.* 2001; Cabeza *et al.* 1997; Cabeza 2001; 2002; Sarter & Bruno 2004). Two different phenomena have been proposed to account for these changes:

the hemispheric asymmetry reduction in older adults (HAROLD) and the posterior-anterior shift with aging (PASA). Integrating different sources of data, mainly from psychology and neurosciences of aging, the HAROLD model (Cabeza 2002) proposes that prefrontal cortical activity tends to be less lateralized in older adults with maintained performance when compared with younger adults. Two different hypotheses have been proposed: the compensation view, according to which this reduction could be a way of counteracting the neurocognitive decline associated with aging, and the dedifferentiation view, according to which these modifications reflect a kind of hurdle to recruiting specialized neural mechanisms. In addition to these well-established changes, the PASA phenomenon, an age-related increase in frontal activations in contrast with decreased posterior activations, has been also reported in older adults (Davis *et al.* 2008). Taken together, these findings can be interpreted as an indication of the capacity for a functional malleability of the aging brain. Evidence supporting these phenomena comes from research on episodic, semantic, and working memory as well as visual perception. Nevertheless, little is known about the determinants of possible age-related neurofunctional reorganization for language processing with respect to the HAROLD and PASA phenomena. Only a few recent neuroimaging studies have explored this hypothesis and described differences in the activation profiles between young and older adults (Grossman *et al.* 2002; Faustmann *et al.* 2007; Ouelette-Plamondon *et al.* 2006; Ouelette-Plamondon *et al.* submitted). However, it appears that the neurofunctional reorganization that allows for the maintenance of language processing with successful aging is more global. It seems to imply a more widespread network resulting from changes in lateralization (activation of bilateral areas) as well as changes in the anterior-posterior and cortico-subcortical patterns of activation.

In summary, the nature of the interhemispheric cooperation during the processing of metaphors has not yet been studied in the context of aging. Hence, the present study aims to provide insight concerning the direction and nature of changes in the processing of the metaphorical meaning of words during normal aging. We used functional magnetic resonance imaging (fMRI) to compare the brain activity of

healthy young and older adults while performing a semantic judgment task with and without metaphors.

Methods

Participants. We recruited 10 young adults (4 male, 6 female) ranging in age from 20 to 29 years (mean age: 23.3 years, standard deviation [SD]: 2.7) and 10 older adults (6 male, 4 female) ranging in age from 61 to 70 years (mean age: 64.4 years, SD: 2.9). Participants had no history of brain injury or psychiatric disorder and showed normal results on neuropsychological tests of working memory and vocabulary (Brown-Peterson task and WAIS-III vocabulary subtest, respectively). All participants were right-handed native speakers of French with a high level of education (≥ 13 years) (mean length of education: 18.2 years, SD: 1.51, range: 15-20). All participants gave informed consent after reading the protocol, which had been reviewed and approved by the *Comité mixte d'éthique de la recherche du Regroupement Neuroimagerie Québec at the Institut universitaire de gériatrie de Montréal*. This committee follows the guidelines of the Tri-Council Policy Statement of Canada, the Civil Code of Québec, the Declaration of Helsinki, and the Nuremberg Code.

Tasks and procedure. Participants were presented with a semantic judgment task in which they had to decide whether they perceived a semantic relationship between two words in French. They were asked to answer as accurately and rapidly as possible by pressing one of two buttons (yes/no). Responses were obtained via an MR-compatible right-hand button response box (BrainLogics). Half of the participants were required to answer “yes” with their index finger and “no” with their middle finger, and the other half had the opposite response pattern. To ensure that the instructions were understood, a short practice session was administered with a different set of stimuli before starting the acquisition. Experimental stimuli were based on 25 polysemous words, with both a literal meaning and a conventional metaphorical meaning, obtained from the stimuli used by Mercure (2004). These 25 words were used to form

100 pairs of words belonging to 1 of 4 possible types: 50 target pairs, with 25 having a literal relationship (LT) and 25 having a metaphorical relationship (MT) (e.g., LT: chaleur/heat and four/oven; MT: chaleur/heat and passion/passion), and 50 distractor pairs in which 25 of the polysemous words appeared accompanied by a concrete word (CD) and 25 were accompanied by an abstract word (AD) (e.g., CD: chaleur/heat and tambour/drum; AD: chaleur/heat and décision/decision). According to the concrete (literal) or abstract (metaphorical) nature of the semantic link in the target pairs, distractor pairs were constructed by using a concrete or an abstract word allowing for the control of the concreteness effect (concrete/literal, abstract/metaphorical). All the word pairs were constructed using nouns and controlled by their lexical frequency (CARDEX) and number of letters.

Participants were also asked to perform a reference task, which consisted of 100 pairs of letter strings for which participants had to indicate whether both strings shared the same type of case (upper or lower; e.g., ddddd/TTTTT). All the stimuli of the experimental and reference tasks were presented twice in a counterbalanced order. The pairs of stimuli were generated by a Macintosh computer and presented centrally on a computer screen using the E-Prime software (v1.2, Psychology Software Tools, Inc.). An LCD projector (EMP-8300 XGA, Epson) displayed stimuli on a screen placed behind the scanner. Participants viewed the screen via a double mirror fastened to the head coil. Pairs of stimuli were displayed for 2500 ms and preceded by a fixation point lasting 500 ms. A variable interstimulus interval (500 ms, 750 ms, 1000 ms, 1250 ms, and 1500 ms) was used. Response times longer than the time limit of 2500 ms were not registered. Two runs with four blocks of stimuli (25 pairs) and four blocks of letter strings (25 pairs) each were used. The order of presentation of the experimental task and the reference task was counterbalanced amongst participants. Blocks of stimuli or letters alternated during the run within each block. Trials of different types (literals, metaphors, concrete distractors, abstract distractors) were presented pseudorandomly.

Functional MRI acquisition. Participants were scanned while performing the tasks, in a single session, using a 3T Siemens Trio Magnetom MRI Scanner at the Unité de

neuroimagerie fonctionnelle (<http://www.unf-montreal.ca/>) of the Institut universitaire de gériatrie de Montréal. The session started with a localizer scout to position the participant's head. A T1-weighted three-dimensional volume (176 slices; voxel size: 1x1x1 mm³; matrix size: 256x256) for anatomical localization was then acquired. Two runs of T2*-weighted functional acquisitions followed. Functional images were acquired with an echo-planar image sequence sensitive to BOLD contrast (TE: 30 ms, TR: 2000 ms, flip angle: 90 °). The volume covered the whole brain with a 64x64 and 30 slices (voxel size: 4x4x4.8 mm³). The slice thickness was 4 mm with a 0.8 mm interslice gap in an inclined axial plane aligned with the anterior commissure-posterior commissure axis. Two runs consisting of 410 volumes each were acquired during the experiment. The first two volumes of each run were discarded to reach steady-state magnetization.

Data analysis. Data was analysed using the fMRIstat software developed by Worsley et al. (2002) (available at <http://www.bic.mni.mcgill.ca/users/keith/>). The first two frames in each run were discarded. Images from each run were first realigned to the third frame for motion correction and were smoothed using a 6 mm full-width half-maximum (FWHM) isotropic Gaussian kernel. fMRI data's statistical analysis was based on a linear model with correlated errors. For the purpose of the imaging analysis, only correct answers were considered in the design matrix (errors and no responses were excluded). The design matrix of the linear model was first convolved with a difference of two gamma hemodynamic response functions timed to coincide with the acquisition of each slice. Temporal drift was removed by adding a cubic spline in the frame times to the design matrix. Spatial drift was removed by adding a covariate in the whole volume average. Then, the correlation structure was modelled as an autoregressive process of degree 1. The autocorrelation parameter was estimated at each voxel from the least squares residuals. The Yule-Walker equations were used after a bias correction for correlation induced by the linear model. The autocorrelation parameter was first regularized by spatial smoothing and then used to 'whiten' the data and the design matrix. The linear model was then re-estimated by using least squares on the whitened data to produce estimates of effects and their standard errors. The resulting effects and standard effect files were then spatially

normalized by non linear transformation into the MNI standard proportional stereotaxic space using the algorithm proposed by Collins *et al.* (1994). Anatomical images were also normalized to the MNI 305 standard proportional stereotaxic space using the same transformation. Runs and participants were combined using a mixed effect linear model with fixed effect standard deviations taken from the previous analysis. The ratio of the random effects variance to the fixed effects variance was estimated, and then regularized using spatial smoothing with a Gaussian filter. The variance of the effect was then estimated by the smoothed ratio multiplied by the fixed effects variance. The amount of smoothing was chosen to achieve 100 effective degrees of freedom (Worsley 2002). Intragroup analysis was performed by making the following direct comparisons: [MT – reference], [MT – AD], and [MT – LT]. These data were submitted to a T-test. Statistical maps were thresholded at $p < .05$, correcting for multiple comparisons using the minimum between a Bonferroni correction and random field theory (Worsley *et al.* 1996). The significance of peaks is reported using the minimum p value of the single peak analysis (in terms of t -statistics) and cluster analysis. All peaks that reached $p < .05$ corrected are reported. Predicted peaks (ROI) that reached $p < .0001$ uncorrected are also reported, indicated by a * in the tables. Peaks were considered predicted if they coincide with those of Rapp *et al.* (2007), and were constituted of: inferior frontal gyrus (opercular and triangular parts), superior, middle, and inferior temporal gyrus, precuneus, temporal pole and hippocampus. These regions were considered bilaterally in order to account, if present, for the HAROLD phenomenon. Finally, a lateralization index was calculated for the activated regions such as $[(\text{right} - \text{left}) / (\text{right} + \text{left})] \times 100$. This lateralization index varies from -100 (completely left lateralized activation) to +100 (completely right lateralized activation), with 0 representing complete symmetry (e.g., Blanchet 2001). The indices were also split for half-brain comparisons. For the lateralization index, the value $x = 0$ was used to separate right from left voxels.

