

Direction des bibliothèques

AVIS

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

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

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

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

NOTICE

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

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

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

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

Université de Montréal

Spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de sa propre voix

Par
Christine Rosa

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 Ph.D.
En psychologie recherche/intervention
Option neuropsychologie

Février 2008

© Christine Rosa, 2008



Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Cette thèse intitulée:

Spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de sa propre voix

Présentée par:

Christine Rosa

A été évaluée par un jury composé des personnes suivantes:

Hugo Théorêt, Ph.D.
Président-rapporteur
Et représentant du doyen de la FES

Maryse Lassonde, Ph.D.
Directrice

Pascal Belin, Ph.D.
Co-directeur

Franco Lepore, Ph.D.
Membre du Jury

Robert Zatorre, Ph.D.
Examineur externe

Résumé

Dans la littérature investiguant les corrélats neuronaux et la spécialisation hémisphérique du soi, plusieurs évidences suggèrent une implication plus importante des régions fronto-pariétales de l'hémisphère droit dans la reconnaissance de soi et des régions fronto-temporo-pariétales de cet hémisphère dans le soi conceptuel. Dans cette thèse, nous avons tenté d'investiguer la spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de soi dans une modalité peu testée jusqu'à présent: la voix. Notre hypothèse était que l'hémisphère droit (main gauche) montrerait un avantage pour la reconnaissance de sa propre voix, tel que démontré maintes fois pour les visages.

Nous avons entrepris une série d'expérimentations comportementales chez des participants sains et chez un patient callosotomisé, au cours desquelles les asymétries fonctionnelles ont été mesurées à l'aide des différences entre les réponses manuelles (main droite vs. gauche) pendant que les participants devaient reconnaître leur propre voix en comparaison à des voix contrôles (familières, célèbres et/ou inconnues) sous présentation de stimuli canoniques ou morphés (combinaison de deux voix).

Chez les participants sains, nous n'avons pas obtenu les différences attendues entre les réponses manuelles des participants pour les deux premières expérimentations. Par contre, dans la troisième, dans laquelle les participants devaient reconnaître leur propre voix dans une série de morphes avec une voix célèbre en comparaison à des morphes composés d'une voix familière et d'une voix célèbre, un avantage de l'hémisphère droit (main gauche plus sensible) sur l'hémisphère gauche a été observé. De plus, chez le patient callosotomisé, l'hémisphère droit (main gauche) montrait un avantage en termes de précision, de rapidité et de biais de réponse à percevoir le soi en

comparaison aux voix contrôles (familière ou inconnue) et à l'hémisphère gauche dans les deux expérimentations effectuées.

Dans l'ensemble, nos données confirment partiellement l'hypothèse d'une implication plus importante de l'hémisphère droit dans la reconnaissance et le traitement du soi. Ces résultats sont discutés en lien avec les différents modèles localisationnistes proposés dans la littérature, avec les explications quant aux mécanismes neuronaux et processus cognitifs possiblement sous-jacents à ces habiletés, avec les théories évolutionnistes de la reconnaissance de soi et avec les limites de notre étude.

Mots clés: reconnaissance de soi, conscience de soi, études comportementales, latéralité, spécialisation hémisphérique, asymétries fonctionnelles, reconnaissance de la voix, voix, soi, commissurotomie.

Abstract

In the literature investigating the neural correlates and hemispheric specialization of the self, a majority of studies suggest a more important implication of the fronto-parietal regions of the right hemisphere for self-recognition and of the fronto-temporo-parietal regions of the same hemisphere for the conceptual self. In the present thesis, we decided to investigate the hemispheric specialization of self-recognition in a modality that has not yet been investigated: the voice. Our working hypothesis was that the right hemisphere (left hand) would show an advantage for the recognition of one's own voice, as demonstrated many times with faces.

We have undertaken a series of behavioural studies with normal participants and a callosotomized patient, in which functional asymmetries were investigated using differences in manual responses (left hand vs. right hand) while participants had to recognize the self-voice compared to control voices (highly familiar, famous and/or unknown) presented either canonically or morphed (combination of two voices).

Concerning the normal participants, we have not obtained the predicted manual response differences in the first two experiments. However, in the third experiment, in which participants had to recognize their own voice in a series of morphs with a famous voice in comparison to morphs composed of a familiar and a famous voice, a right hemisphere advantage (left hand more sensitive) over the left hemisphere was observed. Moreover, with the callosotomized patient, the right hemisphere (left hand) showed an advantage in terms of precision, speed and response bias to perceive the self compared to the control voices (familiar or unknown) and to the left hemisphere for both of the completed experiments.

In general, our data confirm partially the right hemisphere hypothesis for self-recognition and self-related processing. These results are discussed in relation with the different models proposed in the literature concerning the localization of the self, the possible underlying neural mechanisms and cognitive processes, the evolutionist theories of self-recognition and the limits of our study.

Keywords: self-recognition, self-awareness, behavioural studies, laterality, hemispheric specialization, functional asymmetries, voice recognition, voice, self, split-brain patient.

Table des matières

Chapitre 1: Introduction générale.....	1
Spécialisation hémisphérique.....	2
Asymétries anatomiques.....	2
Asymétries fonctionnelles.....	3
Le soi et la conscience.....	8
D'Aristote à aujourd'hui.....	8
La dualité de la conscience.....	11
Le soi est-il spécial?.....	13
Spécialisation hémisphérique et corrélats neuronaux du soi.....	15
Le soi en tant que perception.....	16
La reconnaissance de son propre visage.....	16
La perception de son propre corps.....	24
La perspective de soi et l'agence.....	26
Le soi en tant que connaissance.....	27
Les traits de personnalité.....	27
La mémoire autobiographique.....	29
La reconnaissance de sa propre voix.....	29
Pourquoi étudier le soi en tant que perception?.....	30
Le traitement de la voix.....	31
Le traitement de sa propre voix.....	34
Conclusion.....	36
Objectifs de recherche.....	37
Hypothèses.....	39
Références.....	41
Chapitre 2: Article 1: Investigations of hemispheric specialization of self-voice recognition.....	59
Abstract.....	61
Introduction.....	62
Experiment 1.....	67
Materials and methods.....	67
Participants.....	67
Material.....	67
Procedure.....	68
Statistical analyses.....	69
Results.....	69
Comment.....	73
Experiment 2.....	74
Materials and methods.....	74
Participants.....	74
Material.....	74
Procedure.....	75
Statistical analyses.....	75
Results.....	76

Comment.....	79
Experiment 3.....	81
Materials and methods.....	81
Participants.....	81
Material.....	81
Procedure.....	83
Statistical analyses.....	84
Results.....	84
First set of instruction.....	84
Second set of instruction.....	85
General discussion.....	88
Self-perception.....	89
Limitations of our study.....	91
Effect of temporal inversion.....	94
The right hemisphere and the self.....	95
Conclusion.....	96
References.....	97
Chapitre 3: Article 2: Greater implication of the right hemisphere for self-voice recognition in a split-brain patient.....	106
Abstract.....	108
Introduction.....	109
Experiment 1.....	112
Materials and methods.....	112
Patient.....	112
Material.....	113
Procedure.....	114
Results.....	114
Experiment 2.....	118
Materials and methods.....	118
Material.....	118
Procedure.....	119
Results.....	119
Discussion.....	124
Self-perception.....	125
Limitations of our study.....	129
Conclusion.....	130
References.....	132
Chapitre 4: Discussion générale.....	139
Synthèse des études.....	140
Implications de nos résultats.....	145
Processus cognitifs et mécanismes neuronaux sous-jacents.....	149
Théories évolutionnistes du soi.....	154
Inversion temporelle.....	156
Limites de nos études et propositions futures.....	158
Conclusion.....	165

Références.....	167
Annexe 1	xv
Annexe 2	xvi
Annexe 3	xviii

Liste des tableaux

Chapitre 2:

<u>Tableau I</u> : Signal detection analysis: d values for self and familiar voices. <i>Analyse de détection de signal: Valeur de d pour la propre voix et les voix familières.....</i>	69
--	----

Chapitre 3:

<u>Tableau I</u> : Signal detection analysis in normal presentation for the self and familiar voices. <i>Analyse détection de signal sous présentation normale pour la propre voix et la voix familière.....</i>	115
--	-----

Liste des figures

Chapitre 2:

Figure 1: Accuracy and median reactions times for recognition of all the voices in the two presentation orders.
Scores de précision et temps de réaction (médianes) pour la reconnaissance de toutes les voix dans les deux modes de présentation..... 72

Figure 2: Recognition responses and median reaction times for all the auditory morphs.
Réponses de reconnaissance et temps de réaction (médianes) pour tous les morphes entendus..... 78

Figure 3: Results for the mean number of morphs the continuum was stopped for the self-voice or the familiar voice.
Nombre moyen de morphes où le continuum a été arrêté pour la propre voix ou la voix familière..... 87

Chapitre 3:

Figure 1a: Post-operative MRI brain images of the split-brain patient M.L.
Images cérébrales IRM post-opération du patient callosotomisé M.L..... 112b

Figure 1: Accuracy scores in terms of hits and false alarms for all the presented voices.
Scores de précision en termes de succès et de fausses alarmes pour toutes les voix entendues..... 117

Figure 2: Accuracy and reaction times for recognition of the self and familiar voices.
Scores de précision et temps de réaction pour la reconnaissance de la propre voix ou de la voix familière..... 122

Figure 3: Recognition responses and reaction times for identification of the self and familiar voices.
Réponses de reconnaissance et temps de réaction pour l'identification de la propre voix et de la voix familière..... 123a

Liste des abréviations

HD: Hémisphère droit

HG: Hémisphère gauche

IRMf: Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

Pés: Potentiels évoqués

STM: Stimulation transcrânienne magnétique

TEP: Tomographie par émission de positrons

"Vous me montrez quelqu'un d'incapable de comprendre les gens
et moi je vais vous montrer quelqu'un
qui s'est bâti une fausse image de lui-même".

- Isaac Asimov

Remerciements

J'aimerais d'abord remercier mes deux superviseurs, Maryse et Pascal, pour leur support et leurs conseils. Ensemble, ils m'ont dirigée et appuyée tout au long de cette aventure qu'a été l'accomplissement de ma thèse de doctorat. J'aimerais également grandement remercier Julian Paul Keenan dont le travail nous a inspiré la présente thèse et qui a bien voulu accepter de collaborer à l'ensemble de mes projets de recherche. Son expertise sur le plan de la conscience et de la reconnaissance de soi, ses conseils quant à la rédaction des articles et ses connaissances statistiques m'ont été d'une aide immense. Je ne peux passer sous silence l'implication de quelques étudiantes au baccalauréat, Marlène Richer, Nadja Bouliane, Sarah Fillion et Claudine Pinard, dans l'exécution des expérimentations pilotes, ce qui nous a permis de tester et d'améliorer nos paradigmes de recherche. Spécialement, je remercie Claudine Pinard qui m'a aidé dans l'exécution de la majorité des expérimentations de la présente thèse avec rigueur et dévouement, ce qui m'a sauvé bien du temps et des difficultés. J'aimerais par ailleurs dire un grand merci à Louis De Beaumont pour son aide et ses conseils constants en lien avec ma méthodologie de recherche et la rédaction de ma thèse. Je voudrais aussi mentionner l'implication de tous les gens qui m'ont supportée et réconfortée tous au long de mes longues études: Ma famille, Michel, Lisette, Caroline et Véronique, ainsi que mon copain, Tony, et mes amies et collègues. Finalement, je voudrais remercier le CRSNG pour les bourses qui m'ont été octroyées pendant 4 années. Ce financement m'a permis de me consacrer à temps plein à mes études et d'ainsi rejoindre rapidement le marché du travail.

Chapitre 1

Introduction générale

La spécialisation hémisphérique

En observant le corps humain, mais aussi celui de nombreux animaux, il est rapidement possible de remarquer une certaine symétrie, la plupart des organes et des membres se retrouvant au nombre de deux. Il en est de même pour le cerveau, qui compte deux hémisphères. Par ailleurs, les scientifiques ont tôt fait de constater que, malgré cette symétrie, plusieurs asymétries pouvaient être notées sur les plans fonctionnel et anatomique. La dominance manuelle, i.e. la préférence d'utilisation d'une main (habituellement, la droite) pour effectuer les activités manuelles, en est un exemple flagrant. Il existerait également des différences d'utilisation pour les pieds et les yeux, le droit étant préféré le plus souvent dans les deux cas (voir Iaccino, 1993 pour une revue). En ce qui concerne le cerveau, le questionnement sur sa dualité, à savoir si le cerveau fonctionne en deux parties séparées ou plutôt comme un tout, a débuté au 19^e siècle et se poursuit encore de nos jours (voir Oppenheimer, 1977). L'ensemble des recherches portant sur ce sujet ont permis de mettre en évidence un nombre important de différences inter-hémisphériques tant au niveau morphologique que fonctionnel.

Asymétries anatomiques

Au niveau du cerveau adulte, des différences macroanatomiques en termes du volume de chacun des hémisphères et de certaines régions cérébrales ainsi que de la forme et de la taille de certains gyri ont amplement été documentées (voir Best, 1988; Dehaene-Lambertz, Hertz-Pannier, & Dubois, 2006; Iaccino, 1993; Jäncke & Steinmetz, 2003 pour une revue). Ainsi, la scissure de Sylvius, soit la structure délimitant les lobes temporal et frontal, située tout près des aires langagières, est plus large à gauche qu'à droite. Il existe également une asymétrie bien connue au niveau du cerveau d'adultes

droitiers: le planum temporale, structure incorporant l'aire de Wernicke, est plus volumineux dans l'hémisphère gauche (HG) que dans le droit (e.g. Galaburda, 1984; Galaburda, Sanides, & Geschwind, 1978; Geschwind & Levitsky, 1968). Ensuite, le lobe frontal droit est plus large et plus proéminent que le gauche, une caractéristique qu'on dénomme la frontopétalie droite. L'asymétrie inverse est observée dans la région postérieure du cerveau, c'est-à-dire que le lobe occipital gauche est plus volumineux que le droit, phénomène appelé occipitopétalie gauche (LeMay, 1977, 1992). Enfin, le volume de la matière blanche sous-jacente au gyrus de Heschl serait plus large à gauche qu'à droite. D'autres asymétries anatomiques ont également été répertoriées, notamment au niveau de la cytoarchitecture des neurones (voir Dehaene-Lambertz et al., 2006), mais leur description complète surpasse le cadre de la présente thèse.

Asymétries fonctionnelles

C'est au début des années 1800 que les scientifiques ont commencé à spéculer que les différentes fonctions cognitives seraient situées dans des endroits précis du cerveau (pour une revue historique, voir Bradshaw & Nettleton, 1983; Iaccino, 1993; Springer & Deutsch, 1998). Par exemple, Franz Gall, père de la phrénologie, croyait que les fonctions langagières étaient situées dans les lobes frontaux. Quelques années plus tard, Paul Broca (1864) observa une perte totale de la capacité à produire le langage chez un de ces patients souffrant d'une lésion dans une région précise du lobe frontal gauche (qui a plus tard été nommée l'aire de Broca). Après la réplique de cette observation chez plusieurs autres patients, Broca en est venu à la conclusion que le langage dépendait de l'intégrité de l'HG. Rapidement, d'autres types d'aphasies (désordres du

langage) ont été observés (aphasie de Wernicke, aphasie de conduction, ...), ainsi que des troubles dans l'écriture (agraphie) et la lecture (alexie) du langage, tous impliquant des lésions dans des régions précises de l'HG. Ainsi, il existe bel et bien une différence en terme fonctionnel entre les deux hémisphères, le gauche étant responsable du langage. Ces découvertes ont marqué le début de l'étude de la dominance, ou plus récemment de la spécialisation hémisphérique. Cette première découverte a également entraîné la qualification de l'HG, siège du langage, de « dominant », contrôlant même le droit, considéré comme mineur, subordonné, automatique; point de vue qui n'a pas encore complètement disparu de la littérature (Eccles, 1973; Gazzaniga, 1998).

L'étude de la spécialisation hémisphérique a donc débuté de façon clinique, par l'étude neuropsychologique de patients atteints de lésions cérébrales ou autres dommages cérébraux, avec les études sur les fonctions langagières décrites ci-haut. Pendant plusieurs années, les fonctions de l'hémisphère « dominant » ont été étudiées en profondeur, laissant de côté l'hémisphère « mineur ». Ce n'est que vers le milieu du 20^e siècle que d'autres déficits neuropsychologiques ont été découverts, cette fois, impliquant l'hémisphère droit (HD) (voir Bradshaw & Nettleton, 1983; Iaccino, 1993; Springer & Deutsch, 1998 pour une revue). Ces limites résidaient essentiellement au niveau des fonctions qualifiées de « non-verbales » ou visuo-spatiales. Par exemple, des dommages à l'HD ont été associés à des atteintes sur le plan de: la stéréopsie, la perception de la direction, la discrimination de taille, l'appréciation des relations spatiales entre des objets, l'orientation spatiale, le jugement de localisation et d'orientation d'objets, la complétion d'images, la création d'une image en trois dimensions, la perception des relations entre les parties et le tout, la manipulation de formes géométriques, ainsi que la perception, le rappel et la reconnaissance d'images

abstraites. Un trouble spécifique de la reconnaissance des visages, la prosopagnosie, a également été associé avec l'HD (Benton, 1980), ainsi qu'un déficit des habiletés musicales, l'amusie (difficulté à reconnaître des sons individuels, des mélodies connues, déficits de jugement de la hauteur, de l'harmonie, de l'intensité, du timbre, etc.; Benton, 1977; Gates & Bradshaw, 1977), quoique l'HG semble impliqué dans certaines parties de ce syndrome, comme nous le verrons plus tard.

Au début des années 1960, de nouvelles chirurgies visant à réduire les crises épileptiques, la commissurotomie (résection totale des commissures cérébrales) et la callosotomie (résection complète du corps calleux), ont permis d'explorer plus en profondeur les différences inter-hémisphériques (voir Bradshaw & Nettleton, 1983; Iaccino, 1993; Springer & Deutsch, 1998 pour une revue). En effet, chez les patients commissurotomisés ou callosotomisés, les fonctions des deux hémisphères peuvent être évaluées séparément, puisqu'ils ne communiquent plus entre eux (Gazzaniga, 1998, 2005). En parallèle, plusieurs études ont également été menées chez des participants normaux, à l'aide de techniques de plus en plus sophistiquées (présentation unilatérale de stimuli, présentation tachistoscopique, écoute dichotique, potentiels évoqués, imagerie cérébrale, etc.). L'ensemble des résultats obtenus sont venus confirmer ceux décrits plus tôt: l'HG serait « dominant » pour le langage et le droit, pour les fonctions visuo-spatiales (e.g. Bradshaw & Gates, 1978; Carmon & Bechtoldt, 1969; Gazzaniga & LeDoux, 1978; Goodglass & Calderon, 1977; Sperry, 1964), ce qui constitue une modification de la conception de la «dominance» hémisphérique telle que décrite plus haut vers celle de la spécialisation complémentaire des deux hémisphères.

Ainsi, dans toutes ces études, on a remarqué que, bien qu'un hémisphère puisse être supérieur, ou plutôt spécialisé, pour une fonction, l'autre hémisphère y participe

également et est complémentaire (pour une revue, voir Bradshaw & Nettleton, 1981; Bradshaw & Nettleton, 1983; Iaccino, 1993). Par exemple, sur le plan du langage, il a été démontré dans une étude tachistoscopique chez des patients commissurotomisés ou hémisphérectomisés qu'une certaine compréhension d'instructions et de commandes simples est possible avec l'HD (Zaidel, 1978). Celui-ci serait également responsable de l'aspect émotionnel du langage: la compréhension et la production de la prosodie (Blumstein & Cooper, 1974; Ross, 1984). Donc, l'HD demeure inférieur au gauche quant aux fonctions langagières (par exemple au niveau de la syntaxe, de l'analyse phonémique et de l'articulation), mais il n'est pas totalement dépourvu de compétences pour ces habiletés. Il en est de même pour certaines fonctions non-verbales, l'HD ne possédant pas l'exclusivité de ces fonctions, même s'il est supérieur. Par exemple, au niveau des habiletés musicales, l'HG peut effectuer le traitement de certaines composantes de la musique, telles que l'ordre temporel, la durée, la simultanéité et le rythme (Gates & Bradshaw, 1977). Aussi, des lésions de l'HG peuvent entraîner des déficits au niveau de la copie et du rappel de dessins complexes, résultant en une figure respectant la structure globale du dessin, mais avec peu de détails (Benton, 1979).

À la lumière de l'ensemble de cette littérature, certains auteurs ont proposé que chaque hémisphère posséderait un type de traitement de l'information, ou style cognitif, qui lui est propre (voir Bradshaw & Nettleton, 1981; Bradshaw & Nettleton, 1983; Iaccino, 1993; Springer & Deutsch, 1998). Selon cette théorie, l'HG réaliserait un traitement analytique, séquentiel et sériel. En effet, celui-ci aurait tendance à briser l'information en plusieurs composantes pour ensuite les analyser une à une, en ordre séquentiel. Ainsi, l'HG serait spécialisé pour le langage en raison de son mode de fonctionnement analytique et sériel. À l'opposé, le type de traitement de l'HD est plutôt

caractérisé de: global, holistique, gestaltique et parallèle. Cette façon de traiter l'information serait particulièrement utile pour évaluer les relations entre les parties et le tout et pour intégrer simultanément plusieurs données afin de former une configuration globale. C'est pour cette raison que l'HD serait supérieur pour les tâches visuo-spatiales. Les études chez les patients commissurotomisés et callosotomisés ont permis de visualiser clairement cette distinction entre les deux hémisphères (e.g. Nebes, 1978; Sperry, 1968; Zaidel & Sperry, 1974). Par exemple, lorsqu'un même problème est présenté à chaque main, chacune arrive à le résoudre. Cependant, elles vont utiliser une stratégie différente, correspondant au mode de traitement préférentiel de l'hémisphère associé (e.g. Levy-Agresti & Sperry, 1968; Zaidel & Sperry, 1973). Ainsi, lors d'une tâche de visuo-construction, l'HG a tendance à adopter un mode de traitement analytique, se concentrant sur des détails précis, alors que l'HD adopte un mode de traitement plus global en se concentrant sur l'ensemble de la figure (Levy-Agresti & Sperry, 1968). En conclusion, la spécialisation de chacun des hémisphères peut être caractérisée de deux façons différentes: soit par le type de stimuli qui sont traités de façon préférentielle (verbal vs. « non-verbal » ou visuo-spatial), soit par le type de traitement de l'information qui est utilisé (analytique et séquentiel vs. global et parallèle).

Depuis la découverte de la « dominance » hémisphérique, un très grand nombre d'études se sont intéressées à cette question en utilisant des techniques d'investigation de plus en plus sophistiquées (telles que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle). Cependant, une description complète de cette littérature dépasse le cadre dans lequel s'inscrit le présent ouvrage.

Le soi et la conscience

D'Aristote à aujourd'hui

La conscience est un sujet constant de questionnement pour l'homme. Au cours des siècles, de nombreuses disciplines se sont penchées sur ce sujet, de la philosophie à la psychologie, tentant d'élucider la nature de la conscience de soi, son fonctionnement, sa structure, le lieu où elle siège dans le corps, etc. (pour des revues historiques, voir Berrios & Markova, 2003; Goethals & Strauss, 1989; Keenan, Gallup, & Falk, 2003a).

L'étude du soi et de la conscience remonte à l'époque des philosophes grecs. Ainsi, Aristote (384-322 av. J.-C.) a été l'un des premiers auteurs à distinguer l'homme des animaux en raison de ses facultés intellectuelles. Il a établi une distinction entre les aspects physiques (fonctions de base et perceptions) et non physiques (habiletés cognitives) du fonctionnement humain. Enfin, il a été l'un des premiers philosophes à discuter la relation entre le soi, l'âme et le corps.

Des centaines d'années plus tard, René Descartes (1596-1650) (1967), avec sa phrase célèbre « *cogito, ergo sum* » ou « Je pense, donc je suis », est devenu l'un des plus importants penseurs et philosophes s'intéressant à la conscience humaine. « *Cogito ergo sum* » suggère que nous savons que nous existons grâce à nos facultés intellectuelles et cognitives, qui nous permettent d'avoir conscience de notre existence. Cette idée relie ensemble l'existence humaine, la conscience et le soi et établit une distinction entre le soi « penseur », « conscient », et le soi physique. Selon Descartes, seuls les êtres humains ont une âme, un soi, tels qu'il les décrit, les animaux agissant plutôt par instinct. Enfin, il a également théorisé qu'il était possible de localiser la conscience de soi dans le cerveau. Selon lui, le corps et l'esprit se rencontrent au niveau de la glande pinéale.

Le philosophe, et éventuellement psychologue, William James dans *The principles of psychology* (1890) et *Psychology: Briefer Course* (1892) a exploré en profondeur les questions concernant le soi et la conscience, leur dévouant même un chapitre complet. Ses idées sur le soi ont eu une importante influence sur la conception de la conscience dans les années futures et encore aujourd'hui (e.g. Gallagher, 2000; Lieberman, 2005; Miller et al., 2001). Dans ses écrits, James distingue deux aspects du soi: le « soi connu, ou le moi (*Me*) » du « soi connaisseur, ou le Je (*I*) ». Le « moi » serait composé hiérarchiquement du « moi matériel » (ex: le corps, les vêtements, la famille, notre foyer), du « moi social » (différentes images ou présentations de soi selon le milieu social) et du « moi spirituel » (les états de conscience et habiletés cognitives). Avec ces constituants viennent des sentiments (ex: contentement vs. mécontentement envers soi) et des impulsions de préservation de soi qui guident notre conduite. Le « Je » est la partie consciente du soi, et le « moi » est une partie de ce dont il est conscient. Une conséquence de cette théorie, qui est très pratique pour les psychologues, est la suggestion qu'il est possible d'étudier le soi en se concentrant sur le « moi », plus empirique que le « Je ».

Les théories de Freud, le père de la psychanalyse, ont évidemment eu un énorme impact sur les conceptions du soi (Freud, 1900). Selon lui, le soi est composé du « ça » (*Id*), subconscient, du « moi » (*ego*), conscient, et du « surmoi » (*superego*), moral, les trois interagissant constamment pour former la personnalité présente. De plus, Freud propose que le soi se forme au cours du développement, certaines étapes charnières ayant un impact crucial pour la formation de la personnalité. Les théories de Freud ont lancé le courant psychodynamique et une panoplie d'auteurs qui l'ont suivi, notamment

Erikson, se sont par la suite penchés sur la question du soi, de l'identité, de la conscience de soi et de l'actualisation de soi (e.g. Erikson, 1968; Horney, 1950; Kohut, 1978).

En parallèle à Freud, Carl Jung (1939) suggérait que le soi est un archétype qui organise et structure l'ensemble des processus psychiques de l'être humain. Ce sont les archétypes qui organiseraient les images mentales (pensées, fantasmes rêves...) et ils feraient partie de l'inconscient collectif. Enfin, Carl Rogers (1951), co-fondateur de l'humanisme, proposait plutôt que la structure du soi est formée à partir de l'interaction avec l'environnement, particulièrement, à partir de l'interaction évaluative avec son entourage.

Évidemment, beaucoup d'autres philosophes, théologiens, psychologues et scientifiques ont proposé des théories sur différents aspects du soi et de la conscience. Aujourd'hui, le soi fait encore l'objet de nombreuses recherches. Par exemple, des sujets comme le «self-reference effect», la «self-deception», le «self-serving bias», l'organisation des connaissances reliées à soi, etc. sont explorés en psychologie sociale (Baumeister, 1998). Également, en psychopathologie, différents désordres du soi ont été identifiés, notamment la dépersonnalisation, les personnalités multiples et la schizophrénie. Le soi est donc un sujet étudié par de nombreuses disciplines et ce, depuis des centaines d'années. Il peut être conceptualisé de bien des façons (pour des revues, voir Baumeister, 1998; Gallagher, 2000; Kihlstrom & Klein, 1994; Lieberman, 2005) et être mis en relation avec de nombreux autres concepts comme l'identité, le concept de soi, l'estime de soi, la conscience de soi, etc. Dans cette thèse, nous définirons la conscience comme « la prise de connaissance de sa propre existence » et la conscience de soi comme « l'habileté à devenir l'objet de sa propre attention » (Gallup, 1982) puisque ces définitions nous apparaissent comme étant plus générales et

permettant de définir et d'étudier le soi selon plusieurs types de modalités et de paradigmes, englobant une grande partie de la littérature.

La dualité de la conscience

Comme il a déjà été mentionné plus haut, les années 60 ont vu l'avènement de nouvelles chirurgies, la commissurotomie et la callosotomie, supprimant la voie de communication entre les deux hémisphères. L'observation du comportement de ces patients suite à la chirurgie a suscité une question fondamentale sur la nature de la conscience de soi et sur son emplacement dans le cerveau, en soulevant la controverse de la dualité de la conscience. En effet, comme les deux hémisphères sont séparés chez ces patients, il est possible de se demander s'ils seront maintenant dotés de deux consciences, une pour chaque hémisphère (pour une revue, voir Bradshaw & Nettleton, 1983; Springer & Deutsch, 1998). Selon Roger Sperry (voir Sperry, Zaidel, & Zaidel, 1979), les patients commissurotomisés et callosotomisés se retrouvent après la chirurgie avec deux esprits, deux consciences séparés. En effet, chez ces patients, les perceptions, les actions, les cognitions et les souvenirs d'un hémisphère sont complètement inconnus de l'autre hémisphère. LeDoux, Wilson & Gazzaniga (1977), suite à l'observation d'un patient particulier dont l'HD possédait d'étonnantes capacités linguistiques, concluent également que chacun des hémisphères de ce patient possédait une conscience et une conception de soi. Par contre, ces auteurs suggèrent également que la conscience est dépendante des fonctions supérieures du langage, habileté unique à l'être humain. Encore aujourd'hui, Gazzaniga et collaborateurs (Cooney & Gazzaniga, 2003; Gazzaniga, 1998, 2000, 2005; Turk, Heatherton, Macrae, Kelley, & Gazzaniga, 2003) affirment que, bien que les deux hémisphères puissent faire preuve de conscience, celle

de l'HG surpasse de loin celle du droit. De fait, toujours selon ces auteurs, l'HG, en raison de sa supériorité pour les fonctions langagières, présente l'habileté unique à réfléchir sur des événements, des comportements, des émotions et à formuler des théories causales permettant de les expliquer et ce, même lorsque l'information est incomplète. De cette façon, notre compréhension de l'environnement est toujours intégrée et continue, ce qui permet de guider notre comportement futur. Par conséquent, l'HG, qualifié d'interprète, serait le siège de la conscience. Ce point de vue est partagé par d'autres auteurs contemporains (Morin, 2001, 2002; Morin & Michaud, 2007).

Keenan et collaborateurs (2003a) présentent une argumentation allant à l'encontre de ce raisonnement. Selon ceux-ci, le langage n'est en aucun cas unique à l'être humain, mais est plutôt partagé par plusieurs espèces (ex: les abeilles), la différence n'étant que quantitative. De plus, l'HG ne possède pas l'exclusivité des fonctions langagières, le droit étant responsable de la production et de la compréhension du langage non-verbal et de la prosodie. Par conséquent, l'argument que l'HG est le siège de la conscience de soi en raison de sa supériorité pour le langage n'est, selon eux, pas défendable. Un autre argument allant à l'encontre de la thèse de Gazzaniga réside dans les conclusions de l'étude de Sperry et collaborateurs (1979) qui ont entrepris d'investiguer les habiletés de reconnaissance de soi (capacité à se reconnaître soi-même) dans l'HD. Pour ce faire, ils ont présenté à deux patients commissurotomisés des photos d'eux-mêmes, de leur famille, de leur parenté, de connaissances, de leurs animaux de compagnie et de leurs effets personnels, ainsi que des échantillons de leur écriture, etc. parmi des stimuli neutres. Les participants devaient pointer, parmi les choix, l'objet qu'ils reconnaissaient. Les choix étaient présentés soit à l'hémi-champ droit (HG) ou à l'hémi-champ gauche (HD). Les résultats de cette étude indiquent que l'HD

reconnaissait tout aussi bien les stimuli familiers présentés que l'HG. De plus, les réponses émotionnelles aux stimuli présentés étaient similaires pour les deux hémisphères. Les auteurs de cette étude concluent que l'HD possède également une conception, une conscience de soi et une conscience sociale bien développées et ce, au même niveau que dans l'HG.

Le soi est-il spécial?

Certains auteurs (voir Turk et al., 2003), argumentent que la représentation du soi dans notre esprit est spéciale, distincte des autres formes de traitements sémantiques, et qu'elle est sous-tendue par un réseau neuronal unique. Un nombre croissant d'évidences scientifiques viennent supporter ce point de vue. Par exemple, sur le plan des fonctions mnésiques, plusieurs études ont montré un meilleur rappel des informations qui ont préalablement été traitées en relation avec le soi (pour une revue, voir Symons & Johnson, 1997). Une explication possible pour cet effet est que des régions cérébrales distinctes seraient impliquées durant l'encodage d'informations reliées à soi et que cela entraîne un encodage plus profond, favorisant ainsi le rappel. Klein, Rozendal & Cosmides (2002) présentent des données qui appuient cette théorie. Ces auteurs ont étudié le cas d'un patient avec des troubles de mémoire épisodique (rétrograde et antérograde) accompagnés de troubles de mémoire sémantique. Pourtant, dans un questionnaire de connaissances de soi, les réponses du patient et celles de sa fille montraient une forte corrélation, confirmant la préservation des connaissances reliées au soi. Ceci suggère que le système neuronal impliqué dans la mise en mémoire des informations reliées au soi est demeuré intact chez ce patient et que des processus mnésiques différents contribuent à cet aspect du soi.

D'autre part, en électrophysiologie, Fischler, Jin, Boaz, Perry & Childers (1987) ont montré que la réponse électrophysiologique (N400 et P510) à son propre nom est distincte, au niveau de l'amplitude, de la réponse à d'autres noms, même lorsqu'on doit l'ignorer. Les résultats suggèrent que le cerveau maintient de façon constante une sensibilité à notre nom, même quand celui-ci n'est pas pertinent. Les auteurs concluent également que la réponse électrophysiologique à son propre nom montre des caractéristiques d'une réponse automatique. Concernant le traitement des visages, Ninomiya, Onitsuka, Chen, Sato & Tashiro (1998) ont rapporté que l'onde cérébrale P300 était plus ample en réponse à son propre visage lorsque comparé à un visage familier, suggérant une réponse attentionnelle plus importante pour le soi. De plus, Sugiura et collaborateurs (2000) ont montré que la réponse électrodermale de participants est plus importante lorsqu'ils visionnent leur propre visage en comparaison à d'autres visages. Ces données suggèrent une réponse émotionnelle plus importante pour les stimuli reliés à soi.

Enfin, d'autres phénomènes reliés au soi suggèrent que celui-ci est spécial. Par exemple, Paus, Perry, Zatorre, Worsley & Evans (1996) ont montré que les régions cérébrales motrices impliquées dans la production du langage envoient une décharge corollaire à des régions du cortex auditif secondaire afin de moduler leur activation en réponse à notre propre voix. Aussi, en psychologie sociale, la présence du *self-serving bias* (faire des inférences internes pour les succès et externes pour les échecs) suggère que nous traitons nos actions différemment de celles des autres (voir Baumeister, 1998 pour une revue). En conclusion, les évidences présentées ci-haut suggèrent que le traitement des informations reliées à soi est, sinon unique, au moins partiellement distinct d'autres types de traitement de l'information. Par contre, il est à noter que,

malgré le nombre grandissant d'évidences allant en ce sens, cette affirmation est présentement controversée (Gillihan & Farah, 2005). Ainsi, en raison de la variabilité dans la méthodologie et dans les résultats obtenus par les différentes études portant sur le soi (voir ci-bas), ces auteurs concluent que la littérature ne prouve pas à ce jour, tout en ne niant pas, l'aspect spécial du soi.

Spécialisation hémisphérique et corrélats neuronaux du soi

Les bases cérébrales du traitement des stimuli reliés à soi sont toujours sous investigation. Un nombre croissant d'études suggèrent que le réseau impliqué serait latéralisé de façon plus importante dans un hémisphère cérébral. Par contre, le degré et même la nature de cette latéralisation ne sont pas encore déterminés. Il existe plusieurs façons d'investiguer le soi, dépendant de la définition que l'on adopte. Par exemple, il est possible de concevoir le soi comme un ensemble de souvenirs épisodiques qui représentent nos comportements passés, présents et qui nous projettent dans le futur, comme une série d'informations sémantiques représentant nos traits de personnalité ou comme des représentations perceptuelles de notre corps (voir Kihlstrom & Klein, 1994 pour une revue). La recherche des corrélats neuronaux du soi couvre donc un large champ d'investigation (mémoire épisodique, mémoire sémantique, perceptions corporelles, perception de soi en tant qu'agent de ses actions, etc.). Dans les prochains paragraphes, une revue des résultats des études investiguant les régions cérébrales impliquées dans le traitement et la représentation du soi sera présentée pour chacun des domaines investigués.

Le soi en tant que perception

La reconnaissance de son propre visage

L'une des premières études ayant investigué la reconnaissance de son propre visage est celle de Sperry et collaborateurs (1979) qui ont montré que l'HD, de même que le gauche, est capable de faire preuve de reconnaissance ainsi que de conscience de soi. En parallèle, Preilowski (1977) a investigué la reconnaissance de son propre visage chez deux patients commissurotomisés en mesurant la conductance électrodermale. Les deux patients ont démontré une réponse électrodermale plus importante à leur propre visage en comparaison à des visages de leur famille, à des visages célèbres ou à des visages inconnus. De plus, cet effet était plus important lorsque les stimuli étaient présentés à l'HD. Plusieurs années plus tard, un groupe de chercheurs a entrepris une série d'expérimentations (Keenan, Freund, Hamilton, Ganis, & Pascual-Leone, 2000; Keenan et al., 1999; Keenan, McCutcheon, & Pascual-Leone, 2001a; Keenan, Nelson, O'Connor, & Pascual-Leone, 2001b; Keenan, Wheeler, Platek, Lardi, & Lassonde, 2003b) visant à déterminer la spécialisation hémisphérique ainsi que les régions cérébrales impliquées dans la reconnaissance de soi. Dans une première étude, Keenan et ses collaborateurs (1999) ont demandé aux participants d'identifier, avec la main gauche ou avec la main droite, l'un de trois visages: soi, familier ou inconnu. Les participants ont répondu plus rapidement à leur propre visage en répondant avec la main gauche (HD). Pour les autres catégories de visage, aucune différence entre les mains de réponse n'a été trouvée. Dans une étude similaire (mais avec seulement deux types de visages: soi ou inconnu), Platek & Gallup (2002) ont également obtenu un avantage de la main gauche (HD) pour la reconnaissance de son propre visage chez des participants normaux. Ces résultats, ainsi que ceux rapportés précédemment, suggèrent donc que la

reconnaissance de son propre visage est une habileté pour laquelle l'HD serait spécialisé. Dans une deuxième étude, Keenan et collaborateurs (2000) ont présenté à leurs participants une série de morphes (combinaison à différents degrés de deux visages) entre leur propre visage ou un visage familier et un visage célèbre. Les participants devaient arrêter la présentation soit: 1. Lorsque le visage devenait plus célèbre que soi ou familier; ou 2. Lorsque le visage devenait plus soi ou familier que célèbre. Les résultats de cette étude démontrent que, dans le premier cas, les participants reconnaissaient leur propre visage plus longtemps (jusqu'à un plus faible pourcentage de soi vs. célèbre) lorsqu'ils devaient arrêter la présentation avec la main gauche en comparaison à la main droite. Dans le deuxième cas, ils commençaient à percevoir leur propre visage plus tôt (à un plus faible pourcentage de soi) lorsqu'ils répondaient avec la main gauche vs. la main droite. Encore une fois, ces différences de réponses manuelles n'ont pas été observées pour un visage familier. Les données suggèrent que l'HD montre une tendance à percevoir le soi plus facilement à l'intérieur de stimuli composites. Dans une étude subséquente (Keenan et al., 2001a), les auteurs ont présenté à des participants soit leur propre visage, soit le visage de Bill Clinton pendant un enregistrement à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf). Une activation plus importante du gyrus frontal inférieur droit a été trouvée lorsque l'activation pour son propre visage a été comparée à l'activation pour le visage célèbre. Ensuite, au cours d'un enregistrement en potentiels évoqués (PÉs) corticaux, ils ont demandé aux participants de calculer la fréquence de présentation de leur propre visage ou d'un visage familier parmi un certain nombre de visages célèbres. Des différences entre la condition « soi » et la condition « familière » au niveau de l'amplitude et de la latence de l'onde cérébrale P300 ont été retrouvées sur l'électrode placée sur le cortex préfrontal droit. Les auteurs

concluent donc que c'est le cortex préfrontal qui sous-tend la reconnaissance de soi dans l'HD. De même, Keenan et collaborateurs (2001b) ont observé que l'HD de patients épileptiques subissant une investigation Wada démontait une tendance à percevoir leur propre visage dans des morphes composés à différents degrés de celui-ci et du visage d'une personne célèbre, tandis que le gauche avait tendance à percevoir la personne célèbre. En parallèle, des participants normaux recevant une stimulation transcrânienne magnétique (STM) du cortex moteur ont montré des PÉs moteurs plus importants lorsqu'ils visionnaient des images contenant leur propre visage et qu'ils étaient stimulés au niveau de l'HD. Dans une étude similaire de STM, Théoret et collaborateurs (2004) ont présenté des visages de soi ou d'inconnus à des participants durant la stimulation du cortex moteur droit ou gauche. Comme dans l'étude précédente, les auteurs ont observé des PÉs moteurs plus importants lorsque les participants visionnaient leur propre visage et qu'ils étaient stimulés sur le cortex moteur droit, suggérant une plus grande activation de cet hémisphère. Enfin, dans une dernière étude, Keenan et collaborateurs (2003b) ont demandé à un patient callosotomisé d'indiquer s'il percevait son propre visage ou un visage familier dans des morphes également composés d'un visage célèbre. Encore une fois, l'HD montrait une tendance à percevoir le soi plus aisément que le gauche, tandis que ce dernier montrait un avantage pour l'identification du visage familier. L'ensemble des résultats de leurs études ont amené ces chercheurs à proposer que l'HD pourrait être dominant pour la conscience de soi (Keenan, Rubio, Racioppi, Jonhson, & Barnacz, 2005).

Les résultats de la majorité des autres groupes de chercheurs qui ont investigué la reconnaissance de son propre visage à l'aide de l'imagerie cérébrale confirment que les réseaux neuronaux de l'HD sont plus impliqués que ceux de l'HG pour le traitement de

son propre visage en comparaison à d'autres visages. Par exemple, dans une étude de tomographie par émission de positrons (TEP), Sugriva et collaborateurs (2000) ont présenté à des participants soit leur propre visage, soit des visages inconnus, dans des conditions de reconnaissance passive ou active. Dans la tâche contrôle, les participants ne visionnaient que des visages inconnus. Un large réseau de régions cérébrales bilatérales a été activé dans ces tâches. Cependant, lorsque la condition passive était comparée à la condition contrôle, il y avait 1,26 fois plus de régions activées dans l'HD (ré-analyse présentée par Keenan et al., 2003a; Keenan et al., 2005). Il n'y avait pas de différence entre les deux hémisphères lorsque la condition active a été comparée à la condition contrôle. Cependant, lorsqu'elle était comparée à la condition passive, 2,18 fois plus de régions étaient activées dans l'HD. Les régions impliquées à droite étaient les gyrus frontaux inférieur et médian, le gyrus cingulaire antérieur et le pulvinar, tandis qu'à gauche, l'activité était localisée dans le gyrus fusiforme, impliqué dans la reconnaissance des visages. Donc, plus de régions étaient activées dans l'HD que dans le gauche en réponse à son propre visage en comparaison à des visages inconnus.

En investiguant l'activation cérébrale en réponse à des morphes de son propre visage avec un visage inconnu, Kircher et collaborateurs (2000) ont obtenu des résultats similaires dans une étude d'IRMf. Lorsqu'ils ont comparé l'activation aux morphes comprenant une majorité de soi par rapport à ceux qui comprenaient une majorité de l'inconnu, un large réseau de régions cérébrales bilatérales était activé. Cependant, le nombre de voxels activés dans l'HD était 2,4 fois plus élevé que dans le gauche. Dans une étude subséquente, ces auteurs (Kircher et al., 2001) ont présenté des morphes de soi (composés d'une majorité de leur propre visage ou d'un inconnu) et des morphes d'une personne familière (composés d'une majorité du visage de leur partenaire ou du visage

d'un inconnu) à des participants qui devaient indiquer si le visage était familier ou inconnu. Lorsque les activations pour soi étaient comparées à celles pour l'inconnu ou pour le visage familier, il en ressortait que des régions des deux hémisphères étaient activées. Cependant, l'HD semblait tout de même encore une fois plus impliqué que le gauche. En effet, lorsque les activations pour soi étaient comparées à celles pour l'inconnu, il y avait 1,8 fois plus de voxels activés à droite qu'à gauche (ré-analyse présentée par Keenan et al., 2003a; Keenan et al., 2005). De plus, il y avait 1,3 fois plus de voxels activés à droite qu'à gauche pour le soi en comparaison avec la personne familière.

Plus récemment, Platek, Keenan, Gallup & Mohamed (2004) ont examiné la reconnaissance de son propre visage en comparaison à des visages célèbres en IRMf. Durant cette tâche, les participants devaient penser à l'identité de la personne durant la présentation des visages. Les régions plus activées pour soi que pour les visages célèbres se trouvaient dans les gyrus frontaux inférieur, médian et supérieur de l'HD, impliquant de nouveau celui-ci de façon plus importante que l'HG dans la reconnaissance de soi. Une autre publication récente est l'étude d'IRMf entreprise par Suguira et collaborateurs (2005). Dans cette expérimentation, les participants visionnaient soit leur propre visage, un visage hautement familier (ami), un visage peu familier (expérimentateur), un visage inconnu appris et 12 visages inconnus. Ils devaient appuyer sur un bouton lorsqu'un visage familier était présenté. Les régions qui étaient spécifiquement activées pour le visionnement de leur propre visage (en comparaison aux autres conditions contrôles) étaient la jonction occipito-temporo-pariétale et l'operculum frontal à droite, ainsi que le gyrus fusiforme à gauche. Ces auteurs associent les activations à droite avec un réseau impliqué dans l'évaluation de la contingence entre nos mouvements et nos actions, qui

pourrait contribuer à la reconnaissance visuelle de soi. Également, les auteurs émettent l'hypothèse que l'activation du gyrus fusiforme gauche (aussi obtenues par Kircher et al., 2000; Kircher et al., 2001; Sugiura et al., 2000) est probablement reliée au traitement lexical nécessaire à l'identification des visages présentés.

Une autre étude intéressante est celle de Uddin, Kaplan, Molnar-Szakacs, Zaidel & Iacoboni (2005a). Dans cette expérimentation IRMf, les participants visionnaient des morphes composés à différents degrés de leur propre visage et d'un visage hautement familier et devaient indiquer si l'image ressemblait plus à soi ou à la personne familière. Les régions plus activées pour les morphes composés d'une majorité de soi vs. ceux composés d'une majorité de la personne familière se trouvaient dans le lobule pariétal inférieur et supérieur, dans le gyrus frontal inférieur et dans le gyrus occipital inférieur de l'HD. De plus, l'intensité de l'activation dans ces régions était corrélée avec le pourcentage de soi contenu dans les morphes présentés. Étant donné la localisation des activations, les auteurs suggèrent une implication importante du système des neurones miroirs dans la discrimination entre soi et les autres. Dans leur plus récente étude d'IRMf, Platek et collaborateurs (2006) ont comparé la présentation de son propre visage avec celle de visages familiers (confrères), de visages inconnus et avec une condition contrôle. Les participants devaient indiquer si le visage était « soi », « connu » ou « inconnu ». Dans le contraste le plus pertinent (soi vs. familier), les activations pour le soi se situaient dans les gyrus frontaux supérieur et médian et dans le lobule pariétal inférieur de l'HD, ainsi que dans le gyrus temporal médian à gauche. Encore une fois, bien que des activations bilatérales aient été observées, il y avait 2,7 fois plus de régions activées dans l'HD. Les auteurs concluent que leurs résultats sont congruents avec un modèle fronto-pariétal droit de la conscience de soi, malgré des activations plus

extensives pour la reconnaissance de son propre visage. Ces auteurs suggèrent également que l'activation gauche peut être due à l'identification verbale des visages ou à une implication de la théorie de l'esprit dans la reconnaissance de soi.

Dans une étude chez un patient commissurotomisé, Uddin, Rayman & Zaidel (2005b) ont présenté, soit à droite ou à gauche d'un point de fixation, des morphes de soi (composés du visage du patient et d'un inconnu) ou d'une personne familière (composés du visage d'un associé et d'un inconnu) et le patient devait indiquer, avec la main droite ou la gauche, si le visage était plus « soi », « familier » ou « inconnu ». Chez ce patient, un avantage hémisphérique pour la reconnaissance de son propre visage n'a pas été observé, les deux hémisphères effectuant la tâche de manière équivalente. Dans leur dernière étude, Uddin, Molnar-Szakacs, Zaidel & Iacoboni (2006) ont utilisé la STM répétée pour désactiver le lobule pariétal inférieur (région activée en réponse à son propre visage dans leur étude précédente d'imagerie) droit ou gauche pendant que les participants exécutaient une tâche de reconnaissance de soi. Les participants visionnaient des morphes composés de leur propre visage et d'un visage familier et devaient indiquer si le visage était plus « soi » ou « familier » avec la main droite ou gauche. Les résultats de cette étude indiquent que la sensibilité à détecter le soi dans les stimuli morphés était affectée par la désactivation du lobule pariétal inférieur droit, résultant en une diminution des réponses « soi », mais non par la désactivation du gauche. Les auteurs suggèrent que cette région est une composante essentielle du réseau permettant la reconnaissance de soi, pour laquelle l'HD serait spécialisé. Enfin, dans une étude très récente d'IRMf, Devue et collaborateurs (2007) ont montré que le gyrus frontal inférieur et l'insula de l'HD étaient activés lors du visionnement de son propre visage en comparaison à un visage hautement familier. Ces auteurs n'ont pas observé l'activation

gauche obtenue par d'autres études d'imagerie (e.g. Kircher et al., 2000; Sugiura et al., 2000) utilisant seulement des visages inconnus comme contrôle, ce qui suggère que cette région n'est pas nécessaire à la reconnaissance de son propre visage.

De façon générale donc, un résultat qui est consistant parmi les études présentées plus haut est une implication plus importante de l'HD que de l'HG dans la reconnaissance de son propre visage en comparaison à des visages familiers, inconnus et/ou célèbres. Les régions spécifiques de cet hémisphère qui ont été régulièrement identifiées se situent au niveau frontal et pariétal. Il est cependant à noter que, malgré une majorité d'études montrant une latéralisation droite de la reconnaissance de son propre visage, les résultats dans la littérature ne sont pas entièrement uniformes. En effet, deux articles récents (Brady, Campbell, & Flaherty, 2004; Turk et al., 2002) relèvent plutôt un avantage de l'HG pour la reconnaissance de son propre visage. Ainsi, Turk et collaborateurs (2002) ont présenté à chaque hémisphère d'un patient callosotomisé des morphes composés à différents degrés de son propre visage et du visage d'un expérimentateur. Chez ce patient, l'HD montrait un biais à reconnaître les visages morphés comme familiers, tandis que le gauche présentait un biais à percevoir le soi. Chez des participants normaux, Brady et collaborateurs (2004) ont obtenu des résultats similaires. Ces auteurs ont utilisé comme stimuli des composites (soit les deux côtés droits, soit les deux côtés gauches) du visage des participants et d'une personne familière et la tâche consistait à indiquer quelle image ressemblait plus à soi ou à la personne familière. De façon générale, les participants ont choisi le composite « deux côté droits » (partie du visage normalement traitée par l'HG) comme ressemblant plus à soi et le composite « deux côtés gauches » (partie du visage normalement traitée par l'HD) comme ressemblant plus à la personne familière. Ces auteurs suggèrent que les

deux hémisphères pourraient être impliqués de façon équivalente dans la reconnaissance de soi. Les résultats de certaines études déjà présentées (Kircher et al., 2000; Kircher et al., 2001; Platek et al., 2006; Sugiura et al., 2000; Sugiura et al., 2005; Uddin et al., 2005b) qui ont trouvé des activations bilatérales, mais avec une implication plus importante de l'HD, pourraient appuyer cette affirmation.

La perception de son propre corps

L'HD a également été impliqué dans diverses perturbations de la perception de son propre corps. Par exemple, le «signe du miroir» (déficit de reconnaissance de sa propre image dans le miroir, souvent, avec capacité préservée à reconnaître les autres dans le miroir), bien que peu fréquent, a systématiquement été associé à des dommages cérébraux à prédominance droite, ainsi qu'à des déficits neuropsychologiques associés à l'HD (ex: déficits des fonctions visuo-spatiales, de la mémoire visuelle, etc.; Breen, Caine, & Coltheart, 2001; Feinberg & Shapiro, 1989; Spangenberg, Wagner, & Bachman, 1998). Même si ce symptôme peut apparaître en lien avec le développement d'une démence (Breen et al., 2001), il n'est pas systématiquement associé à celle-ci et semble plutôt résulter directement d'un dommage de l'HD (Feinberg & Shapiro, 1989; Spangenberg et al., 1998).

D'autre part, Andelman, Zuckerman-Feldhay, Hoffien, Fried & Neufeld (2004), Devinsky (2000) et Meador, Loring, Feinberg, Lee & Nichols (2000) ont observé que des dommages cérébraux ou l'inactivation à l'aide de la technique du Wada de l'HD étaient significativement reliés à la présence de symptômes d'anosognosie. Comme l'anosognosie est un trouble de la perception de ses propres déficits, ces données relient encore une fois cet hémisphère avec la conscience de soi. L'héminégligence (la

négligence du côté de son corps, de son champ visuel, etc. controlatéral à la lésion) est également un trouble de la perception de son propre corps qui a systématiquement été relié à des lésions du lobe pariétal de l'HD (voir Devinsky, 2000 pour une revue). Un symptôme fréquemment associé à la négligence, l'asomatognosie (trouble de la reconnaissance de ses propres membres controlatéraux à la lésion), a été observé par Feinberg, Haber & Leeds (1990) suite à des lésions droites du gyrus supramarginal et de la corona radiata postérieure, ainsi que par Meador et collaborateurs (2000) suite à l'inactivation de l'HD à l'aide de la technique de Wada. En présence de ce trouble, les patients ont habituellement tendance à identifier leur membre comme appartenant à l'expérimentateur. Meador et collaborateurs (2000) suggèrent qu'un déficit des schémas corporels, dû au dommage de l'HD, pourrait être associé aux symptômes d'anosognosie et d'asomatognosie. Un trouble similaire, la misoplégie (haine des membres hémiplésiques controlatéraux à la lésion), a été observé chez un enfant avec des lésions de la substance blanche et des noyaux gris centraux de la région temporo-pariétale droite (Moss & Turnbull, 1996).

De larges régions de l'HD ont également été reliées à des perturbations dans les frontières de l'ego (Bogousslavsky & Regli, 1988). Les patients présentant ce symptôme répondent à des commandes verbales qui s'adressent aux autres comme si elles s'adressaient à eux-mêmes, indiquant un trouble de la discrimination entre le soi et les autres. Enfin, il a été démontré par Blanke, Ortigue, Landis & Seeck (2002) que la stimulation électrique focale du gyrus angulaire droit peut induire des distorsions des perceptions sensorielles (transformations illusoire des membres) et vestibulaires (déplacements du corps) qui résultent en des expériences «hors-corps» (expériences durant lesquelles la personne semble éveillée et voir son corps et le monde à partir d'une

localisation extérieure à son propre corps). De même, dans une étude de PÉs et de STM, Blanke et collaborateurs (2005) ont trouvé que la jonction temporo-pariétale droite était systématiquement reliée à ce type d'expériences, suggérant son rôle dans trois aspects du soi phénoménologique: la perspective visuo-spatiale, la localisation du soi et l'expérience de l'unité spatiale.

Ainsi, l'HD paraît impliqué de façon importante dans la représentation de notre corps dans le cerveau. Des dommages cérébraux dans cette région peuvent entraîner une multitude de déficits perturbant les schémas corporels (anosognosie, signe du miroir, hémignégligence, misoplégie, asomatognosie, trouble des frontières de l'ego et expériences «hors-corps»). Encore une fois, c'est le lobe pariétal de cet hémisphère qui semble plus particulièrement relié à l'observation de ces déficits.

La perspective de soi et l'agence

La perception du monde par notre propre perspective et l'«agence», i.e. le sentiment de contrôler nos propres actions, sont des éléments fortement reliés à la conscience de soi et de ses actes (voir Blakemore & Frith, 2003 pour une revue). Peu d'études ont tenté d'investiguer les corrélats neuronaux de ces habiletés. Malgré cela, deux expérimentations portant sur l'«agence» (Chaminade & Decety, 2002; Decety, Chaminade, Grèzes, & Meltzoff, 2002) ont trouvé que le lobe pariétal inférieur est différenciellement activé pour la perception de soi en tant qu'agent d'une action (activations droites) en comparaison à la perception d'une autre personne (activations gauches). Une activation du lobe pariétal inférieur droit a également été reliée à des perturbations de la perception de soi en tant qu'agent chez des patients schizophrènes (Spence et al., 1997). Dans une tâche de perspective de soi, Vogeley et collaborateurs

(2001) ont trouvé des activations prédominantes à la jonction temporo-pariétale droite lorsque des participants devaient imaginer leurs propres comportements, attitudes et perceptions en réponse à une histoire. Le lobe pariétal de l'HD semble donc impliqué par une majorité d'études (voir aussi Ruby & Decety, 2001; Ruby & Decety, 2004) dans la perception de nos actes et la distinction entre soi et les autres comme agents.

Le soi en tant que connaissance

Les traits de personnalité

La connaissance de ses propres traits de personnalité a essentiellement été étudiée à l'aide de l'imagerie cérébrale dans un paradigme où les participants doivent porter un jugement par rapport à eux-mêmes en réponse aux affirmations ou aux mots présentés. Dans une étude de ce type avec des traits de personnalité comme stimuli, Craik et collaborateurs (1999) ont trouvé des activations prédominantes dans les régions préfrontales droites lorsque les participants portaient des jugements par rapport à eux-mêmes en comparaison aux trois autres conditions contrôles (porter un jugement par rapport à une personne célèbre, juger de la désirabilité sociale du trait présenté ou compter le nombre de syllabes). Fossati et collaborateurs (2003; 2004), Ochsner et collaborateurs (2005) et Schmitz, Kawahara-Baccus & Johnson (2004) ont trouvé des résultats similaires, tandis que Lou et collaborateurs (2004) ont obtenu des activations plus importantes pour le traitement de jugements sur le soi (en comparaison à une personne familière ou une personne célèbre) dans le cortex pariétal inférieur droit. Un avantage de l'HD en comparaison à l'HG a également été obtenu par Platek, Myers, Critton & Gallup (2003) dans une étude comportementale lorsque le jugement de traits par rapport à soi était comparé à une personne familière, ainsi que par Molnar-Szakacs,

Uddin & Iacoboni (2005) dans une étude de STM au cours de laquelle l'excitabilité du cortex moteur était mesurée durant la lecture silencieuse de traits décrivant le soi. Avec un paradigme légèrement différent, Fischler, Bloom, Childers, Arroyo & Perry (1984) avait précédemment trouvé une N400 plus importante en central droit pour des affirmations vraies vs. fausses portant sur le soi. Enfin, Miller et collaborateurs (2001) ont relié des atteintes frontales droites avec des perturbations de la personnalité en termes du «soi matériel, social et spirituel» chez des patients atteints de démence fronto-temporale. Encore une fois et pour un tout autre type de référent au soi, l'HD (plus particulièrement, en fronto-pariétal) est impliqué de façon plus importante que le gauche par un bon nombre d'études. Cependant, il importe de mentionner que les conclusions pour ce type de paradigmes sont beaucoup plus partagées que pour la reconnaissance de soi. En effet, certaines études ont plutôt trouvé des activations soit à gauche (Kircher et al., 2002; Kircher et al., 2000), soit bilatérales (Gusnard, Akbudak, Shulman, & Raichle, 2001; Heatherton et al., 2006; Kircher et al., 2002; Kjaer, Nowak, & Lou, 2002; Seger, Stone, & Keenan, 2004) et/ou médianes (Gusnard et al., 2001; Heatherton et al., 2006; Johnson et al., 2002; Kelley et al., 2002; Kjaer et al., 2002; Macrae, Moran, Heatherton, Banfield, & Kelley, 2004). Cependant, il est à noter qu'une majorité de ces études ont utilisé l'imagerie cérébrale (IRMf ou TEP) qui ne permet pas de distinguer entre les structures qui sont nécessaires pour le traitement du soi et celles qui ne le sont pas. De plus, elles n'utilisaient pas de contrôles adéquats pour la familiarité des stimuli (voir la discussion de la présente thèse pour plus de détails).

La mémoire autobiographique

Dans une revue de littérature récente, Markowitsch (2003) argumente que les régions fronto-temporales droites jouent un rôle crucial dans la conscience auto-noétique (être conscient de son existence à travers le temps), impliquant la mémoire autobiographique. Les résultats de certaines études d'imagerie (Fink et al., 1996; Greenberg et al., 2005; Markowitsch et al., 2000; Tulving, Kapur, Craik, Moscovitch, & Houle, 1994) montrant des activations de ces régions durant le rappel d'informations épisodiques personnelles viennent appuyer ces résultats. De plus, certains auteurs (Fink et al., 1996) suggèrent que c'est la représentation de soi impliquée dans le rappel de l'information épisodique qui est responsable de l'activation droite. Il est à noter que les résultats de ce type d'études ne sont pas entièrement homogènes, avec deux articles (Conway et al., 1999; Maguire & Mummery, 1999) rapportant plutôt des activations prédominantes à gauche dans des tâches de recherche ou de jugement de souvenirs autobiographiques.

La reconnaissance de sa propre voix

À la lumière de l'ensemble de la littérature portant sur la spécialisation hémisphérique et les corrélats neuronaux du soi, il est possible de conclure que, bien que plusieurs évidences soient en faveur d'une implication plus importante des régions fronto-pariétales droites dans des tâches impliquant entre autres la reconnaissance de son propre visage, la reconnaissance de son propre corps, la perception de soi en tant qu'agent, la connaissance de ses traits de personnalité et la mémoire auto-biographique, les bases neuronales du soi demeurent encore incertaines (Gillihan & Farah, 2005). Il nous apparaît donc pertinent de tenter d'investiguer ces questions sous un autre angle.

En effet, si l'on considère le soi en tant que perception, la modalité auditive, c'est-à-dire la reconnaissance de sa propre voix, est une avenue qui a longtemps été délaissée. Pourtant, la voix, comme le visage, est un indice qui permet de faire aisément l'identification d'une personne et de la différencier de soi-même.

Pourquoi étudier le soi en tant que perception?

La capacité à être conscient de soi-même et à se reconnaître est une habileté que l'on considère quasi-spécifique à l'être humain puisque celle-ci requière des capacités intellectuelles relativement avancées (Gallup, 1969). Certains auteurs (Gallup, 1985; Keenan et al., 2003a) proposent que la reconnaissance de soi est un outil valide pour évaluer la présence d'un concept de soi et de la conscience de soi puisque plusieurs évidences démontrent que ce sont deux habiletés qui se développent en parallèle. Ainsi, la reconnaissance de soi a seulement pu être observée chez les êtres vivants les plus évolués, i.e. les humains, les chimpanzés, les orangs-outans et possiblement les dauphins (Gallup, 1969; et voir Keenan et al., 2003a pour une revue), ce qui suggère que c'est une habileté nécessitant un fonctionnement cognitif plus élaboré que de la simple perception et qui sollicite une conception du soi (Gallup, 1982). De plus, elle apparaît relativement tard durant le développement intellectuel de l'enfant (18 à 24 mois; Amsterdam, 1972) et est concomitante avec la survenue d'autres manifestations de la formation d'un concept de soi, telle que l'habileté à exprimer des émotions par rapport à soi-même, i.e. la timidité et l'embarras (Lewis, Sullivan, Stanger, & Weiss, 1989), et l'utilisation des pronoms personnels « je », « moi » et « mon » (Imbens-Bailey & Pan, 1998). Enfin, chez des populations cliniques, on note qu'une performance compromise aux tâches de reconnaissance de soi est corrélée avec une absence d'autres habiletés reliées au soi,

telles que la capacité à effectuer des jugements sur des traits de personnalité pertinents ou non à soi (Christiana, Malcolm, Johnson, & Keenan, en préparation; Platek & Gallup, 2002; Platek et al., 2003).

Le traitement de la voix

La voix est l'un des sons les plus fréquents et les plus importants de notre environnement (pour une revue sur le sujet, voir Belin, Fecteau, & Bédard, 2004). En plus du langage, la voix contient une multitude d'autres informations sur le locuteur, notamment l'identité, l'état émotionnel, l'âge, le genre, la taille, ainsi que les antécédents géographiques et sociologiques (Bédard & Belin, 2004; Van Lancker & Canter, 1982). Il nous est ainsi possible de reconnaître aisément et avec une précision élevée un nombre important de voix familières, telles que des amis, des parents et des collègues (Schmidt-Nielsen & Stern, 1985; Yarmey, Yarmey, Yarmey, & Parliament, 2001) ou des personnalités célèbres (politiciens, acteurs, animateurs de télévision ou de radio; Van Lancker, Kreiman, & Emmorey, 1985; Van Lancker, Kreiman, & Wickens, 1985), et ce sous différents contextes et conditions. L'importance de la voix comme marqueur de l'identité du locuteur est soulignée par l'habileté des jeunes bébés à distinguer la voix de leur mère de celles d'étrangères (voir Van Lancker & Canter, 1982) et par la stratégie de compensation qu'adoptent les patients prosopagnosiques (déficit dans l'identification des visages familiers) en reconnaissant les personnes connues à l'aide de leur voix (Von Kriegstein, Kleinschmidt, & Giraud, 2005).

Chaque voix est composée d'une combinaison unique de particularités physiques qui découlent de l'anatomie distincte de l'appareil vocal de chaque individu (voir Belin et al., 2004). La reconnaissance de la voix d'un locuteur impliquerait donc

l'identification des aspects invariants de la structure acoustique de sa production vocale unique (Belin, Zatorre, & Ahad, 2002). Par exemple, certains auteurs ont démontré que la fréquence fondamentale ainsi que le spectre fréquentiel des formants sont deux importantes caractéristiques de la voix de chaque individu permettant de l'identifier (Lavner, Gath, & Rosenhouse, 2000; Van Dommelen, 1990). Ainsi, la fréquence fondamentale détermine la hauteur perçue de la voix (plus haute chez les femmes que chez les hommes), alors que le spectre fréquentiel des formants en détermine le timbre (Lattner, Meyer, & Friederici, 2005). La prononciation (Belin et al., 2004) et les indices prosodiques tels que la qualité de la voix, le contour et le rythme ou le tempo (Imaizumi et al., 1997; Van Dommelen, 1990) sont d'autres éléments de la voix qui contribuent à la reconnaissance de l'individu.

Plusieurs études ont tenté d'investiguer les corrélats neuronaux sous-tendant la reconnaissance des voix familières. D'abord, des investigations neuropsychologiques de patients cérébrolésés ont démontré qu'un déficit de la reconnaissance des voix familières (nommé phonagnosie) est associé de façon systématique à des lésions de l'HD (Assal, 1981; Ellis, Young, & Critchley, 1989; Neuner & Schweinberger, 2000; Van Lancker & Canter, 1982; Van Lancker, Cummings, Kreiman, & Dobkin, 1988; Van Lancker, Kreiman, & Cummings, 1989). Chez les patients phonagnosiques, bien que la reconnaissance des voix familières soit atteinte, la capacité à identifier des sons de l'environnement ainsi que l'habileté à paier des voix identiques ou à discriminer des voix non-familières peuvent être intactes (Neuner & Schweinberger, 2000; et voir Belin et al., 2004). La dissociation inverse, c'est-à-dire un déficit dans l'identification de sons de l'environnement associé à la préservation de l'habileté à reconnaître des voix familières, a également été rapportée par Van Lancker & Canter (1982). La présence de

ces dissociations suggère fortement que certaines régions ainsi que certains mécanismes cérébraux sont dédiés spécifiquement au traitement de la voix ainsi qu'à l'identification et la reconnaissance du locuteur.

Plus récemment, quelques études d'imagerie cérébrale chez des participants sains ont montré que c'est le lobe temporal droit (Belin et al., 2002; Belin, Zatorre, Lafaille, Ahad, & Pike, 2000; Lattner et al., 2005; Nakamura et al., 2001; Von Kriegstein & Giraud, 2004, mais voir Imaizumi et al., 1997; Shah et al., 2001 pour des évidences bilatérales), plus particulièrement au niveau du gyrus temporal supérieur (Belin et al., 2002; Belin et al., 2000; Lattner et al., 2005; Von Kriegstein & Giraud, 2004), qui soutient le traitement de la voix et les mécanismes cérébraux permettant l'identification d'un locuteur. En regard de ces résultats et du fait bien connu que le traitement et la reconnaissance des visages sont également effectués préférentiellement dans des régions spécifiques de l'HD, certains auteurs proposent que celui-ci serait supérieur pour le traitement des informations identitaires et affectives (prosodie) dans plusieurs modalités (Belin et al., 2002). La région du gyrus temporal supérieur droit serait particulièrement impliquée dans l'analyse des caractéristiques spectrales et temporelles (Lattner et al., 2005; Von Kriegstein & Giraud, 2004), ainsi que dans l'analyse de la hauteur et de la prototypie des voix (Lattner et al., 2005), ce qui permet de les reconnaître et de les discriminer. Enfin, d'autres auteurs suggèrent que le lobe temporal droit aurait pour rôle d'entreposer les souvenirs personnels auditifs et visuels, expliquant son implication dans la reconnaissance des voix et des visages familiers (Nakamura et al., 2001).

Le traitement de sa propre voix

Très peu d'auteurs ont investigué ce qui se produit lorsque nous entendons un enregistrement de notre propre voix. Malgré cela, il semble que la propre voix d'un individu soit un stimulus spécial qui implique des régions cérébrales distinctes du traitement des autres voix dans le cerveau.

D'abord, en 1966, Holzman (1966) s'est intéressé aux réactions physiologiques (telles que l'activité du muscle frontalis, la vasoconstriction des doigts, le pouls et la résistance électrodermale) d'individus qui entendaient soit leur propre voix ou des voix inconnues. Les participants ont montré une activation physiologique significativement plus élevée pour leur propre voix en comparaison aux autres voix, suggérant qu'elle a suscité une réaction particulière. Une étude subséquente par Olivos (1967) vient confirmer ces résultats. De plus, elle démontre que les gens réagissaient de façon différente à leur propre voix en comparaison à d'autres voix, et ce peu importe s'ils la reconnaissaient ou non. Ceci suggère qu'il n'est pas nécessaire que notre propre voix soit identifiée consciemment pour qu'elle suscite une réaction particulière chez nous.

Beaucoup plus récemment, deux études d'imagerie cérébrale ont tenté de découvrir les régions impliquées dans le traitement de notre propre voix. D'abord, Nakamura et collaborateurs (2001) ont observé à l'aide de la TEP des activations plus importantes dans l'HD que dans l'HG au niveau du sulcus frontal inférieur et du cortex parainsulaire lorsqu'ils ont comparé le traitement de sa propre voix à celui de voix familières (amis et collègues). Des résultats similaires ont également été rapportés par Keenan et collaborateurs (2003a) qui ont observé à l'aide de l'IRMf une plus grande activité dans les régions frontales droites lorsque des participants entendaient leur propre voix.

On peut penser que la voix n'est pas un stimulus idéal pour étudier le soi puisque celle que nous entendons quotidiennement et avec laquelle nous sommes familiers ne correspond pas à ce que nous entendons sur un enregistrement (Keenan et al., 2003a). Ce phénomène est dû au fait que le mode de transmission du signal acoustique est différent dans ces deux conditions (Tonndorf, 1972). Ainsi, lorsque nous entendons la voix d'autrui ou un enregistrement, le son est transmis par voix aérienne seulement. Par contre, lorsque nous parlons, le son est transmis à la fois par voix aérienne et par conduction osseuse. Il est suggéré que la combinaison de ces deux modes de conduction crée une emphase sur les basses fréquences dans le signal acoustique entendu (Tonndorf, 1972). Donc, le signal perçu lorsque nous parlons est différent du signal entendu sur un enregistrement de notre propre voix.

Certains auteurs (Schmidt-Nielsen & Stern, 1985) suggèrent que notre propre voix est à la fois un stimulus familier, puisqu'il est entendu très fréquemment, et un stimulus non-familier, puisque la présentation enregistrée ne correspond pas à ce que nous entendons habituellement. Les résultats comportementaux de quelques études portant sur notre propre voix semblent confirmer cette affirmation (Nakamura et al., 2001; Schmidt-Nielsen & Stern, 1985; Van Dommelen, 1990). En effet, bien que les participants puissent considérer leur propre voix comme non-familière et difficile à reconnaître, les scores de performance pour la propre voix étaient très élevés et soit similaires, soit supérieurs aux scores pour l'identification de voix familières. Keenan et collaborateurs (2003a) présentent l'argumentation selon laquelle cet état de fait pourrait bien faire de la voix le stimulus idéal pour l'étude du soi, puisqu'il permet d'éliminer l'aspect trop familier du stimulus et ainsi d'isoler de façon spécifique le traitement du soi dans le cerveau.