Results

Behavioural Results. There was no significant difference between the performances of the two groups. The average number of errors for the younger group was 0.8 (SD: 1.03) for LT; 10.2 (SD: 4.83) for MT; 0.040 (SD: 0.52) for CD; and 2.90 (SD: 3.7) for AD. For the older group, the average number of errors was 0.5 (SD: 0.71) for LT; 6.7 (SD: 2.79) for MT; 0.1 (SD: 0.32) for CD; and 2.1 (SD: 2.85) for AD. The response times for each condition were analyzed and compared across each group. For the younger group, the mean response times were 1052.12 ms (SD: 197.51 ms) for LT; 1174.81 ms (SD: 223.87 ms) for MT; 1169.01 ms (SD: 227.66 ms) for CD; and 1175.81 ms (SD: 202.37 ms) for AD. For the older group, the mean response times were 1176.75 ms (SD: 156.55 ms) for LT; 1350.90 ms (SD: 171.40 ms) for MT; 1322.74 ms (SD: 150.95 ms) for CD; and 1374.78 ms (SD: 156.78 ms) for AD. Data were submitted to a 2 (Stimuli: targets and distractors) x 2 (Type: LT/CD and MT/AD) x 2 (Group: young and older adults) analysis of variance (ANOVA). At an alpha level of 5%, no significant main effect was obtained for either stimuli, type, or group. However, two interactions reached the significant level: Type x Group ($F[1,18] = 10.493, p = .005$) and Stimuli x Type ($F[1,18] = 26.134, p < .001$). Then, we performed a 2 (Stimuli: targets and distractors) x 2 (Type: LT/CD and MT/AD) MANOVA with repeated measures for Group (young and older adults). At an alpha level of 5%, a significant main effect was obtained for both groups for targets according to type ($F[1,18] = 44.36, p < .001$). No significant differences according to type were found when analyzing distractors. These results suggest that both young and older adults behaved similarly regardless of the stimuli (targets/distractors) or type (literal/concrete and metaphors/abstract). In addition, they indicate that the literal targets were processed significantly faster than the other conditions.

fMRI results

Different patterns of neural activity were associated with the processing of polysemous words in their metaphorical meaning depending on age.

Metaphors versus reference task. When the metaphor condition was subtracted from the reference task [MT-reference], a significant increase in activity was observed in the older group in the right superior temporal gyrus (BA 22), the right fusiform gyrus (BA 37), the middle occipital gyrus bilaterally (BA 19), the left precuneus (BA 7), the right cingulate gyrus (BA 31), and the right cerebellum. In the younger group, a significant increase in activity was seen in the left fusiform gyrus (BA 37), the left inferior parietal lobule (BA 40), and the left precuneus (BA 7) (see table 1).

Table 1. Metaphors versus Reference

<i>Anatomical area</i>	Young Adults					Older Adults				
	<i>X,</i>	<i>Y,</i>	<i>Z,</i>	<i>t-stat</i>	<i>Cluster</i>	<i>X,</i>	<i>Y,</i>	<i>Z,</i>	<i>t-stat</i>	<i>Cluster</i>
GF (37) R						42	-62	-12	4.13	1696
(37) L	-34	-52	-14	3.48*	200					
GTi (37) R						50	-62	-8	4.29	1696
GTm (37) R						48	-54	0	3.31	1696
GTs (22) R						60	-52	20	3.75	296
LPi (40) L	-64	-18	24	3.56*	72					
GOM (19) R						38	-76	8	5.38	1320
(19) L						-42	-84	22	3.80*	240
GOi (19) R						36	-60	-10	3.28	1696
PCu (7) L	-12	-74	40	3.52*	96	-6	-66	52	3.68	1080
GC (31) R						18	-54	16	3.50*	120
Cerebellum R						28	-60	-12	4.19	1696

* significant at $p < 0.0001$ uncorrected for multiple comparison

GF = fusiform gyrus, GTi = inferior temporal gyrus, GTm = middle temporal gyrus, GTs = superior temporal gyrus, LPi = inferior parietal lobule, GOM = middle occipital gyrus, GOi = inferior occipital gyrus, PCu = precuneus.

Metaphors versus abstract distractors. When metaphors were compared with abstract distractors [MT-AD], the older group showed a significant increase in activity in the superior temporal gyrus bilaterally (BA 22), the left middle temporal gyrus (BA 21), the inferior temporal gyrus bilaterally (BA 37), the left inferior frontal gyrus (orbital and triangular parts) (BA 47, 45), and the right cingulate gyrus (BA 31). Significant effects in the younger group were observed in the left prefrontal cortex (BA 10), the right cingulate gyrus (BA 31), and the precuneus bilaterally (BA 7) (see table 2).

Table 2. Metaphors versus Distractors

<i>Anatomical area</i>	Young Adults					Older Adults				
	<i>X,</i>	<i>Y,</i>	<i>Z,</i>	<i>t-stat</i>	<i>Cluster</i>	<i>X,</i>	<i>Y,</i>	<i>Z,</i>	<i>t-stat</i>	<i>Cluster</i>
GTs (22) L						-40	-38	18	4.50	688
(22) R						44	-54	14	3.72*	264
GTm (21) L						-58	-40	-8	4.50	648
GTi (37) L						-58	-48	-10	3.48	648
(37) R						50	-64	0	3.49*	216
GFi (47) L						-36	22	0	4.03*	256
(45) L						-52	26	14	4.28*	240
GFd (10) L	-14	50	2	3.77*	88					
GC (31) R	10	-52	28	4.38	2120	12	-30	26	3.67*	184
PCu (7) R	6	-58	40	4.05	2120					
(7) L	-6	-58	30	3.87	2120					

* significant at $p < 0.0001$ uncorrected for multiple comparison

GTs = superior temporal gyrus, GTm = middle temporal gyrus, GTi = inferior temporal gyrus,

GFi = inferior frontal gyrus, GFd = prefrontal cortex, GC = cingulate gyrus, PCu = precuneus.

Metaphors versus literals. Finally, when metaphors were compared with literal judgments [MT-LT], a significant increase in activity was observed in the older group in the superior frontal gyrus bilaterally (BA 10), the left inferior frontal gyrus (orbital part) (BA 47), and the right cingulate gyrus (BA 31). In the younger group, a significant increase in activity was observed only in the superior frontal gyrus bilaterally (BA 10) (see table 3).

Table 3. Metaphors versus Literals

<i>Anatomical area</i>	Young Adults					Older Adults				
	<i>X,</i>	<i>Y,</i>	<i>Z,</i>	<i>t-stat</i>	<i>Cluster</i>	<i>X,</i>	<i>Y,</i>	<i>Z,</i>	<i>t-stat</i>	<i>Cluster</i>
GFs (10) L	-6	60	16	4.27	440	-20	58	-2	5.49	416
(10) R	12	62	16	3.86*	112	16	48	-2	4.12*	200
GFi (47) L						-28	12	-18	4.53	224
GC (31) R						8	-72	6	3.62*	160

* significant at $p < 0.0001$ uncorrected for multiple comparison

GFs = superior frontal gyrus, GFi = inferior frontal gyrus, GC = cingulate gyrus.

Lateralization indices. The younger group showed a left lateralization index of -100 for the contrast [MT-reference], whereas the older group had a right lateralization index of $+50$. The younger group had a right lateralization index of $+54$ for the contrast [MT-AD], and the older group showed a left lateralization index of -47 . Finally, both groups showed a left lateralization index for the contrast [MT-LT]: -59 for the younger group and -33 for the older group.

Discussion

The goal of this study was to provide insight concerning the direction and nature of changes in the processing of metaphors during normal aging. Therefore, we sought to describe the patterns of brain activation during the processing of the conventional metaphorical meanings of words.

As a main result, we found that, in the presence of similar performances and when compared with younger adults, the patterns of brain activation implicated in processing conventional metaphors shown by older adults involve a more widespread network resulting from changes in lateralization (more bilateral activations) as well as in the anterior-posterior profiles.

Interpreting these results in the light of the HAROLD phenomenon requires some special considerations. The HAROLD phenomenon was first described in the context of reduced lateralization of prefrontal activity exclusively. Nevertheless, as is well known, brain areas implicated in language processing include a more widespread network. Therefore, the HAROLD phenomenon is here understood as the manifestation of a reduction in hemispheric asymmetries from a more general point of view. Indeed, the description of brain activation patterns and the lateralization index combine to show a neural substrate that is more distributed over both hemispheres in older adults. The lateralization index was taken into account as follows: If the absolute value of the lateralization index was greater for younger adults than for older adults, the results were deemed consistent with the HAROLD phenomenon. By contrast, if the absolute value of the lateralization index was similar for both groups or greater for older adults, the phenomenon was disconfirmed. In the

older group, a reduction in the lateralization of brain activity was found for two of the three contrasts ([MT-reference] and [MT-LT]), while the third contrast ([MT-AD]) remained relatively comparable to that of the younger group. We will focus the present discussion on the classical comparison between metaphorical and literal meanings ([MT-LT]).

The lateralization index for both groups favors the left hemisphere when metaphorical and literal meanings were compared (-59 for the younger group and -33 for the older group). However, the older group showed a reduction in lateralization according to the bias toward increased activation in the RH (see Tab. 3). This change coincides with one of the possible outcomes described by Cabeza in his original paper and is therefore congruent with the HAROLD phenomenon (Cabeza, 2002).

Interestingly, and despite the left hemisphere lateralization index result, both groups showed a bilateral anterior pattern of activation in the superior frontal gyrus (BA 10). These regions are typically associated with the retrieval of information when divided attention is required (Anderson *et al.* 2000). In other words, the activation of this area could be the result of an additional effort to maintain an actual running task in a pending state for subsequent retrieval and execution while a second task is completed. In accordance with the so called standard pragmatic model (Grice 1975; Searle 1979), in trying to make sense of metaphors, the literal interpretation is rejected and replaced with an appropriate nonliteral interpretation. From a behavioral point of view, literal targets were processed significantly faster than metaphors, which is consistent with the pragmatic model. In this context, the activation of the superior frontal gyrus could imply that comprehending the conventional metaphorical meaning of words requires the sharing of attentional resources. The literal meaning is maintained available while the metaphorical meaning is activated, and is rejected only after the metaphorical interpretation is accepted. If this interpretation is accurate, one of the major differences between understanding the conventional metaphorical meaning of words and their literal meanings is that the former imposes a double task condition on the brain, whereas the latter does not.

As mentioned above, a more extensive pattern of activation was observed in the older group. In addition to the bilateral superior frontal gyrus (BA 10), activations were observed in the left inferior frontal gyrus (orbital part) (BA 47) and the right cingulate gyrus (BA 31). The left inferior frontal gyrus (BA 47) is known to be implicated in processing semantic relationships when a certain amount of strategic and/or memory processes is required (for a review, see Friederici 2002), which may be the case during the comprehension of polysemous words with metaphoric meanings. Finally, the left inferior frontal gyrus (BA 47) has been identified as significantly activated during divided and selective attention (Nebel *et al.* 2005). Taken together, these findings suggest that the activation of the left inferior frontal gyrus in older adults could result from a need for additional attentional resources. Finally, the right cingulate gyrus has been reported to be significantly activated in healthy older adults with poor comprehension, but only for stimuli that were accurately interpreted (Grossman *et al.* 2002). This finding could reflect an effective compensation mechanism when older adults experience certain difficulties or are exposed to a complex task requiring semantic processing.