En conclusion, certains résultats préliminaires suggèrent fortement que le traitement de notre propre voix impliquerait des mécanismes cérébraux distincts du traitement des autres voix, ainsi que des régions corticales spécifiques, notamment au niveau du lobe frontal de l'HD. Par contre, comme très peu d'études se sont intéressées à ce sujet, la spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de sa propre voix ainsi que sa manifestation comportementale demeurent encore incertaines.

Conclusion

Le questionnement sur la spécialisation hémisphérique du cerveau remonte à il y a plus de deux siècles. De façon générale, la littérature suggère que l'HG serait spécialisé pour le langage et le traitement séquentiel, alors que le droit s'occuperait du traitement visuo-spatial et parallèle. D'autre part, la problématique du soi et de la conscience a préoccupé les théoriciens, les penseurs et les chercheurs de plusieurs disciplines depuis de nombreuses années. Plusieurs conceptualisations du soi ont été proposées à travers le temps et de nombreux concepts, tels que l'image de soi, l'identité, le concept de soi, l'estime de soi et la conscience de soi, qui y sont reliés ont été proposés.

Durant les dernières décennies, ces deux questions fondamentales ont été jointes et plusieurs études de neuroscience ont tenté de découvrir la spécialisation hémisphérique et les corrélats neuronaux du soi en l'étudiant de plusieurs façons différentes, i.e. en terme de perception (soit reconnaissance de son propre visage, reconnaissance de son propre corps ou perception de soi en tant qu'agent de ses actions) ou en terme de connaissance (mémoire autobiographique et jugement sur des traits de personnalité). Dans l'ensemble, il a été observé que les régions fronto-pariétales de

l'HD, en comparaison à l'HG, seraient plus impliquées dans la reconnaissance de soi et dans la discrimination entre le soi et les autres. Cependant, un petit nombre d'études n'ont pas confirmé ces observations et la question de la spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de soi demeure non-résolue.

Dans la littérature, la modalité auditive, i.e. la reconnaissance de sa propre voix, a longuement été délaissée. Certains résultats préliminaires suggèrent fortement que le traitement de notre propre voix impliquerait des mécanismes cérébraux distincts du traitement des autres voix, ainsi que des régions corticales spécifiques, notamment au niveau du lobe frontal de l'HD. Par contre, comme très peu d'études se sont intéressées à ce sujet, la spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de sa propre voix ainsi que sa manifestation comportementale demeurent encore incertaines.

Objectifs de recherche

L'objectif de notre première série d'expérimentation sera de déterminer la spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de sa propre voix à l'aide de trois études comportementales (inspirées de Keenan et al., 2000; 1999) chez des participants sains. Dans une première étude, les participants devront identifier l'une de trois voix, i.e. soit leur propre voix, une voix familière ou une voix inconnue, présentées simultanément aux deux hémisphères à l'aide de leur main droite ou de leur main gauche. Dans une deuxième étude, nous présenterons aux participants des stimuli morphés, composés à différents degrés de leur propre voix et d'une voix familière, et ils devront identifier le locuteur perçu soit avec la main droite ou la main gauche. Enfin, dans une dernière étude, nous présenterons aux participants des continuums de stimuli morphés composés à différents degrés d'une voix célèbre et de leur propre voix ou d'une

voix familière. Leur tâche consistera à arrêter la présentation du continuum soit lorsque la voix deviendra « plus célèbre » ou « plus familière/soi ». Pour l'ensemble des études, les stimuli seront aussi présentés avec inversion temporelle, afin d'investiguer si nos hypothèses seront également confirmées pour les stimuli inversés.

L'originalité de ce groupe d'études réside d'abord dans l'utilisation de la propre voix comme stimulus pour étudier la reconnaissance de soi. Ensuite, l'utilisation de stimuli morphés (combinaison à différents degrés de deux voix) en présentation continue nous permet d'avoir une méthodologie expérimentale qui ne dépend pas entièrement des temps de réactions comme mesure des différences entre soi et la personne familière et qui est sensible aux variations dans le biais perceptuel d'identification des voix (Keenan et al., 2000). Ainsi, les effets obtenus ne pourront pas être attribués à de simples différences motrices entre les deux hémisphères. Enfin, plusieurs types de voix différentes seront utilisés afin de contrôler pour la familiarité des voix (voix familières d'amis ou de collègues et voix célèbres) ainsi que pour le processus général de traitement de la voix. Ceci nous permet d'éliminer l'effet sur la spécialisation hémisphérique du processus général du traitement des voix ainsi que l'effet de familiarité de notre propre voix, d'autant plus que celle-ci est à la fois considérée comme familière et non-familière (Schmidt-Nielsen & Stern, 1985), et d'isoler le traitement du soi.

Tel que mentionné plus tôt, la section des commissures cérébrales a pour résultat deux hémisphères complètement indépendants qui ne peuvent plus utiliser les informations traitées dans l'autre moitié du cerveau (Gazzaniga, 1998, 2005). Il est alors possible de déterminer expérimentalement quel hémisphère est nécessaire, ou du moins lequel est supérieur, pour une certaine habileté, puisque les fonctions de chaque

hémisphère peuvent être étudiées séparément (ce qui n'est pas le cas des études comportementales ou d'imagerie cérébrale). Notre deuxième série d'expérimentations comportementales (inspirées de Keenan et al., 2000; 1999) aura donc pour objectif de déterminer la spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de sa propre voix chez un patient callosotomisé. Dans une première étude, le patient devra identifier l'une de trois voix, i.e. soit sa propre voix, une voix familière ou une voix inconnue, présentées simultanément aux deux hémisphères à l'aide de sa main droite ou de sa main gauche. Dans une étude subséquente, nous présenterons au patient, de façon binaurale ou monaurale (droit ou gauche), des stimuli morphés, composés à différents degrés de sa propre voix et d'une voix familière, et il devra identifier le locuteur perçu soit avec la main droite ou la main gauche.

Hypothèses

Dans la littérature, une majorité des études portant sur la reconnaissance de soi et le traitement des informations reliées au soi ont observé que des régions de l'HD semblaient plus impliquées que l'HG dans ces habiletés en comparaison à la reconnaissance et le traitement d'informations reliées à autrui (e.g. Keenan et al., 2001a; Platek et al., 2004; Sugiura et al., 2005). De plus, plusieurs auteurs ont suggéré que l'HD pourrait jouer un rôle spécial dans le traitement du soi et la discrimination entre soi et les autres (e.g. Keenan et al., 2005; Uddin et al., 2005a; Uddin et al., 2006). Par ailleurs, nous avons déjà mentionné que plusieurs études ont démontré que le traitement et la reconnaissance des voix sont préférentiellement effectués au niveau du gyrus temporal supérieur de l'HD (e.g. Belin et al., 2000; Lattner et al., 2005; Van Lancker et al., 1988) et que quelques évidences préliminaires relèvent des activations de l'HD pour le

traitement de notre propre voix (Keenan et al., 2003a; Nakamura et al., 2001). Il en découle donc que notre hypothèse pour la série d'expérimentations qui sera entreprise est que l'hémisphère droit sera plus impliqué que le gauche dans la reconnaissance de sa propre voix en comparaison à d'autres voix, tant chez les participants normaux que chez le patient callosotomisé. Ceci devrait se traduire par un avantage, en termes de vitesse, de biais de réponse et de précision, de la main gauche par rapport à la main droite lorsque les participants entendront leur propre voix en comparaison aux autres voix, soit familières, célèbres ou inconnues.

Références

- Amsterdam, B. (1972). Mirror self-image reactions before age two. *Developmental Psychobiology*, 5(4), 297-305.
- Andelman, F., Zuckerman-Feldhay, E., Hoffien, D., Fried, I., & Neufeld, M. Y. (2004). Lateralization of deficit in self-awareness of memory in patients with intractable epilepsy. *Epilepsia*, 45(7), 826-833.
- Assal, G., Aubert, C. & Buttet, J. (1981). Asymétrie cérébrale et reconnaissance de la voix. *Revue Neurologique*, 137(4), 255-268.
- Baumeister, R. F. (1998). The self. Dans D. T. Gilbert, S. T. Fiske & G. Lindzey (Eds.), *The handbook of social psychology*. (pp. 680-740). Boston, MA: McGraw-Hill.
- Bédard, C., & Belin, P. (2004). A « voice inversion effect? ». *Brain and Cognition*, 55, 247-249.
- Belin, P., Fecteau, S., & Bédard, C. (2004). Thinking the voice: Neural correlates of voice perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(3), 129-135.
- Belin, P., Zatorre, R. J., & Ahad, P. (2002). Human temporal-lobe response to vocal sounds. *Cognitive Brain Research*, 13, 17-26.
- Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P., & Pike, B. (2000). Voice selective areas in human auditory cortex. *Nature*, 403, 309-312.
- Benton, A. L. (1977). The amusias. Dans M. Critchley & R. A. Henson (Eds.), *Music and the brain*. London: Heinemann.
- Benton, A. L. (1979). Visuoceptive, visuospatial and visuoconstructive disorders. Dans K. M. Heilman & E. Valenstein (Eds.), *Clinical neuropsychology*. Oxford: Oxford University Press.

- Benton, A. L. (1980). The neuropsychology of facial recognition. *American Psychologist*, 35, 176-186.
- Berrios, G. E., & Markova, I. S. (2003). The self and psychiatry: A conceptual history. Dans T. Kircher & A. David (Eds.), *The self in neuroscience and psychiatry*. (pp. 9-39). Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.
- Best, C. T. (1988). The emergence of cerebral asymmetries in early human development: A literature review and a neuroembryological model. Dans D. L. Molfese & S. J. Segalowitz (Eds.), *Brain lateralization in children: Developmental implications* (pp. 5-34). New York: Guilford Press.
- Blakemore, S.-J., & Frith, C. (2003). Self-awareness and action. *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 219-224.
- Blanke, O., Mohr, C., Michel, C. M., Pascual-Leone, A., Brugger, P., Seeck, M., Landis, T., & Thut, G. (2005). Linking out-of-body experience and self-processing to mental own-body imagery at the temporoparietal junction. *Journal of Neuroscience*, 25(3), 550-557.
- Blanke, O., Ortigue, S., Landis, T., & Seeck, M. (2002). Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature*, 419, 269.
- Blumstein, S., & Cooper, W. E. (1974). Hemispheric processing of intonation contours. *Cortex*, 10, 146-158.
- Bogousslavsky, J., & Regli, F. (1988). Response-to-next-patient-stimulation: A right hemisphere syndrome. *Neurology*, 38, 1225-1227.
- Bradshaw, J. L., & Gates, E. A. (1978). Visual field differences in verbal tasks: effects of task familiarity and sex of subject. *Brain and Language*, 5(2), 166-187.

- Bradshaw, J. L., & Nettleton, N. C. (1981). The nature of hemispheric specialization in man. *The Behavioral and Brain Sciences*, 4, 51-91.
- Bradshaw, J. L., & Nettleton, N. C. (1983). *Human cerebral assymetry*. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall.
- Brady, N., Campbell, M., & Flaherty, M. (2004). My left brain and me: A dissociation in the perception of self and others. *Neuropsychologia*, 42, 1156-1161.
- Breen, N., Caine, D., & Coltheart, M. (2001). Mirrored-self misidentification: Two cases of focal onset dementia. *Neurocase*, 7, 239-254.
- Carmon, A., & Bechtoldt, H. (1969). Dominance of the right cerebral hemisphere for stereopsis. *Neuropsychologia*, 7, 29-39.
- Chaminade, T., & Decety, J. (2002). Leader or follower? Involvement of the inferior parietal lobule in agency. *NeuroReport*, 13(15), 1975-1978.
- Christiana, W., Malcolm, S., Johnson, A., & Keenan, J. P. (en préparation). Mirror self-recognition in pervasive developmental disorders.
- Conway, M. A., Turk, D. J., Miller, S. L., Logan, J., Nebes, R. D., Meltzer, C. C., & Becker, J. T. (1999). A Positron Emission Tomography (PET) study of autobiographical memory retrieval. *Memory*, 7(5/6), 679-702.
- Cooney, J. W., & Gazzaniga, M. S. (2003). Neurological disorders and the structure of human consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(4), 161-165.
- Craik, F. I. M., Moroz, T. M., Moscovitch, M., Stuss, D. T., Winocur, G., Tulving, E., & Kapur, S. (1999). In search of the self: A positron emission tomography study. *Psychological Science*, 10(1), 26-34.

- Decety, J., Chaminade, T., Grèzes, J., & Meltzoff, A. N. (2002). A PET exploration of the neural mechanisms involved in reciprocal imitation. *NeuroImage*, *15*, 265-272.
- Dehaene-Lambertz, G., Hertz-Pannier, L., & Dubois, J. (2006). Nature and nurture in language acquisition: Anatomical and functional brain-imaging studies in infant. *Trends in Neurosciences*, *29*(7), 367-373.
- Descartes. (1967). *The philosophical works* (E. S. Haldane & G. R. T. Ross, Trans.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Devinsky, O. (2000). Right cerebral hemisphere dominance for a sense of corporeal and emotional self. *Epilepsy and Behavior*, *1*, 60-73.
- Devue, C., Collette, F., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Maquet, P., & Brédart, S. (2007). Here I am: The cortical correlates of visual self-recognition. *Brain Research*, *1143*, 169-182.
- Eccles, J. C. (1973). Brain, speech, and consciousness. *Naturwissenschaften*, *60*, 167-176.
- Ellis, A. W., Young, A. W., & Critchley, E. M. R. (1989). Loss of memory for people following temporal lobe damage. *Brain*, *112*, 1469-1483.
- Erikson, E. H. (1968). *Identity: Youth and crisis*. New York: W. W. Norton.
- Feinberg, T. E., Haber, L. D., & Leeds, N. E. (1990). Verbal asomatognosia. *Neurology*, *40*, 1391-1394.
- Feinberg, T. E., & Shapiro, R. M. (1989). Misidentification-reduplication and the right hemisphere. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology*, *2*(1), 39-48.

- Fink, G. R., Markowitsch, H. J., Reinkemeier, M., Bruckbauer, T., Kessler, J., & Heiss, W.-D. (1996). Cerebral representation of one's own past: Neural networks involved in autobiographical memory. *The Journal of Neuroscience*, *16*(13), 4275-4282.
- Fischler, I., Bloom, P. A., Childers, D. G., Arroyo, A. A., & Perry, N. W. (1984). Brain potentials during sentence verification: Late negativity and long-term memory strength. *Neuropsychologia*, *22*(5), 559-568.
- Fischler, I., Jin, Y.-S., Boaz, T. L., Perry, N. W. J., & Childers, D. G. (1987). Brain potentials related to seeing one's own name. *Brain & Language*, *30*, 245-262.
- Fossati, P., Hevenor, S. J., Graham, S. J., Grady, C., Keightley, M. L., Craik, F., & Mayberg, H. (2003). In search of the emotional self: An fMRI study using positive and negative emotional words. *American Journal of Psychiatry*, *160*(11), 1938-1945.
- Fossati, P., Hevenor, S. J., Lepage, M., Graham, S. J., Grady, C., Keightley, M. L., Craik, F., & Mayberg, H. (2004). Distributed self in episodic memory: Neural correlates of successful retrieval of self-encoded positive and negative personality traits. *NeuroImage*, *22*, 1596-1604.
- Freud, S. (1900). The interpretation of dreams. Dans J. Strachey (Ed.), *The standard edition of the complete psychological works*. (Vol. IV, V). London: Hogarth Press.
- Galaburda, A. M. (1984). Anatomical asymmetries. Dans N. Geschwind & A. M. Galaburda (Eds.), *Cerebral dominance: The biological foundations* (pp. 11-25). Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Galaburda, A. M., Sanides, F., & Geschwind, N. (1978). Cytoarchitectonic left-right asymmetries in the temporal speech region. *Archives of Neurology*, *35*, 812-817.
- Gallagher, S. (2000). Philosophical conceptions of the self: Implications for cognitive science. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(1), 14-21.
- Gallup, G. G. (1969). Chimpanzees: Self-recognition. *Science*, *167*, 86-87.
- Gallup, G. G. (1982). Self-awareness and the emergence of mind in primates. *American Journal of Primatology*, *2*, 237-248.
- Gallup, G. G. (1985). Do minds exist in species other than our own? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *9*, 631-641.
- Gates, A., & Bradshaw, J. L. (1977). The role of the cerebral hemispheres in music. *Brain and Language*, *4*, 403-431.
- Gazzaniga, M. S. (1998). The split brain revisited. *Scientific American*, *279*, 51-55.
- Gazzaniga, M. S. (2000). Cerebral specialization and interhemispheric communication: Does the corpus callosum enable the human condition? *Brain*, *123*, 1293-1326.
- Gazzaniga, M. S. (2005). Forty-five years of split-brain research and still going strong. *Nature Reviews*, *6*, 653.
- Gazzaniga, M. S., & LeDoux, J. E. (1978). *The integrated mind*. New York: Plenum Press.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, *161*(837), 186-187.
- Gillihan, S. J., & Farah, M. J. (2005). Is self special? A critical review of evidence from experimental psychology and cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, *131*(1), 76-97.

- Goethals, G. R., & Strauss, J. (1989). The study of the self: Historical perspectives and contemporary issues. Dans G. R. Goethals & J. Strauss (Eds.), *The self: Interdisciplinary approaches*. (pp. 1-17). New York: Springer-Verlag.
- Goodglass, H., & Calderon, M. (1977). Parallel processing of verbal and musical stimuli in right and left hemispheres. *Neuropsychologia*, *15*, 397-407.
- Greenberg, D. L., Rice, H. J., Cooper, J. J., Cabeza, R., Rubin, D. C., & LaBar, K. S. (2005). Co-activation of the amygdala, hippocampus and inferior frontal gyrus during autobiographical memory retrieval. *Neuropsychologia*, *43*, 659-674.
- Gusnard, D. A., Akbudak, E., Shulman, G. L., & Raichle, M. E. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: Relation to a default mode of brain function. *Proceedings in the National Academy of Sciences*, *98*(7), 4259-4264.
- Heatherington, T. F., Wylan, C. L., Macrae, C. N., Demos, K. E., Denny, B. T., & Kelley, W. M. (2006). Medial prefrontal activity differentiates self from close others. *Social cognitive and affective neuroscience*, *1*, 18-25.
- Holzman, P. S., Rousey, C., Snyder, C. . (1966). On listening to one's own voice: Effects on psychophysiological responses and free associations. *Journal of Personality and Social Psychology*, *4*(4), 432-441.
- Horney, K. (1950). *Neurosis and human growth*. New York: Norton.
- Iaccino, J. F. (1993). *Left brain--right brain differences: Inquiries, evidence, and new approaches*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Imaizumi, S., Mori, K., Kiritani, S., Kawashima, R., Sugiura, M., Fukuda, H., Itoh, K., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Kojima, S., & Nakamura, K. (1997). Vocal

identification of speaker and emotion activates different brain regions. *Neuroreport* 8(12), 2809-2812.

Imbens-Bailey, A., & Pan, A. (1998). The pragmatics of self- and other-reference in young children. *Social Development*, 7(2), 219-233.

James, W. (1890). *Principles of psychology*. New York: Holt.

James, W. (1892). *Psychology: Briefer course*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

Jäncke, L., & Steinmetz, H. (2003). Anatomical brain asymmetries and their relevance for functional asymmetries. Dans K. Hugdahl & R. J. Davidson (Eds.), *The asymmetrical brain* (pp. 187-229). Cambridge, Mass.: MIT Press.

Johnson, S. C., Baxter, L. C., Wilder, L. S., Pipe, J. G., Heiserman, J. E., & Prigatano, G. P. (2002). Neural correlates of self-reflection. *Brain*, 125, 1808-1814.

Jung, C. G. (1939). *The integration of personality*. New York: Farrar and Rinehart.

Keenan, J. P., Freund, S., Hamilton, R. H., Ganis, G., & Pascual-Leone, A. (2000). Hand response differences in a self-face identification task. *Neuropsychologia* 38, 1047-1053.

Keenan, J. P., Gallup, G. G., & Falk, D. (2003a). *The face in the mirror*. New York: Harper Collins Publishers.

Keenan, J. P., McCutcheon, B., Freund, S., Gallup, G. G., Sanders, G., & Pascual-Leone, A. (1999). Left hand advantage in a self-face recognition task. *Neuropsychologia* 37, 1421-1425.

Keenan, J. P., McCutcheon, N. B., & Pascual-Leone, A. (2001a). Functional magnetic resonance imaging and event-related potentials suggest right prefrontal activation for self-related processing. *Brain and Cognition* 47, 87-91.

- Keenan, J. P., Nelson, A., O'Connor, M., & Pascual-Leone, A. (2001b). Self-recognition and the right hemisphere. *Nature* 409, 305.
- Keenan, J. P., Rubio, J., Racioppi, C., Jonhson, A., & Barnacz, A. (2005). The right hemisphere and the dark side of consciousness. *Cortex*, 41, 695-704.
- Keenan, J. P., Wheeler, M. A., Platek, S. M., Lardi, G., & Lassonde, M. (2003b). Self-face processing in a callosotomy patient. *European Journal of Neuroscience*, 18, 2391-2395.
- Kelley, W. M., Macrae, C. N., Wyland, C. L., Caglar, S., Inati, S., & Heatherton, T. F. (2002). Finding the self? An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14(5), 785-794.
- Kihlstrom, J. F., & Klein, S. B. (1994). The self as a knowledge structure. Dans R. S. Wyer & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of social cognition* (Vol. 1, pp. 153-208). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kircher, T. T. J., Brammer, M., Bullmore, E., Simmons, A., Bartels, M., & Davis, A. S. (2002). The neural correlates of intentional and incidental self processing. *Neuropsychologia*, 40, 683-692.
- Kircher, T. T. J., Senior, C., Phillips, M. L., Benson, P. J., Bullmore, E. T., Brammer, M., Simmons, A., Williams, S. C. R., Bartels, M., & David, A. S. (2000). Towards a functional neuroanatomy of self processing: Effects of faces and words. *Cognitive Brain Research*, 10, 133-144.
- Kircher, T. T. J., Senior, C., Phillips, M. L., Rabe-Hesketh, S., Benson, P. J., Bullmore, E. T., Brammer, M., Simmons, A., Bartels, M., & David, A. S. (2001). Recognizing one's own face. *Cognition*, 78, B1-B15.

- Kjaer, T. W., Nowak, M., & Lou, H. C. (2002). Reflective self-awareness and conscious states: PET evidence for a common midline parietofrontal core. *NeuroImage, 17*, 1080-1086.
- Klein, S. B., Rozendal, K., & Cosmides, L. (2002). A social-cognitive neuroscience analysis of the self. *Social Cognition, 20*(2), 105-135.
- Kohut, H. (1978). *The psychology of the self*. New York: International Universities Press.
- Lattner, S., Meyer, M. E., & Friederici, A. D. (2005). Voice perception: Sex, pitch, and the right hemisphere. *Human Brain Mapping, 24*, 11-20.
- Lavner, Y., Gath, I., & Rosenhouse, J. (2000). The effects of acoustic modifications on the identification of familiar voices speaking isolated vowels. *Speech Communication, 30*, 9-26.
- LeDoux, J. E., Wilson, D. H., & Gazzaniga, M. S. (1977). A divided mind: Observation on the conscious properties of the separated hemispheres. *Annals of Neurology, 2*, 417-421.
- LeMay, M. (1977). Asymmetries of the skull and handedness. *Journal of the Neurological Sciences, 32*, 243-253.
- LeMay, M. (1992). Left-right dissymmetry, handedness. *American Journal of Neuroradiology, 13*, 493-504.
- Levy-Agresti, J., & Sperry, R. W. (1968). Differential perceptual capacities in major and minor hemispheres. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 61*, 115.
- Lewis, M., Sullivan, M. W., Stanger, C., & Weiss, M. (1989). Self development and self-conscious emotions. *Child Development, 60*, 146-156.

- Lieberman, M. D. (2005). Principles, processes, and puzzles of social cognition: An introduction for the special issue on social cognitive neuroscience. *NeuroImage*, *28*, 745-756.
- Lou, H. C., Luber, B., Crupain, M., Keenan, J. P., Nowak, M., Kjaer, T. W., Sackeim, H. A., & Lisanby, S. H. (2004). Parietal cortex and representation of the mental self. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *101*(17), 6827-6832.
- Macrae, C. N., Moran, J. M., Heatherton, T. F., Banfield, J. F., & Kelley, W. M. (2004). Medial prefrontal activity predicts memory for self. *Cerebral Cortex*, *14*, 647-654.
- Maguire, E. A., & Mummery, C. J. (1999). Differential modulation of a common memory retrieval network revealed by Positron Emission Tomography. *Hippocampus*, *9*, 54-61.
- Markowitsch, H. J. (2003). Autonoetic consciousness. Dans T. Kircher & A. David (Eds.), *The self in neuroscience and psychiatry*. (pp. 180-196). Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.
- Markowitsch, H. J., Thiel, A., Reinkemeier, M., Kessler, J., Koyuncu, A., & Heiss, W.-D. (2000). Right amygdalar and temporo-frontal activation during autobiographic, but not during fictitious memory retrieval. *Behavioural Neurology*, *12*, 181-190.
- Meador, K. J., Loring, D. W., Feinberg, T. E., Lee, G. P., & Nichols, M. E. (2000). Anosognosia and asomatognosia during intracarotid amobarbital inactivation. *Neurology*, *55*, 816-820.

- Miller, B. L., Seeley, W. W., Mychack, P., Rosen, H. J., Mena, I., & Boone, K. (2001). Neuroanatomy of the self: Evidence from patients with frontotemporal dementia. *Neurology*, *57*, 817-821.
- Molnar-Szakacs, I., Uddin, L. Q., & Iacoboni, M. (2005). Right-hemisphere motor facilitation by self-descriptive personality-trait words. *European Journal of Neuroscience*, *21*, 2000-2006.
- Morin, A. (2001). The split-brain debate revisited: On the importance of language and self-recognition for right hemispheric consciousness. *The Journal of Mind and Behavior*, *22*(2), 107-118.
- Morin, A. (2002). Right hemispheric self-awareness: A critical assessment. *Consciousness and Cognition*, *11*, 396-401.
- Morin, A., & Michaud, J. (2007). Self-awareness and the left inferior frontal gyrus: Inner speech use during self-related processing. *Brain Research Bulletin*, *74*, 387-396.
- Moss, A. D., & Turnbull, O. H. (1996). Hatred of the hemiparetic limbs (misoplegia) in a 10 year old child. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, *61*(2), 210-211.
- Nakamura, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Nagumo, S., Kubota, K., Fukuda, H., Ito, K., & Kojima, S. (2001). Neural substrates for recognition of familiar voices: A PET study. *Neuropsychologia*, *39*, 1047-1054.
- Nebes, R. D. (1978). Direct examination of cognitive function in the right and left hemispheres. Dans M. Kinsbourne (Ed.), *Asymmetrical function of the brain*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Neuner, F., & Schweinberger, S. R. (2000). Neuropsychological impairments in the recognition of faces, voices, and personal names. *Brain & Cognition, 44*, 342-366.
- Ninomiya, H., Onitsuka, T., Chen, C. H., Sato, E., & Tashiro, N. (1998). P300 in response to the subject's own face. *Psychiatry and Clinical Neurosciences, 52*, 519-522.
- Ochsner, K. N., Beer, J. S., Robertson, E. R., Cooper, J. C., Gabrieli, J. D. E., Kihlstrom, J. F., & D'Esposito, M. (2005). The neural correlates of direct and reflected self-knowledge. *NeuroImage, 28*, 797-814.
- Olivos, G. (1967). Response delay, psychophysiologic activation, and recognition of one's own voice. *Psychosomatic Medicine, 29*(5), 433-440.
- Oppenheimer, J. M. (1977). Studies of brain asymmetry: Historical perspective. Dans S. J. Dimond & D. A. Blizard (Eds.), *Evolution and lateralization of the brain*. (pp. 4-17). New York: New York Academy of Sciences.
- Paus, T., Perry, D. W., Zatorre, R. J., Worsley, K. J., & Evans, A. C. (1996). Modulation of cerebral blood flow in the human auditory cortex during speech: Role of motor-to-sensory discharges. *European Journal of Neuroscience, 8*, 2236-2246.
- Platek, S. M., & Gallup, G. G. J. (2002). Self-face recognition is affected by schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research, 57*, 81-85.
- Platek, S. M., Keenan, J. P., Gallup, G. G. J., & Mohamed, F. B. (2004). Where am I? The neurological correlates of self and other. *Cognitive Brain Research, 19*, 114-122.
- Platek, S. M., Loughhead, J. W., Gur, R. C., Busch, S., Ruparel, K., Phend, N., Panyavin, I. S., & Langleben, D. D. (2006). Neural substrates for functionally

- discriminating self-face from personally familiar faces. *Human Brain Mapping*, 27, 91-98.
- Platek, S. M., Myers, T. E., Critton, S. R., & Gallup, G. G. J. (2003). A left-hand advantage for self-description: The impact of schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research*, 65, 147-151.
- Preilowski, B. (1977). Self-recognition as a test of consciousness in left and right hemisphere of «split-brain» patients. *Activitas Nervosa Superior (Praha)*, 19(suppl. 2), 343-344.
- Rogers, C. R. (1951). *Client-centered therapy; its current practice, implications and theory*. Boston: Houghton.
- Ross, E. D. (1984). Right hemisphere's role in language, affective behavior and emotion. *Trends in Neurosciences*, 7, 342-345.
- Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: A PET investigation of agency. *Nature Neuroscience*, 4(5), 546-550.
- Ruby, P., & Decety, J. (2004). How would you feel versus how do you think she would feel? A neuroimaging study of perspective-taking with social emotions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(6), 988-999.
- Schmidt-Nielsen, A., & Stern, K. R. (1985). Identification of known voices as a function of familiarity and narrow-band coding. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77(2), 658-663.
- Schmitz, T. W., Kawahara-Baccus, T. N., & Johnson, S. C. (2004). Metacognitive evaluation, self-relevance, and the right prefrontal cortex. *NeuroImage*, 22, 941-947.

- Seger, C. A., Stone, M., & Keenan, J. P. (2004). Cortical activations during judgments about the self and an other person. *Neuropsychologia*, *42*, 1168-1177.
- Shah, N. J., Marshall, J. C., Zafiris, O., Schwab, A., Zilles, K., Markowitsch, H. J., & Fink, G. R. (2001). The neural correlates of person familiarity: A functional magnetic resonance imaging study with clinical implications. *Brain*, *124*, 804-815.
- Spangenberg, K. B., Wagner, M. T., & Bachman, D. L. (1998). Neuropsychological analysis of a case of abrupt onset mirror sign following a hypotensive crisis in a patient with vascular dementia. *Neurocase*, *4*, 149-154.
- Spence, S. A., Brooks, D. J., Hirsch, S. R., Liddle, P. F., Meehan, J., & Grasby, P. M. (1997). A PET study of voluntary movement in schizophrenic patients experiencing passivity phenomena (delusions of alien control). *Brain*, *120*, 1997-2011.
- Sperry, R. W. (1964). The great cerebral commissure. *Scientific American*, *210*, 42-52.
- Sperry, R. W. (1968). Mental unity following surgical disconnection of the cerebral hemispheres. Dans *The Harvey Lectures: Series 62*. New York: Academic Press.
- Sperry, R. W., Zaidel, E., & Zaidel, D. (1979). Self recognition and social awareness in the disconnected minor hemisphere. *Neuropsychologia*, *17*, 153-166.
- Springer, S. P., & Deutsch, G. (1998). *Left brain, right brain: perspectives from cognitive neuroscience*. New York: Freeman.
- Sugiura, M., Kawashima, R., Nakamura, K., Okada, K., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Itoh, K., Kojima, S., & Fukuda, H. (2000). Passive and active recognition of one's own face. *NeuroImage*, *11*, 36-48.

- Sugiura, M., Watanabe, J., Maeda, Y., Matsue, Y., Fukuda, H., & Kawashima, R. (2005). Cortical mechanisms of visual self-recognition. *NeuroImage*, *24*, 143-149.
- Symons, C. S., & Johnson, B. T. (1997). The self-reference effect in memory: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *121*, 371-394.
- Théoret, H., Kobayashi, M., Merabet, L., Wagner, T., Tormos, J. M., & Pascual-Leone, A. (2004). Modulation of right motor cortex excitability without awareness following presentation of masked self-images. *Cognitive Brain Research*, *20*, 54-57.
- Tonndorf, J. (1972). Bone conduction. Dans J. V. Tobias (Ed.), *Foundations of modern auditory theory*. (Vol. 2, pp. 197-237). New York: Academic Press.
- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I. M., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: Positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *91*, 2016-2020.
- Turk, D. J., Heatherton, T. F., Kelley, W. M., Funnell, M. G., Gazzaniga, M. S., & Macrae, C. N. (2002). Mike or Me? Self-recognition in a split-brain patient. *Nature Neuroscience*, *5*(9), 841-842.
- Turk, D. J., Heatherton, T. F., Macrae, C. N., Kelley, W. M., & Gazzaniga, M. S. (2003). Out of contact, out of mind: The distributed nature of the self. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1001*, 65-78.
- Uddin, L. Q., Kaplan, J. T., Molnar-Szakacs, I., Zaidel, E., & Iacoboni, M. (2005a). Self-face recognition activates a frontoparietal «mirror» network in the right hemisphere: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, *25*, 926-935.

- Uddin, L. Q., Molnar-Szakacs, I., Zaidel, E., & Iacoboni, M. (2006). rTMS to the right inferior parietal lobule disrupts self-other discrimination. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 1*, 65-71.
- Uddin, L. Q., Rayman, J., & Zaidel, E. (2005b). Split-brain reveals separate but equal self-recognition in the two cerebral hemispheres. *Consciousness and Cognition, 14*, 633-640.
- Van Dommelen, W. A. (1990). Acoustic parameters in human speaker recognition. *Language and Speech, 33*(3), 259-272.
- Van Lancker, D., & Canter, G. J. (1982). Impairment of voice and face recognition in patients with hemispheric damage. *Brain and Cognition, 1*, 185-195.
- Van Lancker, D., Cummings, J. L., Kreiman, J., & Dobkin, B. H. (1988). Phonagnosia: A dissociation between familiar and unfamiliar voices. *Cortex, 24*, 195-209.
- Van Lancker, D., Kreiman, J., & Cummings, J. (1989). Voice perception deficits: Neuroanatomical correlates of phonagnosia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 11*(5), 665-674.
- Van Lancker, D., Kreiman, J., & Emmorey, K. (1985). Familiar voice recognition: Patterns and parameters, Part I: Recognition of backward voices. *Journal of Phonetics, 13*, 19-38.
- Van Lancker, D., Kreiman, J., & Wickens, T. D. (1985). Familiar voice recognition: Patterns and parameters, Part II: Recognition of rate-altered voices. *Journal of Phonetics, 13*, 39-52.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N. J., Fink, G. R., & Zilles, K. (2001). Mind Reading: Neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *NeuroImage, 14*, 170-181.

- Von Kriegstein, K., & Giraud, A.-L. (2004). Distinct functional substrates along the right superior temporal sulcus for the processing of voices. *NeuroImage*, *22*, 948-955.
- Von Kriegstein, K., Kleinschmidt, A., & Giraud, A.-L. (2005). Voice recognition and cross-modal responses to familiar speaker's voices in prosopagnosia. *Cerebral Cortex*, *16*, 1314-1322.
- Yarmey, A. D., Yarmey, A. L., Yarmey, M. J., & Parliament, L. (2001). Commonsense beliefs and the identification of familiar voices. *Applied Cognitive Psychology*, *15*, 283-299.
- Zaidel, D., & Sperry, R. W. (1973). Performance on the Raven's Coloured Progressive Matrices Test by subjects with cerebral commissurotomy. *Cortex*, *9*, 34-39.
- Zaidel, E. (1978). Auditory language comprehension in the right hemisphere following cerebral commissurotomy and hemispherectomy: A comparison with child language and aphasia. Dans A. Caramazza & E. B. Zurif (Eds.), *Language acquisition and language breakdown: Parallels and divergencies*. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Zaidel, E., & Sperry, R. W. (1974). Memory impairment following commissurotomy in man. *Brain*, *97*, 263-272.

Chapitre 2

Article 1

Rosa, C., Lassonde, M., Pinard, C., Keenan, J. P. & Belin, P. (in press). Investigations of hemispheric specialization of self-voice recognition. *Brain and Cognition*.

Investigations of hemispheric specialization of self-voice recognition

Christine Rosa¹, Maryse Lassonde¹, Claudine Pinard¹, Julian Paul Keenan² and Pascal

Belin^{1&3}

1- Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, University of Montreal

2- The Cognitive Neuroimaging Laboratory, Montclair State University

3- Center for Cognitive Neuroimaging & Department of Psychology, University of
Glasgow

Send correspondence to: Christine Rosa, Ph.D. student in neuropsychology, Centre de
Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Département de Psychologie, Université
de Montréal, C.P. 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada , H3C 3J7,

Telephone: (514) 343-6111 #3177; Fax: (514) 343-5787; E-mail:



Abstract

Three experiments investigated functional asymmetries related to self-recognition in the domain of voices. In Experiment 1, participants were asked to identify one of three presented voices (self, familiar or unknown) by responding with either the right or the left hand. In Experiment 2, participants were presented with auditory morphs between the self-voice and a familiar voice and were asked to perform a forced-choice decision on speaker identity with either the left or the right hand. In experiment 3, participants were presented with continua of auditory morphs between self- or a familiar voice and a famous voice, and were asked to stop the presentation either when the voice became “more famous” or “more familiar/self”. While these experiments did not reveal an overall hand difference for self-recognition, the last study, with improved design and controls, suggested a right-hemisphere advantage for self- compared to other-voice recognition, similar to that observed in the visual domain for self-faces.

Keywords: self-perception, self-awareness, behavioural study, laterality, voice recognition.

Investigations of hemispheric specialization of self-voice recognition

Self-recognition (the ability to recognize oneself) has been proposed (Gallup, 1985) to be an accurate measure of the presence of a self-concept (representation of one's own identity) and of self-consciousness (the ability to become the object of one's own attention), abilities which may underlie such higher-order cognitive capacities as theory of mind and introspection (Gallup, 1982). Indeed, some authors have shown that self-recognition, which is only observed in human beings, chimpanzees, orang-utans, and possibly dolphins, requires a certain level of self-concept (Keenan, Gallup & Falk, 2003a). In terms of intellectual development, self-recognition appears at a stage (18-24 months) where other self-related behaviours are observed, and self-recognition itself has been used as a variable that successfully predicts the capacity for other self-related abilities such as self-conscious emotions (see Keenan et al., 2003a for review). Further, in clinical populations where self-recognition performance is compromised, there is a correlative absence of other self-related abilities, such as the absence of a left-hand advantage when processing self-descriptive traits (Christiana, Malcolm, Johnson, & Keenan, in preparation; Platek & Gallup, 2002; Platek, Myers, Critton & Gallup, 2003).

The idea that self-processing (processing of self-related information) is unique and distinct from other types of semantic processing is supported by several recent studies. For example, Paus, Perry, Zatorre, Worsley & Evans (1996) showed that the cerebral motor regions involved in speech production send a corollary discharge to regions of secondary auditory cortex, thereby modulating their activation in response to the self-voice. In the domain of face processing, Ninomiya, Onitsuka, Chen, Sato & Tashiro (1998) have reported a larger amplitude of the P300 brain wave when participants were presented with their own face compared to a familiar face, suggesting

a greater attentional response to the self. Sugiura et al. (2000) have shown that the electrodermal response to the presentation of one's own face is greater than when participants were presented with a familiar face, suggesting a more important emotional response to self-related stimuli. Finally, several studies have demonstrated a mnemonic advantage for information processed in a self-referential manner (see Symons & Johnson, 1997). The above evidence suggests that self-related information processing is, if not unique, at least partially distinct from other types of processing. It should be noted, however, that although there is a growing body of work suggesting unique neural processing of self-related information, this claim is still somewhat controversial (see Gillihan & Farah, 2005).

The cerebral underpinnings of self-recognition are still a matter of investigation, but there is accumulating evidence suggesting that a lateralized network may be involved. However, the degree and even the nature of such lateralization remain unclear. A series of studies by Keenan and colleagues (Keenan, Freund, Hamilton, Ganis & Pascual-Leone, 2000; Keenan et al., 1999; Keenan, McCutcheon & Pascual-Leone, 2001a; Keenan, Nelson, O'Connor & Pascual-Leone, 2001b; Keenan, Wheeler, Platek, Lardi & Lassonde, 2003b) has shown that the right hemisphere seems to be more involved in self-face perception. In a first study, participants were asked to identify either their own face, a familiar face or an unknown face (Keenan et al., 1999). Results showed that participants responded faster with their left hand (right hemisphere) than with their right hand (left hemisphere) when they were presented with upright or inverted self-faces, which is quite a large advantage as all participants were right-handed. In contrast, the presentation of upright or inverted familiar faces and unknown faces did not yield any advantage. Similarly, Platek and Gallup (2002) also found an

advantage of the left hand for the recognition of one's own face. In a second study by Keenan et al. (2000), participants were presented with movies in which one face transformed progressively into another through morphing. An advantage of the left hand (right hemisphere) for one's own face was also observed using this experimental paradigm. This right hemisphere advantage for recognition of one's own face was subsequently replicated by the same group in studies using different paradigms in normal and brain-lesioned patients (electrophysiology, fMRI, Wada and TMS; Keenan et al., 2001a; 2001b, 2003b) and was confirmed by several other investigators in self-face recognition studies (e.g. Platek, Keenan, Gallup & Mohamed, 2004; Théoret et al., 2004; Uddin, Kaplan, Molnar-Szakacs, Zaidel & Iacoboni, 2005). For example, in the study of Théoret et al. (2004), participants were presented with masked faces of oneself or of strangers while their left or right motor cortex was stimulated with TMS. Stronger motor evoked potentials were observed when participants were stimulated over the right motor cortex while viewing their own face, suggesting that the right hemisphere was more activated. Moreover, imaging studies have generally found the right frontal and parietal regions to be involved in self-face recognition (e.g. Keenan et al. 2001a; Platek et al. 2004; Uddin et al. 2005). Although there are but fewer studies indicating a left-hemisphere advantage (Brady, Campbell & Flaherty, 2004; Turk et al., 2002), one should note that the finding of right hemisphere dominance is not entirely consistent. Furthermore, all reports of patients with 'mirror-sign' (the exclusive loss of self-face recognition) showed right hemisphere damage (Breen, Caine & Coltheart, 2001; Feinberg & Shapiro, 1989; Spangenberg, Wagner, & Bachman, 1998), but only a handful of patients exhibit such a condition.

The human voice is one of the most important and most frequent sound categories in our environment. At the functional level, voices, as “auditory faces” (Belin, Fecteau & Bédard, 2004), enable us to identify a person rapidly, efficiently and with ease. Voices contain within their physical structure a wealth of information (age, sex, and height, sociological and geographical background) on the identity and the emotional state of the speaker (Belin, Zatorre & Ahad, 2002; Van Lancker & Canter, 1982). Hence, an important parallel can be made between the processing of voices and the processing of faces (Belin et al., 2004). For example, recognition of faces (Paller et al., 2003; Van Lancker & Canter, 1982; see also Benton, 1980 for a review) as well as processing (e.g. Belin et al., 2002; Belin, Zatorre, Lafaille, Ahad & Pike, 2000; Nakamura et al., 2001) and recognition (e.g. Ellis, Young & Critchley, 1989; Kapur et al., 1994; Van Lancker, Kreiman & Cummings, 1989) of voices have both been shown to be more dependent upon the right hemisphere. Thus, some authors (Van Lancker & Canter, 1982) have suggested that recognition of familiar voices, like recognition of familiar faces, require a global processing as accomplished by the right hemisphere. Also, a specific impairment in processing and recognition of these two stimuli has been observed following cerebral lesions: prosopagnosia in the visual modality is the inability to recognize familiar faces (Gazzaniga, Ivry & Mangun, 2001) and phonagnosia in the auditory modality is the inability to recognize and process familiar voices (Van Lancker, Cummings, Kreiman & Dobkin, 1988). Finally, Van Lancker & Canter (1982) have pointed out that neonates show a marked preference for the voice and the face of their mother compared to other voices and faces.

Given the similarities between voice and face processing and the importance of one’s own voice for self-recognition it seems surprising that only one published study

has directly investigated the neural correlates of self-voice recognition (Nakamura et al., 2001). Using PET, Nakamura and his colleagues found more important right frontal activation when self-voices were compared to familiar-voices in a discrimination task between these familiar voices (familiar or self) and unknown voices. However, it remains unknown how such difference may relate to behavioural performance. It would thus be of significant interest to explore hemispheric specialization of self-voice processing and to verify if it concurs with a right hemispheric specialization for self-related stimuli.

The objective of the present set of studies is to determine the hemispheric specialization of self-voice recognition by essentially transposing to voices in the auditory modality the experiments performed by Keenan et al. (1999, 2000) on self-face recognition. In Experiment 1, participants were asked to identify one of three presented voices (self, familiar or unknown) by responding either with the right or the left hand. In Experiment 2, participants were presented with auditory morphs between self and familiar voices, and were asked to indicate the most likely speaker either with the left or the right hand. Finally, in Experiment 3, participants were presented with continua of morphs between a famous voice and either their own or a familiar voice and were asked to stop the presentation either when the voice became “more famous” or “more familiar/self”. On account of the literature suggesting a right hemispheric specialization for self-face processing and for voice recognition, we hypothesised that the right hemisphere would also be more involved in the recognition of one’s own voice compared to other voices. Thus, in all the experiments, we predicted a stronger left hand advantage, in terms of speed, accuracy and response bias, for self-voice recognition compared to other voices.

Experiment 1

Materials and methods

Participants

Fourteen right-handed French-Canadian normal participants (2 males and 12 females) between the ages of 21 and 26 (mean age = 23.5; $SD = 1.3$) were recruited at the University of Montreal through billboard postings. Participants consisted of pairs of friends or co-workers having known each other for at least one year. All participants in a pair were of the same sex and comparable age (<5 years apart). Each participant was also the familiar voice for his/her friend or co-worker. They received a compensation of 10 dollars per hour of testing for their participation. This study was approved by the University of Montreal's ethics committee. Participants signed a consent form prior to their participation in the study and their handedness was established using the Edinburgh Handedness Inventory (Oldfield, 1971). Auditory capacities of the participants were evaluated using a questionnaire and those with self-reported auditory difficulties were excluded from this study. Most of the participants underwent the three experiments that are presented here. The order of participation to each experiment was thus counterbalanced.

Material

Vocal stimuli were generated based on 17 words (voir Annexe 1) pronounced by the participant, the familiar person or an unknown speaker. For the unknown speaker, two voices, one male and one female, were selected among the Vocal Neurocognition Laboratory natural voice bank. These voices were gender- and age-matched to the participants and there was no identifiable accent. As for the participant and the familiar speaker, their voices were recorded in a soundproof room, using a high-resolution

microphone (Microtech Gefell GMBH) and Cool Edit Pro (Syntrillium Software Corporation). The vocal samples were all cut off at the beginning and at the end of each spectrum and were equalized in energy using Matlab 6.1 (Mathworks). Since it has been suggested that temporal inversion affects voice recognition (though such an influence may only be minimal; Van Lancker, Kreiman & Emmorey, 1985), each stimulus was also temporally inverted in order to investigate whether the inverted stimuli would also yield an advantage for the recognition of one's own voice. Thus 102 different stimuli (17 words x 3 voices x 2 temporal presentations) were created for each pair of participants. For each voice, a short sentence was also recorded which was presented to the participants before the study to familiarize them with the voices they would hear in the experiment. The stimuli were administered using the Media Control Functions computer program (MCF, version 3.39, DigiVox) and DT 770 ear-phones (Beyerdynamic).

Procedure

Participants were asked to take part in a voice recognition study with no mention concerning the self-voice. In the first phase of the experiment, participants were instructed to read the list of words and the short sentence in the soundproof room. Participants were asked to repeat each word two times during the recording (of which we chose the best recorded sample). In the second phase of the experiment, participants returned to the laboratory for the experimental session. They were instructed to listen to the presented vocal stimuli and perform a 3-alternative forced-choice identification of the speaker: self, familiar or unknown. Six blocks of 102 randomly presented stimuli were administered. Participants had to respond with only one hand (left or right) by pressing as rapidly as possible the keyboard keys (order counterbalanced) corresponding to the presented voice. They had to switch response hand after each block. The hand of

response for the first block was counterbalanced between participants. Accuracy and reaction time from sound onset were recorded. The duration of the experiment was approximately 45 minutes.

Statistical analysis

A 2 (Hand: left or right) X 3 (Speaker: self, familiar and unknown) X 2 (Temporal presentation: with or without temporal inversion) repeated measures ANOVA was conducted on each dependent variable (accuracy in percent and median reaction time in milliseconds). A signal detection analysis was also conducted for each condition.

Results

Concerning the signal detection analysis, the *ds* ranged from 1.85 (familiar voice, right hand, with temporal inversion) to 3.63 (self voice, left hand, normal presentation). While these values suggested a left hand advantage for self, they also indicated that differences between the voices were correctly identified (see Table I).

Table I: Signal detection analysis: *d* values for self and familiar voices

	Self		Familiar	
	RH	LH	RH	LH
Normal presentation	3.40	3.63	3.63	3.40
Temporally inverted	2.08	2.05	1.85	2.03

RH = Right hand; LH = Left hand.

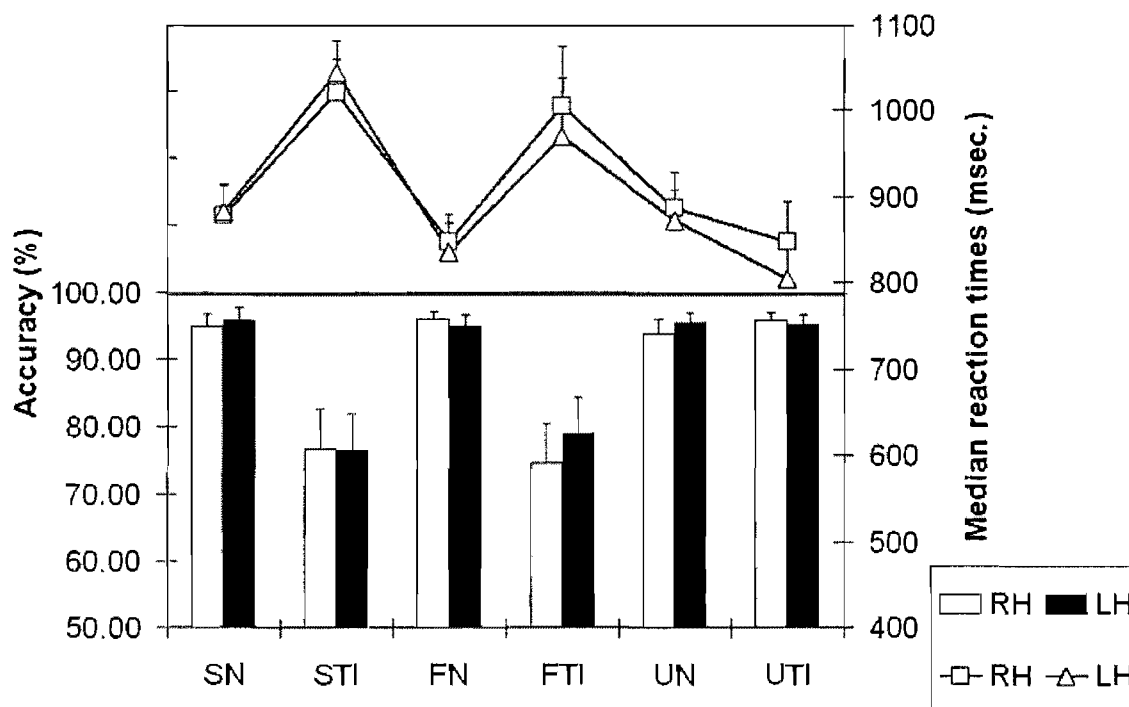
Figure 1 illustrates the results of Experiment 1 for accuracy and reaction times. The ANOVA conducted on the accuracy scores revealed a significant Hand X Speaker X Temporal presentation 3-way interaction ($F(2, 26) = 3.31, p < .05$). However, the simple effect analysis did not reveal a significant Hand X Speaker interaction in the

different levels of the Temporal presentation variable (Normal presentation: $F(2, 26) = 1.07, p > .05$; Temporally inverted: $F(2, 26) = 2.29, p > .05$). Thus, we then examined the 2-way interactions. The ANOVA did not reveal a significant Hand X Speaker ($F(2, 26) = 0.34, p > .05$) or Hand X Temporal presentation ($F(2, 26) = 0.16, p > .05$) interaction. However, a significant Speaker X Temporal presentation interaction ($F(2, 26) = 6.48, p < .005$) was found. Simple effects analysis revealed a significant effect of inversion for the self ($F(1, 13) = 11.17, p < .005$) and the familiar voices ($F(1, 13) = 17.17, p < .001$) but not for the unknown voice ($F(1, 13) = 0.53, p > .05$). This effect was such that accuracy scores were lower for the self and the familiar voices when the stimuli were temporally inverted (self: $M = 76.6, SD = 21.0$; familiar: $M = 76.8, SD = 20.7$) compared to when they were normally presented (self: $M = 95.4, SD = 6.9$; familiar: $M = 95.5, SD = 5.1$). The analysis also revealed a significant main effect of Temporal presentation ($F(1, 13) = 32.27, p < .001$), such that accuracy was overall lower with temporal inversion compared to normal presentation. A significant main effect of Speaker was also found ($F(2, 26) = 4.63, p < .05$), such that participants were overall more accurate for the unknown voice ($M = 95.1, SD = 5.9$) compared to the self ($M = 86.0, SD = 18.2$; Tukey: $p < .01$) and the familiar ($M = 86.2, SD = 17.7$; Tukey: $p < .01$) voices since it was not affected by temporal inversion. Finally, no significant main effect of Hand was found ($p > .05$).

The ANOVA conducted on the median reaction time did not reveal a significant 3-way interaction or a significant 2-way interaction for Hand X Speaker or Hand X Temporal presentation (all $ps > .05$). However a significant Speaker x Temporal presentation interaction ($F(2, 26) = 13.27, p < .001$) was found. Simple effects analysis revealed a significant effect of Temporal presentation for the self voice ($F(1, 13) =$

36.31, $p < .001$), the familiar voice ($F(1, 13) = 12.13, p < .005$) and the unknown voice ($F(1, 13) = 6.03, p < .05$). This effect indicated that responses were slower with temporal inversion for the self voice (normal presentation: $M = 880.40, SD = 121.85$; temporally inverted: $M = 1033.10, SD = 142.27$) and the familiar voice (normal presentation: $M = 841.10, SD = 120.22$; temporally inverted: $M = 987.50, SD = 254.53$), but were faster with temporal inversion for the unknown voice (normal presentation: $M = 879.30, SD = 145.48$; temporally inverted: $M = 826.10, SD = 163.50$). The analysis also revealed a significant main effect of Temporal presentation ($F(1, 13) = 24.84, p < .001$), such that reaction times were overall slower with temporal inversion compared to normal presentation. A significant main effect of Speaker was also found ($F(2, 26) = 3.35, p < .05$), suggesting that participants were overall slower for the self voice ($M = 956.8, SD = 152.2$) and faster for the unknown voice ($M = 852.7, SD = 155.7$) compared to the familiar voice ($M = 914.3, SD = 210.6$; Tukey: all $ps < .01$). Since there was no difference between the speakers in normal presentation ($F(2, 26) = 0.93, p > .05$), this effect seems to indicate that the self voice was more affected by temporal inversion than the other two voices. Finally, no significant main effect of Hand was found ($p > .05$).

Figure 1: Accuracy and median reactions times for recognition of all the voices in the two presentation orders.



SN = Self in normal presentation; STI = Self in temporally inverted presentation; FN = Familiar voice, normal; FTI = Familiar voice, temporally inverted; UN = Unknown voice; normal; UTI = Unknown voice, temporally inverted; RH = Right hand; LH = Left hand. Vertical lines depict standard errors from the mean.

Comment

In this first experiment, the expected Hand X Speaker interaction was not found for any of the dependent measures. Thus, our hypothesis of a left hand advantage in accuracy and speed for the self voice was not confirmed. One possible explanation for this would be that this task was too easy and that the results were confounded by a ceiling effect. Indeed, under normal presentations, the accuracy scores were well over 90% for all voices (Self: $M = 95.4$, $SD = 6.9$; Familiar: $M = 95.5$, $SD = 5.1$; Unknown: $M = 94.7$, $SD = 6.9$). Thus, we decided to design a second experiment, this time using a morphing procedure (graded combination of two voices) in order to increase the difficulty of the task. In this manner, participants have to identify one voice when presented with a combination of two voices. This procedure has successfully been used in a previous voice processing experiment in order to make the experimental task more difficult (Rodway & Schepman, 2007).

Interestingly, it was found that only the two familiar voices (self and familiar) were affected in terms of accuracy and speed of response by the temporal inversion, and this had repercussions on the overall scores. In normal presentation of the voices however, there was no difference in identification rates between the speakers. These results suggest that temporal inversion of the stimuli affects strongly the recognition of familiar voices and not the discrimination between familiar and unknown voices. Indeed, there may be two processes at work here. The first would be the categorization of the presented voice as “familiar” or “unknown”, and would lead, if this is the case, to the identification of the stranger’s voice. If it is not the stranger’s voice, the second process would then take place, i.e. recognition of the familiar speaker as either “self” or

“friend/co-worker”. We thus decided to continue our experimentations using familiar voices only.

Experiment 2

Materials and methods

Participants

Fourteen right-handed French-Canadian normal participants (2 males and 12 females) between the ages of 21 and 26 (mean age = 23.5; $SD = 1.3$) were recruited and selected following the same procedure as in Experiment 1.

Material

Vocal stimuli were generated based on 20 words (voir Annexe 1) pronounced by the participant and by the familiar person, recorded using the same material and edited and equalized using the same procedure as in Exp. 1. Then, 5 words were chosen for each pairs of participants to undergo the morphing procedure based on the quality of their recording and on the possibility to create the best morphs possible. Efforts were made to keep the same words for each pairs of participants. These efforts were mostly successful, but there was a little variability between pairs of participants. Afterwards, a continuum of 11 morphed stimuli was created between the self and the familiar voices, using STRAIGHT, a MATLAB (Mathworks) based voice analysis-resynthesis software program (Kawahara, Banno, Irino & Zolghagari, 2004). The morphed stimuli consisted of a graded combination of the self and the familiar voices pronouncing the same word (degree 1 = 100% self, degree 6 = 50 % self and 50% familiar, and degree 11 = 100% familiar). All the morphs were also temporally inverted. Thus, 110 different stimuli (5 words x 11 degrees of morph x 2 temporal presentation) were administered in stereo

using the same material as in Exp.1. Short sentences were also recorded for familiarization before the study.

Procedure

Participants were asked to take part in a voice recognition study with no mention concerning the self-voice. In the first phase of the experiment, participants followed the same procedure as in Exp. 1 (i.e., recording of their voices). In the second phase, participants returned for the experimental session. They were instructed to listen to the presented vocal stimuli and perform a two-alternative forced choice identification of the speaker: self or familiar. Six blocks of 110 randomly presented vocal stimuli were administered. Participants had to respond with only one hand (left or right) by pressing as rapidly as possible the keyboard keys (order counterbalanced) corresponding to the presented voice. They had to switch response hand after each block. The hand of response for the first block was counterbalanced between participants. Identification response and reaction time from sound onset were recorded. The duration of the experimentation was approximately 45 minutes.

Statistical analysis

A 2 (Hand: left or right) X 11 (Degree of morphing) X 2 (Temporal presentation: with or without temporal inversion) repeated measures ANOVA was conducted on each dependent variable (recognition responses and median reaction time in milliseconds). The analyses were done on each morphing step in order to evaluate the behavioural responses depending on different percentages of self. We expected the right hemisphere to be sensitive to smaller percentages of the self compared to the left hemisphere.

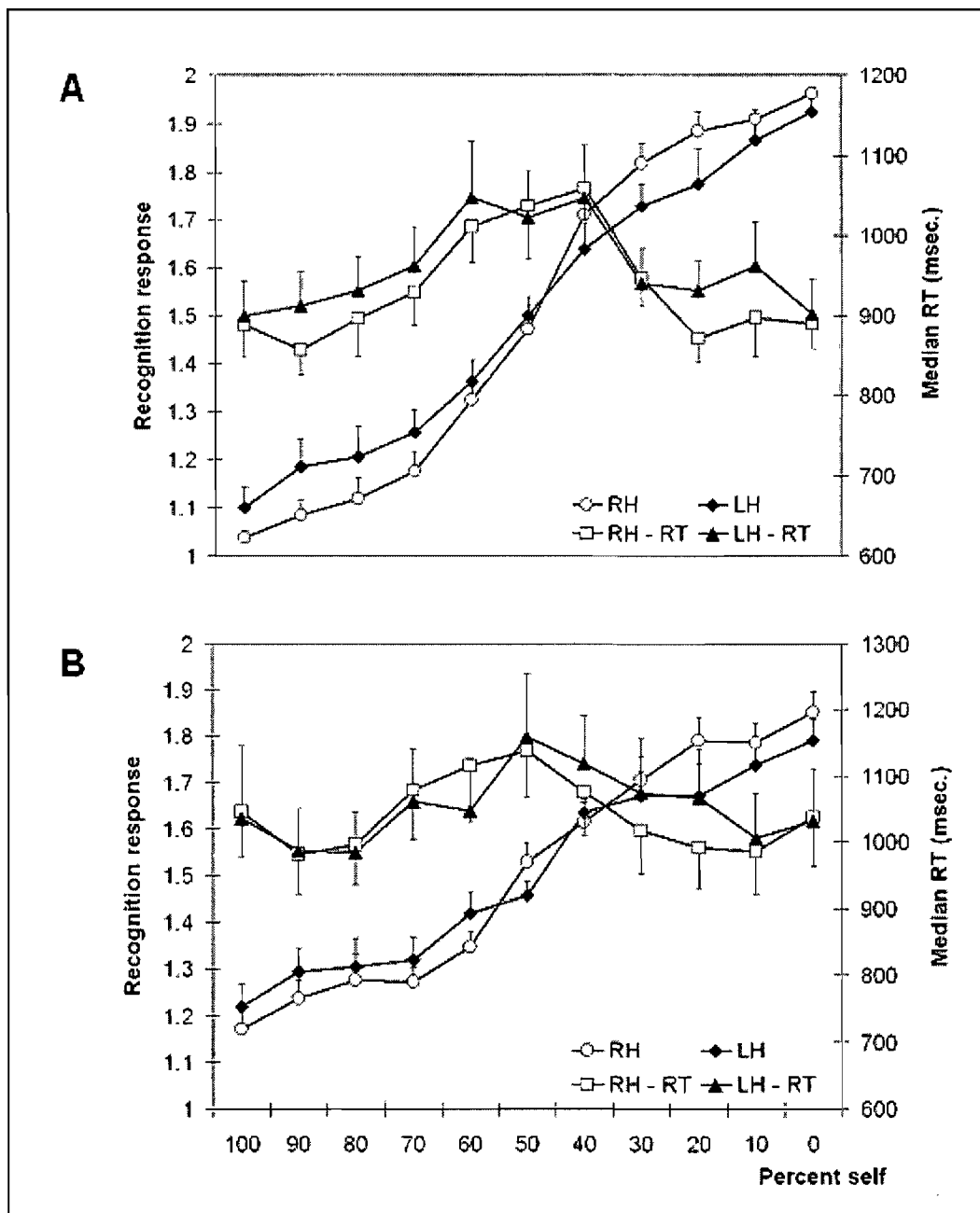
Results

Figure 2 illustrates the results of this experiment for the recognition responses and the reaction times. The results of the repeated measures ANOVA for the recognition responses did not reveal a significant 3-way interaction nor a significant Hand X Temporal presentation 2-way interaction (all p s > .05). A significant Hand X Degree of morphing interaction ($F(10, 130) = 2.43, p < .05$) was found. Further analysis revealed that there was a significant difference between hands for the 4th degree of morph ($F(1, 13) = 5.13, p < .05$), such that participants responded more “self” with the right hand (RH: $M = 1.22, SD = 0.14$; LH: $M = 1.28, SD = 0.17$). There were also tendencies toward significance for the 1st ($F(1, 13) = 3.40, p = .088$), the 2nd ($F(1, 13) = 3.88, p = .071$), the 8th ($F(1, 13) = 3.71, p = .076$) and the 10th ($F(1, 13) = 3.25, p = .095$) degrees of morphs. While for the first two degrees of morph these tendencies indicate that participants responded more “self” with the right hand (1st degree: RH: $M = 1.10, SD = 0.14$; LH: $M = 1.16, SD = 0.18$; 2nd degree: RH: $M = 1.16, SD = 0.15$; LH: $M = 1.24, SD = 0.20$), for the last two, it indicated that participants responded more “self” with the left hand (8th degree: RH: $M = 1.76, SD = 0.18$; LH: $M = 1.70, SD = 0.18$; 10th degree: RH: $M = 1.85, SD = 0.14$; LH: $M = 1.80, SD = 0.18$). The analysis also revealed a significant Degree of morphing X Temporal presentation 2-way interaction ($F(10, 130) = 10.91, p < .001$). Further analysis revealed a significant effect of Temporal presentation in all the Degrees of morphing except the 7th and the 10th (1st degree: $F(1, 13) = 14.56, p < .005$; 2nd degree: $F(1, 13) = 4.76, p < .05$; 3rd degree: $F(1, 13) = 26.35, p < .001$; 4th degree: $F(1, 13) = 10.64, p < .01$; 5th degree: $F(1, 13) = 5.30, p < .05$; 6th degree: $F(1, 13) = 202.81, p < .001$; 8th degree: $F(1, 13) = 13.94, p < .005$; 9th degree: $F(1, 13) = 25.79, p < .001$ and 11th degree: $F(1, 13) = 9.62, p < .01$) such that

participants responded more “familiar” for the “self” morphs and more “self” for the “familiar” morphs with temporal inversion. Finally, no main effect of Hand or Temporal presentation were found (all $ps > .05$) but a significant main effect of Degree of morphing was found ($F(10, 130) = 84.79, p < .001$). This effect is readily explained by the fact that different responses identified the self (morphs 1 to 5) and the familiar (morphs 7 to 11) voices.

Since no clear pattern of lateralization was found when analysing the data for each of the eleven morphing steps, a 2 (Hand: left or right) X 2 (Speaker: self or familiar) X 2 (Temporal presentation: with or without temporal inversion) repeated-measures ANOVA was also conducted on the percent correct responses using morph categories representing the self-voice (combination of morphs 1 to 5) and the familiar voice (combination of morphs 7 to 11). No significant 3-way or 2-way interactions (all $ps > .05$) were found, nor were there any significant main effect of Hand or Speaker (all $ps > .05$). However, a significant main effect of Temporal presentation was found ($F(1, 13) = 23.15, p < .001$), such that participants were overall less accurate with temporal inversion ($M = 72.0, SD = 14.58$) than in normal presentation ($M = 81.80, SD = 13.44$).

Figure 2: Recognition responses and median reaction times for all the auditory morphs.



A: Normal presentation; B: Temporally inverted. RH = Right hand; LH = Left hand; RT = Reaction times. Vertical lines depict standard errors from the mean.

The repeated measures ANOVA conducted on the median reaction time did not reveal significant 3-way or 2-way interactions (all $ps > .05$). However, there was a significant main effect of Degree of morphing ($F(10, 130) = 7.02, p < .001$) and a significant main effect of Temporal presentation ($F(1, 13) = 6.86, p < .05$) but no significant main effect of Hand ($p > .05$). As shown in Fig. 2, the main effect for Degree of morphing can be explained by the fact that for the intermediate degrees of morph (4th to 8th) it became more difficult to identify the speaker. For the main effect of Temporal inversion, further analysis revealed that participants responded more slowly when the stimuli were temporally inverted ($M = 1046.66, SD = 270.90$) than when they were normally presented ($M = 947.48, SD = 180.57$).

Again, no clear pattern of lateralization was found, thus we also conducted a repeated measures ANOVA for the median reaction times using morph categories representing the self-voice (combination of morphs 1 to 5) and the familiar voice (combination of morphs 7 to 11). No significant 3-way or 2-way interactions (all $ps > .05$) were found, nor were there any significant main effect of Hand or Speaker (all $ps > .05$). However, a significant main effect of Temporal presentation was found ($F(1, 13) = 6.98, p < .05$), such that participants were overall slower to respond with temporal inversions ($M = 1012.10, SD = 247.21$) than in normal presentation of the stimuli ($M = 912.30, SD = 128.95$).

Comment

The results of this second experiment suggest that we were successful in creating a more difficult procedure since reaction times were overall slower in normal presentation of the stimuli ($M = 947.48, SD = 180.57$) compared to the previous study ($M = 866.90, SD = 129.40$) and the accuracy scores in the second set of analyses using

morph categories were lower (Exp.2: self: $M = 81.50$, $SD = 14.15$; familiar: $M = 82.20$, $SD = 12.93$; Exp.1: self: $M = 95.4$, $SD = 6.9$; familiar: $M = 95.5$, $SD = 5.1$). Differences between hands were found for the identification responses. However, these differences were not consistent, sometimes revealing a right hand advantage for the self, sometimes a left hand advantage. Also, no hand differences were found for the reaction times. Again, our hypothesis of a left hand advantage for the self voice was not confirmed. However, while analyzing the results, we realized that the design of this experiment may have introduced a possible confound in the results. Indeed, the presented morphs were composed of the self and familiar voices, which are both familiar. Using such a paradigm, the relative contribution of each hemisphere in terms of self or familiar recognition was difficult to assess.

Thus we decided to design a final experiment employing the self-voice, a familiar voice and famous voices. Morphs were created between the self-voice and the famous voices and between the familiar voice and the famous voices. This was done in order to appreciate the differential contribution of hemispheric control for self-processing and for familiarity in the decision process. If judgement is only affected by familiarity, than an advantage of the left hand would be predicted for both types of morphs. However, if it is affected by a self-bias, than a left hand advantage would be predicted only for the self/famous morphs. The originality of this experiment lies in the use of famous voices and a familiar voice as controls and in the presentation of the morphs as continua instead of at random. In brief, adding the famous voices allowed for control of familiarity and using the continuum presentation permitted a better recognition threshold measure. Furthermore, this type of design was sensitive to shifts in perceptual/identification biases and was not dependent on reaction times as a measure of

self/familiar differences. Thus, any effect found could not be attributed to simple motor differences between the hemispheres.

Experiment 3

Materials and methods

Participants

Twenty right-handed French-Canadian normal participants (3 males and 17 females) between the ages of 20 and 26 (mean age = 22.8; $SD = 1.8$) were recruited and selected following the same procedure as in Exp. 1. In this experiment, the participants were also paired with two French-Canadian famous voices (of the same sex). Considering this, participants were included in the study only if they showed enough exposure to those famous voices. Thus, participants filled a questionnaire regarding their television listening habits and a questionnaire assessing which voices they thought they would recognize best. Participants were excluded from the study if they had not completed their elementary school studies in Quebec and if they had traveled outside of the country for more than two years.

Material

Vocal stimuli were generated based on 16 words (a different list was used for males and females; voir Annexe 2) pronounced by the participant and by the familiar person, recorded using the same material and edited and equalized using the same procedure as in Exp. 1. For each pair of participants, two words were chosen for the study depending on the paired famous voices (the voices from 2 famous persons that participants stated they knew best and believed they could recognize best were chosen among 4 possible famous voices for each gender). The famous voices vocal samples were extracted from the television archives of the “Société Radio-Canada” (SRC; French

division of the Canadian Broadcasting Company), in agreement with the “Union des artistes du Québec”. The famous voices selected for this study were the following: Bernard Fortin, Guy A. Lepage, Edgard Fruitier and Yves Corbeil for the males, and Dominique Michel, Véronique Cloutier, Sylvie Léonard and Élyse Marquis for the females.

A pilot experiment was performed in order to assess the familiarity of the famous voices. Each famous voice sample (4 by famous voices, 32 in total) was presented to 10 participants (4 males and 6 females) who were instructed to listen to the presented vocal stimuli and perform a 4-alternative forced-choice identification of the speaker. The foils for each famous voice were matched for age and for sex. Mean accuracy for all the famous voices was 78.13% ($SD = 15.45$) and recognition rate was higher than 65% (far higher than chance: 25%) for all the famous voices. A repeated measures ANOVA was conducted on the 8 famous voices and no difference was found ($F(7, 63) = 1.09, p > .05$). Thus, all the famous voices were well recognized and were considered as highly familiar by the 10 pilot participants. While this does not necessarily generalize to all the participants in the study, this procedure still shows that the famous voices were familiar. Furthermore, for each participant, the voices from 2 famous persons that they stated they knew best and believed they could recognize best were selected, thus ensuring that they were familiar with them.

Continua of 51 morphed stimuli were created between the self or the familiar voices and the two famous voices, using the same material as in Exp. 2. The morphed stimuli consisted of a graded combination of the self or the familiar person and one of the two famous voices pronouncing the same word (degree 1 = 100% self or familiar voice, degree 26 = 50 % self or familiar voice and 50% famous voice 1 or 2, and degree

51 = 100% famous voice 1 or 2). Four different morph continua were thus created: (1) self with famous voice 1, (2) self with famous voice 2, (3) familiar voice with famous voice 1, (4) familiar voice with famous voice 2. Each of these morph continua were administered with or without temporal inversion.