From a general perspective, this need for the additional recruitment of brain areas in older adults could reflect the demanding character of higher-order cognitive functions during aging (Van der Linden & Hupet 1994). It is now well known that older adults require supplementary resources to process complex cognitive tasks. Reuter-Lorenz *et al.* (1999) suggested that older adults may benefit from engaging additional brain areas (sometimes bilaterally) to accomplish complex tasks that require exclusive unilateral brain activations in young adults. Such an extended brain network appears to allow, at least in part, the maintenance of performance at a complex level (as in the understanding of metaphors). This result suggests that the impact of brain lesions on the ability to process the metaphorical meanings of words could differ according to age. From a neurofunctional point of view, if the network required for processing of such a complexity engages additional brain areas, including those in the RH, it could mean that this ability would be impaired by lesions in more brain areas, thus increasing the prevalence of impairment. At the same time, since the brain regions required with age appear to be similar to those contributing to word processing

recovery (Marcotte & Ansaldo 2010), it could also be the case that the presumed higher prevalence of impairment would be followed by less recovery. However, this prediction is made only on a neurofunctional basis and does not take into account the possible counterbalancing effect of the continuing enrichment of semantic memory that characterizes aging. Consequently, systematic studies of the impact of brain lesions on the processing of the metaphorical meaning of words according to age, and on its recovery, are clearly needed.

Interestingly, in the younger group, none of the typical regions associated with the processing of metaphors (inferior frontal gyrus, opercular and triangular parts; superior, middle, and inferior temporal gyrus; precuneus; temporal pole; hippocampus) were significantly activated, and neither was the RH activated exclusively. This disparity could be the result of a very precise contrast allowing the identification of the specificity of the processing of metaphors in opposition to that of literal meanings. In fact, studying the conventional metaphorical meanings of words could be the best way to eliminate possible confounds related to sentence context and novelty. However, one has to question the validity of conventional metaphorical meaning as an expression of a truly neuropragmatic event, since, in this case, the metaphorical meaning is probably lexicalized and does not require context-dependent processing.

In contrast to the consistencies of the present study with the HAROLD phenomenon, our results seem to conflict with the PASA phenomenon. In fact, the PASA phenomenon seems to be challenged by studies looking at linguistic abilities. For example, Ouellet-Plamondon *et al.* (submitted) reported a shift in the direction opposite to that described by the PASA phenomenon when both older and younger adults performed a semantic judgment task. Similarly, the results obtained in the present study showed significant activations of posterior brain areas (right posterior cingular gyrus) in the older group for the contrast [MT-LT] that were not observed in the younger group. It is important to consider that, in contrast to most other cognitive functions, language has been recognized as being preserved or even improving with age. More specifically, Bonnaud *et al.* (2002) reported a better performance by older

adults compared with younger ones when identifying the metaphorical relationships between words. This consideration is of great relevance when attempting to understand the direction of the changes described in the present study. In this context, our results provide clues about the direction of the activation shift when (1) a bilateral frontal activation is already present in young adults and (2) language processing is implicated.

In conclusion, this study suggests that the neural bases for processing the conventional metaphorical meaning of words require more than a right-hemisphere-based neural network. Moreover, this network appears to evolve with age, as it is more widespread and involves different brain areas in older adults with similar performances. These results may reflect some of the neurofunctional reorganization that occurs with age and supports the general notion of cognitive reserve (Stern 2009). Alternatively, they may be the expression of neural compensation and/or of recourse to a different cognitive strategy. In any case, despite the complexity of the questions, this study shows the interest of studying the neural bases of nonliteral language abilities as a vivid example of the complexity and multideterminism of the neurofunctional organization of the brain engaged in every-day social behaviour.

Acknowledgment

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

Thanks to Natalie Walter and Nouredine Senhadji for their help with the analysis.

References

- Ahrens, K., Liu, H-L., Lee, C-Y., Gong, S-P., Fang, S-Y. & Hsu, Y-Y. 2007. Functional MRI of conventional and anomalous metaphors in Mandarin Chinese. *Brain and Language*, 100 (2), 163-171.
- Anaki, D., Faust, M. & Kravetz, S. 1998. Cerebral hemispheric asymmetries in processing metaphors. *Neuropsychologia*, 36 (7), 691-700.
- Anderson, N.D., Iidaka, T., Cabeza, R., Kapur, S., McIntosh, A.R. & Craik, F.I. 2000. The Effects of Divided Attention on Encoding and Retrieval-Related Brain Activity: A PET Study of Young and Older Adults. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 12, 775-792.
- Banich, M.T. 1998. The missing link: the role of interhemispheric interaction in attentional processing. *Brain Cogn.* 36, 128-157.
- Blanchet, S., Desgranges, B., Denise, P., Lechevalier, B., Eustache, F. & Faure, S. 2001. New questions on the hemispheric encoding/retrieval asymmetry (HERA) model assessed by divided visual-field tachistoscopia in normal subjects. *Neuropsychologia*. 39 (5), 502-509.
- Bonnaud, V., Gil, R. & Ingrand, P. 2002. Metaphorical and non-metaphorical links: a behavioral and ERP study in young and elderly adults. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 32 (4), 258-268.
- Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., Frackowiak, R.S.J. & Frith, C.D. 1994. The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study. *Brain*, 117, 1241-1253.
- Brownell, H.H., Potter, H. & Michelow, D. 1984. Sensibility to lexical denotation and connotation in brain damaged patients: A double dissociation? *Brain and Language*, 22, 253-265.

- Brownell, H.H., Simpson, T.L., Bhirle, A.M., Potter, H & Gardner, H. 1990. Appreciation of metaphoric alternative word meaning by left and right brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, 28, 375-383.
- Cabeza, R. 2001. Cognitive Neuroscience of Aging: Contributions of Functional Neuroimaging. *Scandinavian Journal of Psychology*, 42, 277-286.
- Cabeza, R. 2002. Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.
- Cabeza, R., McIntosh, A.R., Tulving E., Nyberg, L. & Grady, C.L. 1997. Aged-related differences in effective neural connectivity during encoding and recall. *Neuroreport*, 8, 3479-3483.
- Coffey, C.E., Ratcliff, G., Saxton, J.A., Bryan, R.N., Fried, L.P. & Lucke, J.F. 2001. Cognitive Correlates of Human Brain Aging: A Quantitative Magnetic Resonance Imaging Investigation. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 13, 471-485.
- Collins, D.L, Neelin, P., Peters, T.M, & Evans, A.C. 1994. Automatic 3D intersubject registration of MR volumetric data in standardized Talairach space. *J Comput Assist Tomogr.* 18, 192-205.
- Davis, S.W., Dennis, N.A., Daselaar, S.M., Fleck M.S. & Cabeza, R. 2008. Qué PASA? The Posterior-Anterior Shift in Aging. *Cerebral Cortex*, 18 (5), 1201-1209.
- Eviatar, Z. & Just, M.A. 2006. Brain correlates of discourse processing: An fMRI investigation of irony and conventional metaphor comprehension. *Neuropsychologia*, 44, 2348-2359.
- Faustmann, A., Murdoch, B.E., Finnigan, S.P. & Copland, D.A. 2007. Effects of advancing age on the processing of semantic anomalies in adults: evidence from event-related brain potentials. *Exp. Aging Res*, 33 (4), 439-460.
- Friederici, A. 2002. Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends in Cognitive Sciences*, 6 (2), 78-84.

- Gagnon, L., Goulet, P., Giroux, F & Joannette, Y. 2003. Processing of metaphoric and non-metaphoric alternative meanings of words after right- and left-hemispheric lesion. *Brain and Language*, 87, 217-226.
- Giora, R., Zaidel, E., Soroker, N., Batori, G. & Kasher, A. 2000. Differential effects of right- and left-hemisphere damage on understanding sarcasm and metaphor. *Metaphor and Symbol*, 15, 63-83.
- Giora, R. 2007. Is metaphor special? *Brain and Language*, 100, 111-114.
- Grice, H.P. 1975. Logic and conversation. In P. Cole & J.L. Morgan (Eds.), *Syntax and Semantics: Vol. 3 speech acts* (pp. 41-58). New York: Academic Press.
- Grossman, M., Cooke, A., DeVita, C., Alsop, D., Detre, J., Chen, W. & Gree, J. 2002. Age-related changes in working memory during sentence comprehension: an fMRI study. *NeuroImage*, 15, 302-317.
- Kacinik, N.A. & Chiarello, C. 2007. Understanding metaphors: Is the right hemisphere uniquely involved? *Brain and Language*, 100 (2), 188-207.
- Kempler, D., Van Lancker, D., Marchman, V & Clark, J.M., 1999. Idiom comprehension in children and adults with unilateral brain damage. *Developmental Neuropsychology*, 15, 327-349.
- Lee, S.S. & Dapretto, M. 2006. Metaphorical vs. literal words meanings: fMRI evidence against a selective role of the right hemisphere. *NeuroImage*, 29 (2), 536-544.
- Marcotte, K. & Ansaldo, A.I 2010. The Neural Correlates of Semantic Feature Analysis in Chronic Aphasia: Discordant Patterns According to the Etiology. *Semin Speech Lang*, 31 (1), 52-63.
- Mashal, N., Faust, M., & Hendler, T. 2005. The role of the right hemisphere in processing nonsalient metaphorical meanings: Application of Principal Components Analysis to fMRI data. *Neuropsychologia*, 43 (14), 2084-2100.

- Mashal, N., Faust, M., Hendler, T. & Jung-Beeman, M. 2007. An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain and Language*, 100 (2), 115-126.
- Mercure, E. 2004. Dynamique interhémisphérique dans le traitement du sens métaphorique des mots. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal.
- Monetta, L., Ouellet-Plamondon, C.E. & Joannette, Y. 2006 Simulating the pattern of right-hemisphere-damaged patients for the processing of the alternative metaphorical meanings of words: evidence in favor of a cognitive resources hypothesis. *Brain and Language*, 96 (2), 171-177.
- Nebel, K., Wiese, H., Stude, P., de Greiff, A., Diener, H-C. & Keidel, M. 2005. On the basis of focused and divided attention. *Cognitive Brain Research*, 25, 760-776.
- Oldfield, OD. 1971. The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia*. 9, 97-113.
- Ouelette-Plamondon, C.E., Monchi O., Senhadji N., Walter N., & Joannette Y. (2006). Déplacement de l'activation en IRMf lors du traitement sémantique des mots associé au vieillissement. *Canadian Journal of Aging*, 25 (Suppl. 1), 220-221.
- Ouelette-Plamondon, C.E., Monchi O., Senhadji N., Walter N., & Joannette Y. (submitted). Successful aging and neurofunctional reorganization: the case of the semantic processing of words.
- Rapp, A.M., Leube D.T., Erb, M., Grodd, W. & Kircher, T.T.J. 2004. Neural correlates of metaphors processing. *Cognitive Brain Research*, 20, 392-402.
- Rapp, A.M., Leube D.T., Erb, M., Grodd, W. & Kircher, T.T.J. 2007. Laterality in metaphor processing: lack of evidence from functional magnetic resonance imaging for the right hemisphere theory. *Brain and Language*, 100, 142-9.
- Reuter-Lorenz, P.A, Stanczak, L., & Miller, A. 1999. Neural recruitment and cognitive aging: two hemispheres are better than one, especially as you age. *Psychol Sci*. 10, 494-500.