There were two sets of instruction: 1. the auditory presentation of the 51 morphs either began with the self or the familiar voice and ended with one of the famous voice and participants were instructed to stop the presentation when the voice became “more famous than familiar” or “more famous than self”, 2. the auditory presentation of the 51 morphs began with one of the two famous voices and ended either with the self or the familiar voice and participants were instructed to stop the presentation when the voice became “more self than famous” or “more familiar than famous”. Thus 16 different continua were created (4 continua x 2 temporal presentation x 2 sets of instructions). Short sentences were also recorded for familiarization before the study. The stimuli were administered using the same material as in Exp.1.

Procedure

Participants were asked to take part in a voice recognition study with no mention concerning the self-voice. In the first phase of the experiment, participants followed the same procedure as in Exp. 1 (i.e., recording of their voices). In the second phase, participants returned for the experimental session. They were instructed to listen to the presented continuum and to stop it either when the voice became more famous or when the voice became more familiar (or more self). Four blocks of 16 pseudo-randomly presented continua were administered as participants responded with only one hand (left or right) by pressing a keyboard key. They had to switch response hand after each block. The hand of response for the first block was counterbalanced between participants. The

number of the morph where the continuum was stopped was recorded for each presentation. The duration of the experimentation was approximately 90 minutes.

Statistical analyses

Two 2 (Hand: left or right) X 2 (Speaker: self or familiar) X 2 (Temporal presentation: with or without temporal inversion) repeated measures ANOVA (one per set of instruction: either stop when the voice becomes more famous [instruction 1] or stop when the voice becomes more self/familiar [instruction 2]) were conducted on the mean morph number the continuum was stopped. Also, two 2 (Hand: left or right) X 2 (Temporal presentation: with or without temporal inversion) repeated measures ANOVA (one per set of instruction) were conducted on the mean differences in morph number between self and familiar.

Results

First set of instruction (top half of Figure 3):

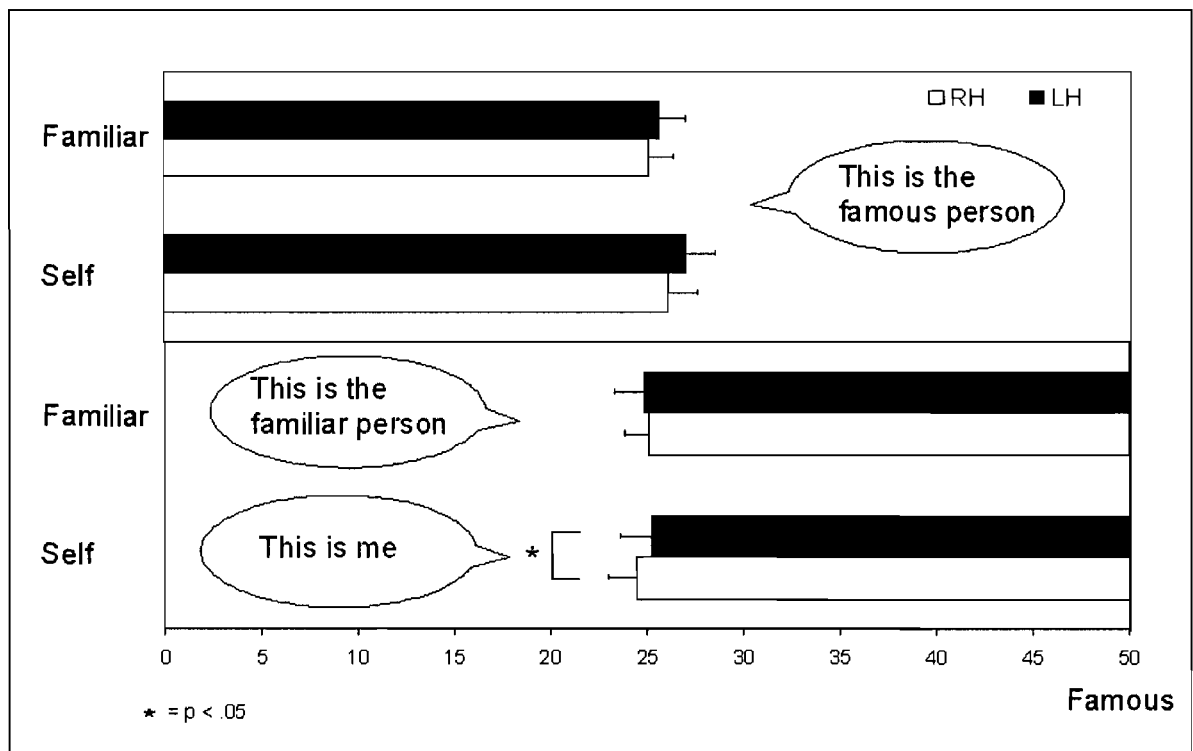
Results for the ANOVA on the mean morph number for which each continuum was stopped did not reveal any significant 3-way or 2-way interactions (all $ps > .05$). Also, no main effect of Hand ($F(1, 19) = 2.12, p > .05$) or Speaker ($F(1, 19) = 2.65, p > .05$) was found. Only a main effect of Temporal presentation ($F(1, 19) = 7.34, p < .01$) was found such that a higher percentage of the famous voice was needed to stop the continuum with temporal inversion (Mean morph = 26.8 (48.4% self or familiar, 51.6% famous), $SD = 6.84$) than in normal presentation (Mean morph = 25.0 (52% self or familiar, 48% famous), $SD = 5.86$). Moreover, results for the ANOVA on the mean differences between self and familiar did not reveal a 2-way interaction nor any main effects of Hand or Temporal presentation (all $ps > .05$).

Second set of instruction (bottom half of Figure 3):

Results for the ANOVA on the mean morph number for which the continuum was stopped did not reveal a significant 3-way interaction ($F(1, 19) = 0.41, p > .05$). Also, the 2-way interactions for Speaker X Temporal presentation and Hand X Temporal presentation (all $ps > .05$) did not prove to be significant. However, the analysis revealed a significant Hand X Speaker interaction ($F(1, 19) = 4.56, p < .05$). Simple effects analysis revealed that there was a difference between hands for the self voice ($F(1, 19) = 4.23, p < .05$) but not for the familiar voice ($F(1, 19) = 0.52, p > .05$). This difference was such that participants needed a smaller percentage of self to recognize themselves with the left hand (Mean morph = 25.2 (51.6% self, 48.4% famous), $SD = 7.23$) compared to the right hand (Mean morph = 24.5 (53% self, 47% famous), $SD = 6.81$). Thus, when using their left hand (right hemisphere), participants stopped the presentation earlier when the famous voice was turning into their own voice, showing a tendency to identify the self in the morphed images. The ANOVA also did not reveal significant main effects of Hand and of Speaker (all $ps > .05$). Nevertheless, a significant main effect of Temporal presentation ($F(1, 19) = 9.19, p < .01$) was found such that a higher percentage of the self or the familiar voice was needed to stop the continuum with temporal inversion (Mean morph = 24.1 (53.8% self or familiar, 46.2% famous), $SD = 6.96$) compared to normal presentation (Mean morph = 25.7 (49.4% self or familiar, 50.6% famous), $SD = 6.20$). Results for the ANOVA on the mean differences in morph number between self and familiar did not reveal a significant Hand X Temporal presentation interaction or a main effect of Temporal presentation (all $ps > .05$). However a significant main effect of Hand ($F(1, 19) = 4.50, p < .05$) was found such that the difference between self and familiar was positive for the left hand ($M = 0.4, SD$

= 4.21; a smaller percentage of self was needed to stop the continuum compared to the familiar voice) but was negative for the right hand ($M = -0.6$, $SD = 3.97$; a smaller percentage of the familiar voice was needed to stop the continuum compared to the self voice). Again, this analyses indicates that, when using their left hand (right hemisphere), participants stopped the presentation earlier when the famous voice was turning into their own voice, showing a tendency to identify the self in the morphed images.

Figure 3: Results for the mean number of morphs the continuum was stopped for the self-voice or the familiar voice.



Top half of the figure: first set of instruction (stop when the voice becomes more “famous”). Bottom half of the figure: second set of instruction (stop when the voice becomes more “self” or more “familiar”). RH = Right hand; LH = Left hand. Vertical lines depict standard errors from the mean.

General Discussion

In Experiment 1, participants were asked to identify one of three presented voices (self, familiar or unknown) while responding either with the right or the left hand. The results did not reveal a hand advantage in accuracy or reaction times. The absence of a hand effect, however, might have been linked to a ceiling performance, which may have attenuated any observable differences between the hands. Indeed, the use of response hand as an indicator of hemispheric specialization is already complicated since processes other than hemispheric control can have an effect on reaction times (ex: vigilance and practice; see Voyer, 1995). However, previous studies (e.g. Keenan et al., 1999; Hodges, Lyons, Cockell, Reed & Elliott, 1997; Weems & Zaidel, 2005) have successfully demonstrated that when subjects respond to stimuli having strongly lateralized hemispheric processing, this can translate into quicker reaction times responses in the contralateral hand. A second experiment was thus designed and the difficulty of the task was increased.

In Experiment 2, participants were presented with auditory morphs between self-voice and a familiar voice and were asked to decide the most likely speaker either with the left or the right hand. Some differences between hands were found in the identification responses, sometimes favouring the left hemisphere, sometimes favouring the right hemisphere for self-recognition. No consistent advantage of hand was found either for the identification responses or in the reaction times. Thus, with a more difficult discrimination task, some hand differences were found, but they were not consistent. It seems complicated to interpret the results of this experiment since they could be explained by the relative contribution of each hemisphere in terms of self or familiar recognition (because the morphs were composed of two familiar voices: self and

familiar). Thus, a last experiment was conducted, addressing the limitations of the first two experiments.

In Experiment 3, participants were presented with continua of morphs between either their own or a familiar voice and a famous voice and were asked to stop the presentation either when the voice became “more famous” or “more familiar/self”, with the right or the left hand. No difference between hands was found in the first set of instruction aimed at recognizing the more famous voices. However, the results of the second set of instruction (when the audio clips started with the famous voices) showed an advantage of the left hand (right hemisphere) for recognition of the self-voice. This hemispheric difference was not found for the familiar voice. Thus, the right hemisphere advantage was specific to the discrimination of the self-voice from the famous voices. In a similar study, Keenan et al. (2000) have found comparable results. They showed a left hand/right hemisphere advantage for the self face, when participants were shown a movie of morphs between their own face and a famous face. Again, this hemispheric difference was not observed when participants viewed a movie of morphs between a familiar and a famous face. Given that hand response is a gross measure of hemispheric specialization (for a discussion, see Weems & Zaidel, 2005), the difference in response to self found between left and right hands is impressive.

Self-perception

No clear pattern of lateralization was found for the self-voice for most of our data. However, the results of our last experiment with improved design and controls are in accord with previous studies suggesting a right hemisphere advantage for self-face processing (e.g. Keenan et al., 1999; 2000; Platek & Gallup, 2002; Théoret et al., 2004). They also extend the literature on hemispheric specialization of self-processes in

general. This literature again suggests a right hemisphere advantage for processing self-related stimuli. Indeed, some authors have found a greater activation of the right hemisphere when processing trait adjectives related to the self (e.g. Craik et al., 1999; Fossati et al., 2004; Molnar-Szakacs, Uddin, & Iacoboni, 2005; Schmitz, Kawahara-Baccus & Johnson, 2004), when processing episodic information from one's own past (Fink et al., 1996; Kapur et al., 1994) or when visualising one's own behaviour, attitude and perceptions (Vogeley et al., 2001). It has also been shown that the right hemisphere is implicated in many types of perturbations of the self like distortions in one's own sensory and vestibular perceptions (Blanke, Ortigue, Landis, & Seeck, 2002), symptoms of anosognosia (Andelman, Zuckerman-Feldhay, Hoffien, Fried & Neufeld, 2004; Meador, Loring, Feinberg, Lee, & Nichols, 2000) and of asomatognosia (inability to recognize body parts as one's own; Meador et al., 2000).

However, much uncertainty remains regarding hemispheric specialization of self-recognition and of self-concept. Indeed, the results of some recent studies suggest a left-hemisphere advantage for self-face recognition and processing of trait adjectives related to the self (Brady et al., 2004; Turk et al., 2002). Alternatively, some authors (e.g. Kircher et al., 2000; 2001) believe that a widely distributed neuronal network is involved in self-processing. Results of their studies (Kircher et al., 2000; 2001; 2002) tend to support this hypothesis. For example, in one of their fMRI experiments (Kircher et al., 2001), these authors found diffuse activations in the right and the left hemispheres when participants had to recognize their own face compared to when they had to recognize a familiar face. Other investigators have found bilateral activations for self-processes (Fossati et al., 2003; Johnson et al., 2002; Kelley et al., 2002; Macrae, Moran, Heatherton, Banfield & Kelley, 2004; Platek et al., 2006; Sugiura et al., 2000; Uddin,

Rayman & Zaidel, 2005) and some (Platek et al., 2006) conclude that a large bilateral network is involved with a more important implication of a right fronto-parietal network in self-awareness. This suggestion might in part explain the results found in the present study. Indeed, if a bilateral network, but with a more important implication of a right fronto-parietal network, is involved in self-awareness, then a gross measure of hemispheric lateralization such as hand response differences would be ill-suited to detect such fine lateralization differences. Thus, it is difficult to appreciate the implication of a bilateral network employing our current design.

It is interesting to note that bilateral activations have only been found in imaging studies which do not differentiate between regions that are necessary for self-perception and those that are not. Also, many of these studies have not used appropriate controls for familiarity (ex: using partners of the opposite sex as controls as in the studies of Kircher et al. (2000; 2001), using famous voices only as controls as in the study by Kelley et al. (2002) or using no control for familiarity as in the experiments of Johnson et al. (2002), Macrae et al. (2004) and Sugiura et al. (2000). These considerations are important since self-stimuli are highly familiar. Thus, further research seems to be needed in order to shed light on the hemispheric specialization of self-related processing.

Limitations of our study

In terms of a right hemisphere advantage, our results were not as definite as those obtained by Keenan and colleagues in their self-face recognition experiments (1999; 2000). Indeed, in Experiments 1 and 2, our prediction of a stronger left-hand/right hemisphere advantage for the self-voice was not confirmed. Still, the results of our last study with improved design and controls tend to suggest a greater involvement of the right hemisphere in self-voice processing. These results are consistent with those of

Nakamura et al. (2001) who found a significant right hemisphere bias for self-voices, a finding that appears consistent across a number of self-recognition domains (Sugiura et al., 2006).

It can be argued that the presentation of the natural self-voice will not yield self-recognition on account of the fact that the self-voice does not sound the same when it is recorded. This phenomenon is due to the fact that the means of transmission of the sound is different in those two modes of listening (Tonndorf, 1972). When we hear someone else's voice or a recording, the sound is transmitted by air only. In contrast, when we hear ourselves speak, a significant amount of bone conduction also occurs with the results of modifying the perception of our own voice. It is suggested that the combination of these two modes of transmission create an emphasis on lower frequencies (Tonndorf, 1972). In this context, Shuster & Durrant (2003) created a filtering procedure that would yield more “normal”-sounding recorded self-voices. Their attempt was somewhat successful: all the voices (filtered or not) were correctly recognized as “self” in their experiment. In fact, only the frequency spectrum of the self-voice is affected by bone conduction. Thus, it is possible to rely on other characteristics of the voice (ex: pronunciation, temporal characteristics, prosody, etc.) for successful recognition. In the present set of studies, we chose not to use a filtering procedure considering that participants should be able to recognize their own voice successfully by relying on a combination of the self-voice characteristics. In support of this, Nakamura et al. (2001) did find good success rates in their self-voice recognition task compared to the familiar-voice recognition task without using any filtering device. Although the results of the present study seem to indicate a good self-recognition with non-filtered

recorded stimuli, it would be interesting to present low-pass filtered self-voices to participant and see if this would improve recognition in future studies.

A second limitation to our study is the fact that gender was not balanced, with a predominance of female participants in our 3 experiments. We had no a priori hypothesis on participant's gender, hence we did not control for this factor. It has previously been shown that male and female participants can react to different cues of the vocal stimuli. For example, females seem to be more sensitive to the presence of low frequencies in male voices (Hunter, Phang, Lee & Woodruff, 2005) and to be better than males at identifying female voices (Wilding & Cook, 2000). However, some voice processing studies reveal that both voices of males and females activate regions of the right hemisphere (Lattner, Meyer & Friederici, 2005) and that no gender differences were apparent in the recognition of familiar voices (Lattner et al., 2005; Van Lancker et al., 1985; Yarmey, Yarmey, Yarmey, & Parliament, 2001). Furthermore, according to Yarmey and colleagues (2001) "there are no theoretical reasons to predict gender differences in identification of familiar voices and unfamiliar voices, and [our] experiment confirmed this expectation". It is thus reasonable to believe that this variable did not have a significant impact on the lateralization of responses in the present study. It would however be interesting to investigate this effect in future studies.

One can also wonder if the emotional valence of the reaction to the self-voice or the familiar voice had an impact on the lateralization of response. While we can assume that the familiar voices should be generally pleasant to the listener, such an assumption cannot be made for the self-voice. Indeed, it can be postulated that the self-voice will elicit a negative emotion in some participants, while generating a positive emotion in others. The literature on the hemispheric lateralization of emotional valence is unclear.

Some authors suggest an involvement of the left hemisphere for positive facial emotions and of the right hemisphere for negative facial emotions (Davidson, 1992; Tucker, 1981). However, in the auditory domain, recent studies demonstrate a right hemispheric implication in emotional prosody processing, irrespective of valence (Rodway & Schepman, 2007; Rymarczyk & Grabowska, 2007). Moreover, it was shown that the utilisation of morphed stimuli diminished emotional processing, resulting in no lateralization effect (Rodway & Schepman, 2007). We thus believe that, if there was an effect of emotional valence in the present study, it should only have been minimal.

Finally, although there are many similarities between face-recognition and voice-recognition, one important difference remains: hearing is less lateralized than other domains. It is well established that each auditory cortex receives projection from the ipsi- as well as contralateral cochleas, whereas visual cortex essentially receives afferences from the contralateral visual hemifield. Thus, it would have been more difficult to study lateralized processes. It is however interesting that results confirming our hypothesis were found in our last experiment, with a more sensitive paradigm and further controls for familiarity. Future studies should investigate the question further by using imaging techniques like EEG, fMRI or TMS or by conducting similar experiments with commissurotomed patients.

Effect of temporal inversion

It is interesting to note that, in this study, the temporal inversion of the stimuli had a negative effect on the identification of voices. Indeed, in our first experiment, results indicate a worsening in accuracy and reaction times with temporal inversion of the stimuli for the self and familiar voices only. The decline in reaction times seemed to slightly affect the self-voice more importantly. This result is interesting and suggests a

specialized type of processing for the self-voice. In Experiments 2 and 3, an effect of temporal inversion was again found and worsened the identification responses equally for both the self and the familiar voices. These results can be related to the findings of Wang, Merzenich, Beitel & Schreiner (1995). These authors have found that populations of neurons in the primary auditory cortex (A1) of primates showed stronger responses to natural vocalizations than to time-reversed vocalizations. They subsequently showed that this stronger response was not due to a difference in acoustic structure between the two types of stimulus (Wang & Kadia, 2001). Thus, it is reasonable to believe that these neurons are involved in speaker identification and that temporal inversion of the vocalizations reduces recognition of familiar speakers, and not the categorization of an unknown voice. This conclusion is further supported by the fact that different cortical regions seem to be involved in these two processes (Von Kriegstein & Giraud, 2004).

The right hemisphere and the self

Little is known about the cognitive processes responsible for the advantage of the right hemisphere in self-processing. In general, the implication of the right hemisphere is explained in relation with others of its well documented functions. For example, some authors (Kilhstrom & Klein, 1994) propose that the self is a schema abstracted from many exemplars. Processing of this schema may be more related to the type of analyses usually performed by the right hemisphere (global and holistic). Others (Sugiura et al., 2006; Sugiura et al., 2005) suggest that the role of the right hemisphere in self-recognition lies in its ability to perform motion-action contingencies. Finally, Uddin, Molnar-Szakacs, Zaidel & Iacoboni (2006) argue that the mirror neuron system in the right hemisphere is linked with the self in two ways: 1) “to establish shared representation between self and others to enable social communication and

intersubjectivity”; 2) as a “mechanism to distinguish representation of the self from that of others, which is critical for maintaining an individual sense of unity and agency”.

Conclusion

In conclusion, the data of the present set of studies investigating self-voice recognition do not reveal a clear lateralization pattern for the self-voice. However, the results of our last experiment, with improved design and controls, support right hemisphere superiority for self-processing and self-awareness. Indeed, in this condition, the left-hand required a smaller percentage of the self-voice for self-recognition when compared to the right hand, whereas no difference was found for the familiar voice. These last results are in line with the majority of the self-processing literature suggesting a more important involvement of the right hemisphere in self-recognition, self-concept and self-awareness. Given the higher potential of imaging studies for investigating the cerebral structures and the hemispheric specialization of self-related processing, it would be interesting in the future to investigate the recognition of one’s own voice using EEG, fMRI or TMS, with special attention on using adequate controls for familiarity and gender. Also, it would be interesting to conduct similar self-voice recognition experiment with commissurotomized participants since the function of each hemisphere can easily be probed separately from the other.

References

- Andelman, F., Zuckerman-Feldhay, E., Hoffien, D., Fried, I. & Neufeld, M. Y. (2004). Lateralization of deficit in self-awareness of memory in patients with intractable epilepsy. *Epilepsia*, *45*(7), 826-833.
- Belin, P., Fecteau, S. & Bédard, C. (2004). Thinking the voice: Neural correlates of voice perception. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(3), 129-135.
- Belin, P., Zatorre, R. J., & Ahad, P. (2002). Human temporal-lobe response to vocal sounds [Research report]. *Cognitive Brain Research*, *13*, 17-26.
- Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P., & Pike, B. (2000). Voice selective areas in human auditory cortex. *Nature*, *403*, 309-312.
- Benton, A. L. (1980). The neuropsychology of facial recognition. *American Psychologist*, *35*, 176-186.
- Blanke, O., Ortigue, S., Landis, T. & Seeck, M. (2002). Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature*, *419*, 269.
- Brady, N., Campbell, M. & Flaherty, M. (2004). My left brain and me: A dissociation in the perception of self and others. *Neuropsychologia*, *42*, 1156-1161.
- Breen, N., Caine, D. & Coltheart, M. (2001). Mirrored-self misidentification: Two cases of focal onset dementia. *Neurocase*, *7*, 239-254.
- Christiana, W., Malcolm, S., Johnson, A., & Keenan, J. P. (In preparation). Mirror self-recognition in pervasive developmental disorders.
- Craik, F. I. M., Moroz, T. M., Moscovitch, M., Stuss, D. T., Winocur, G., Tulving, E., & Kapur, S. (1999). In search of the self: A positron emission tomography study. *Psychological Science*, *10*(1), 26-34.

- Davidson, R. (1992). Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition*, 20, 125-151.
- Ellis, A. W., Young, A. W., & Critchley, E. M. R. (1989). Loss of memory for people following temporal lobe damage. *Brain*, 112, 1469-1483.
- Feinberg, T. E. & Shapiro, R. M. (1989). Misidentification-reduplication and the right hemisphere. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology*, 2, 39-48.
- Fink, G. R., Markowitsch, H. J., Reinkemeier, M., Bruckbauer, T., Kessler, J., & Heiss, W.-D. (1996). Cerebral representation of one's own past : Neural networks involved in autobiographical memory. *The Journal of Neuroscience*, 16(13), 4275-4282.
- Fossati, P., Hevenor, S. J., Graham, S. J., Grady, C., Keightley, M. L., Craik, F. & Mayberg, H. (2003). In search of the emotional self: An fMRI study using positive and negative emotional words. *American Journal of Psychiatry*, 160(11), 1938-1945.
- Fossati, P., Hevenor, S. J., Lepage, M., Graham, S. J., Grady, C., Keightley, M. L., Craik, F. & Mayberg, H. (2004). Distributed self in episodic memory: Neural correlates of successful retrieval of self-encoded positive and negative personality traits. *NeuroImage*, 22, 1596-1604.
- Gallup, G. G. Jr. (1982). Self-awareness and the emergence of mind in primates. *American Journal of Primatology*, 2, 237-248.
- Gallup, G. G. Jr. (1985). Do minds exist in species other than our own? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 9, 631-641.
- Gazzaniga M.S, Ivry R.B. & Mangun G.R. (2001). *Neurosciences cognitives: La biologie de l'esprit*. Paris: DeBoeck Université.

- Gillihan, S. J., Farah, M. J. (2005). Is self special? A critical review of evidence from experimental psychology and cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, 131(1), 76-97.
- Hodges, N. J., Lyons, J., Cockell, D., Reed, A. & Elliott, D. (1997). Hand, space and attentional asymmetries in goal-directed manual aiming. *Cortex*, 33, 251-269.
- Hunter, M. D., Phang, S.-Y., Lee, K.-H. & Woodruff, P. W. R. (2005). Gender-specific sensitivity to low-frequencies in male speech. *Neuroscience Letters*, 375, 148-150.
- Johnson, S. C., Baxter, L. C., Wilder, L. S., Pipe, J. G., Heiserman, J. E. & Prigatano, G. P. (2002). Neural correlates of self-reflection. *Brain*, 125, 1808-1814.
- Kapur, N., Ellison, D., Parkin, A. J., Hunkin, N. M., Burrows, E., Sampson, S. A., & Morrison, E. A. (1994). Bilateral temporal lobe pathology with sparing of medial temporal lobe structures: Lesion profile and pattern of memory disorder. *Neuropsychologia*, 32(1), 23-38
- Kawahara, H., Banno, H., Irino, T. and Zolghagari, P. (2004). *Proc. ICASSP 2004*, Montréal, Canada.
- Keenan, J. P., Freund, S., Hamilton, R. H., Ganis, G., & Pascual-Leone, A. (2000). Hand response differences in a self-face identification task. *Neuropsychologia*, 38, 1047-1053.
- Keenan, J. P., Gallup, G. G. & Falk, D. (2003a). *The face in the mirror*. Harper Collins Publishers: New York.
- Keenan, J. P., McCutcheon, B., Freund, S., Gallup, G. G., Sanders, G., & Pascual-Leone, A. (1999). Left hand advantage in a self-face recognition task. *Neuropsychologia*, 37, 1421-1425.

- Keenan, J. P., McCutcheon, N. B., & Pascual-Leone, A. (2001a). Functional magnetic resonance imaging and event-related potentials suggest right prefrontal activation for self-related processing. *Brain and Cognition*, *47*, 87-91.
- Keenan, J. P., Nelson, A., O'Connor, M., & Pascual-Leone, A. (2001b). Self-recognition and the right hemisphere. *Nature*, *409*, 305.
- Keenan, J. P., Wheeler, M., Platek, S. M., Lardi, G., & Lassonde, M. (2003b). Self-face processing in a callosotomy patient. *European Journal of Neuroscience*, *18*, 2391-2395.
- Kelley, W. M., Macrae, C. N., Wyland, C. L., Caglar, S., Inati, S. & Heatherton, T. F. (2002). Finding the self? An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *14*(5), 785-794.
- Kihlstrom, J. F. & Klein, S. B. (1994). The self as a knowledge structure. In R. S. Wyer & T. K. Srull (Eds.), *Handbook of social cognition* (Vol. 1, pp.153-208). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kircher, T. T. J., Brammer, M., Bullmore, E., Simmons, A., Bartels, M., & Davis, A. S. (2002). The neural correlates of intentional and incidental self processing. *Neuropsychologia*, *40*, 683-692.
- Kircher, T. T. J., Senior, C., Phillips, M. L., Benson, P. J., Bullmore, E. T., Brammer, M., Simmons, A., Williams, S. C. R., Bartels, M. & David, A. S. (2000). Towards a functional neuroanatomy of self processing: Effects of faces and words. *Cognitive Brain Research*, *10*, 133-144.
- Kircher, T. T. J., Senior, C., Phillips, M. L., Rabe-Hesketh, S., Benson, P. J., Bullmore, E. T., Brammer, M., Simmons, A., Bartels, M., & David, A. S. (2001). Recognizing one's own face [Brief article]. *Cognition*, *78*, B1-B15.

- Lattner, S., Meyer, M. E. & Friederici, A. D. (2005). Voice perception: Sex, pitch, and the right hemisphere. *Human Brain Mapping, 24*, 11-20.
- Macrae, C. N., Moran, J. M., Heatherton, T. F., Banfield, J. F. & Kelley, W. M. (2004). Medial prefrontal activity predicts memory for self. *Cerebral Cortex, 14*, 647-654.
- Meador, K. J., Loring, D. W., Feinberg, T. E., Lee, G. P. & Nichols, M. E. (2000). Anosognosia and asomatognosia during intracarotid amobarbital inactivation. *Neurology, 55*, 816-820.
- Molnar-Szakacs, I., Uddin, L. Q., Iacoboni, M. (2005). Right-hemisphere motor facilitation by self-descriptive personality-trait words. *European Journal of Neuroscience, 21*, 2000-2006.
- Nakamura, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Nagumo, S., Kubota, K., Fukuda, H., Ito, K., & Kojima, S. (2001). Neural substrates for recognition of familiar voices: A PET study. *Neuropsychologia, 39*, 1047-1054.
- Ninomiya, H., Onitsuka, T., Chen, C. H., Sato, E., & Tashiro, N. (1998). P300 in response to the subject's own face. *Psychiatry and Clinical Neurosciences, 52*, 519-522.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia, 9*, 97-113.
- Paller, K. A., Ranganath, C., Gonsalves, B., LaBar, K. S., Parrish, T. B., Gitelman, D. R., Mesulam, M.-M., & Reber, P. J. (2003). Neural correlates of person recognition. *Learning & Memory, 10*, 253-260.
- Paus, T., Perry, D. W., Zatorre, R. J., Worsley, K. J. & Evans, A. C. (1996). Modulation of cerebral blood flow in the human auditory cortex during speech: Role of motor-to-sensory discharges. *European Journal of Neuroscience, 8*, 2236-2246.

- Platek, S. M. & Gallup, G. G. Jr. (2002). Self-face recognition is affected by schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research*, *57*, 81-85.
- Platek, S. M., Keenan, J. P., Gallup, G. G. Jr. & Mohamed, F. B. (2004). Where am I? The neurological correlates of self and other. *Cognitive Brain Research*, *19*, 114-122.
- Platek, S. M., Loughhead, J. W., Gur, R. C., Busch, S., Ruparel, K., Phend, N., Panyavin, I. S. & Langleben, D. D. (2006). Neural substrates for functionally discriminating self-face from personally familiar faces. *Human Brain Mapping*, *27*, 91-98.
- Platek, S. M., Myers, T. E., Critton, S. R., & Gallup, G. G. Jr. (2003). A left-hand advantage for self-description: The impact of schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research*, *65*, 147-151.
- Rodway, P. & Schepman, A. (2007). Valence specific laterality effects in prosody: Expectancy account and the effects of morphed prosody and stimulus lead. *Brain and Cognition*, *63*, 31-41.
- Rymarczyk, K. & Grabowska, A. (2007). Sex differences in brain control of prosody. *Neuropsychologia*, *45*, 921-930.
- Schmitz, T. W., Kawahara-Baccus, T. N., Johnson, S. C. (2004). Metacognitive evaluation, self-relevance, and the right prefrontal cortex. *NeuroImage*, *22*, 941-947.
- Shuster, L. I. & Durrant, J. D. (2003). Towards a better understanding of self-produced speech. *Journal of Communication Disorders*, *36*, 1-11.
- Spangenberg, K. B., Wagner, M. T. & Bachman, D. L. (1998). Neuropsychological analysis of a case of abrupt onset mirror sign following a hypotensive crisis in a patient with vascular dementia. *Neurocase*, *4*, 149-154.

- Sugiura, M., Kawashima, R., Nakamura, K., Okada, K., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Itoh, K., Kojima, S., & Fukuda, H. (2000). Passive and active recognition of one's own face. *NeuroImage*, *11*, 36-48.
- Sugiura, M., Sassa, Y., Jeong, H., Miura, N., Akitsuki, Y., Oiré, K., Sato, S., & Kawashima, R. (2006). Multiple brain networks for visual self-recognition with different sensitivity for motion and body part. *Neuroimage*, epub, June 26.
- Sugiura, M., Watanabe, J., Maeda, Y., Matsue, Y., Fukuda, H. & Kawashima, R. (2005). Cortical mechanisms of visual self-recognition. *NeuroImage*, *24*, 143-149.
- Symons, C. S. & Johnson, B. T. (1997). The self-reference effect in memory: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, *121*, 371-394.
- Théoret, H., Kobayashi, M., Merabet, L., Wagner, T., Tormos, J. M. & Pascual-Leone, A. (2004). Modulation of right motor cortex excitability without awareness following presentation of masked self-images. *Cognitive Brain Research*, *20*, 54-57.
- Tonndorf, J. (1972). Bone conduction. In J. V. Tobias (Ed.), *Foundations of modern auditory theory* (Vol. 2, pp.197-237). New York: Academic Press.
- Tucker, D. M. (1981). Lateral brain function, emotion and conceptualization. *Psychological Bulletin*, *89*, 19-46.
- Turk, D. J., Heatherton, T. F., Kelley, W. M., Funnel, M. G., Gazzaniga, M. S., & Macrae, C. N. (2002). Mike or me? Self-recognition in a split-brain patient. *Nature Neuroscience*, *5*(9), 841-842.
- Uddin, L. Q., Kaplan, J. T., Molnar-Szakacs, I., Zaidel, E. & Iacoboni, M. (2005). Self-face recognition activates a frontoparietal «mirror» network in the right hemisphere: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, *25*, 926-935.

- Uddin, L. Q., Molnar-Szakacs, I., Zaidel, E., Iacoboni, M. (2006). rTMS to the right inferior parietal lobule disrupts self-other discrimination. *Social Cognitive and Affective Neuroscience, 1*, 65-71.
- Uddin, L. Q., Rayman, J. & Zaidel, E. (2005). Split-brain reveals separate but equal self-recognition in the two cerebral hemispheres. *Consciousness and Cognition, 14*, 633-640.
- Van Lancker, D. R., & Canter, G. J. (1982). Impairment of voice and face recognition in patients with hemispheric damage. *Brain and Cognition, 1*, 185-195.
- Van Lancker, D. R., Cummings, J. L., Kreiman, J., & Dobkin, B. H. (1988). Phonagnosia: A dissociation between familiar and unfamiliar voices. *Cortex, 24*, 195-209.
- Van Lancker, D. R., Kreiman, J., & Cummings, J. (1989). Voice perception deficits: Neuroanatomical correlates of phonagnosia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 11*(5), 665-674.
- Van Lancker, D., Kreiman, J., & Emmorey, K. (1985). Familiar voice recognition: Patterns and parameters, Part I: Recognition of backward voices. *Journal of Phonetics, 13*, 19-38.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N. J., Fink, G. R., & Zilles, K. (2001). Mind Reading: Neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *NeuroImage, 14*, 170-181.
- Von Kriegstein, K. & Giraud, A.-L. (2004). Distinct functional substrates along the right superior temporal sulcus for the processing of voices. *NeuroImage, 22*, 948-955.
- Voyer, D. (1995). Effect of practice on laterality in a mental rotation task. *Brain and Cognition, 29*, 326-335.

- Wang, X. & Kadia, S. C. (2001). Differential representation of species-specific primate vocalizations in the auditory cortices of marmoset and cat. *Journal of Neurophysiology*, *86*, 2616-2620.
- Wang, X., Merzenich, M. M., Beitel, R. & Schreiner, C. E. (1995). Representation of a species-specific vocalization in the primary auditory cortex of the common marmoset: temporal and spectral characteristics. *Journal of Neurophysiology*, *74*, 2685-2706.
- Weems, S. A. & Zaidel, E. (2005). The effect of response mode on lateralized lexical decision performance. *Neuropsychologia*, *43*, 386-395.
- Wilding, J. & Cook, S. (2000). Sex differences and individual consistency in voice identification. *Perceptual and Motor skills*, *91*(2), 535-538.
- Yarmey, A. D., Yarmey, A. L., Yarmey, M. J., & Parliament, L. (2001). Commonsense beliefs and the identification of familiar voices. *Applied Cognitive Psychology*, *15*, 283-299.

Chapitre 3

Article 2

Rosa, C., Belin, P., Keenan, J. P. & Lassonde M. (soumis). Greater implication of the right hemisphere for self-voice recognition in a split-brain patient. *Neurocase*.