- Sarter, M. & Bruno, J.P. 2004 Developmental origins of the age-related decline in cortical cholinergic function and associated cognitive abilities. *Neurobiol Aging*. 25 (9), 1127-39.
- Searle, J. 1979. Expression and meaning. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Stern, Y. 2009. Cognitive reserve. *Neuropsychologia*. 47(10), 2015-2028.
- Stringaris, A., Medford, N., Giora, R., Giampietro, C.V., Brammer, J.M. & David, S.A. 2007. Deriving meaning: Distinct neural mechanisms for metaphoric, literal and non-meaningful sentences. *Brain and Language*, 100 (2), 150-162.
- Tompkins, C.A. 1990. Knowledge and strategies for processing lexical metaphor after right or left hemisphere brain damage. *J Speech Hear Res*, 33 (2), 307-16.
- Torreano, L.A., Cacciari, C. & Glucksberg, S. 2005. When Dogs Can Fly: Level of Abstraction as a Cue to Metaphorical Use of Verbs. *Metaphor and Symbol*, 20 (4), 259-274.
- Van der Linden, M. & Hupet, M. 1994. Le vieillissement cognitif. Paris: Presses Universitaires de France.
- Wingfield, A. & Grossman, M. 2006. Language and the Aging Brain: Patterns of neural compensation Revealed by Functional Brain Imaging. *J. Neurophysiology*, 96, 2830-2839.
- Worsley, K.J., Liao, C.H., Aston, J., Petre, V., Duncan, G.H., Morales, F., Evans, A.C. 2002. A general statistical analysis for fMRI data. *NeuroImage*. 15, 1-15.
- Worsley, K.J., Marrett, S., Neelin, P., Vandal, A.C., Friston, K.J., Evans, A.C. 1996. A unified statistical approach for determining significant signals in images of cerebral activation. *Hum Brain Mapp*. 4, 58-73.

CHAPITRE V

Discussion générale

1. Résumé des observations	97
2. Convergence des résultats et mise en perspective	99
3. Considérations quant aux limites méthodologiques	106
4. Impact et retombées cliniques des résultats	109
5. Orientations futures	111

L'objectif de cette thèse était de mieux comprendre la nature et la direction de changements possibles, aussi bien au niveau des processus cognitifs qu'à celui des substrats neurobiologiques qui les sous-tendent, dans le traitement du sens métaphorique des mots lors du vieillissement normal. Des travaux récents ont permis de mettre en évidence une réorganisation fonctionnelle sous-tendant certains aspects du langage chez les personnes âgées (Wingfield & Grossman, 2006). Le recrutement de réseaux neuronaux additionnels, reflétant le besoin de ressources attentionnelles supplémentaires afin de maintenir la performance dans une tâche donnée, a été retenue comme l'une des explications possibles de la réorganisation fonctionnelle décrite chez les personnes âgées. L'un des objectifs de ce travail était donc de vérifier la disponibilité des ressources attentionnelles pour le traitement du sens métaphorique des mots en explorant son évolution possible avec l'âge. Une étude comportementale a été réalisée à cet effet. Par ailleurs, une étude utilisant la technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle a été conduite afin de mettre à l'épreuve l'hypothèse d'une réorganisation fonctionnelle sous-tendant la compréhension du sens métaphorique des mots lors du vieillissement. Considérés conjointement, ces deux études appuient l'hypothèse d'un besoin des ressources attentionnelles supplémentaires chez les individus âgés lors de la compréhension du sens métaphorique des mots, ceci impliquant le recrutement des régions cérébrales distinctes de celles activées chez les individus jeunes.

1 Résumé des observations

Un premier article définissant la problématique générale du traitement du langage lors du vieillissement normal inaugure la série de travaux présentés dans cette thèse. Cette revue de littérature signale la nécessité de développer des études faisant le lien entre les différentes hypothèses tentant d'expliquer les causes des changements cognitifs propres au vieillissement normal ainsi que les changements possibles sur le plan du substrat neurobiologique du langage. Ce document constitue également un appel à une réflexion pour la prise en compte de la dimension temporelle (âge) dans les modèles traditionnels du langage. Enfin, l'exploration des changements neuro-

cognitifs reliés au vieillissement normal dans le domaine du langage est proposée comme une piste possible pouvant entraîner des impacts sur les dimensions autant théoriques que cliniques.

Deux expériences, l'une comportementale et l'autre en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle, ont été réalisées. Globalement, les résultats de la première étude – *Age-dependent evolution of the attentional resources for the phonological and semantic processing of words: cues in favor of an extension of the HAROLD model to language* (Mejía-Constaín, Walter, Arsenault & Joanette, 2005) – indiquent que la performance des adultes jeunes en condition de restriction des ressources attentionnelles (condition de double tâche), est similaire à celle des personnes âgées en condition de simple tâche autant pour la tâche phonologique (jugement de rimes) que pour la tâche sémantique (jugement du lien sémantique: sens littéral ou métaphorique des mots). Pour la tâche de jugement sémantique exclusivement, la présence d'une interaction qui atteint un niveau presque significatif entre l'âge et la condition de la tâche (simple / double) suggère que les adultes âgés ont une tendance à atteindre un plafond de performance en accord avec l'hypothèse de la restriction des ressources attentionnelles propre des fonctions cognitives de haut niveau lors du vieillissement normal. La décomposition de l'interaction a montré que cette différence de performance n'existait que pour les stimuli impliquant un lien métaphorique. Enfin, comme le taux de bonnes réponses était comparable entre les deux groupes, il semble que les adultes âgés nécessitent un recrutement plus important des ressources attentionnelles pour maintenir une performance similaire à celle des jeunes participants. La deuxième étude - *When metaphors go literally beyond their territories: The impact of age on figurative language* (Mejía-Constaín, Monchi, Walter, Arsenault, Senhadji & Joanette (*Italian Journal of Linguistics*, 2010) - a été réalisée afin de décrire les profils d'activation cérébrale des participants jeunes et âgés lors du traitement du sens métaphorique des mots. Mise à part l'activation bilatérale du gyrus frontal supérieur (AB 10) également observée chez les participants jeunes, des activations additionnelles se sont inscrites au niveau du gyrus frontal inférieur gauche (AB 47) et du gyrus cingulaire droit (AB 31) chez les participants âgés. Le gyrus frontal supérieur (AB 10) est typiquement associé à la récupération de

l'information lorsque l'attention divisée est sollicitée. Ceci suggère que, autant pour les participants jeunes que pour les participants âgés, le traitement du sens métaphorique des mots pourrait imposer au cerveau le partage des ressources attentionnelles. Pour sa part, le gyrus frontal inférieur gauche (AB 47), activé exclusivement chez le groupe âgé, est reconnu pour son rôle dans les mécanismes de sélection de l'information et fait partie du réseau neuronal sous-tendant les processus d'attention sélective et divisée. Son activation pourrait refléter un besoin d'augmentation avec l'âge des ressources attentionnelles nécessaires pour maintenir le niveau de performance exigée par la tâche. Ainsi, les résultats de cette étude semblent appuyer l'hypothèse d'une attribution différentielle des ressources attentionnelles et indiquent une réorganisation fonctionnelle chez les participants âgés. Enfin, l'activation du gyrus cingulaire droit (AB 31) chez les participants âgés semblerait impliquer la mise en place de mécanismes compensatoires face à une tâche de haute complexité. Dans leur ensemble, ces résultats ont été interprétés dans le cadre des phénomènes HAROLD et PASA particulièrement pour ce qui est des bases neurobiologiques du langage.

2 Convergence des résultats et mise en perspective

L'objectif des deux études qui composent cette thèse était de contribuer à la mise en lumière des modifications possibles lors du vieillissement normal des processus cognitifs impliqués dans le traitement du sens métaphorique des mots tout en considérant l'organisation neurofonctionnelle qui les sous-tendent. Les résultats des deux études mis en commun suggèrent une attribution différentielle des ressources attentionnelles chez les personnes âgées et montrent, pour la toute première fois, une réorganisation des soubassements neuroanatomiques du traitement du sens métaphorique des mots associée au vieillissement normal.

L'ensemble des résultats rapportés dans ces pages s'inscrit parmi une littérature déjà abondante, illustrant les changements cognitifs liés à l'âge. Par exemple, de nombreuses études montrent un déclin de la mémoire épisodique, de la mémoire de

travail et de la vitesse de traitement de l'information lors du vieillissement normal (pour une revue de littérature voir Hedden & Gabrieli, 2004). Parallèlement, les résultats de cette thèse mettent en évidence la nécessité d'établir des liens entre les modèles neurocognitifs du vieillissement et les modèles traditionnels du langage. Deux conséquences découlent logiquement de cette perspective. La première est de considérer le langage, et plus particulièrement la compréhension du sens métaphorique des mots, parmi les fonctions cognitives subissant des modifications lors du vieillissement normal. La deuxième est le besoin d'intégrer pleinement la dimension temporelle (maturation, vieillissement) dans les modèles psycholinguistiques concernés.

En relation avec la première idée, il est connu que la communication verbale se modifie avec l'âge (Van der Linden & Hupet, 1994). La compréhension du langage, le vocabulaire et les connaissances sémantiques se trouvent, par ailleurs, parmi les fonctions traditionnellement considérées comme étant préservées chez les personnes âgées (Hedden & Gabrieli, 2004). C'est probablement pour cette raison que les neurosciences cognitives du vieillissement ont peu approfondi la possibilité de leur réorganisation neurofonctionnelle avec l'âge, telle que décrite pour d'autres fonctions cognitives dans le cadre des phénomènes *HAROLD* et *PASA*. En effet, ces phénomènes ont été identifiés dans le contexte d'études de la mémoire, de l'attention, de la perception et des processus d'inhibition, sans faire mention du langage. La confluence des résultats de plusieurs études montre qu'il existe effectivement une réorganisation fonctionnelle sous-tendant certains aspects du langage lors du vieillissement normal (Wingfield & Grossman, 2006). Cependant, rien n'a été mentionné dans cette revue de littérature concernant la compréhension du langage non littéral, dont les métaphores font partie. Les résultats rapportés dans cette thèse soulignent particulièrement la présence des modifications avec l'âge au plan de la compréhension du sens métaphorique des mots. Du point de vue comportemental, ces données convergent avec les apports d'autres études montrant des performances comparables entre les adultes jeunes et âgés lors de la compréhension des métaphores (Szuchman & Erber, 1990; Gregory & Waggoner, 1996; Newsome & Glucksberg, 2002) au coût d'un apport supplémentaire des ressources attentionnelles (Monetta,

Ouellet-Plamondon & Joannette, 2007). De façon complémentaire, les résultats rapportés ici illustrent de manière originale les modifications liées à l'âge au plan de l'organisation neurofonctionnelle sous-tendant les processus impliqués dans le traitement du sens métaphorique des mots. Ceci vient enrichir la compréhension des phénomènes *HAROLD* et *PASA* lors du vieillissement en lien avec les bases neurobiologiques du langage. Certaines considérations sont toutefois importantes avant la mise en perspective des résultats de cette thèse par rapport aux phénomènes mentionnés. Il a été rapporté que la cartographie d'activation cérébrale associée au traitement sémantique, notamment des mots, est souvent diffuse et incluant des réseaux neuronaux dispersés (Bookheimer, 2002). Ceci constitue déjà une différence importante par rapport aux fonctions pour lesquelles les phénomènes en question ont originalement été décrits. Une révision des assertions autour de ces données s'impose visant à une couverture plus ample de la phénoménologie. En effet, les travaux rassemblés ici proposent une extension du phénomène *HAROLD* à certains processus langagiers, extension qui se traduit par une réduction des asymétries cérébrales mais qui ne serait pas exclusive aux régions préfrontales du cerveau, comme en témoignent les profils d'activation associés au traitement du sens métaphorique des mots ainsi que le calcul d'index de latéralité correspondants (voir l'étude en neuroimagerie fonctionnelle).

Par ailleurs, les résultats rapportés dans cette thèse semblent aller à l'encontre de ceux identifiés au phénomène *PASA*. Ce phénomène décrit un déplacement avec l'âge des profils d'activation des régions postérieures du cerveau impliquant une augmentation de l'activation des régions frontales chez les personnes âgées. Les conclusions exposées ici convergent avec celles de l'étude de Ouellette-Plamondon *et al.* (2006). Les auteurs ont en effet montré que, lors du traitement sémantique des mots, il y a un changement dans le sens inverse, voire un déplacement avec l'âge des activations cérébrales vers des aires plus postérieures du cerveau. Ceci, permet de s'interroger quant à l'évolution, lors du vieillissement normal, des fonctions langagières et des fonctions cognitives qui font déjà appel aux lobes frontaux chez les adultes jeunes. Enfin, cette convergence des résultats suggère un double sens possible dans la direction de la réorganisation neurofonctionnelle liée à l'âge. Cette observation

coïncide avec les évidences rapportées récemment dans la littérature et soulignant une réorganisation intrahémisphérique sous forme de déplacement des activations frontales vers les régions occipito-temporales et vice-versa (pour une révision de la littérature, voir Grady *et al.* 2006).

Vus dans leur ensemble, ces phénomènes de réorganisation fonctionnelle évoquent le caractère plastique - ou adaptatif - du cerveau qui est présent tout au long de la vie, bien qu'il y ait différentes manifestations possibles. Il est peut être temps de regrouper les différentes manifestations de cette phénoménologie sous un même toit: celui de la réserve cognitive. Ce concept renvoie aux différences individuelles qui caractérisent la façon dont les personnes traitent une tâche et qui permettent de mieux composer avec les changements cérébraux liés au vieillissement ou imposés par une lésion (Stern, 2009). Ces différences individuelles émergent de l'ensemble des expériences acquises au cours de la vie et laisse une empreinte au cerveau. Ainsi, la réserve cognitive peut se traduire par un ensemble de neurones supportant des mécanismes de compensation disponibles lorsque la personne en a besoin. Enfin, la réserve cognitive peut être comprise comme un facteur modulateur des changements cognitifs et neurofonctionnels reliés à l'âge et qui n'est pas exclusif à certaines fonctions cognitives. Ceci constitue donc un cadre de référence plus large qui englobe l'ensemble les phénomènes décrits ci-haut en laissant la porte ouverte pour des changements dans diverses directions en conformité avec la plasticité cérébrale et la variabilité interindividuelle.

Dans le paragraphe précédent, une mise en perspective des résultats rapportés dans cette thèse a été faite par rapport aux phénomènes de réorganisation neurofonctionnelle décrits dans le domaine des neurosciences cognitives du vieillissement. Une deuxième idée avait été évoquée précédemment, visant à éliminer l'écart entre les modèles proposés dans les neurosciences cognitives du vieillissement et les modèles traditionnels du langage. Il s'agit de la nécessité d'intégrer pleinement la dimension temporelle dans les modèles psycholinguistiques, c'est-à-dire, la prise en considération des variables de maturation et de vieillissement. Cette idée émerge à partir du questionnement suivant: est-ce que l'ensemble des processus cognitifs sous-

tendant le langage de la personne adulte est "imperméable" aux changements des réseaux neuronaux propres au vieillissement normal et reste "insensible" au passage du temps? Au moins en ce qui concerne divers aspects de la compréhension du langage, la réponse est négative. Wingfield & Grossman (2006) rapportent un ensemble de travaux récents mettant en évidence une réorganisation fonctionnelle de certains aspects de la compréhension du langage lors du vieillissement normal. Ces travaux permettent de s'interroger sur la possibilité d'application des modèles psycholinguistiques existants pour les personnes âgées. En ce qui concerne le traitement des métaphores, il y a principalement deux types de modèles psycholinguistiques: les modèles d'accès indirect et les modèles d'accès direct. Le modèle standard pragmatique (Grice, 1975; Searle, 1979) est un modèle d'accès indirect selon lequel l'interprétation connotative (métaphorique) est trouvée après avoir rejeté l'interprétation littérale qui ne serait pas pertinente selon le contexte. Ainsi, la compréhension des métaphores implique une durée de traitement plus longue comparativement à la compréhension du langage littéral. À l'opposé du modèle traditionnel, le modèle d'inclusion de classe (Glucksberg & Keyser, 1990) propose que les processus de compréhension du langage littéral et métaphorique sont identiques et n'entraînent pourtant pas des différences dans le temps de traitement. Les données qui appuient ces deux types de modèles viennent généralement des études réalisées avec une population jeune ou des études qui n'ont pas tenu compte des comparaisons entre différents groupes d'âges. Les résultats rapportés dans cette thèse, et particulièrement ceux concernant le traitement du sens métaphorique des mots, sont congruents avec le modèle standard pragmatique. En effet, les temps de réponse associés au traitement des liens littéraux ont été significativement inférieurs à ceux associés au traitement des liens métaphoriques des mots. Certaines études ont obtenu des résultats similaires lors du traitement des métaphores conventionnelles au niveau lexical (Bonnaud, Gil & Ingrand, 2002; Mercure, 2004; Kacirik & Chiarello, 2007) et exclusivement lors du traitement de métaphores non conventionnelles lorsqu'il s'agit de phrases (Ahrens *et al.*, 2007). Il est possible que les résultats contradictoires d'autres études relèvent du type de tâche utilisé, plutôt que du processus lui-même. En effet, plusieurs études qui ne rapportent pas de différences

significatives entre les tâches touchant au langage littéral et métaphorique ont utilisé des phrases plutôt que des mots (Blasko & Connine, 1993; Stringaris *et al.*, 2007; Mashal *et al.*, 2007). Selon les résultats des études rapportés dans cette thèse, le modèle standard pragmatique serait également applicable aux résultats obtenus auprès des personnes âgées, puisque les deux groupes se comportent de manière similaire à ce sujet. Par ailleurs, ceci ne peut se généraliser à tout type de langage métaphorique. Il est possible que, pour une tâche encore plus exigeante en mémoire de travail, comme pour la compréhension de phrases à contenu métaphorique, l'absence de différences de temps de réponse rapportée dans la littérature ne soit pas maintenue lors du vieillissement. Ainsi, il semble légitime de se poser la question pour de l'application du modèle d'inclusion de classe à une population âgée.

Enfin, un dernier sujet de discussion reste à aborder, sous forme d'un double débat. Il s'agit, d'une part, du débat traditionnel concernant la contribution préférentielle possible de l'hémisphère droit pour le traitement des métaphores et, d'autre part, du débat concernant la nature de cette contribution. L'hypothèse d'une participation exclusive ou prépondérante de l'hémisphère droit au traitement des métaphores suggérée par certains auteurs (Bottini *et al.*, 1994; Anaki *et al.*, 1998; Mashal *et al.*, 2007) n'a pas été appuyée par les résultats rapportés dans cette thèse, qui montrent la présence d'activations cérébrales bilatérales significatives autant chez les individus jeunes que chez les individus âgés. En effet, les résultats obtenus ici vont dans le même sens que ceux présentés par Arzouan, Goldstein & Faust (2007) et convergent avec le point de vue de Giora (2007), quant à la participation simultanée et dynamique de l'hémisphère gauche et de l'hémisphère droit au traitement des métaphores. Ainsi, dans la même optique que Sergent (1995) et compte-tenu des résultats rapportés ici, il est possible d'envisager que les deux hémisphères cérébraux coopèrent de façon orchestrée dans le but de rendre le traitement du sens métaphorique des mots le plus efficace possible. Enfin, la nature de la contribution de l'hémisphère droit reste à établir. Certains auteurs, dont Monetta, Ouellet-Plamondon & Joannette (2006) infèrent, à partir des résultats obtenus auprès des individus neurologiquement indemnes soumis à une condition de restriction des ressources attentionnelles et reproduisant les performances des individus atteints d'une lésion

cérébrale droite, que la contribution de l'hémisphère droit au traitement des métaphores est fondée, au moins en partie, sur l'apport des ressources attentionnelles nécessaires pour les processus cognitifs de haut niveau. Les résultats rapportés dans cette thèse peuvent partiellement être interprétés dans le même sens. En effet, le gyrus frontal supérieur, typiquement associé à la récupération d'information en situations d'attention divisée (Anderson *et al.*, 2000) a été activé bilatéralement autant dans le groupe des participants jeunes que dans le groupe de participants âgés. Cela suggère que l'apport supplémentaire des ressources attentionnelles provient non seulement de l'hémisphère droit mais également de l'hémisphère gauche et caractérise le traitement du sens métaphorique des mots par rapport au traitement de leur sens littéral. Enfin, partant de l'hypothèse que le traitement des métaphores exige la mise en œuvre de processus cognitifs requérant une plus grande quantité de ressources attentionnelles, la question de la possibilité de changements sur ce plan lors du vieillissement semble légitime. La cartographie cérébrale révélée par l'étude utilisant la technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle inclut une activation significative du gyrus frontal inférieur gauche uniquement chez les participants âgés. Cette région a été identifiée parmi les régions sous-tendant les mécanismes d'attention sélective et divisée (Nebel *et al.*, 2005) et servant au mécanisme de sélection parmi plusieurs stimuli en compétition (Zhang *et al.*, 2004). Encore une fois, l'hémisphère gauche apparaît en lien avec un apport supplémentaire des ressources attentionnelles et cette fois-ci, exclusivement chez les personnes âgées. Ceci semble converger avec des observations concernant le recrutement des régions cérébrales additionnelles chez les adultes âgés documentées par certains auteurs et pouvant être le reflet d'un besoin de ressources attentionnelles additionnelles (Reuter-Lorenz *et al.*, 2000). Il est intéressant de constater une convergence des résultats entre l'étude comportementale et l'étude en neuroimagerie fonctionnelle. L'absence d'impact de la condition de restriction des ressources attentionnelles, présente uniquement chez les participants âgés et documentée lors de la première étude, suggère que ce groupe a tendance à plafonner, c'est-à-dire que, même en condition de plein accès aux ressources attentionnelles, les participants âgés se comportent comme s'ils étaient en situation

d'attention partagée. Ceci pourrait être alors à la base de l'activation du gyrus frontal inférieur gauche.