RUNNING TITLE: Self-voice recognition in a split-brain patient

**Greater Implication of the Right Hemisphere for self-voice recognition
in a Split-Brain Patient**

Christine Rosa¹, Pascal Belin^{1 & 2}, Julian Paul Keenan³ and Maryse Lassonde¹

1 Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, University of Montreal

2 Center for Cognitive Neuroimaging & Department of psychology, University of
Glasgow

3 The Cognitive Neuroimaging Laboratory, Montclair State University

Keywords: self-recognition, behavioural study, callosotomy, laterality, voice recognition

Send correspondence to: Christine Rosa, Ph.D. student in neuropsychology, Centre de
Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Département de Psychologie, Université
de Montréal, C.P. 6128, Succursale Centre-ville, Montréal, Québec, Canada , H3C 3J7,
Telephone: (514) 343-6111 #3177; Fax: (514) 343-5787; E-mail:



Abstract

A majority of recent studies have proposed a greater implication of the right hemisphere in self-related and self-face processing. Here we investigated functional asymmetries related to self-voice recognition in a split-brain patient (complete callosotomy). In Experiment 1, the task consisted in a forced-choice judgement -self, familiar or unknown- on binaurally presented voices. The right hemisphere (i.e. left hand) was more accurate in identifying the self-voice. In Experiment 2, the patient was presented with auditory morphs between self-voice and a familiar voice and instructed to make a "more self"/"more familiar" forced-choice decision. Better and faster identification of the self-voice was found with the right hemisphere (i.e. left hand). These results support the hypothesis of greater involvement of the right hemisphere in self-voice processing.

Introduction

A recent and much debated question in the field of consciousness research is the hemispheric specialization of self-recognition. Self-face recognition appears relatively late (18 to 24 months of age) in child development (Amsterdam, 1972) and is paralleled with the emergence of other manifestations of the formation of a self-concept (Lewis, 1989). Moreover, this ability has only been found in humans and higher primates (Gallup, 1969). Thus, ontogenetically and phylogenetically self-recognition can be considered a relatively advanced ability. Self-recognition has been proposed (Gallup, 1985) to be valid when assessing the presence of a self-concept and of self-consciousness and to underlie such higher-order cognitive capacities as theory of mind and introspection (Gallup, 1982).

Growing evidence indicates a greater involvement of the right hemisphere in self-face processing. In a series of recent studies using different paradigms (behavioural testing, electrophysiology, fMRI, Wada and TMS), Keenan and colleagues (Keenan, Freund, Hamilton, Ganis & Pascual-Leone, 2000; Keenan *et al.*, 1999; Keenan, McCutcheon & Pascual-Leone, 2001a; Keenan, Nelson, O'Connor & Pascual-Leone, 2001b; Keenan, Wheeler, Platek, Lardi & Lassonde, 2003) have shown that the right hemisphere might be dominant for the recognition of one's own face. Several other investigators have lately confirmed these results in self-face recognition studies (Platek & Gallup, 2002; Platek, Keenan, Gallup, & Mohamed, 2004; Théorêt *et al.*, 2004; Uddin, Kaplan, Molnar-Szakacs, Zaidel & Iacoboni, 2005; but see Kircher *et al.*, 2001; Turk *et al.*, 2002 for counter-evidence). Further, severe dysfunction of the right hemisphere has consistently been linked to the exhibition of the "mirror-sign" syndrome (selective loss of recognition of one's reflection in the mirror), though only few patients

exhibit this condition (Breen, Caine & Coltheart, 2001; Feinberg & Shapiro, 1989; Spangenberg, Wagner, & Bachman, 1998).

The human voice is one of the most important and most frequent auditory stimuli in our environment. At the functional level, voices enable us to identify a person out of our vision range rapidly, efficiently and with ease since they contain within their physical structure a great deal of potential information (e.g., age, sex, height, sociological and geographical background) on the identity and the emotional state of the speaker (Belin, Fecteau & Bédard, 2004; Van Lancker, & Canter, 1982). Consequently, voices have been likened to "auditory faces" (Bédard & Belin, 2004). Also, an important parallel can be made between the processing of voices and the processing of faces (Belin *et al.*, 2004). For example, the right hemisphere has systematically been shown to be predominant for recognition of faces (Paller *et al.*, 2003; Van Lancker & Canter, 1982; see also Benton, 1980 for a review) as well as processing (Belin, Zatorre & Ahad, 2002; Belin, Zatorre, Lafaille, Ahad & Pike, 2000; Nakamura *et al.*, 2001) and recognition of voices (Doehring & Bartholomeus, 1971; Ellis, Young & Critchley, 1989; Kapur *et al.*, 1994; Kreiman & Van Lancker, 1988; Van Lancker, Cummings, Kreiman & Dobkin, 1988; Van Lancker & Kreiman, 1987; Van Lancker, Kreiman & Cummings, 1989).

Given the importance of the self-voice in order to recognize familiar individuals and the similarities between voice and face processing, the question of the hemispheric specialization of self-voice recognition is interesting and would extend the self-recognition literature. In a recent positron emission tomography (PET) study, Nakamura *et al.* (2001) asked normal participants to discriminate one's own voice or familiar voices from unknown voices. A largely distributed network, involving the frontal pole and the precuneus in the left hemisphere and the entorhinal cortex, temporal pole, frontal

pole, anterior cingulate cortex and middle frontal gyrus in the right hemisphere, was activated for the discrimination of familiar voices compared to the control task. Moreover and in concordance with the data on self-face, they demonstrated that regions of the right hemisphere, namely the inferior frontal sulcus and the parainsular cortex, were more activated for one's own voice than for highly familiar voices. In a previous study with normal participants, the right hemisphere appeared to be more sensitive to the self-voice in a series of morphs compared to a familiar voice (Rosa, Lassonde, Pinard, Keenan & Belin, in press). These recent results thus indicate a more important involvement of the right hemisphere in self-voice recognition.

Complete section of the commissures results in two isolated and independent hemispheres that can no longer use the information processed in the other half of the brain. It is therefore possible to determine which hemisphere is necessary or at least which hemisphere is superior for a given ability since the function of each hemisphere can easily be probed separately from the other. To further investigate the hemispheric specialisation of self-recognition, we chose to test our hypothesis of a greater involvement of the right hemisphere in self-voice recognition in a callosotomized patient. The possibility to investigate the functions of each hemisphere separately is even more important in this experiment since the auditory system has more bilateral connexions than other sensory systems and it is thus more difficult to assess hemispheric differences in normals. In a previous study with this callosotomized patient, Keenan *et al.* (2003) reported greater sensitivity to the self-face with the left hand (right hemisphere) compared to the right hand. In the present study, we used two voice-recognition paradigms where a familiar voice was used as control to the patient's voice for familiarity and general voice recognition. In experiment 1, the patient was asked to

identify one of three presented voices (self, familiar or unknown) by responding either with the right or the left hand. In Experiment 2, the patient was presented with auditory morphs between self-voice and a familiar voice and was asked to identify the speaker either with the left or the right hand. By using morphed-voices, we were able to extend the findings of Nakamura *et al.* (2001) who used only canonical presentation. In all the experiments, we predicted a stronger left hand advantage compared to the right hand, in terms of speed and accuracy, for self-voice recognition compared to other voices.

Experiment 1

Materials and methods

Patient

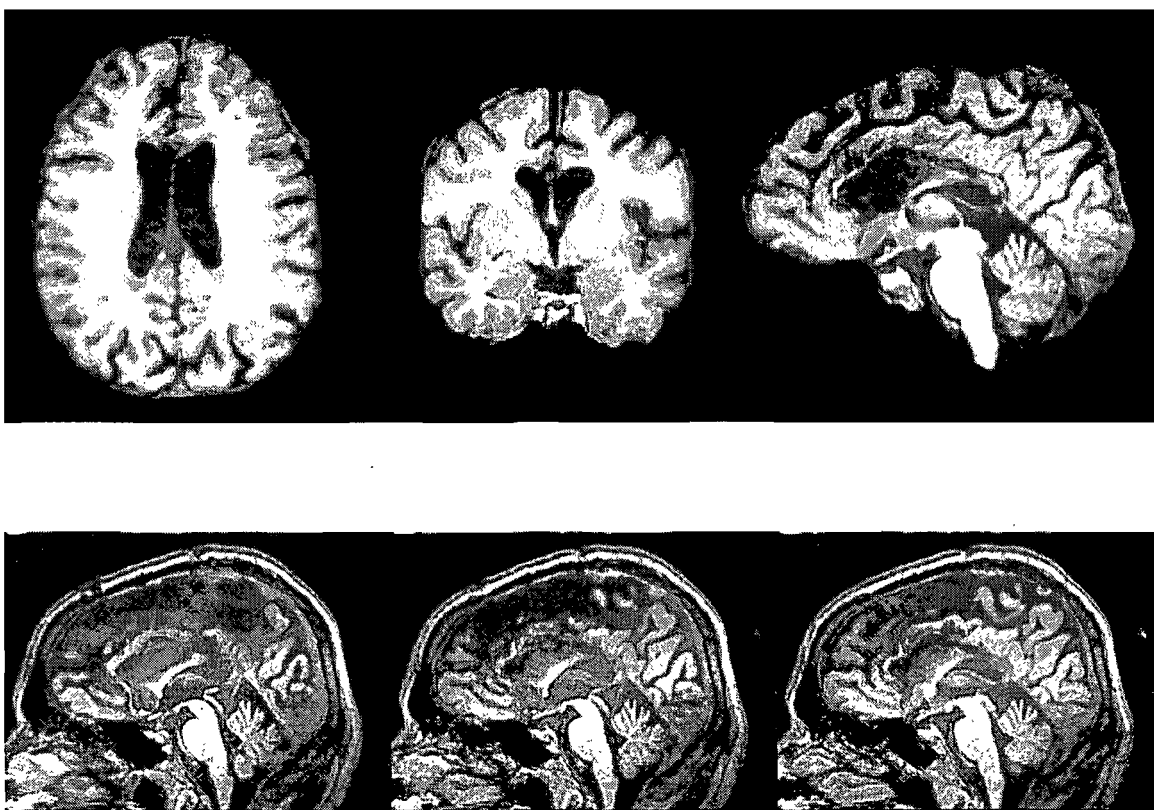
M.L. is a 30-year-old left-handed French-Canadian man who underwent complete callosotomy for the alleviation of intractable epilepsy. His birth history and postnatal development were unremarkable. He began to have absence seizures at the age of 2.5 years. The initial EEG revealed a diffuse slowing over the posterior regions of both hemispheres. Later in the same year he was hospitalized with status epilepticus. A subsequent EEG showed bilateral spikes over fronto-central cortex. The CT-Scan was normal. At the age of 13, he was struck by a car. He suffered injury to the left frontal lobe and was in a coma for a week. Following the accident, his seizures became more frequent and more severe. At the time of surgery, he had on average one generalized seizure and numerous absences per week. His seizures were characterized by a sudden fall followed by postictal confusion. He also had several episodes of status epilepticus during his pre-operative hospitalization. Pre-operative EEG recordings were compatible with Lennox-Gastaut Syndrome, showing multi-focal slow spike-wave activity, maximal over the parasagittal regions with right hemisphere predominance.

At the age of 22 years, he underwent anterior callosotomy, which did little to alleviate the seizures. Four months later, the callosotomy was completed with good clinical results (see Figure 1a). Drop attacks were abolished. At present, he has one or two absences per week. His medication is substantially reduced. He continues to take Dilantin, Lamictal and Epival. Post-operative neuropsychological testing revealed a number of disconnection symptoms. These include tactile anomia for stimuli presented to the left hand out of view, alexia in the left visual field, bilateral agraphia (more pronounced for the left hand), unilateral ideomotor apraxia of the left hand, diagnostic apraxia, visuoconstructive apraxia of the right hand, and absence of intermanual transfer of tactile stimulation. The diagnostic apraxia has subsided. More importantly, M.L.'s manual responses are completely independent. Indeed, when presented with central visual stimulation, the responses signalled by his right hand correspond to his verbal responses, confirming left hemisphere dominance for language. Moreover, the responses signalled by the left hand are independent from his verbal responses. This makes M.L. an exceptional split-brain patient whose unilateral capacities can be assessed directly through unilateral motor responses.

On standard cognitive assessments, M.L. has always functioned in the borderline range without a discernable discrepancy between his verbal and nonverbal skills. He has attended specialized schools throughout his life, and his IQ has not changed since the surgery. On the WAIS-R, M.L. obtains a verbal and nonverbal IQ of 76. When evaluated in audiometry, his capacities were normal. He works presently in a sheltered workshop and lives independently in the community.

This study was approved by the University of Montreal's ethics committee. The participant signed a consent form prior to his participation in the study.

Figure 1a: Post-operative MRI brain images of the split-brain patient M.L.



Material

Stimuli consisted of 26 vowels and syllables (voir Annexe 3) either pronounced by the participant, by a familiar person (one of the laboratory investigator: a 32-year old French-Canadian man whose voice was familiar to and recognized by M.L.) or by an unknown speaker (gender and age-matched). Voices were recorded in a soundproof room, using a professional microphone (Microtech Gefell GMBH, Germany) and the Adobe audition computer program (Version 1.0, Adobe systems incorporated, CA, USA). All vocal stimuli were edited to a duration of 1 sec. and were equalized in energy using Matlab 6.1 (Mathworks, Massachusetts, USA). Each stimulus was also temporally inverted, thus creating 156 different stimuli (26 vowels X 3 speakers X 2 inversion conditions). It has been demonstrated that temporal inversion affects only minimally voice recognition (Van Lancker, Kreiman, & Emmorey, 1985). This manipulation was thus executed in order to investigate the possibility that the inverted stimuli would also yield an advantage for the recognition of one's own voice. For each voice, a short sentence was also recorded which was presented to the patient before the study to familiarize him with the voices he was to hear in the experiment. The stimuli were administered using the Media Control Functions computer program (MCF, version 3.39, DigiVox, Montreal, Canada) and DT 770 ear-phones (Beyerdynamic, West Sussex, UK).

Procedure

The patient was asked to take part in a voice recognition study with no mention concerning the self-voice. In the first phase of the experiment, the voice of M.L. was recorded at the University of Montreal's neuropsychological laboratories. M.L. was instructed to read the list of vowels and syllables and the short sentence in the soundproof room, holding each sound for at least 2 seconds (of which we extracted a 1-second stable stimulus). In the second phase, the patient was brought back to the laboratories for the experimental session. He was instructed to listen to the presented vocal stimuli and perform a 3-alternative forced-choice identification of the speaker: Self, Familiar or Unknown. The 156 vocal stimuli were all presented binaurally in a pseudo-random order and the patient had to respond with only one hand (left or right). All responses were made using a standard computer mouse. The patient was instructed to respond as fast as possible with the mouse button corresponding to the presented voice. He completed one set of stimuli responding with one hand, and then the process was restarted using the other hand. The procedure was then repeated a second time for a total of 624 trials. Accuracy and reaction times from sound onset were recorded. The duration of the experimentation was approximately 45 minutes.

Results

The data were first analyzed using a signal detection theory analysis. The d' 's for non-inverted presentation were: 1.23 for the self-voice with the left hand, 0.54 for the self-voice with the right hand, 0.82 for the familiar voice with the left hand and 0 for the familiar-voice with the right hand (see Table 1). These data suggest a left hand (right hemisphere) advantage for the recognition of both voices, since the task was better performed with this hand. Still the task seemed to be even less difficult for the left hand

when recognizing the self-voice (1.23) compared to the familiar voice (0.82). While these values suggested a left hand advantage for self, they also indicated the task was difficult. Because of such low d' 's, we examined the data looking at hits (true positives) and false alarms separately (see Figure 1). Indeed, since the d' is calculated based on hits and false alarm rates, we thought it would be interesting here to add an analysis of the false alarms to the usual analysis of precision (hits). This would enable us to examine if one hemisphere was biased, even in its error rates, towards one voice in particular, in our case: the self voice. We first analyzed the effect of reversing the statements. Since no effect of inversion was found

($\chi^2_{(2)} = 0.02, P > .05$), we collapsed the data across all the temporal presentations (normal and inverted).

Table I:

Signal detection analysis in normal presentation
for the self and the familiar voices

	Split				
	Self		Familiar		
	RH	LH	RH	LH	
Hits	0.42	0.71	0.29	0.38	
FA	0.23	0.25	0.29	0.13	
D'	0.54	1.23	0	0.62	
Beta	1.29	1.08	1	1.8	

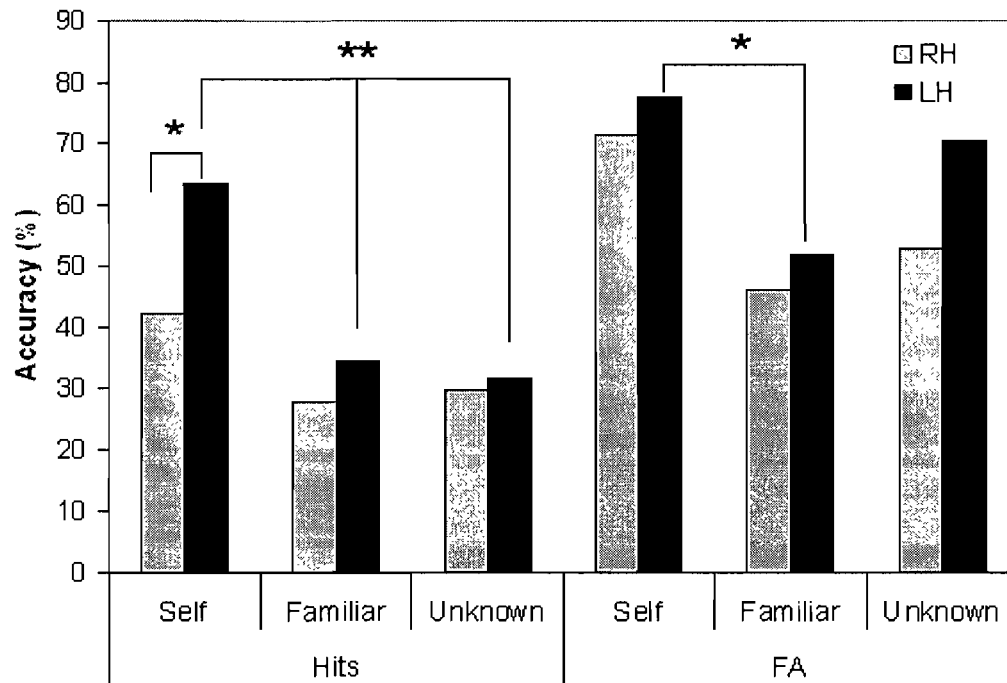
LH = Left hand; RH = Right hand. Under presentation of non-inverted self-voice and familiar voice stimuli.

We then tested if each hand of response had yielded more true positive responses for any of the voice categories (self, familiar, unknown). Within the left hand, it was found that there was a difference between the three voices ($\chi^2_{(2)} = 14.8, P < .0006$). Post-hoc analyses revealed that there were significantly more true positive responses for the self-voice (63.46%) compared to the familiar (34.62%; $\chi^2_{(1)} = 8.82, P < .003$) as well as the unknown-voice (31.73%; $\chi^2_{(1)} = 11.0, P < .0009$). There was no difference between the unknown and the familiar categories ($\chi^2_{(1)} = 0.13, P > .05$). In addition, there was no significant difference between the categories for the right hand ($\chi^2_{(2)} = 3.83, P > .05$). These results suggest that the left hand differentiated between the self and the other categories, while the right hand did not. To confirm this, we compared the

hands directly. It was found that there was an overall difference between hands in terms of true positives ($\chi^2_{(2)} = 12.82, P < .002$). Post-hoc analyses showed that there were no differences between hands for the familiar ($\chi^2_{(1)} = 0.75, P > .05$) or unknown categories ($\chi^2_{(1)} = 0.06, P > .05$). However, there was a significant difference between hands in the self-voice category ($\chi^2_{(1)} = 4.4, P < .045$) such that the left hand made significantly more self 'hits' (63.46%) than the right hand (42.31%).

The same analysis was done with false alarms, first examining the within hands effects. It was found that there were no differences between the voices in the right hand in terms of false alarms ($\chi^2_{(2)} = 5.55, P > .05$) but there were differences in the left hand ($\chi^2_{(2)} = 6.14, P < .05$). Within the left hand, there were significantly more 'self' false alarms (36.3%) when compared to 'familiar' false alarms (23.5%; $\chi^2_{(1)} = 5.54, P < .02$). This difference suggests an inclination to respond self with the left hand, even in the absence of self-voices. However, there was no difference between the self false alarm rate (36.3%) and the unknown false alarm rate (27.0%; $\chi^2_{(1)} = 2.80, P > .05$). Finally, there was no difference between the unknown and familiar false alarm rates ($\chi^2_{(1)} = 5.54, P > .05$). We then compared the two hands directly in terms of false alarms across the self, familiar, and unknown categories. No difference was found (all P 's $> .05$).

Figure 1: Accuracy scores in terms of hits and false alarms for all the presented voices.



* = $p < .05$; ** = $p < .01$.

LH = Left hand; RH = Left hand; FA = False alarms. Across all temporal presentations.

The data for the reaction times (RT) was analyzed using a 3 (Response: Self/Familiar/Unknown) x 2 (Hand: Left/Right) x 2 (Type: Hit/False Alarm) x 2 (Temporal presentation: Normal/Inverted) repeated measures 4-way ANOVA. There were no significant 4-way, 3-way or 2-way interactions (all P 's > .05). There was a significant main effect of Hand ($F_{(1, 596)} = 8.12, P < .005$), such that the left hand (Mean = 1050.45, SE = 58.45) was quicker than the right hand (Mean = 1290.52, SE = 60.68), which is congruent with the fact that the patient is left-handed. There also was a significant main effect of Hit/alarm ($F_{(1, 596)} = 5.41, P < .01$), such that the RTs were quicker for the hits (Mean = 1072.50, SE = 66.90) than for the false alarms (Mean = 1268.48, SE = 51.20). There was no main effect of Temporal presentation ($F_{(1, 596)} = 0.58, P > .05$) and no main effect of Response ($F_{(2, 596)} = 1.69, P > .05$).

Experiment 2

Materials and methods

Material

Vocal stimuli were generated based on 3 vowels (e, i and o) pronounced by the participant and by the familiar person (used in Experiment 1) and recorded using the procedure described above. Following the recording phase, a continuum of 11 morphed stimuli was created between the self and the familiar voices, using STRAIGHT, a Matlab (Mathworks)-based voice analysis-resynthesis software (Kawahara, Banno, Irino & Zolghagari, 2004). The morphed stimuli consisted of a linear combination of the self and the familiar voices pronouncing the same vowel (degree 1 = 100% self, degree 6 = 50 % self and 50% familiar, and degree 11 = 100% familiar). The stimuli were administered using the Media Control Functions computer program (MCF, version 3.39, DigiVox) and DT 770 ear-phones (Beyerdynamic). Each morph was presented either

binaurally or monaurally (right or left) with a white noise stimulus of the same duration and energy presented in the opposite ear. We added this procedure in order to explore if monaural presentation of the stimuli would translate in an even stronger advantage of the left hand for the self-voice. There were a total of 99 different stimuli (3 vowels X 11 degrees of morph X 3 auditory presentation types). For this task, short sentences were also presented to the patient before the study to familiarize him with the voices he was to hear in the experiment.

Procedure

In the experimental phase, M.L. was instructed to listen to the presented morphed vocal stimuli and perform a two-alternative forced choice identification of the speaker (self or familiar). The 99 vocal stimuli were presented in a random order. The patient was instructed to respond with only one hand (left or right), by pressing the mouse button corresponding to the presented voice as fast as possible. He completed one set of stimuli responding with one hand, and then the process was restarted using the other. The complete set of stimuli was presented three times to each hand, in alternation, for a total of 594 trials. Identification response and reaction times from sound onset were recorded. The duration of the experimentation was approximately 45 minutes.

Results

Concerning the overall identifications, we first did an analysis collapsing across the morph levels and across both monaural and binaural presentation. We evaluated the effects of hand (left and right) on the frequency of responses (frequency of self responses and of familiar responses irrespective of the presentation). There were no significant hand differences ($\chi^2_{(1)} = 2.82, P > .05$), nor were there differences when only the binaural presentations part of the data was examined ($\chi^2_{(1)} = 1.22, P > .05$).

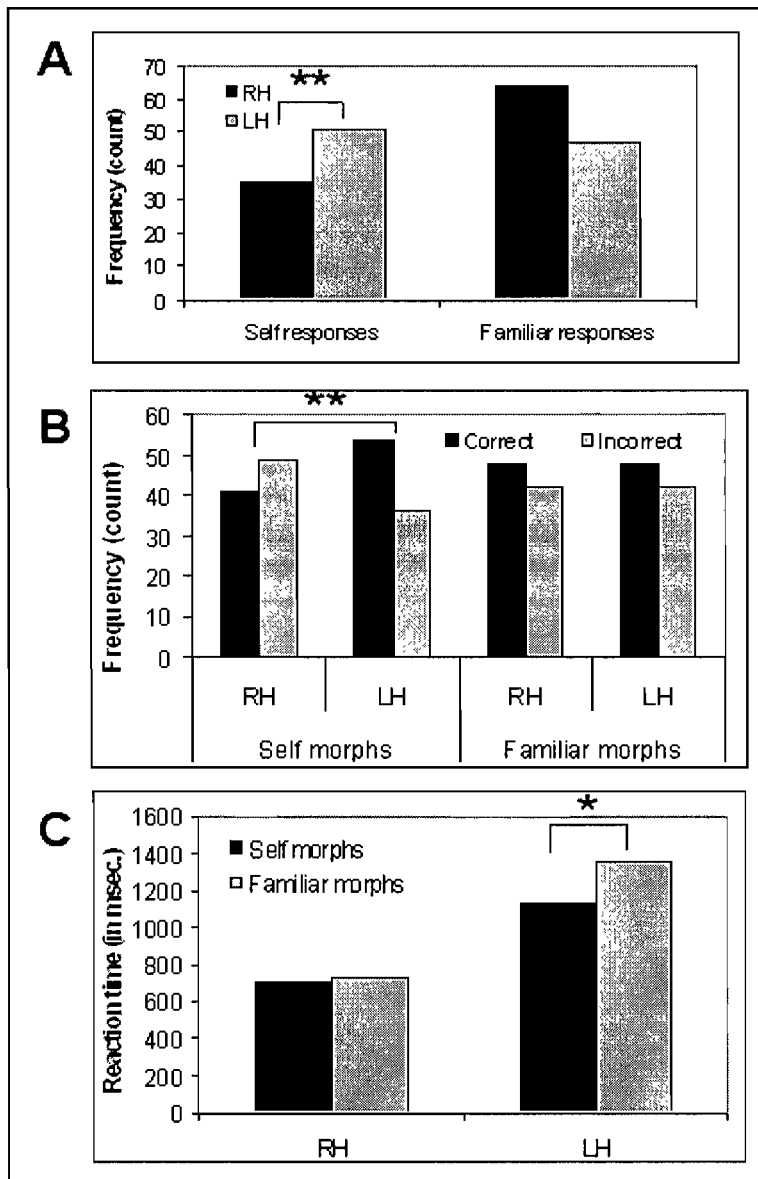
However, a significant difference was found for monaural (left ear presentation, left hand response and right ear presentation, right hand response) presentations ($\chi^2_{(1)} = 11.83, P < .0006$). This indicated that there were differences between the hands in terms of self/familiar identifications. The nature of the effect indicated that the left hand responded "self" more often (52.04%) than the right hand (35.35%; see Figure 2A). These data supported the findings from the non-morphed voices.

Next, we examined the identifications across the levels of morph. A regression was performed first to determine if the task was executed successfully. As the morph degree increases (i.e., the voice becomes less "self" and more familiar), there should be an increase in responses that indicate 'familiar'. Coding a "self" response as '1' and a "familiar" response as '2', a bivariate regression indicated that as morph level increased, so did the number of familiar responses ($\chi^2_{(1)} = 4.56, P < .03$; Wald = 4.52; Exp (B) = 1.07). This finding suggested that the patient was performing the task correctly. We also did linear regressions on the recognition responses of both hands across binaural and monaural presentations. This analysis revealed that the slope for the right hand responses was very flat ($y = 0,0061x + 1,499; R^2 = 0,0358$), suggesting that it was not making a distinction between the two voices (see Figure 3). However the slope for the left hand was steeper ($y = 0,029 + 1,3049; R^2 = 0,3902$), suggesting that it was the only one distinguishing between the familiar voice and the self voice.

Subsequently, we performed a second analysis where the morphs were divided into 2 groups (those above 50% self and those below 50% self). We first looked at overall accuracy, where correct responses were defined as identifying the over 50% self-morphs as "self" and the below 50% self-morphs as "familiar", across both monaural and binaural presentations. It was found that the left hand was significantly more accurate

(56.6%) than the right hand (49.4%; $\chi^2_{(1)} = 7.43, P < .01$). We then compared the accuracy between hands by morph type (majority of self or familiar). This analysis revealed a significant difference in accuracy for the self morphs between the right and the left hand ($\chi^2_{(1)} = 7.82, P < .01$), such that the left hand showed a tendency to respond correctly more often (60%) than incorrectly (40%; $\chi^2_{(1)} = 3.60, P < .06$) but not the right hand ($\chi^2_{(1)} = 0.71, P > .06$). No difference in accuracy was found between hands for the morphs composed of a majority of the familiar voice ($\chi^2_{(1)} = 0, P > .05$). These data indicate a general left hand advantage in distinguishing self from other (see Figure 2B).

Figure 2: Accuracy and reaction times for recognition of the self and familiar voices.

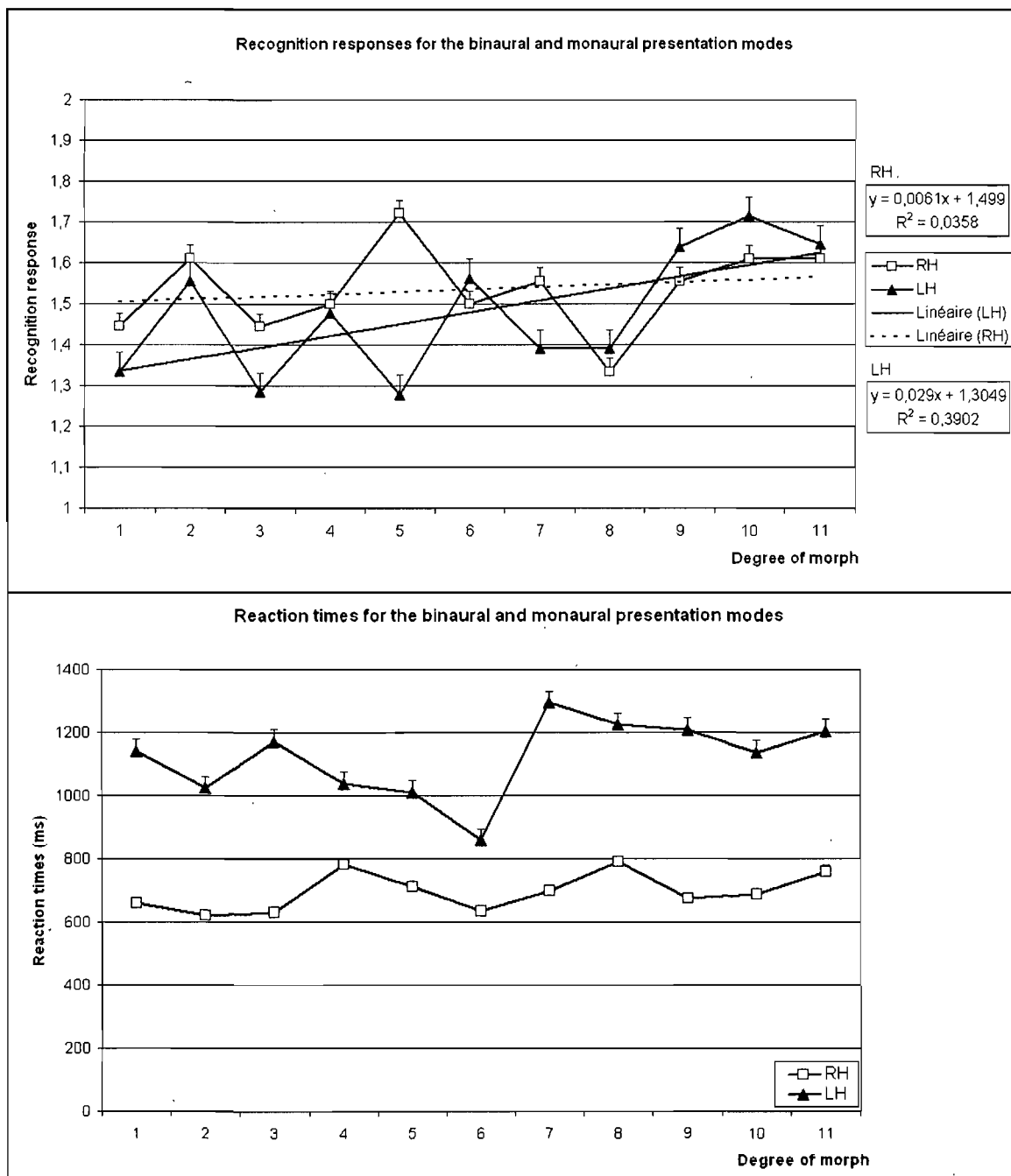


* = $p < .05$; ** = $p < .01$.

A) Frequency of self vs. familiar responses for the left (LH) and the right hand (RH) across all morphs levels and all auditory presentations. B) Frequency of "correct" and "incorrect" responses for the left (LH) and the right hand (RH) when presented with

morphs consisting of a majority of self or familiar voice, across all auditory presentations. C) Reaction times (in milliseconds) for the left (LH) and the right hand (RH) when presented with morphs consisting of a majority of self or familiar voice, across all auditory presentations.

Figure 3: Recognition responses and reaction times for identification of the self and familiar voices.



RH = Right hand; LH =Left hand.

The average overall RT was 981.31 (SE = 24.65). The morphs were again divided into 2 groups (those above 50% self and those below 50% self). A 3-way ANOVA (2 X 2 X 2) was then employed (Auditory presentation: binaural/monaural; Hand: left/right; and Morph: more self/more familiar). It was found that there was no significant 3-way interaction ($F_{(1, 381)} = 0.15, P > .05$). There was no 2-way interaction for Hand by Auditory presentation ($F_{(1, 381)} = 0.11, P > .05$) or Morph by Auditory presentation ($F_{(1, 381)} = 0.04, P > .05$). However, there was a significant Hand by Morph interaction ($F_{(1, 381)} = 3.74, P < .05$), such that the 'self' morphs were identified more rapidly with the left hand (Mean = 1132.12, SE = 52.42) than the 'familiar' morphs (Mean = 1353.22, SE = 75.85; $P < .02$). In the right hand, there was no difference ($P > .05$). These data further suggest that only the left hand is differentiating between voice categories (see Figure 2C). There were also 2 significant main effects (Auditory presentation was non-significant, $P > .05$). It was found that the right hand (Mean = 719.67; SE = 34.54) was significantly quicker overall than the left hand (Mean = 1242.95; SE = 35.17; $F_{(1, 381)} = 112.70, P < .001$), which is surprising since the patient is left-handed. It was also found that the 'self' morphs were responded to significantly quicker (Mean = 917.99, SD = 33.25) than the 'familiar' morphs (Mean = 1044.63; SE = 36.39; $F_{(1, 381)} = 6.6, P < .01$).

Discussion

In the first experiment, the split-brain patient M.L. showed more accurate recognition of his own voice with the left hand (right hemisphere) compared to the right hand. Moreover, he showed an inclination to respond "self" more often with the left hand. Indeed, even though the false alarm rate for the self was higher than for the familiar voice within the left hand, it was not different than for the unknown voice and

no differences were found when we compared the two hands directly. Consequently, the split-brain patient did not show a tendency to respond self all the time and he appears to have performed the task properly. However, contrary to our results with normal participants (Rosa et al., in press), the split brain patient did not show an effect of temporal inversion. We believe that the effect of temporal inversion that was found with the normal participants reflects a group effect that cannot easily be measured in only one participant and only one study, since a lot of variability was found in our group regarding this variable (from 1 to 45 % of difference in correct responses between the normal and the temporally inverted presentation modes). In the second experiment, the left hand responded more "accurately" for the self voice and responded "self" more often than the right hand. Again, these results might suggest that the right hemisphere is more inclined to perceive the stimuli in terms of the self. They also indicate that the right hemisphere shows a more accurate recognition of the self-voice. Moreover, the left hand responded faster than the right hand when identifying the morphs composed of a majority of self-voice.

These differences between hands were not seen for a familiar or an unknown-voice, thus indicating that the observed left hand advantage should not be due to a general right-hemisphere predisposition for the recognition of voices nor to a familiarity confound. Taken together, the present results indicate a left-hand/right hemisphere sensitivity to the self-voice in this patient. These findings support the hypothesis of a right-hemisphere advantage for processing self-related stimuli. Although these results cannot be taken as direct evidence that the right hemisphere is necessary for self-processing, they do suggest that it is better in this type of identification.