3 Considérations quant aux limites méthodologiques

Certains aspects liés aux choix méthodologiques ainsi que plusieurs facteurs susceptibles de devenir confondants peuvent limiter la généralisation des résultats rapportés dans cette thèse. Les deux études rapportées dans cette thèse ont eu recours à une tâche requérant le traitement du sens métaphorique des mots. Cette tâche correspond plus précisément à un jugement de relation sémantique utilisant des paires de mots avec un lien littéral ou métaphorique et des paires des mots distracteurs (sans lien sémantique littéral ou métaphorique). La décision concernant la présentation sous forme de paires de mots par opposition aux phrases à contenu métaphorique se base sur l'intention de contrôler l'une des variables confondantes rapportées dans la littérature, c'est-à-dire le contexte (Kacirik & Chiarello, 2007). L'utilisation des phrases aurait également représenté un obstacle pour la présentation en double tâche (attention divisée) lors de l'étude comportementale ainsi que pour la comparaison avec la tâche phonologique. Toutefois, étant donné que dans le cadre communicationnel de la vie de tous les jours les métaphores se présentent généralement à l'intérieur d'une phrase et dans un contexte situationnel qui entoure l'échange, la validité écologique de ce choix est limitée. En effet, bien que le traitement du sens métaphorique des mots diffère du traitement des énoncés métaphoriques, l'interprétation adéquate dépend du contexte dans les deux cas. L'utilisation des deux types de présentation (mots et phrases) aurait été plus adéquate, de manière à obtenir une perspective plus ample permettant la conjonction des résultats.

Outre les caractéristiques intrinsèques aux choix méthodologiques, plusieurs facteurs ont pu avoir une influence sur les résultats obtenus et, dans une certaine mesure, limiter la généralisation de ceux-ci. Il est assez largement connu que les manifestations du vieillissement peuvent être modulées par différentes variables

reliées à l'expérience de vie dont le niveau de scolarité. Compte-tenu de la nature de la tâche et de l'influence, amplement reconnue dans la littérature, du niveau de scolarité sur la compréhension des métaphores, le nombre d'années d'éducation formelle a été contrôlé dans les deux études: un minimum de 13 ans de scolarité était requis. Étant donné que les participants jeunes provenaient fréquemment d'un milieu universitaire, les participants âgés ont été appariés en conséquence. Ainsi, autant pour l'étude comportementale que pour l'étude en neuroimagerie, les participants avaient en moyenne un niveau élevé de scolarité formelle (17 ans pour la première étude et 18,2 ans pour la deuxième étude). Ceci peut, évidemment, limiter la généralisation des résultats qui seraient seulement applicables à un groupe restreint de la population. Mackenzie (2000) a rapporté que les adultes âgés ayant eu une éducation jusqu'à l'âge de 14 ans ont obtenu des résultats inférieurs et comparables à ceux d'une population cérébralisée lors de la compréhension du langage impliquant les métaphores et les inférences. Pour ces raisons, l'adjonction de personnes âgées avec un faible niveau de scolarité au groupe de personnes âgées aurait sans doute constitué une variable confondante. Il aurait cependant été très pertinent de mener la même étude auprès d'un tel groupe de participants: la description des particularités caractérisant leur compréhension du sens métaphorique des mots, d'un point de vue comportemental et neurofonctionnel, aurait sans nul doute apporté une autre lumière sur la compréhension approfondie du traitement du sens métaphorique des mots.

Un dernier facteur pouvant affecter les résultats obtenus dans les deux études est l'utilisation possible de stratégies cognitives diverses lors de l'exécution des tâches expérimentales. Il est bien connu que les personnes âgées peuvent utiliser des stratégies cognitives différentes de celles des adultes jeunes dans la réalisation de la même tâche (Light, 1991; Aine *et al.*, 2006). Certains auteurs ont interprété les différences de profils d'activation cérébrale observés chez les personnes âgées comme le résultat de la mise en place de mécanismes ou de stratégies inefficaces de traitement de l'information. Par exemple, pour une tâche d'évocation indicée, Schacter *et al.* (1996) ont décrit une activation plus faible des régions du cortex préfrontal (CPF) et une activation plus marquée de l'aire de Broca lorsque les participants âgés étaient comparés aux participants jeunes. Les auteurs suggèrent que,

au lieu d'employer des stratégies mnésiques (propres du CPF), les adultes âgés ont eu recours à des stratégies phonologiques inefficaces (par le biais du recrutement de l'aire de Broca). En opposition à ce point de vue, d'autres auteurs proposent que les profils d'activation différents observés chez les personnes âgées reflètent l'utilisation d'une stratégie efficace et caractéristique d'un processus normal de maturation (Aine *et al.*, 2006). Pour arriver à cette conclusion, ces chercheurs se basent sur les corrélations existantes entre les régions activées et les résultats dans des épreuves neuropsychologiques (par exemple un plus grand coefficient intellectuel verbal par rapport aux adultes jeunes en présence d'activations des aires associées au traitement linguistique). Plus particulièrement, en ce qui concerne le traitement des métaphores, Gregory & Waggoner (1996) soulignent l'existence de styles cognitifs différents chez les personnes âgées. Les auteurs ont analysé qualitativement les réponses données par les participants âgés lors d'une tâche faisant appel à la compréhension de métaphores impliquant des émotions. Les personnes âgées avaient tendance à imaginer des histoires à propos du protagoniste de l'énoncé, contrairement au groupe d'adultes jeunes qui, pour leur part, se limitaient à l'analyse des attributs de la métaphore proprement dite. Ce comportement a été décrit alors même que les performances étaient comparables pour les deux groupes de participants. Enfin, les auteurs soulignent que les adultes âgés tendent à penser en termes plus pragmatiques incluant des événements, situations et contextes personnels significatifs. Dans leur ensemble, ces observations imposent une mise en perspective des résultats obtenus dans les deux études qui composent cette thèse. En effet, aucune des études rapportées ici n'a tenu compte de ce fait lors de la conception des expériences et les stratégies utilisées par les participants lors de l'exécution des tâches n'ont pas été sollicitées. Dans l'étude comportementale, les personnes âgées ont obtenu des temps de réponse comparables indépendamment de la condition (tâche simple ou tâche double) et ce, exclusivement pour les stimuli impliquant la compréhension du sens métaphorique des mots. Il semble pertinent de se demander si ces résultats pourraient être expliqués, au moins en partie, par l'utilisation d'une stratégie différente de celle de participants jeunes et qui demanderait, même en condition de tâche simple, un surplus de ressources attentionnelles. De la même façon, pour l'étude en neuroimagerie, les

différences détectées entre les profils d'activation cérébrale des participants jeunes et âgés, et impliquant le recrutement des réseaux neuronaux additionnels, pourraient être le reflet de l'emploi d'une stratégie cognitive différente et plus exigeante du point de vue attentionnel (par exemple, l'activation du gyrus frontal inférieur gauche) ainsi que de l'emploi d'un mécanisme compensatoire (comme l'activation du gyrus cingulaire postérieur) chez les participants âgés par rapport aux jeunes.

Dans l'ensemble, les facteurs mentionnés ci-dessus enrichissent la discussion concernant les résultats présentés et dessinent déjà les contours des orientations futures du champ de recherche dans lequel cette thèse s'inscrit.

4 Impact et retombées cliniques des résultats

Compte tenu de l'augmentation importante de l'espérance de vie de la population générale observée dans les dernières décennies, les études portant sur les modifications présentes au plan cognitif lors du vieillissement normal et pathologique se révèlent d'un grand intérêt. Si les tendances actuelles se maintiennent, le Québec va connaître au cours des prochains 25 ans un vieillissement important de sa population. La proportion des personnes de 65 ans et plus passera de 14,0 % en 2006 à 25,6 % en 2031. Ainsi, les aînés représenteront plus du tiers de la population dans plusieurs des territoires du Québec (Institut de la statistique Québec, www.stat.gouv.qc.ca). Dans ce contexte, l'étude de l'évolution possible avec l'âge des aspects impliqués dans la communication constitue un riche champ de recherche et les études rapportées dans les pages précédentes s'inscrivent naturellement dans ce cadre. Les résultats rapportés ici ont contribué à mieux comprendre la nature des changements lors de la compréhension du sens métaphorique des mots liés au vieillissement normal et le phénomène de réorganisation fonctionnelle sous-tendant ces processus.

La prise en compte de la dimension temporelle dans les modèles psycholinguistiques du langage et plus particulièrement de la compréhension des métaphores peut entraîner des impacts autant sur le plan théorique que clinique. Dans une perspective

générale, l'exploration des changements neurocognitifs reliés au vieillissement normal concernant les fonctions langagières est une étape fondamentale pour permettre l'élaboration de programmes de prise en charge mieux adaptés à une population vieillissante normale et cérébrolésée. Dans un contexte clinique, il semble pertinent que les méthodes d'évaluation et les stratégies d'intervention utilisées auprès des individus qui souffrent de troubles de la communication, suite à une lésion hémisphérique gauche ou droite, doivent prendre en considération la réorganisation neurofonctionnelle existant déjà dans le cerveau sain de ces individus. En effet, le besoin de ressources attentionnelles additionnelles pour accomplir les tâches linguistiques de haut niveau comme le traitement des métaphores pourrait demander la mise en place de stratégies d'encadrement spécifiques. En parallèle aux interventions centrées sur les aspects langagiers, une remédiation des fonctions attentionnelles pourrait s'avérer pertinente dès le début du processus afin d'essayer d'atteindre, dans la mesure du possible, les conditions optimales requises pour le traitement des aspects les plus complexes du langage. Un type d'intervention possible pourrait également impliquer la variation du degré de la demande de ressources attentionnelles et l'utilisation de différentes sources d'interférence lors de la résolution des tâches langagières.

Enfin, il est fort possible que le phénomène de réorganisation neurofonctionnelle observé chez les personnes âgées saines, puisse également devenir un indice de bonne récupération du patient aphasique. Cette réorganisation témoigne de la plasticité cérébrale susceptible de faciliter une récupération optimale des comportements langagiers. Ce cadre de réflexion modifie la façon de concevoir l'organisation fonctionnelle du cerveau pour le langage chez l'adulte âgé en rappelant le maintien du caractère plastique du cerveau tout au long de la vie.

5 Orientations futures

Les deux études rapportées ici ont permis d'élargir la compréhension quant à la nature et la direction des changements dans le traitement du sens métaphorique des mots observés lors du vieillissement normal.