Self-perception

Previous studies with split-brain patients have found results similar to ours. In a study examining consciousness in the right “minor” hemisphere of split-brain patients, Sperry, Zaidel & Zaidel (1979) have demonstrated that the right hemisphere is indeed capable of self-recognition and self-awareness. In parallel, Preilowski (1977) investigated self-face recognition in two split-brain patients while measuring skin resistance changes. Both patients showed larger responses to their own face and this was most evident when the stimuli were presented to the right hemisphere. More recently,

Keenan *et al.* (2003) have investigated self-face identification in a series of morphed faces with the same split-brain patient as in the present study. Again, the patient showed an inclination to perceive the self more often with the left hand, suggesting an important implication of the right hemisphere in self-recognition. However, two studies of self-face recognition with different split-brain patients have failed to evidence a right hemisphere advantage. Turk *et al.* (2002) measured self-face recognition in morphed faces in a split-brain patient and found that, while both hemispheres were able to recognize the self, the left hemisphere was superior. Also, Uddin, Rayman & Zaidel (2005) have observed that both hemispheres of a split-brain patient were capable of identifying the self in a series of morphed stimuli. Thus, although a majority of split-brain studies support a right hemisphere advantage for self-recognition, this is still a matter of debate. It is important to keep in mind that the generalization of the results from split-brain studies (ours included) is limited due to the small sample sizes (often $n = 1$) and to the special nature of these patients.

In normal participants, support for the hypothesis that the right hemisphere plays a special role in self-perception comes from several self-face recognition studies. Indeed, in healthy participants, Keenan *et al.* (1999, 2000) have found a left-hand (right hemisphere) advantage in accuracy and reaction times for the recognition of one's own face compared to a familiar face. These authors have later used several imaging techniques (fMRI, ERP, TMS) in order to determine with greater specificity which region of the cortex was activated during self-face processing in the right hemisphere (Keenan *et al.*, 2001a; 2001b). The right inferior frontal cortex was systematically more activated in these studies during self-face presentation. Recently, Platek *et al.* (2004), Uddin *et al.* (2005), Suguira *et al.* (2005) and Platek *et al.* (2006) have confirmed that

networks of the right hemisphere are more implicated in self-recognition. Platek *et al.* (2004) found right frontal activations (in the inferior, median and superior frontal gyrus) when participants viewed self-faces compared to highly familiar famous faces. In parallel, Uddin *et al.* (2005) have observed right lateralized activations (inferior frontal gyrus, inferior and superior parietal lobule, inferior occipital gyrus) when participants were asked to identify the speaker in morphed faces composed of the self-face and of a familiar face. Suguira *et al.* (2005) found that the right temporo-parieto-occipital junction, the right frontal operculum and the left fusiform gyrus were selectively activated for the self-face when compared with a highly familiar face, indicating greater activation in the right hemisphere. Similarly, in their last fMRI study, Platek *et al.* (2006) found that the right superior frontal gyrus, inferior parietal and medial frontal lobes, and left middle temporal gyrus were activated when viewing one's own face compared to a familiar face. Interestingly, in the contrast between the self and the familiar face, there were 2.7 times more pixels activated in the right hemisphere compared to the left. They conclude that, while a large bilateral network seems involved in self-recognition, there is an important implication of a right fronto-parietal network in self-awareness.

An advantage of the right hemisphere has also been found in other self-related processes. Indeed, some authors have found a greater activation of the right hemisphere when processing trait adjectives related to the self (Craig *et al.*, 1999; Fossati *et al.*, 2004; Molnar-Szakacs, Uddin, & Iacoboni, 2005; Schmitz, Kawahara-Baccus & Johnson, 2004) or when processing episodic information from one's own past (Fink *et al.*, 1996; Kapur *et al.*, 1994). Also, Levine *et al.* (1998) have found that a selective deficit in autobiographic memory and in self-regulation behaviour was linked to damage

to the right ventral frontal regions in a TBI patient. Some of these evidence led Wheeler, Stuss & Tulving (1997), Stuss & Alexander (2000) and Stuss & Anderson (2004) to propose that the frontal lobes, predominantly in the right hemisphere, were particularly important for self-consciousness (which is composed of memories and emotions related to the self).

It has also been shown that the right hemisphere is implicated in many types of perturbations of the self. For example, stimulation of the right angular gyrus led to distortions in one's own sensory and vestibular perceptions (Blanke, Ortigue, Landis, & Seeck, 2002). Furthermore, inactivation of the right hemisphere using intracarotid amobarbital procedures induces denial of one's own hemiparesis (anosognosia) and an inability to recognize body parts as one's own (asomatognosia; Meador, Loring, Feinberg, Lee, & Nichols, 2000). Andelman, Zuckerman-Feldhay, Hoffien, Fried & Neufeld (2004) and Devinsky (2000) have similarly found that cerebral damage to the right hemisphere is significantly related to anosognosia symptoms. Since anosognosia is a disorder in the perception of one's own deficits, these results can be interpreted as indicating a more important involvement of the right hemisphere in self-awareness. Finally, Miller *et al.* (2001) linked the right hemisphere to perturbations of personality in terms of the material self, the social self and the spiritual self.

Though there are fewer studies indicating a left-hemisphere advantage (e.g. Brady, Campbell & Flaherty, 2004; Platek, Myers, Critton & Gallup, 2003; Turk *et al.*, 2002), it is noted that the finding of right hemisphere dominance is not entirely consistent. Indeed, in a recent study, Brady *et al.* (2004) showed that the left hemisphere identified significantly more the self than the right hemisphere. Alternatively, some authors (Kircher *et al.*, 2000; 2001) argue that, rather than one hemisphere being more

involved than the other in self-related processing, it is a widely distributed network that is implicated. Results of their studies (Kircher *et al.*, 2000; 2001; 2002) tend to support this hypothesis since diffuse activations in the right and left hemispheres were found in self-related processing. Other investigators have also found bilateral activations for self-processes (Fossati *et al.*, 2003; Johnson *et al.*, 2002; Kelley *et al.*, 2002; Macrae, Moran, Heatherton, Banfield & Kelley, 2004; Sugiura *et al.*, 2000; Uddin, Rayman & Zaidel, 2005). Bilateral activations, however, have mostly been found in imaging studies which do not differentiate between regions that are necessary or sufficient for self-perception and those that are not. Also, most of these studies have not used appropriate controls for familiarity (ex: using partners of the opposite sex as controls as in the studies of Kircher *et al.* (2000; 2001), using famous voices only as controls as in the study by Kelley *et al.* (2002) and Platek *et al.* (2004) or using no control for familiarity as in the experiments of Johnson *et al.* (2002), Macrae *et al.* (2004) and Sugiura *et al.* (2000)). This confound could certainly have affected the imaging results. In conclusion, except for a few studies, a majority of self-processes have been found to be linked to the right hemisphere, predominantly in the frontal and parietal lobes.

Limitations of our study

Generalization of the present results is however restricted because of some limitations to our study. Since we have investigated self-voice recognition in a split-brain left-handed patient with an IQ in the borderline range, the right-hemisphere advantage found here cannot be generalized to a normal right-handed population. Still, in a previous study with right-handed normals, we have found that the right hemisphere seemed to be more sensitive to perceive the self-voice in a series of morphs compared to a familiar voice (Rosa *et al.*, submitted). Consequently, we believe that the right

hemisphere advantage for self-voice recognition found in both these studies can be extended to the general population.

Concerns about the ability to recognize the recorded self-voice could be expressed since it does not sound the same as when we normally hear ourselves (because of bone conduction). Shuster & Durrant (2003) tried to find a filtering procedure that would yield more “normal” sounding like recorded self-voices. Their attempt was partially successful: all the voices (filtered or not) were correctly recognized as “self” in their experiment. Nakamura *et al.* (2001) and ourselves (Rosa *et al.*, submitted) found good success rates in an unfiltered self-voice recognition task compared to a familiar-voice recognition task with normals. Also, van Dommelen (1990) had found better success rates in recognizing one’s own voice (81% correct) compared to the recognition of familiar voices (74% correct), though the difference was not significant. These evidences suggest that recognition of one’s own voice is not significantly affected by the difference between the original and the recording. It should also be noted that only the frequency of the self-voice is affected by bone conduction. Thus, it is possible to rely on other characteristics of the voice (ex: pronunciation, temporal characteristics, prosody, etc.) for successful recognition. Considering this, we chose not to use a filtering procedure in our experiment since the patient should be able to recognize his own voice successfully by relying on a combination of the self-voice characteristics.

Conclusion

In conclusion, we have found a left-hand/right hemisphere sensitivity to one’s own voice in the present study. These results are congruent with the notion of a right-hemisphere superiority for self-recognition and self-related processing in general. They are also compatible with the notion that the right hemisphere is involved in storing

representations of the self, in different modalities, and that it may mediate self-concept and self-awareness.

References

- Amsterdam B. Mirror self-image reactions before age two. *Developmental Psychobiology* 1972; 5: 297-305.
- Andelman F, Zuckerman-Feldhay E, Hoffien D, Fried I, Neufeld MY. Lateralization of deficit in self-awareness of memory in patients with intractable epilepsy. *Epilepsia* 2004; 45: 826-833.
- Bédard C, Belin P. A « voice inversion effect? ». *Brain and Cognition* 2004; 55: 247-249.
- Belin P, Fecteau S, Bédard C. Thinking the voice: Neural correlates of voice perception. *Trends in Cognitive Sciences* 2004; 8: 129-135.
- Belin P, Zatorre RJ, Ahad P. Human temporal-lobe response to vocal sounds. *Cognitive Brain Research* 2002; 13: 17-26.
- Belin P, Zatorre RJ, Lafaille P, Ahad P, Pike B. Voice selective areas in human auditory cortex. *Nature* 2000; 403: 309-312.
- Benton AL. The neuropsychology of facial recognition. *American Psychologist* 1980; 35: 176-186.
- Blanke O, Ortigue S, Landis T, Seeck M. Stimulating illusory own-body perceptions. *Nature* 2002; 419: 269.
- Brady N, Campbell M, Flaherty M. My left brain and me: A dissociation in the perception of self and others. *Neuropsychologia* 2004; 42: 1156-1161.
- Breen N, Caine D, Coltheart M. Mirrored-self misidentification: Two cases of focal onset dementia. *Neurocase* 2001; 7: 239-254.

- Craik FIM, Moroz TM, Moscovitch M, Stuss DT, Winocur G, Tulving E, Kapur S. In search of the self: A positron emission tomography study. *Psychological Science* 1999; 10: 26-34.
- Devinsky O. Right cerebral hemisphere dominance for a sense of corporeal and emotional self. *Epilepsy and Behavior* 2000; 1: 60-73.
- Doehring DG, Bartholomeus BN. Laterality effects in voice recognition. *Neuropsychologia* 1971; 9: 425-430.
- Ellis AW, Young AW, Critchley EMR. Loss of memory for people following temporal lobe damage. *Brain* 1989; 112: 1469-1483.
- Feinberg TE, Shapiro RM. Misidentification-reduplication and the right hemisphere. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, and Behavioral Neurology* 1989; 2: 39-48.
- Fink GR, Markowitsch HJ, Reinkemeier M, Bruckbauer T, Kessler J, Heiss W-D. Cerebral representation of one's own past: Neural networks involved in autobiographical memory. *Journal of Neuroscience* 1996; 16: 4275-4282.
- Fossati P, Hevenor SJ, Graham SJ, Grady C, Keightley ML, Craik F, Mayberg H. In search of the emotional self: An fMRI study using positive and negative emotional words. *American Journal of Psychiatry* 2003; 160: 1938-1945.
- Fossati P, Hevenor SJ, Lepage M, Graham SJ, Grady C, Keightley ML, Craik F, Mayberg H. Distributed self in episodic memory: Neural correlates of successful retrieval of self-encoded positive and negative personality traits. *NeuroImage* 2004; 22: 1596-1604.
- Gallup GG. Chimpanzees: Self-recognition. *Science* 1969; 167: 86-87.
- Gallup GG. Self-awareness and the emergence of mind in primates. *American Journal of Primatology* 1982; 2: 237-248.

- Gallup GG. Do minds exist in species other than our own *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 1985; 9: 631-641.
- Johnson SC, Baxter LC, Wilder LS, Pipe JG, Heiserman JE, Prigatano GP. Neural correlates of self-reflection. *Brain* 2002; 125: 1808-1814.
- Kapur N, Ellison D, Parkin AJ, Hunkin NM, Burrows E, Sampson SA, Morrison EA. Bilateral temporal lobe pathology with sparing of medial temporal lobe structures: Lesion profile and pattern of memory disorder. *Neuropsychologia* 1994; 32: 23-38.
- Kawahara H, Banno H, Irino T, Zolghagari P. Proc. ICASSP 2004, Montréal, Canada.
- Keenan JP, Freund S, Hamilton RH, Ganis G, Pascual-Leone A. Hand response differences in a self-face identification task. *Neuropsychologia* 2000; 38: 1047-1053.
- Keenan JP, McCutcheon B, Freund S, Gallup GG, Sanders G, Pascual-Leone A. Left hand advantage in a self-face recognition task. *Neuropsychologia* 1999; 37: 1421-1425.
- Keenan JP, McCutcheon NB, Pascual-Leone A. Functional magnetic resonance imaging and event-related potentials suggest right prefrontal activation for self-related processing. *Brain and Cognition* 2001a; 47: 87-91.
- Keenan JP, Nelson A, O'Connor M, Pascual-Leone A. Self-recognition and the right hemisphere. *Nature* 2001b; 409: 305.
- Keenan JP, Wheeler M, Platek SM, Lardi G, Lassonde M. Self-face processing in a callosotomy patient. *European Journal of Neuroscience* 2003; 18: 2391-2395.
- Kelley WM, Macrae CN, Wyland CL, Caglar S, Inati S, Heatherton TF. Finding the self? An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 2002; 14: 785-794.

- Kircher TTJ, Brammer M, Bullmore E, Simmons A, Bartels M, Davis AS. The neural correlates of intentional and incidental self processing. *Neuropsychologia* 2002; 40: 683-692.
- Kircher TTJ, Senior C, Phillips ML, Benson PJ, Bullmore ET, Brammer M, Simmons A, Williams SCR, Bartels M, David AS. Towards a functional neuroanatomy of self processing: Effects of faces and words. *Cognitive Brain Research* 2000; 10: 133-144.
- Kircher TTJ, Senior C, Phillips ML, Rabe-Hesketh S, Benson PJ, Bullmore ET, Brammer M, Simmons A, Bartels M, David AS. Recognizing one's own face. *Cognition* 2001; 78: B1-B15.
- Kreiman J, Van Lancker D. Hemispheric specialization for voice recognition: Evidence from dichotic listening. *Brain and Language* 1988; 34: 246-252.
- Levine B, Black SE, Cabeza R, Sinden M, McIntosh AR, Toth JP, Tulving E, Stuss DT. Episodic memory and the self in a case of isolated retrograde amnesia. *Brain* 1998; 121: 1951-1973.
- Lewis M, Sullivan MW, Stanger C, Weiss M. Self development and self-conscious emotions. *Child Development* 1989; 60: 146-156.
- Macrae CN, Moran JM, Heatherton TF, Banfield JF, Kelley WM. Medial prefrontal activity predicts memory for self. *Cerebral Cortex* 2004; 14: 647-654.
- Meador KJ, Loring DW, Feinberg TE, Lee GP, Nichols ME. Anosognosia and asomatognosia during intracarotid amobarbital inactivation. *Neurology* 2000; 55: 816-820.
- Miller BL, Seeley WW, Mychack P, Rosen HJ, Mena I, Boone K. Neuroanatomy of the self: Evidence from patients with frontotemporal dementia. *Neurology* 2001; 57: 817-821.

- Molnar-Szakacs I, Uddin LQ, Iacoboni M. Right-hemisphere motor facilitation by self-descriptive personality-trait words. *European Journal of Neuroscience* 2005; 21: 2000-2006.
- Nakamura K, Kawashima R, Sugiura M, Kato T, Nakamura A, Hatano K, Nagumo S, Kubota K, Fukuda H, Ito K, Kojima S. Neural substrates for recognition of familiar voices: A PET study. *Neuropsychologia* 2001; 39: 1047-1054.
- Paller KA, Ranganath C, Gonsalves B, LaBar KS, Parrish TB, Gitelman DR, Mesulam, M-M, Reber PJ. Neural correlates of person recognition. *Learning and Memory* 2003; 10: 253-260.
- Platek SM, Gallup GG. Self-face recognition is affected by schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research* 2002; 57: 81-85.
- Platek SM, Keenan JP, Gallup GG, Mohamed FB. Where am I? The neurological correlates of self and other. *Cognitive Brain Research* 2004; 19: 114-122.
- Platek SM, Loughhead JW, Gur RC, Busch S, Ruparel K, Phend N, Panyavin IS, Langleben DD. Neural substrates for functionally discriminating self-face from personally familiar faces. *Human Brain Mapping* 2006; 27: 91-98.
- Platek SM, Myers TE, Critton SR, Gallup GG. A left-hand advantage for self-description: The impact of schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research* 2003; 65: 147-151.
- Preilowski B. Self-recognition as a test of consciousness in left and right hemisphere of «split-brain» patients. *Activitas Nervosa Superior (Praha)* 1977; 19(suppl. 2): 343-344.
- Rosa C, Lassonde M, Pinard C, Keenan JP, Belin P. Investigations of hemispheric specialization of self-voice recognition. *Brain and Cognition* in press.

- Schmitz TW, Kawahara-Baccus TN, Johnson SC. Metacognitive evaluation, self-relevance, and the right prefrontal cortex. *NeuroImage* 2004; 22: 941-947.
- Shuster LI, Durrant JD. Towards a better understanding of self-produced speech. *Journal of Communication Disorders* 2003; 36: 1-11.
- Spangenberg KB, Wagner MT, Bachman DL. Neuropsychological analysis of a case of abrupt onset mirror sign following a hypotensive crisis in a patient with vascular dementia. *Neurocase* 1998; 4: 149-154.
- Sperry RW, Zaidel E, Zaidel D. Self recognition and social awareness in the disconnected minor hemisphere. *Neuropsychologia* 1979; 17: 153-166.
- Stuss DT, Alexander MP. Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research* 2000; 63: 289-298.
- Stuss DT, Anderson V. The frontal lobes and theory of mind: Developmental concepts from adult focal lesion research. *Brain and Cognition* 2004; 55: 69-83.
- Sugiura M, Kawashima R, Nakamura K, Okada K, Kato T, Nakamura A, Hatano K, Itoh K, Kojima S, Fukuda H. Passive and active recognition of one's own face. *NeuroImage* 2000; 11: 36-48.
- Sugiura M, Watanabe J, Maeda Y, Matsue Y, Fukuda H, Kawashima R. Cortical mechanisms of visual self-recognition. *NeuroImage* 2005; 24: 143-149.
- Théoret H, Kobayashi M, Merabet L, Wagner T, Tormos JM, Pascual-Leone A. Modulation of right motor cortex excitability without awareness following presentation of masked self-images. *Cognitive Brain Research* 2004; 20: 54-57.
- Turk DJ, Heatherton TF, Kelley WM, Funnel MG, Gazzaniga MS, Macrae CN. Mike or me? Self-recognition in a split-brain patient. *Nature Neuroscience* 2002; 5: 841-842.

- Uddin LQ, Kaplan JT, Molnar-Szakacs I, Zaidel E, Iacoboni M. Self-face recognition activates a frontoparietal «mirror» network in the right hemisphere: An event-related fMRI study. *NeuroImage* 2005; 25: 926-935.
- Uddin LQ, Rayman J, Zaidel E. Split-brain reveals separate but equal self-recognition in the two cerebral hemispheres. *Consciousness and Cognition* 2005; 14: 633-640.
- Van Dommelen WA. Acoustic parameters in human speaker recognition. *Language and Speech* 1990; 33: 259-272.
- Van Lancker DR, Canter GJ. Impairment of voice and face recognition in patients with hemispheric damage. *Brain and Cognition* 1982; 1: 185-195.
- Van Lancker DR, Cummings JL, Kreiman J, Dobkin BH. Phonagnosia: A dissociation between familiar and unfamiliar voices. *Cortex* 1988; 24: 195-209.
- Van Lancker D, Kreiman J. Voice discrimination and recognition are separate abilities. *Neuropsychologia* 1987; 25: 829-834.
- Van Lancker DR, Kreiman J, Cummings J. Voice perception deficits: Neuroanatomical correlates of phonagnosia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 1989; 11: 665-674.
- Van Lancker D, Kreiman J, Emmorey K. Familiar voice recognition: Patterns and parameters, Part I: Recognition of backward voices. *Journal of Phonetics* 1985; 13: 19-38.
- Wheeler MA, Stuss DT, Tulving E. Toward a theory of episodic memory: The frontal lobes and autonoetic consciousness. *Psychological Bulletin* 1997; 121: 331-354.

Chapitre 4

Discussion générale

Synthèse des études

L'objectif de notre série d'expérimentations était de déterminer la spécialisation hémisphérique de la reconnaissance de sa propre voix à l'aide de plusieurs études comportementales chez des participants sains et chez un patient callosotomisé. Notre hypothèse était que l'hémisphère droit (HD) serait plus impliqué que le gauche dans cette habileté, se traduisant par un avantage, en termes de vitesse, de biais de réponse et de précision, de la main gauche lorsque les participants entendraient leur propre voix en comparaison aux autres voix, soit familières, célèbres ou inconnues.

En ce qui concerne les études effectuées chez les participants sains, les résultats obtenus ne viennent que très partiellement confirmer notre hypothèse, puisqu'un avantage de la main gauche n'a été observé que dans la troisième expérimentation. Ainsi, dans une première étude, nous avons demandé aux participants d'identifier l'un de trois locuteurs entendus, soit soi, familial ou inconnu (sous présentation normale ou avec inversion temporelle), en répondant à l'aide de la main droite ou de la main gauche. Des différences en termes de précision et de vitesse entre les deux mains de réponses n'ont pas été constatées, et ce pour aucune des trois voix présentées. Par contre, un effet d'inversion temporelle a été observé pour les voix familières seulement et semblant affecter un peu plus la propre voix. De fait, les participants étaient moins précis dans leurs réponses pour le soi et la personne familière lorsque les stimuli étaient temporellement inversés, alors que la voix inconnue n'était pas affectée. Ils étaient également plus lents à répondre en inversion temporelle pour le soi que pour la personne familière, et ils étaient plus lents pour ces deux voix que pour la voix inconnue. Sous mode de présentation normale, il n'y avait pas de différences en termes de précision et de vitesse de réponse entre les trois voix. Ces résultats nous suggèrent que l'inversion

temporelle affecte fortement la reconnaissance des voix familières, alors qu'elle n'a pas d'impact sur l'habileté à discriminer entre des voix familières et inconnues. En effet, il nous semble que deux processus se produisent lors de la présente tâche. Le premier consiste à déterminer si la voix entendue est familière ou inconnue, ce qui permettrait, si c'est le cas, l'identification rapide de la voix étrangère. Si ce n'est pas le cas, le deuxième processus entrerait alors en jeu, c'est-à-dire l'identification de la voix familière comme «soi» ou «ami/collègue». Probablement que sous mode de présentation normale, la tâche étant plus facile, ces deux décisions se font extrêmement rapidement et aucune différence entre les trois voix n'est observée. De fait, il nous a semblé que les résultats de l'étude pouvaient avoir été biaisés par une performance plafond en raison de la facilité de la tâche (les moyennes des scores de précision en présentation normale se situaient bien au-dessus de 90% pour l'ensemble des voix). Par contre, sous inversion temporelle, la tâche devient plus difficile et la différence entre les deux processus peut être observée par une plus grande précision et des réponses plus rapides pour la voix inconnue en comparaison aux autres catégories de voix. Étant donné l'ensemble de ces résultats, une deuxième étude a été conçue, utilisant cette fois des stimuli morphés (combinaisons à différents degrés de deux voix), dans le but d'augmenter la difficulté de la tâche, et des voix familières seulement, afin d'éviter la confusion entre les deux processus présentés ci-haut.

Dans une deuxième étude, nous avons donc présenté aux participants des morphes (avec ou sans inversion temporelle) de leur propre voix avec celle d'une personne familière et ils devaient identifier le locuteur le plus probable à l'aide de leur main droite ou de leur main gauche. Les résultats de cette étude nous suggèrent d'abord que la tâche était effectivement plus difficile que la première, puisque les scores de

vitesse et de précision étaient plus faibles. Par contre des différences claires entre les deux mains de réponse n'ont pas été observées pour la propre voix, ni en terme de biais de réponse, ni en termes de précision ou de vitesse. Ainsi, des différences inconsistantes ont été constatées pour les biais de réponse, tantôt favorisant l'HD, tantôt l'hémisphère gauche (HG) pour le soi. En ce qui concerne une deuxième analyse utilisant des catégories de morphes pour représenter le soi et la personne familière, aucune différence n'a été observée entre les mains de réponse en terme de précision. Enfin, des différences entre les mains de réponse n'ont pas été obtenues en terme de vitesse, et ce pour les deux types d'analyses. Un impact de l'inversion temporelle a de nouveau pu être observé, de telle sorte que les réponses des participants étaient moins précises et moins rapides pour l'ensemble des stimuli inversés en comparaison à la présentation normale. En regard des résultats obtenus, nous avons entrepris une 3^e étude, avec plus de contrôle pour la familiarité des stimuli et un paradigme permettant une meilleure mesure du seuil de reconnaissance de soi, puisque la voix familière et la propre voix étaient entendues séparément et en présentation continue. De plus, ce paradigme était sensible à des variations du biais de reconnaissance des voix et n'était pas dépendant des temps de réaction comme mesure des différences entre soi et une personne familière. Ainsi, les effets obtenus ne peuvent être attribués à de simples différences motrices entre les deux hémisphères.

Dans notre troisième expérimentation, nous avons donc présenté aux participants des continuums de stimuli morphés (avec ou sans inversion temporelle) entre leur propre voix ou une voix familière et des voix célèbres. Dans une première condition, la présentation débutait soit avec leur propre voix ou la voix familière et se transformait progressivement en l'une de deux voix célèbres et les participants devaient arrêter la

présentation avec la main droite ou la main gauche lorsque la voix devenait plus célèbre que soi/familière. Dans une deuxième condition, la présentation débutait avec l'une de deux voix célèbres et se transformait progressivement en la propre voix ou la voix familière et les participants devaient arrêter la présentation avec la main droite ou la main gauche lorsque la voix devenait plus soi/familière que célèbre. Sous la première condition, des différences entre les mains de réponse n'ont pas été constatées, et ce pour aucune des deux voix. Par contre, sous la deuxième condition, nous avons observé que la main gauche (HD) nécessitait un plus petit pourcentage de la propre voix afin de se reconnaître que la main droite, suggérant que l'HD montrait une tendance plus prononcée que le gauche à identifier le soi dans les stimuli morphés, sous présentation normale et avec inversion temporelle. Cette différence inter-hémisphérique n'était pas observée pour la voix familière. Donc, l'avantage de l'HD était spécifique à la discrimination entre sa propre voix et des voix célèbres. Ces résultats viennent partiellement confirmer notre hypothèse. Enfin, un effet d'inversion temporelle a encore une fois été observé, de telle sorte qu'un plus grand pourcentage de toutes les voix cibles (soi, familier ou célèbre selon la condition) était nécessaire afin de les identifier.

En ce qui concerne les études effectuées chez le patient callosotomisé, les résultats obtenus viennent entièrement confirmer nos hypothèses de recherche. Ainsi, dans une première étude, nous avons demandé au patient d'identifier l'un de trois locuteurs entendus (présentés simultanément aux deux hémisphères), soit soi, familier ou inconnu (avec ou sans inversion temporelle), en répondant à l'aide de la main droite ou de la main gauche. Les résultats montrent que le patient identifiait de façon plus précise sa propre voix avec la main gauche (HD) qu'avec la main droite. Des différences

entre les mains de réponse n'ont pas été constatées pour les autres voix, suggérant que l'avantage de l'HD était spécifique au soi. De plus, le patient montrait une tendance plus prononcée à répondre soi avec la main gauche. Comme cette tendance n'était pas observée pour la main droite et qu'il n'y avait pas de différence en terme de biais de réponse lorsque les deux mains étaient comparées directement, ceci nous suggère que le patient ne répondait pas «soi» tout le temps, mais plutôt que l'HD était plus porté à percevoir le soi dans les stimuli entendus. Enfin, des différences entre les mains de réponse n'ont pas été observées pour la reconnaissance de soi dans les analyses de vitesse de réponse et un effet d'inversion temporelle n'a pas été obtenu.

Dans une deuxième étude, nous avons présenté au patient en binaural et en monaural des morphes de sa propre voix avec celle d'une personne familière et il devait identifier le locuteur le plus probable à l'aide de sa main droite ou de sa main gauche. Les résultats montrent que le patient était plus précis avec la main gauche que la main droite pour l'identification de sa propre voix. Cette différence n'était pas observée pour les morphes composés d'une majorité de la voix familière. De plus, le patient montrait une tendance à répondre soi plus fréquemment avec la main gauche que la main droite sous présentation monaurale, révélant un biais de l'HD à percevoir le soi dans les stimuli morphés. Enfin, le patient répondait plus rapidement à sa propre voix qu'à la voix familière avec la main gauche, alors qu'il n'y avait pas de différence pour la main droite. Ces résultats nous suggèrent que, non seulement l'HD montre un avantage pour la reconnaissance de soi, mais il est également le seul à différencier entre les deux catégories de voix.

De façon générale, les résultats de ces deux études suggèrent fortement que, chez le patient callosotomisé M.L., l'HD était plus sensible que le gauche pour la

reconnaissance de sa propre voix, sous présentation normale et avec inversion temporelle. Comme des différences inter-hémisphériques n'ont pas été observées pour une voix familière ou une voix inconnue, l'avantage obtenu ne peut être attribué à une implication du processus général de traitement de la voix ou à un effet de familiarité de sa propre voix. Bien que ces données ne puissent être interprétées comme des évidences directes que l'HD est nécessaire ou spécialisé pour la reconnaissance de soi, elles suggèrent du moins qu'il est plus sensible que le gauche.

Implications de nos résultats

Dans l'ensemble, les résultats de nos études, bien qu'ils soient moins concluants chez les participants sains, confirment l'hypothèse d'une spécialisation hémisphérique droite de la reconnaissance de sa propre voix et sont congruents avec les données obtenues par deux études antérieures d'imagerie cérébrale investiguant cette question (Keenan, Gallup, & Falk, 2003a; Nakamura et al., 2001). En effet, ces deux groupes de chercheurs ont observé des activations frontales droites lorsque la reconnaissance de sa propre voix était comparée à celle de voix familières. De plus, nos résultats sont semblables à ceux obtenus par des études similaires à la nôtre, mais dans d'autres modalités. Ainsi, dans une étude chez des participants sains analogue à notre 3^e paradigme, Keenan, Freund, Hamilton, Ganis, & Pascual-Leone (2000) ont constaté un avantage de la main gauche (HD) par rapport à la main droite (HG) pour la reconnaissance de son propre visage lorsque des participants visionnaient des films de stimuli morphés comprenant leur propre visage et un visage célèbre. Cette différence inter-hémisphérique n'était pas observée lorsque les participants visionnaient un film de morphes composés de visages familiers et de visages célèbres. Chez le patient

callosotomisé M.L., Keenan, Wheeler, Platek, Lardi, & Lassonde (2003b) ont aussi constaté une sensibilité plus importante de l'HD (main gauche) par rapport à l'HG pour la perception de son propre visage dans une série de morphes en comparaison à un visage familier. D'autres études chez des patients commissurotomisés ou callosotomisés confirment également une implication de cet hémisphère dans la reconnaissance de soi (Preilowski, 1977; Sperry, Zaidel, & Zaidel, 1979; mais voir Turk et al., 2002; Uddin, Rayman, & Zaidel, 2005b pour des évidences contraires).

La démonstration d'une spécialisation hémisphérique droite de la reconnaissance de soi dans une autre modalité ajoute à la littérature déjà existante démontrant un avantage de l'HD par rapport à l'HG pour la reconnaissance de son propre visage (e.g. Keenan et al., 2000; Platek, Keenan, Gallup, & Mohamed, 2004a; Théoret et al., 2004), de son propre corps (e.g. Andelman, Zuckerman-Feldhay, Hoffien, Fried, & Neufeld, 2004; Meador, Loring, Feinberg, Lee, & Nichols, 2000; Spangenberg, Wagner, & Bachman, 1998) et de soi en tant qu'agent de ses actions (e.g. Chaminade & Decety, 2002; Decety, Chaminade, Grèzes, & Meltzoff, 2002). Elle est également congruente avec le reste de la littérature démontrant majoritairement une implication de l'HD dans le traitement d'autres stimuli reliés à soi, notamment les traits de personnalité (e.g. Fossati et al., 2004; Platek, Myers, Critton, & Gallup, 2003; Schmitz, Kawahara-Baccus, & Johnson, 2004) et les souvenirs autobiographiques (e.g. Fink et al., 1996; Greenberg et al., 2005; Markowitsch et al., 2000). Ceci nous amène à penser que pourrait résider dans l'HD une représentation d'un concept multimodal de soi, comprenant des composantes auditives, visuelles, motrices, épisodiques et évaluatives. Cette hypothèse est appuyée par des données récentes montrant une implication des mêmes régions de

l'HD dans différentes modalités du soi (Devue et al., 2007; Platek, Thomson, & Gallup, 2004b).

Bien que plusieurs évidences suggèrent une implication de l'HD dans le traitement du soi, on remarque une grande variabilité dans les résultats des études antérieures, ce qui a entraîné une certaine controverse quant à la localisation cérébrale de la conscience de soi. Ainsi, certains auteurs proposent que c'est l'HG qui est responsable de la conscience de soi en raison de sa supériorité pour les fonctions langagières, le langage intériorisé et l'introspection, ce qui lui permet d'interpréter l'information et de former une compréhension intégrée (e.g. Cooney & Gazzaniga, 2003; Gazzaniga, 2005; Morin, 2002; Morin & Michaud, 2007; Turk, Heatherton, Macrae, Kelley, & Gazzaniga, 2003). Les résultats de quelques études ayant observé un avantage de l'HG pour la reconnaissance de son propre visage ou le jugement de traits de personnalité reliés à soi (Brady, Campbell, & Flaherty, 2004; Kircher et al., 2000; Turk et al., 2002) semblent vouloir appuyer cette hypothèse. Par contre, une majorité d'études n'ont pas démontré une implication plus importante de l'HG pour le soi, ce qui remet cette théorie en question. De plus, ce modèle ne permet pas d'expliquer les phénomènes de perte de conscience du soi physique, tels que l'anosognosie et le «signe du miroir», qui surviennent majoritairement suite à des lésions de l'HD.

D'autre part, Schmitz et Johnson (2007) suggèrent que les structures cérébrales médianes seraient responsables de la détection des stimuli reliés à soi et de l'introspection (voir aussi Northoff et al., 2006). Malheureusement, bien qu'un bon nombre d'études aient observé des activations médianes pour le jugement de traits de personnalité (Gusnard, Akbudak, Shulman, & Raichle, 2001; Heatherton et al., 2006;

Johnson et al., 2002; Kelley et al., 2002; Kjaer, Nowak, & Lou, 2002; Macrae, Moran, Heatherton, Banfield, & Kelley, 2004), cette théorie ne permet pas d'expliquer les résultats obtenus pour les autres types de référents au soi (voix, visages, corps, agence et souvenirs).

Kircher et collaborateurs (2000; 2001) sont plutôt d'avis qu'un large réseau neuronal serait responsable du traitement des stimuli reliés à soi, suggérant même que le traitement du soi est effectué dans différentes régions cérébrales selon le type et la modalité des informations qui sont présentées (Kircher et al., 2002). Les résultats de leurs études (Kircher et al., 2002; Kircher et al., 2000; Kircher et al., 2001) et de celles d'autres auteurs ayant observé des activations plus bilatérales pour le traitement du soi (e.g. Johnson et al., 2002; Kjaer et al., 2002; Sugiura et al., 2000) paraissent appuyer leur modèle. De plus, cette hypothèse permettrait d'expliquer les résultats contradictoires observés dans l'ensemble de la littérature. Cependant, ces différences pourraient s'expliquer par d'autres facteurs. Par exemple, la majorité des études ayant observé des activations bilatérales ont utilisé l'imagerie cérébrale (IRMf ou TEP) qui ne permet pas de distinguer entre les structures qui sont nécessaires pour le traitement du soi et celles qui ne le sont pas (liens corrélacionnels). De plus, plusieurs de ces études n'utilisaient pas de contrôles adéquats pour la familiarité des stimuli. Ainsi, Kircher et collaborateurs (Kircher et al., 2000; Kircher et al., 2001) ont présenté des partenaires du sexe opposé comme contrôles, entraînant possiblement un biais émotionnel et de genre dans le traitement cérébral. D'autres auteurs (e.g. Kelley et al., 2002; Kjaer et al., 2002) ont utilisé seulement des voix célèbres en guise de contrôle pour la familiarité des stimuli, ou encore, pas de contrôle du tout (e.g. Johnson et al., 2002; Macrae et al., 2004; Sugiura et al., 2000). Ceci est problématique car, le soi étant nécessairement un stimulus

hautement familier, les activations cérébrales peuvent avoir été biaisées par ce facteur. Enfin, certains auteurs (notamment Kircher et al., 2001) ont fait subir une inversion aux visages des participants pour qu'ils soit perçus tel que dans un miroir, alors que, dans la majorité des études, les visages étaient présentés naturellement. Il est difficile de savoir quel impact cette inversion a pu avoir sur les activations cérébrales.