Il est sans conteste évident qu'une meilleure compréhension de ces phénomènes implique une diversification des sources d'information incluant des observations cliniques, des études en champ visuel divisé ainsi qu'en neuroimagerie fonctionnelle. La conjonction de techniques en neuroimagerie fonctionnelle devrait permettre d'obtenir une bonne résolution à la fois spatiale et temporelle. D'autres types d'analyses semblent également souhaitables. Par exemple, certaines différences auraient pu être mises en évidence par le biais d'une analyse du profil de connectivité fonctionnelle entre les régions activées. Une vision plus ample du panorama implique également l'utilisation de stimuli variés (phrases à contenu métaphorique complémentaires aux mots avec un sens métaphorique). La diversification des populations échantillonnées semble également primordiale à cette fin et pourrait s'avérer plus informative concernant les possibilités d'intervention (enfants, adultes jeunes et adultes âgés, personnes âgées hautement performantes, performant dans la moyenne et avec performances inférieures, populations cérébrolésées ou atteintes de maladies neurodégénératives). Enfin, il serait du plus grand intérêt de pouvoir documenter les différences possibles quant aux stratégies cognitives utilisées par les différents groupes d'âge.

Références

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

- Ahrens, K., Liu, H-L., Lee, C-Y., Gong, S-P., Fang, S-Y. & Hsu, Y-Y. 2007. Functional MRI of conventional and anomalous metaphors in Mandarin Chinese. *Brain and Language*, 100 (2), 163-171.
- Aine C.J.; Woodruff C.C., Knoefel J.E., Adair J.C., Hudson D., Qualls C., Bockholt J., Best E., Kovacevik S., Cobb W., Padilla D., Hart B. & Stephen J. 2006. Aging: Compensation or maturation? *NeuroImage*, 32, 1891-1904.
- Anaki, D., Faust, M. & Kravetz, S. 1998. Cerebral hemispheric asymmetries in processing metaphors. *Neuropsychologia*, 36 (7), 691-700.
- Anderson, N.D., Craik F.I. & Naveh-Benjamin, M. 1998. The attentional demands of encoding and retrieval in younger and older adults: Evidence from divided attention costs. *Psychology and aging*, 13, 405-423.
- Anderson, N.D., Iidaka, T., Cabeza, R., Kapur, S., McIntosh, A.R., & Craik, F.I.M. 2000. The Effects of Divided Attention on Encoding- and Retrieval-Related Brain Activity: A PET Study of Younger and Older Adults. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 12, 775-92.
- Aristote (350 BCE). *Poétique*, 1952, trad. Hardy, Paris, Belles-Letters.
- Arzouan, Y., Goldstein, A. & Faust, M. 2007 Dynamics of hemispheric activity during metaphor comprehension: Electrophysiological measures. *NeuroImage*, 36, 222-231.
- Baddeley, A. 1986. *Working memory*. Oxford Psychology Series No. 11. Oxford: Oxford Science Publications.
- Billow, R.M. 1975. A cognitive developmental study of metaphor comprehension. *Developmental Psychology*, 11, 415-423.
- Blasko, D.G. & Connine, C.M. 1993. Effects on familiarity and aptness on metaphor processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 19, 295-308.

- Bonnaud, V., Gil, R. & Ingrand, P. 2002. Metaphorical and non-metaphorical links: a behavioral and ERP study in young and elderly adults. *Neurophysiologie Clinique/Clinical Neurophysiology*, 32 (4), 258-268.
- Bookheimer, S. 2002. Functional MRI of language: new approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience*, 25, 151-188.
- Bottini, G., Corcoran, R., Sterzi, R., Paulesu, E., Schenone, P., Scarpa, P., Frackowiak, R.S.J. & Frith, C.D. 1994 The role of the right hemisphere in the interpretation of figurative aspects of language. A positron emission tomography activation study. *Brain*, 117, 1241-1253.
- 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.
- Brownell, H.H., Potter, H. & Michelow, D. 1984. Sensibility to lexical denotation and connotation in brain damaged patients: A double dissociation? *Brain and Language*, 22, 253-265.
- Brownell, H.H., Simpson, T.L., Bhirle, A. M., Potter, H & Gardner, H. 1990. Appreciation of metaphoric alternative word meaning by left and right brain-damaged patients. *Neuropsychologia*, 28, 375-383.
- Cabeza, R. 2002. Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults: The HAROLD Model. *Psychology and Aging*, 17, 85-100.
- Cabeza, R., McIntosh, A.R., Tulving E., Nyberg, L. & Grady, C.L. 1997. Aged-related differences in effective neural connectivity during encoding and recall. *Neuroreport*, 8, 3479-3483.

- Champagne, M., Nespoulous, J.L. & Joannette, Y. 2002. Do all right brain-damaged subjects show a deficit in non literal language comprehension? *Brain and Language*, 83, 214-217.
- Champagne, M., Jean-Louis, S. et Joannette, Y. 2006. Effet du vieillissement sur le traitement du langage non-littéral. *Canadian Journal on Aging*, 22 (1), 55-54.
- Clark, H.H. & Lucy, P. 1975. Understanding what is meant from what is said: A study in conversationally conveyed requests. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behaviour*, 14, 56-72.
- Critchley, M. 1962. Speech and speech-loss in relation to duality of the brain. In V.B. Mountcastle (Ed.). *Interhemispheric relations and cerebral dominance*. Baltimore: John Hopkins Press.
- Davis, S.W., Dennis, N.A., Daselaar, S.M, Fleck, M.S. & Cabeza, R. 2008. Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cerebral Cortex*, 18, 1201-1209.
- Dax, M. 1865. Lésions de la moitié gauche de l'encéphale coïncidant avec l'oubli des signes de la pensée (Lu au Congrès méridional tenu à Montpellier en 1836). *Gazette Hebdomadaire de Médecine et de Chirurgie*, 2, 259-262.
- Eisenson, J. 1959. Language dysfonctions 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.
- Eviatar, Z. & Just, M.A. 2006. Brain correlates of discourse processing: An fMRI investigation of irony and conventional metaphor comprehension. *Neuropsychologia*, 44, 2348-2359.
- Faure, S. & Blanc-Garin, J. 1994. Difficultés d'évocation lexicale après lésion droite: recherche de profils. *Revue de neuropsychologie*, 4, 403-435.
- Fox, P.T. & Raichle, M.E. 1986. Focal physiological uncoupling of cerebral blood flow and oxidative metabolism during somatosensory stimulation in human subjects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 83, 1140-1144.

- Gagnon, L., Goulet, P., Giroux, F & Joannette, Y. 2003. Processing of metaphoric and non-metaphoric alternative meanings of words after right- and left-hemispheric lesion. *Brain and Language*, 87, 217-226.
- 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.
- Giora, R., Zaidel, E., Soroker, N., Batori, G. & Kasher, A. 2000. Differential effects of right- and left-hemisphere damage on understanding sarcasm and metaphor. *Metaphor and Symbol*, 15, 63-83.
- Glucksberg, S. 2003. The psycholinguistics of metaphor. *Trends in Cognitive Sciences*, 7 (2), 92-96.
- Glucksberg, S. & Keyser, B. 1990. Understanding metaphorical comparisons: beyond similarity. *Psychological Review*, 97 (1), 3-18.
- Grady, C.L., Maisog, J.M., Horwitz, B., Ungerleider, L.G., Mentis, M.J., Salerno, J.A., Pietrini, P., Wagner, E. & Haxby, J.V. 1994. Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *Journal of Neurosciences*, 14, 1450-1462.
- Grady, C.L., McIntosh, A.R., Rajah, M.N., Beig, S. & Craik F.I. 1999. The effects of age on the neural correlates of episodic encoding. *Cerebral Cortex*, 9, 805-814.
- Grady, C.L. & Craik, F.I. 2000. Changes in memory processing with age. *Curr Opin Neurobiol.* 10, 224-231.
- Grady, C.L., Bernstein, L.J., Beig, S. & Siegenthaler, A.L. 2002. The effects of encoding task on age-related differences in the functional neuroanatomy of face memory. *Psychological Aging*. 17, 7-23.
- Grady, C.L., Springer, M.V., Hongwanishkul, D., McIntosh, A.R. & Winocur, G. 2006. Age-related changes in brain activity across the adult lifespan. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 18, 227-241.
- Gregory, M.E. & Waggoner, J.E. 1996. Factors that influence metaphor comprehension skills in adulthood. *Experimental Aging Research*, 22(1), 83-98.

- Grice, H.P. 1975. Logic and conversation. In: Cole, P., Morgan, J. (Eds.) *Syntax and Semantics: Speech Acts*, vol. 3. Academic Press New York.
- Hannequin, D., Goulet, P. & Joannette, Y. 1987. La contribution de l'hémisphère droit à la communication verbale. Paris: Masson; p. 248.
- Hedden T. & Gabrieli J.D.E. 2004. Insights into the ageing mind: A view from cognitive neuroscience. *Nature Reviews. Neuroscience*, 5(2), 87-96.
- Hughlings-Jackson, J. 1884. The Croonian lectures on evolution and dissolution of the nervous system. *British Medical Journal*, 1, 591-593. Repris en 1958 in J. Taylor (Ed.). *Selected writings of John Hughlings Jackson*. London: Staples Press.
- Jensen, A.R. 1982. Reaction time and psychometric. In, H.J. Eysenck (Ed.), *Model for intelligence*. New York Springer-Verlag.
- Joannette, Y. & Goulet, P. 1988. Word-naming in right-brain-damaged subjects. In C. Chiarello (Ed.). *Right hemisphere contributions to lexical semantics*. New York: Springer Verlag.
- Joannette, Y., Goulet, P. & Hannequin, D. 1990. *Right hemisphere and verbal communication*. New York: Springer Verlag.
- Kaculik, N.A. & Chiarello, C. 2007. Understanding metaphors: Is the right hemisphere uniquely involved? *Brain and Language*, 100 (2), 188-207.
- Kanheman, D. 1973. *Attention and effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kanheman, D. & Treisman, A.M. 1984. Changing views of attention and automaticity. In, R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of Attention*, 29-61, Academic Press.
- Kemper, D., Van Lancker, D., Marchman V. & Bates E. 1999. Idiom comprehension in children and adults with unilateral brain damage. *Developmental Neuropsychology*, 15, 327-349.
- Lee, S.S. & Dapretto, M. 2006. Metaphorical vs. literal words meanings: fMRI evidence against a selective role of the right hemisphere. *NeuroImage*, 29 (2), 536-544.
- Li, S. 2002. Connecting the Many levels and Facets of Cognitive Aging. *American Psychological Society*, 11, 38-42.
- Lichtheim, L. 1885. On aphasia. *Brain*, 7, 433-484.

- Light, L.L. 1991. Memory and aging: Four hypotheses in search of data. *Annual Review of Psychology*, 42, 333-376.
- Logan, J.M., Sanders, A.L., Snyder, A.Z., Morris, J.C. & Buckner, R. 2002. Under-recruitment and non-selective recruitment: dissociable mechanisms associated with aging. *Neuron*, 33, 827-840.
- Mackenzie C. 2000 The relevance of education and age in the assessment of discourse comprehension. *Clinical Linguistics & Phonetics*. 14 (2), 151-161.
- 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*, vol. 20, Austin, Tx: Pro-Ed.
- Mashal, N., Faust, M., & Hendler, T. 2005. The role of the right hemisphere in processing nonsalient metaphorical meanings: Application of Principal Components Analysis to fMRI data. *Neuropsychologia*, 43 (14), 2084-2100.
- Mashal, N., Faust, M., Hendler, T. & Jung-Beeman, M. 2007. An fMRI investigation of the neural correlates underlying the processing of novel metaphoric expressions. *Brain and Language*, 100 (2), 115-126.
- McIntyre, M. Pritchard P.B. & Lombroso, C.T. 1976. Left and right temporal lobe epileptics: A controlled investigation of some psychological differences. *Epilepsia*, 17, 377-386.
- Mercure, E. 2004. Dynamique interhémisphérique dans le traitement du sens métaphorique des mots. Mémoire de maîtrise. Université de Montréal.
- Monetta, L., Ouellet-Plamondon, C.E. & Joannette, Y. 2006 Simulating the pattern of right-hemisphere-damaged patients for the processing of the alternative metaphorical meanings of words: evidence in favor of a cognitive resources hypothesis. *Brain and Language*, 96 (2), 171-177.
- Monetta, Ouellet-Plamondon & Joannette, 2007. Age-related changes in the processing of the metaphorical alternative meanings of words. *Journal of Neurolinguistics*, 20 (4), 277-284.
- Navon, D. & Gopher, D. 1979. On the economy of the human processing system. *Psychological Review*, 56, 214-255.

- Nebel, K., Wiese, H., Stude, P., de Greiff, A., Diener, H-C. & Keidel, M. 2005. On the basis of focused and divided attention. *Cognitive Brain Research*, 25, 760-776.
- Nielson, K.A., Langenecker, S.A. & Garavan, H. 2002. Differences in the functional neuroanatomy of inhibitory control across the adult life span. *Psychological Aging*, 17, 56-71.
- Newsome, M.R. & Glucksberg, S. 2002. Older adults filter irrelevant information during metaphor comprehension. *Experimental Aging Research*, 28(3), 253-67.
- Ouellete-Plamondon, C.E., Monchi O., Senhadji N., Walter N., & Joannette Y. 2006. Déplacement de l'activation en IRMf lors du traitement sémantique des mots associé au vieillissement. *Canadian Journal of Aging*, 25 (Suppl. 1), 220-221.
- Persson, J., Sylvester, C.Y., Nelson, J.K., Welsh, K.M., Jonides, J. & Reuter-Lorenz PA. 2004. Selection requirements during verb generation: differential recruitment in older and younger adults. *Neuroimage*, 23, 1382-1390.
- Quintanar, L. 1994. Modelos neuropsicologicos en afasiologia. Benemérita Universidad Autonoma de Puebla, Puebla, Mexique.
- Rapp, A.M., Leube, D.T., Erb, M., Grodd, W. & Kircher, T.T.J. 2004. Neural correlates of metaphors processing. *Cognitive Brain Research*, 20, 392-402.
- Rapp, A.M., Leube D.T., Erb, M., Grodd, W. & Kircher, T.T.J. 2007. Laterality in metaphor processing: lack of evidence from functional magnetic resonance imaging for the right hemisphere theory. *Brain and Language*, 100, 142-9.
- Reuter-Lorenz, P.A., Jonides, J., Smith, E.S., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C. *et al.* 2000. Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 12, 174-187.
- Salthouse, T.A. 1994. The aging of working memory. *Neuropsychology*, 8, 535-543.
- Salthouse, T.A., Kausle D.H. & Saults, J.S. 1988. Utilization of path-analytic procedures to investigate the role of processing resources in cognitive aging. *Psychology & Aging*, 3, 158-166.
- Schacter, D.L., Savage, C.R., Alpert, N.M., Rauch, S.L. & Albert, M.S. 1996. The role of hippocampus and frontal cortex in age-related memory changes: A PET study. *Neuroreport*, 7, 1165-1169.

- Searle, J. 1979. Metaphor. In: Ortony, A. (Ed.), *Metaphor and Thought*. Cambridge University Press, pp. 92-123.
- Sergent, J. 1995. Hemispheric contributions to face processing: Patterns of convergence and divergence. In: R.J. Davidson & K. Hugdahl (Eds.), *Brain Asymmetry*. Cambridge, MA: MIT Press, pp. 157-181.
- Stern, Y. 2009. Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028.
- Stringaris, A., Medford, N., Giora, R., Giampietro, C.V., Brammer, J. M. & David, S.A. 2007. Deriving meaning: Distinct neural mechanisms for metaphoric, literal and non-meaningful sentences. *Brain and Language*, 100 (2), 150-162.
- Szuchman, L.T. & Erber, J.T. 1990. Young and older adults' metaphor interpretation: the judgments of professionals and nonprofessionals. *Experimental Aging Research*, 16 (1-2), 67-72.
- Tompkins, C.A. 1990. Knowledge and strategies for processing lexical metaphor after right or left hemisphere brain damage. *J Speech Hear Res*, 33 (2), 307-16.
- Van der Linden, M. & Hupet, M. 1994. *Le vieillissement cognitif*. Paris: Presses Universitaires de France.
- Vera, F. 1970. *Científicos griegos*. Madrid, Ed. Aguilar.
- Wernicke, K. 1874. *Der aphasische Symptomenkomplex*. Breslau: Cohen and Weigert.
- Wickens, C.D. 1989. Attention and skilled performance. In, D. Holding (Ed). *Human Skills*. New York: Wiley, 72-105.
- Wingfield, A. & Grossman, M. 2006. Language and the Aging Brain: Patterns of Neural Compensation Revealed by Functional Brain Imaging. *Journal of Neurophysiology*, 96, 2830-2839.
- Zhang, J.X., Fengb, C-M., Foxb, P.T., Gaob, J.H. & Tana, L.H. 2004. Is left inferior frontal gyrus a general mechanism for selection? *NeuroImage*, 23 (2), 596-603.

Référence électronique:

Institut de la statistique Québec: www.stat.gouv.qc.ca

Annexes

I. Liste de stimuli	<i>xii</i>
II. Liste de stimuli par catégorie de paires	<i>xvi</i>

Anexe I. Liste de stimuli

Stimulus 1	Stimulus 2	Type de paire
ange	démon	CL
ange	vertu	CM
ange	folie	DA
ange	fauteuil	DC
blessure	douleur	CL
blessure	chagrin	CM
blessure	intimité	DA
blessure	soie	DC
boulet	canon	CL
boulet	fardeau	CM
boulet	arrogance	DA
boulet	trombone	DC
centre	milieu	CL
centre	essentiel	CM
centre	instinct	DA
centre	larme	DC
cercle	rectangle	CL
cercle	groupe	CM
cercle	sagesse	DA
cercle	rideau	DC
chaleur	four	CL
chaleur	passion	CM
chaleur	décision	DA
chaleur	article	DC
chemin	sentier	CL
chemin	destin	CM
chemin	peine	DA
chemin	journal	DC
crème	lait	CL
crème	élite	CM

Stimulus 1	Stimulus 2	Type de paire
crème	vivacité	DA
crème	parapluie	DC
empreinte	trace	CL
empreinte	signature	CM
empreinte	lucidité	DA
empreinte	bière	DC
épine	arbuste	CL
épine	tracas	CM
épine	gratitude	DA
épine	vaisseau	DC
flamme	incendie	CL
flamme	ardeur	CM
flamme	curiosité	DA
flamme	pont	DC
fossé	sillon	CL
fossé	écart	CM
fossé	malice	DA
fossé	tambour	DC
froid	glace	CL
froid	malaise	CM
froid	intérêt	DA
froid	train	DC
fruit	pomme	CL
fruit	résultat	CM
fruit	tristesse	DA
fruit	croix	DC
lueur	lampe	CL
lueur	espoir	CM
lueur	richesse	DA
lueur	manteau	DC
lumière	néon	CL

Stimulus 1	Stimulus 2	Type de paire
lumière	génie	CM
lumière	plaisir	DA
lumière	pays	DC
montagne	colline	CL
montagne	amas	CM
montagne	réflexion	DA
montagne	robe	DC
mouton	laine	CL
mouton	suiueur	CM
mouton	caprice	DA
mouton	liquide	DC
naissance	bébé	CL
naissance	début	CM
naissance	ennui	DA
naissance	gare	DC
orage	pluie	CL
orage	dispute	CM
orage	vanité	DA
orage	hôpital	DC
porc	cochon	CL
porc	pervers	CM
porc	fragilité	DA
porc	foulard	DC
remède	maladie	CL
remède	solution	CM
remède	sincérité	DA
remède	océan	DC
soif	eau	CL
soif	désir	CM
soif	dignité	DA

soif	boulevard	DC
venin	poison	CL
venin	haine	CM
venin	fougue	DA
venin	biscuit	DC
vipère	reptile	CL
vipère	méchant	CM
vipère	romance	DA
vipère	tricot	DC

Anexe II. Liste de stimuli par catégorie de paires

Cibles

Littérales		Métaphoriques	
ange	démon	ange	vertu
blessure	douleur	blessure	chagrin
boulet	canon	boulet	fardeau
centre	milieu	centre	essentiel
cercle	rectangle	cercle	groupe
chaleur	four	chaleur	passion
chemin	sentier	chemin	destin
crème	lait	crème	élite
empreinte	trace	empreinte	signature
épine	arbuste	épine	tracas
flamme	incendie	flamme	ardeur
fossé	sillon	fossé	écart
froid	glace	froid	malaise
fruit	pomme	fruit	résultat
lueur	lampe	lueur	espoir
lumière	néon	lumière	génie
montagne	colline	montagne	amas
mouton	laine	mouton	suiveur
naissance	bébé	naissance	début
orage	pluie	orage	dispute
porc	cochon	porc	pervers
remède	maladie	remède	solution
soif	eau	soif	désir
venin	poison	venin	haine
vipère	reptile	vipère	méchant

Distracteurs

Concrets		Abstrait	
ange	fauteuil	ange	folie
blessure	soie	blessure	intimité
boulet	trombone	boulet	arrogance
centre	larme	centre	instinct
cercle	rideau	cercle	sagesse
chaleur	article	chaleur	décision
chemin	journal	chemin	peine
crème	parapluie	crème	vivacité
empreinte	bière	empreinte	lucidité
épine	vaisseau	épine	gratitude
flamme	pont	flamme	curiosité
fossé	tambour	fossé	malice
froid	train	froid	intérêt
fruit	croix	fruit	tristesse
lueur	manteau	lueur	richesse
lumière	pays	lumière	plaisir
montagne	robe	montagne	réflexion
mouton	liquide	mouton	caprice
naissance	gare	naissance	ennui
orage	hôpital	orage	vanité
porc	foulard	porc	fragilité
remède	océan	remède	sincérité
soif	boulevard	soif	dignité
venin	biscuit	venin	fougue
vipère	tricot	vipère	romance