Dans l'ensemble, il demeure encore difficile de déterminer quelles sont les structures nécessaires pour le traitement du soi en examinant les évidences contradictoires de la littérature. Cependant, plusieurs différences méthodologiques et conceptuelles (voir aussi Gillihan & Farah, 2005; Keenan et al., 2003a; Platek et al., 2006; Uddin, Kaplan, Molnar-Szakacs, Zaidel, & Iacoboni, 2005a pour une discussion de ces questions) peuvent expliquer ces résultats. Par conséquent, une uniformisation des paradigmes et des contrôles utilisés sera nécessaire dans l'avenir afin de pouvoir comparer les données des différents groupes de recherche. Notre étude, utilisant plusieurs contrôles pour la familiarité des stimuli et investiguant un patient callosotomisé, tend à démontrer, dans une nouvelle modalité, que l'HD est supérieur au gauche pour la reconnaissance de soi, et ce même pour des stimuli inversés qui sont non-familiers. Quant à connaître les processus cognitifs et les mécanismes cérébraux qui sous-tendent cette implication de l'HD dans le soi, c'est ce que nous allons tenter de discuter au cours des prochains paragraphes.

Processus cognitifs et mécanismes neuronaux sous-jacents

Plusieurs hypothèses ont été émises quant aux processus cognitifs et mécanismes neuronaux qui expliqueraient pourquoi l'HD serait supérieur au gauche pour le traitement du soi. De façon générale, un bon nombre d'auteurs font des propositions en

lien avec des fonctions cérébrales déjà bien documentées au sein de différentes régions de cet hémisphère. Par exemple, Devinsky (2000) suggère que l'HD jouerait un rôle dans la conscience du soi physique et émotionnel en raison de son implication dans la gestion des processus attentionnels, des fonctions visuo-spatiales, des schémas corporels, des émotions, des fonctions sociales et de la relation avec l'environnement. Un autre groupe de chercheurs (Sugiura et al., 2006; Sugiura et al., 2005) propose plutôt que la conscience de soi dans l'HD est reliée aux fonctions d'un réseau qui effectue le traitement des contingences entre la proprioception de nos actions et la perception visuelle du mouvement. Ce réseau permettrait, par exemple, d'identifier l'agent (interne ou externe) de l'action et amènerait le développement d'une conscience de soi. Ce groupe d'auteurs (Sugiura et al., 2006) avance également que les régions postérieures droites (incluant les jonctions occipito-pariétale, occipito-temporo-pariétale et occipito-temporale) permettraient une représentation visuo-spatiale du soi, alors que le cortex frontal droit, en raison de son aspect amodal ou multimodal, permettrait une représentation conceptuelle du soi et jouerait un rôle dans la différenciation entre soi et autrui. De façon similaire, Vogele et collaborateurs (2001) argumentent que le rôle de la jonction temporo-pariétale droite dans le soi pourrait être sa représentation corporelle, alors que l'activation de régions motrices permettrait la planification et la préparation de nos actions. Une autre proposition intéressante est celle de Wheeler, Stuss et Tulving (1997) qui suggèrent un lien entre la mémoire épisodique, la conscience autoéotique (capacité à se représenter mentalement et à devenir conscient de sa propre expérience subjective dans le passé, le présent et le futur), la conscience de soi et les régions préfrontales, surtout à droite (voir aussi Markowitsch, 2003). Ainsi, dans les régions préfrontales droites, le soi fournirait une structure organisationnelle permettant de

former les souvenirs autobiographiques en intégrant les événements et expériences vécus avec leurs émotions associées et en reliant le tout avec des plans et des attentes pour le futur, constituant ainsi le fondement de la conscience auto-noétique.

Une théorie très populaire est celle qui suggère un lien entre la conscience de soi et les habiletés d'interactions sociales telle que l'empathie, la théorie de l'esprit et l'inférence d'états mentaux chez autrui. Ainsi, c'est Gallup (1982) qui a d'abord proposé que les habiletés de conscience de soi sont à la base de la capacité à se former une théorie de l'esprit. Selon cet auteur, l'habileté à inférer des états d'esprit chez autrui se construit à partir de la connaissance et la conscience de nos propres états mentaux. Donc, lorsqu'un organisme est conscient de lui-même, il peut « utiliser son expérience pour inférer l'existence d'expériences comparables chez les autres » (Gallup, Anderson, & Platek, 2003). Afin d'étayer cette théorie, Gallup expose le lien qui existe entre le développement de ces deux compétences chez l'enfant et suggère qu'elles sont soutenues par des régions similaires du cerveau, i.e. le cortex frontal droit (Gallup et al., 2003). Plusieurs auteurs proposent et discutent d'hypothèses similaires à celle de Gallup (1982). Ainsi, Platek et collaborateurs (2006) avancent que les habiletés reliées au soi mobilisent également les mécanismes neuronaux reliés aux cognitions sociales (telles que la théorie de l'esprit), ce qui pourrait impliquer certaines parties du système des neurones miroirs. En fait, la théorie de l'esprit serait dépendante de la présence de la capacité à être conscient de soi-même. Les résultats d'une des études de ce groupe (Platek et al., 2004a) montrent d'ailleurs que les activations corticales pour une tâche de reconnaissance de son propre visage et celles observées pour une tâche d'attribution d'états mentaux chez autrui se recoupaient, suggérant que ces deux processus sont effectués dans des régions similaires du cortex, au niveau des lobes frontaux droits.

Toujours selon ces auteurs (Platek et al., 2006), dans l'HD, le lobe pariétal permettrait une conscience de son propre corps, alors que le lobe frontal permettrait de discriminer entre soi et autrui. Uddin et collaborateurs (Uddin et al., 2005a; Uddin, Molnar-Szakacs, Zaidel, & Iacoboni, 2006) proposent également un lien avec le système des neurones miroirs. Selon eux, un système servant à représenter le soi serait localisé dans l'HD et l'une de ses manifestations serait l'habileté à reconnaître son propre visage. Ce système aurait deux rôles: 1) « utiliser le réseau fronto-pariétal des neurones miroirs afin de permettre les habiletés de cognitions sociales (ex: communication et intersubjectivité) en établissant les représentations partagées entre soi et autrui »; 2) toujours à l'aide du système de neurones miroirs, permettre la « distinction entre les représentations du soi et d'autrui, critique afin de maintenir un sens d'unité et d'agence individuel » (Uddin et al., 2006). De façon similaire, certains auteurs (Decety & Chaminade, 2003; Decety & Sommerville, 2003) avancent que la conscience de soi (sentiment de possession et conscience d'être l'agent de ses actions, pensées et désirs) ainsi que l'habileté à s'identifier et à se distinguer d'autrui permettent les capacités d'interactions sociales, incluant l'inférence d'états mentaux chez les autres. Le système de neurones miroirs permettant des représentations partagées entre soi et autrui au niveau du cortex préfrontal et pariétal inférieur droit serait particulièrement impliqué dans ces habiletés. Enfin, Stuss et collaborateurs (Stuss & Alexander, 2000; Stuss & Anderson, 2004) proposent un modèle des fonctions frontales dont le plus haut niveau correspond aux habiletés de conscience de soi, pour lesquelles l'HD serait plus impliqué que le gauche. Cette conscience de soi dépendrait selon eux de:

«la convergence des états affectifs personnels, de la connaissance abstraite des sentiments d'autrui ou de soi-même dans des situations hypothétiques (théorie de l'esprit) et de la récupération de souvenirs d'expériences personnelles (conscience autoéotique) qui se produisent dans le lobe frontal droit. (Stuss & Alexander, 2000; p.296)»

À l'appui de leur hypothèse, ce groupe de chercheur a montré dans l'une de leurs études (Stuss, Gallup, & Alexander, 2001) la présence de déficits dans les habiletés à représenter la perception d'autrui basé sur sa propre expérience chez des patients avec lésions frontales droites.

Le modèle reliant ensemble les habiletés de conscience de soi et de théorie de l'esprit comporte certaines implications qui peuvent être testées empiriquement. Ainsi, lorsque des patients présentent un déficit de la conscience de soi, tel que mesuré par la reconnaissance de soi, on devrait pouvoir observer également un déficit de la capacité à inférer les états mentaux d'autrui; et vice versa (Gallup & Platek, 2002). Dans leur revue de littérature, Gallup et collaborateurs (2003) démontrent par exemple que les patients schizophrènes présentent des déficits de perception de soi et de théorie de l'esprit, reliés à une dysfonction des lobes frontaux. Les résultats des études de Platek et collaborateurs (Platek & Gallup, 2002; Platek et al., 2003) semblent également confirmer ces implications puisqu'ils ont observé que, chez les participants présentant des traits schizophréniques (qui sont connus pour avoir des déficits de théorie de l'esprit), l'avantage de l'HD pour la reconnaissance de son propre visage et pour le traitement d'adjectifs qualifiant le soi avait disparu. Ces données suggèrent un dysfonctionnement

des régions droites impliquées à la fois dans l'inférence d'états mentaux chez autrui et dans la conscience de soi.

Récemment, Uddin, Iacoboni, Lange, & Keenan (2007) ont proposé une théorie intéressante qui tente de prendre en compte l'ensemble des résultats observés dans la littérature. Ce modèle distingue entre les aspects physiques du soi et les aspects conceptuels. Ainsi, le réseau fronto-pariétal droit, également impliqué dans le système des neurones miroirs, servirait à représenter les aspects physiques du soi et des autres (incluant par exemple les visages, les voix et les actions); alors que les structures corticales médianes permettraient de représenter les aspects sociaux (incluant l'habileté à comprendre les états mentaux d'autrui), psychologiques (comprenant nos propres états mentaux) et évaluatifs (incluant les jugements de traits de personnalité) du soi. Encore une fois, on peut constater que des régions similaires sont suggérées pour le traitement du soi et d'autrui. D'autres auteurs semblent également partager ce point de vue d'une implication de régions plus distribuées dans le cerveau pour le soi, avec un rôle particulier de l'HD (Platek et al., 2006).

Théories évolutionnistes du soi

Une question intéressante peut être soulevée au sujet de la conscience de soi: Quel est l'avantage de cette habileté et pourquoi celle-ci serait-elle spécialisée dans certaines régions particulières du cerveau? Quelques auteurs ont tenté de répondre à cette question en proposant un avantage évolutif de la conscience de soi et de son lien avec les habiletés de théorie de l'esprit. Par exemple, Kircher et collaborateurs (2002) proposent qu'un réseau neuronal dédié au soi pourrait s'être développé en réponse à un besoin biologique de distinguer entre soi et autrui, ou bien en raison de la haute importance

subjective du soi. Selon Keenan, Gallup et Falk (2003a), la conscience de soi serait bénéfique puisqu'elle permet de considérer le passé et le futur, ce qui nous rend plus adeptes à planifier pour l'avenir et nous permet de nous adapter plus efficacement et plus rapidement à notre environnement. Par ailleurs, la conscience de soi permettrait le développement des compétences d'interaction sociale et de théorie de l'esprit, incluant des habiletés comme l'empathie, le mensonge et la détection du mensonge (voir aussi Platek & Levin, 2005). Ces capacités entraînent un avantage important sur le plan de l'adaptation à l'environnement et de la reproduction. Par exemple, l'empathie permet de créer des liens avec les autres et de s'insérer dans un groupe, ce qui augmente les chances de survie de l'individu. Le mensonge, quant à lui, pourrait permettre à un individu de cacher de la nourriture des autres membres du groupe et d'encore une fois augmenter ses chances de survie. On peut penser qu'étant donné cet avantage évolutif de la relation entre la conscience de soi et la théorie de l'esprit, ces deux habiletés se seraient développées dans des régions corticales similaires, notamment au niveau fronto-pariétal droit. Les résultats de certaines études montrant un lien entre la reconnaissance de soi, le mensonge et l'HD (Barnacz, Johnson, Constantino, & Keenan, 2004; Malcolm & Keenan, 2003) semblent appuyer cette théorie. Enfin, certains auteurs (Platek, Keenan, & Mohamed, 2005) proposent que la reconnaissance de soi pourrait être reliée à une autre habileté: l'identification des ressemblances faciales par rapport à soi-même. Ainsi, les résultats de leur étude montrent que des structures de l'HD similaires à celles observées dans les études de reconnaissance de soi (Keenan, Nelson, O'Connor, & Pascual-Leone, 2001; Platek et al., 2004a) étaient activées pour la détection de ressemblances faciales par rapport à soi-même, et ce de façon plus importante chez les hommes. Compte tenu de ces données, les auteurs suggèrent que les hommes utilisent

des processus reliés au soi lorsqu'ils voient des visages d'enfants afin de déterminer s'ils leur ressemblent. Cette habileté entraînerait un avantage évolutif chez les hommes qui pourraient ainsi détecter les enfants qui sont de leur descendance et dédier plus de ressources à leur éducation, en comparaison aux enfants qui sont d'une autre descendance.

Inversion temporelle

Un résultat intéressant de notre série d'études est l'effet d'inversion temporelle qui a été observé chez les participants sains et affectant surtout la reconnaissance des voix familières. Ainsi, dans notre première expérimentation, l'inversion temporelle diminuait la précision des réponses de 18,8% pour le soi et de 18,7% pour la voix familière, alors qu'il n'y avait pas d'impact pour la voix inconnue. La précision des réponses demeurait tout de même au-dessus de la chance (33,3%). De plus, on observait un ralentissement des temps de réponse de 152,7 ms pour le soi et de 146,4 ms pour la voix familière, alors que pour la voix inconnue, la vitesse de réponse augmentait de 53,2 ms. Dans nos deux autres expérimentations, la reconnaissance des deux voix familières était également diminuée par l'inversion temporelle. Un tel impact n'a pas été observé chez le patient callosotomisé. Par contre, l'effet de cette variable n'a pas été aussi systématiquement testé chez ce patient. De plus, en regard de la grande variabilité individuelle que nous avons observée chez les normaux, on peut spéculer que l'effet d'inversion temporelle qui a été mesuré est un effet de groupe et non un effet purement individuel. Par exemple, certains participants sains pouvaient avoir des différences allant de 20 à 45% entre les stimuli normaux et les stimuli inversés, alors que pour d'autres,

cette différence était de l'ordre de 1%. Il est donc possible que cet effet n'ait pu se manifester chez le seul patient callosotomisé, évalué dans une seule étude.

Nos résultats pour les voix familières sont similaires à ceux observés par Van Lancker, Kreiman et Emmorey (1985a). En effet, ces auteurs avaient observé une diminution de la précision pour la reconnaissance des voix célèbres d'environ 12%, mais demeurant au-dessus de la chance. Selon ces auteurs, l'inversion temporelle a un impact sur différentes composantes de la voix: 1) l'information phonétique et articulatoire liée

aux consonnes et aux diphtongues; 2) la structure et la forme des syllabes; 3) d'autres informations temporelles et séquentielles, telles que le début et la fin des syllabes, ainsi que les pauses. Par contre, l'inversion n'affecterait pas la fréquence fondamentale, le spectre fréquentiel, le contour et le timbre, ce qui explique pourquoi les voix familières peuvent quand même être bien reconnues. Il est intéressant que, dans nos études avec des voix hautement familières (soi et ami/collègue), l'inversion temporelle semble avoir eu un impact plus grand sur la tâche de reconnaissance (diminution moyenne de la précision de 18%) que dans l'étude de Van Lancker et collaborateurs (1985a), qui ont présenté des voix célèbres entendues moins fréquemment (diminution moyenne de la précision de 12%). On peut donc émettre l'hypothèse que plus une voix est familière et entendue fréquemment et plus sa reconnaissance sera affectée par l'inversion temporelle.

Récemment, d'autres auteurs (Bédard & Belin, 2004) se sont intéressés aux effets de l'inversion sur le traitement des voix. Dans cette étude, l'inversion temporelle avait peu ou pas d'impact sur une tâche d'identification du genre et une tâche de discrimination de voix inconnues. Ces résultats sont similaires à ce que nous avons observé, c'est-à-dire que l'inversion temporelle n'avait pas d'impact sur la reconnaissance de la voix étrangère. Ces données nous amènent à conclure que ces deux processus (reconnaissance de voix familières vs. identification ou discrimination de voix inconnues) sont distincts (voir aussi Van Lancker & Kreiman, 1987) et qu'ils sont probablement effectués dans des régions différentes du cortex cérébral, puisqu'ils sont différenciellement affectés par l'inversion temporelle. Les résultats d'une étude récente (Von Kriegstein & Giraud, 2004) démontrant que des régions différentes du sulcus temporal supérieur droit sont activées selon la catégorie de voix à reconnaître (familier vs. inconnu) semblent confirmer cette hypothèse. De plus, les données obtenues par

certain auteurs (Wang, Merzenich, Beitel, & Schreiner, 1995) montrent que des populations de neurones du cortex auditif primaire seraient spécialisées dans la reconnaissance de vocalisations naturelles des membres de notre espèce en comparaison à des vocalisations inversées temporellement. Cette préférence n'a pas été observée lorsque des vocalisations de membres d'une autre espèce sont entendues (Wang & Kadia, 2001), suggérant que cette différenciation pourrait être fonction de la familiarité.

Limites de nos études et propositions futures

Bien que les données que nous avons obtenues chez le patient callosotomisé et dans notre troisième expérimentation chez des participants sains semblent confirmer notre hypothèse d'un avantage de l'HD sur l'HG pour la reconnaissance de soi, il n'en demeure pas moins que les résultats de la présente série d'étude n'ont pas été entièrement homogènes. Nous avons déjà discuté de quelques problématiques telles que la facilité de certaines tâches, les différents paradigmes utilisés et la nature des contrôles pour la familiarité. Dans les prochains paragraphes, nous aborderons d'autres limites de nos études, dans le but de comprendre davantage cette variation dans nos résultats.

D'abord, l'utilisation des différences manuelles comme indicateur de la spécialisation hémisphérique est complexe puisque des processus autres que le contrôle hémisphérique peuvent influencer les temps de réaction (par exemple la vigilance et la pratique; voir Voyer, 1995) et biaiser les résultats. Cependant, des études antérieures (e.g. Hodges, Lyons, Cockell, Reed, & Elliott, 1997; Keenan et al., 1999; Weems & Zaidel, 2005) ont démontré avec succès que lorsque les participants répondent à des stimuli pour lesquels le traitement hémisphérique est fortement latéralisé, ceci peut se traduire en des réponses plus rapides et plus précises dans la main controlatérale. Donc,

si la reconnaissance de soi est un processus fortement latéralisé dans l'HD, un avantage de la main gauche devrait être observé et c'est ce qui s'est produit chez le patient callosotomisé et dans notre troisième expérimentation chez des participants sains n'utilisant pas les temps de réaction comme mesure de la dominance inter-hémisphérique. Si la reconnaissance de soi était un processus bilatéralisé, aucun avantage de main n'aurait dû être observé, et ce pour aucune de nos études. Enfin, si la reconnaissance de soi était un processus fortement latéralisé dans l'HG, un avantage de la main droite aurait dû être observé pour la majorité de nos études. Nos données ne correspondent pas à ces deux hypothèses alternatives. En fait, comme la mesure des différences manuelles est une méthode grossière de la spécialisation hémisphérique (voir Weems & Zaidel, 2005 pour une discussion), l'avantage de la main gauche (HD) que nous avons observé pour la reconnaissance de soi est d'autant plus impressionnant.

Tel que nous l'avons mentionné précédemment, la voix que nous entendons au quotidien n'est pas identique à ce que nous entendons suite à un enregistrement en raison de la conduction osseuse (voir Tonndorf, 1972 et l'introduction de la présente thèse). Notre série d'expérimentations et des études antérieures (e.g. Nakamura et al., 2001; Schmidt-Nielsen & Stern, 1985; Van Dommelen, 1990) semblent suggérer que la propre voix enregistrée des participants est généralement bien reconnue. De plus, les participants pouvaient se baser sur d'autres caractéristiques de leur propre voix, non affectées par l'enregistrement, afin de la reconnaître (ex: prononciation, aspects temporels, prosodie, etc.). Néanmoins, on peut tout de même se demander si la présentation de la propre voix enregistrée a eu un impact sur le traitement cérébral. De fait, la voix entendue est alors à la fois familière et non-familière (Schmidt-Nielsen & Stern, 1985) et, bien que cela puisse en faire le stimulus idéal pour l'étude du soi

(Keenan et al., 2003a), l'impact sur les processus cérébraux est inconnu. Récemment, Shuster & Durrant (2003) ont développé une technique de filtrage qui permettrait de présenter la propre voix de manière à ce qu'elle corresponde mieux à ce que nous entendons normalement (emphasis sur les basses fréquences). Leur tentative semble avoir eu du succès puisque toutes les voix, filtrées ou non, étaient efficacement reconnues comme « soi » dans leur étude. Il pourrait être intéressant dans des études futures d'inclure à la fois la voix enregistrée et la voix filtrée afin de déterminer l'impact de cette variable sur le traitement cognitif et la spécialisation hémisphérique.

Une autre limitation de notre étude est que le genre des participants n'a pas été contrebalancé, avec une prédominance féminine dans l'ensemble de nos études chez les participants sains. Nous n'avions pas d'hypothèse a priori concernant le genre et nous n'avons donc pas contrôlé pour ce facteur. Nous avons par contre pour hypothèse que le fait d'entendre une voix du sexe opposé pourrait avoir un impact sur le traitement cérébral (en ajoutant une composante émotionnelle par exemple) et c'est pourquoi nous avons contrôlé pour cette variable. Malgré le fait que certaines études suggèrent que les hommes et les femmes peuvent être sensibles à des indices différents du stimulus vocal (Hunter, Phang, Lee, & Woodruff, 2005; Wilding & Cook, 2000), d'autres auteurs n'ont pas observé de différences de genre dans la reconnaissance de voix familières (e.g. Lattner, Meyer, & Friederici, 2005; Van Lancker et al., 1985a; Yarmey, Yarmey, Yarmey, & Parliament, 2001) et il a été démontré que les voix des hommes et des femmes sont toutes traitées dans des régions de l'HD (Lattner et al., 2005). Enfin, un effet de genre n'a pas été observé dans une étude comportementale de reconnaissance de son propre visage (Platek et al., 2004b). Malgré tout, le fait bien connu que les femmes présentent une latéralisation fonctionnelle moins prononcée que les hommes, bien que

cet effet a été évalué comme étant très faible (expliquant de 0,09 à 1% de la variance; Boles, 2005; Hiscock, Inch, Jacek, Hiscock-Kalil, & Kalil, 1994; Hiscock, Israelian, Inch, Jacek, & Hiscock-Kalil, 1995), pourrait avoir rendu plus difficile l'évaluation d'un processus latéralisé à l'aide d'une méthode comportementale chez un petit nombre de participants sains. Il serait pertinent dans le futur de contrôler pour ce facteur ou d'en déterminer l'influence sur les processus cognitifs à l'étude (reconnaissance de la voix et traitement du soi).

On peut également se demander si la valence émotionnelle de la réaction aux voix familières (valence positive) ou à sa propre voix (valence positive ou négative?) pourrait avoir eu un impact sur la latéralisation des réponses. Cependant, la littérature portant sur la latéralisation hémisphérique de la valence émotionnelle n'est pas claire. Par exemple, certains auteurs suggèrent une implication de l'HG pour le traitement des émotions faciales positives et de l'HD pour les émotions faciales négatives (Davidson, 1992; Tucker, 1981). Selon ces données et si la valence émotionnelle avait effectivement affecté nos résultats, nous aurions dû observer un avantage de la main droite (HG) pour les voix familières étant donné leur valence positive, ce qui n'a pas été le cas. Par ailleurs, dans la modalité auditive, des études récentes démontrent une implication de l'HD dans le traitement de la prosodie émotionnelle, et ce peu importe la valence (Rodway & Schepman, 2007; Rymarczyk & Grabowska, 2007). De plus, il a été observé que l'utilisation de stimuli morphés diminue le traitement émotionnel, ce qui élimine l'impact sur la latéralisation hémisphérique (Rodway & Schepman, 2007). Compte tenu de ces évidences et du fait qu'un avantage de l'HD a été observé pour des stimuli non-émotionnels (ex: perception de soi en tant qu'agent; Chaminade & Decety, 2002; Decety et al., 2002), nous sommes d'avis que cette variable ne peut avoir eu qu'une influence

minimale sur nos données. Des études futures pourraient cependant investiguer la différence entre la valence émotionnelle de voix familières et de sa propre voix et en évaluer l'impact sur les activations corticales à l'aide de l'imagerie cérébrale.

Il est également possible que l'avantage de la main gauche (HD) sur la main droite (HG) soit relié à l'effort de récupération des souvenirs épisodiques de la propre voix et des voix familières afin de les reconnaître. Ainsi, le modèle HERA (Hemispheric Encoding Retrieval Asymmetry), proposé par Tulving, Kapur, Craik, Moscovitch, & Houle (1994), stipule que le cortex préfrontal de l'HG a pour fonction l'encodage de l'information, alors que le cortex préfrontal de l'HD est responsable de la récupération des souvenirs épisodiques. Les données de plusieurs études récentes montrant une implication fronto-temporale droite dans le rappel de souvenirs autobiographiques viennent appuyer ce modèle (Fink et al., 1996; Greenberg et al., 2005; Markowitsch et al., 2000; Tulving et al., 1994). Cependant, cette hypothèse nous semble peu probable pour plusieurs raisons. D'abord, si le rappel des souvenirs de la propre voix et des voix familières avait un impact sur la spécialisation hémisphérique pour la présente expérimentation, nous aurions dû observer un avantage de la main gauche pour l'ensemble des voix familières, ce qui n'a pas été le cas. De plus, la voix des participants qui était présentée ne correspondait pas à celle entendue normalement et donc ne correspondait pas à leurs souvenirs. Enfin, les voix n'étaient pas apprises au départ de notre paradigme (il y avait seulement familiarisation avec une présentation unique des stimuli), ce qui devrait avoir limité l'adoption d'une stratégie de rappel de l'information. Nous croyons donc plutôt que c'est le traitement du soi qui a induit une implication de l'HD dans notre étude, d'autant plus que Fink et collaborateurs (1996) suggèrent que

c'est la représentation de soi impliquée dans le rappel de l'information épisodique qui est responsable de l'activation droite dans les tâches de mémoire autobiographique.

Certains auteurs (Schmidt-Nielsen & Stern, 1985; Van Lancker et al., 1985a) ont noté qu'il existait beaucoup de différences individuelles dans la capacité à reconnaître les voix. De plus, pour chaque voix entendue, des caractéristiques différentes semblent être nécessaires à sa reconnaissance (e.g. Lavner, Gath, & Rosenhouse, 2000; Van Dommelen, 1990; Van Lancker et al., 1985a; Van Lancker, Kreiman, & Wickens, 1985b). Cet état de fait peut avoir entraîné une grande variabilité dans les données de nos expérimentations et, en interaction avec d'autres biais, avoir masqué l'impact des variables à l'étude. Dans le futur, il pourrait être important d'évaluer à l'avance l'habilité des participants à reconnaître les voix ou d'augmenter la taille de l'échantillon afin d'éliminer l'impact de cette variable.

Le fait bien connu que le système auditif comporte plus de connexions bilatérales que la modalité visuelle est également un facteur important à considérer dans l'interprétation de nos données, bien que la présentation des stimuli était bilatérale tant dans notre étude que dans celles investiguant la modalité visuelle (voir Keenan et al., 2000; Keenan et al., 1999). Un réseau de connexions bilatérales peut rendre plus difficile l'investigation de processus latéralisés. Il est donc possible que les paradigmes et les méthodes utilisés dans les expérimentations 1 et 2 chez les participants sains n'étaient pas suffisamment sensibles pour mesurer adéquatement la spécialisation hémisphérique. Cependant, il est intéressant que nous ayons obtenu des résultats dans la troisième expérimentation comprenant un contrôle accru pour la familiarité et une meilleure mesure du seuil de reconnaissance de soi. De plus, les données observées chez le patient callosotomisé, chez qui les fonctions de chaque hémisphère peuvent être évaluées

séparément puisque la communication principale entre les deux hémisphères a été sectionnée, confirment notre hypothèse de recherche. On peut donc penser que dans les deux premières expérimentations chez les participants sains, ce facteur a pu avoir un impact sur les données, en combinaison avec d'autres biais, tels que la facilité de la tâche et la nature des contrôles.

Enfin, il est à noter que la généralisation de nos résultats est limitée. Ainsi, chez les participants sains, une majorité de femmes ont pris part à l'étude, la taille de l'échantillon était relativement petite (14 à 20 participants) et le même échantillon de participants a pris part aux trois expérimentations. De plus, nous avons investigué la reconnaissance de soi chez un patient masculin callosotomisé gaucher, avec un QI se situant à la limite de la normalité. Tout de même, le fait que l'avantage observé était le même chez ces deux populations nous permet de croire que ces résultats peuvent refléter la réalité de la population générale.

À la lumière de cette discussion et malgré certaines limites, nous sommes plutôt confiant que l'avantage de l'HD (par rapport à l'HG) observé chez le patient callosotomisé et dans la troisième expérimentation chez les participants sains reflète réellement la supériorité de cet hémisphère pour la reconnaissance de sa propre voix en comparaison à d'autres voix (familiales, célèbres et/ou inconnues). Malgré cela, dans des études futures, il serait pertinent d'investiguer l'impact de certains facteurs sur la spécialisation hémisphérique de cette habileté (ex: le genre des participants, la valence émotionnelle des stimuli et le filtrage de la propre voix). D'autre part, nous croyons que la prochaine étape serait de tenter de désactiver à l'aide de la STM les régions qui sont activées spécifiquement pour la propre voix (voir l'étude de Nakamura et al., 2001) et

d'ainsi déterminer lesquelles sont nécessaires pour cette habileté, puisque cette technique permet de faire des inférences causales.

Conclusion

En conclusion de cette thèse, nous ne sommes pas d'avis qu'il existe dans le cerveau un module spécifique au traitement du soi et de la conscience de soi. Nous croyons que le soi et la conscience sont des habiletés beaucoup trop complexes pour pouvoir être circonscrites de cette façon. Nous souscrivons donc à la suggestion de Decety et Sommerville (2003) proposant que le «soi est un construit multidimensionnel impliquant un réseau interconnecté de régions cérébrales distribuées, (...) ce qui permet une expérience unifiée du soi». Nous sommes cependant convaincus que les lobes frontaux, et plus particulièrement dans l'HD, jouent un rôle clé dans certains aspects du soi, notamment au niveau de sa représentation physique. Ainsi, nous sommes d'avis que ce qui distingue l'être humain des autres espèces est le développement des lobes frontaux, qui ont permis l'émergence de la conscience et du soi. Ces habiletés ont entraîné plusieurs avantages évolutifs, dont une capacité accrue à s'adapter à l'environnement et à comprendre et prévoir le comportement d'autrui. Dans la littérature, plusieurs évidences, y compris la présente série d'études, pointent vers une implication plus importante de l'HD que du gauche, plus particulièrement en fronto-pariétal, pour la reconnaissance du soi physique (voix, visages, corps et actions). D'autres processus plus conceptuels et évaluatifs du soi semblent plutôt engager des structures corticales bilatérales et médianes (voir Uddin et al., 2007), avec encore une fois un rôle particulier des régions frontales droites. Malgré ces premières lueurs de compréhension concernant la spécialisation hémisphérique et les corrélats neuronaux du

soi, beaucoup de chemin reste à faire avant de posséder quelques certitudes. Ainsi, si on en revient à la théorie de William James (1890, 1892), il nous apparaît que ce qui a été investigué jusqu'à présent sont les bases cérébrales du « moi » empirique, alors qu'il demeure impossible d'étudier le « Je ». À notre avis, la conscience et l'âme vont demeurer des sujets d'études pour de nombreuses générations futures de chercheurs, car nous n'avons qu'effleuré la surface de ces questions fondamentales.

Références

- Andelman, F., Zuckerman-Feldhay, E., Hoffien, D., Fried, I., & Neufeld, M. Y. (2004). Lateralization of deficit in self-awareness of memory in patients with intractable epilepsy. *Epilepsia*, *45*(7), 826-833.
- Barnacz, A. L., Johnson, A., Constantino, P., & Keenan, J. P. (2004). Schizotypal personality traits and deception: The role of self-awareness. *Schizophrenia Research*, *70*, 115-116.
- Bédard, C., & Belin, P. (2004). A « voice inversion effect? ». *Brain and Cognition*, *55*, 247-249.
- Boles, D. B. (2005). A large-sample study of sex differences in functional cerebral lateralization. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *27*, 759-768.
- Brady, N., Campbell, M., & Flaherty, M. (2004). My left brain and me: A dissociation in the perception of self and others. *Neuropsychologia*, *42*, 1156-1161.
- Chaminade, T., & Decety, J. (2002). Leader or follower? Involvement of the inferior parietal lobule in agency. *NeuroReport*, *13*(15), 1975-1978.
- Cooney, J. W., & Gazzaniga, M. S. (2003). Neurological disorders and the structure of human consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(4), 161-165.
- Davidson, R. (1992). Anterior cerebral asymmetry and the nature of emotion. *Brain and Cognition*, *20*, 125-151.
- Decety, J., & Chaminade, T. (2003). When the self represents the other: A new cognitive neuroscience view on psychological identification. *Consciousness and Cognition*, *12*, 577-596.

- Decety, J., Chaminade, T., Grèzes, J., & Meltzoff, A. N. (2002). A PET exploration of the neural mechanisms involved in reciprocal imitation. *NeuroImage, 15*, 265-272.
- Decety, J., & Sommerville, J. A. (2003). Shared representations between self and other: A social cognitive neuroscience view. *Trends in Cognitive Sciences, 7*(12), 527-533.
- Devinsky, O. (2000). Right cerebral hemisphere dominance for a sense of corporeal and emotional self. *Epilepsy and Behavior, 1*, 60-73.
- Devue, C., Collette, F., Balteau, E., Degueldre, C., Luxen, A., Maquet, P., & Brédart, S. (2007). Here I am: The cortical correlates of visual self-recognition. *Brain Research, 1143*, 169-182.
- Fink, G. R., Markowitsch, H. J., Reinkemeier, M., Bruckbauer, T., Kessler, J., & Heiss, W.-D. (1996). Cerebral representation of one's own past: Neural networks involved in autobiographical memory. *The Journal of Neuroscience, 16*(13), 4275-4282.
- Fossati, P., Hevenor, S. J., Lepage, M., Graham, S. J., Grady, C., Keightley, M. L., Craik, F., & Mayberg, H. (2004). Distributed self in episodic memory: Neural correlates of successful retrieval of self-encoded positive and negative personality traits. *NeuroImage, 22*, 1596-1604.
- Gallup, G. G. (1982). Self-awareness and the emergence of mind in primates. *American Journal of Primatology, 2*, 237-248.
- Gallup, G. G., Anderson, J. R., & Platek, S. M. (2003). Self-awareness, social intelligence and schizophrenia. Dans T. Kircher & A. David (Eds.), *The self in*

- neuroscience and psychiatry*. (pp. 147-165). Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.
- Gallup, G. G., & Platek, S. M. (2002). Cognitive empathy presupposes self-awareness: Evidence from phylogeny, ontogeny, neuropsychology, and mental illness. *Behavioral and Brain Sciences*, *25*(1), 36-37.
- Gazzaniga, M. S. (2005). Forty-five years of split-brain research and still going strong. *Nature Reviews*, *6*, 653.
- Gillihan, S. J., & Farah, M. J. (2005). Is self special? A critical review of evidence from experimental psychology and cognitive neuroscience. *Psychological Bulletin*, *131*(1), 76-97.
- Greenberg, D. L., Rice, H. J., Cooper, J. J., Cabeza, R., Rubin, D. C., & LaBar, K. S. (2005). Co-activation of the amygdala, hippocampus and inferior frontal gyrus during autobiographical memory retrieval. *Neuropsychologia*, *43*, 659-674.
- Gusnard, D. A., Akbudak, E., Shulman, G. L., & Raichle, M. E. (2001). Medial prefrontal cortex and self-referential mental activity: Relation to a default mode of brain function. *Proceedings in the National Academy of Sciences*, *98*(7), 4259-4264.
- Heatherton, T. F., Wylan, C. L., Macrae, C. N., Demos, K. E., Denny, B. T., & Kelley, W. M. (2006). Medial prefrontal activity differentiates self from close others. *Social cognitive and affective neuroscience*, *1*, 18-25.
- Hiscock, M., Inch, R., Jacek, C., Hiscock-Kalil, C., & Kalil, K. M. (1994). Is there a sex difference in human laterality? I. An exhaustive survey of auditory laterality studies from six neuropsychology journals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *16*(3), 423-435.

- Hiscock, M., Israelian, M., Inch, R., Jacek, C., & Hiscock-Kalil, C. (1995). Is there a sex difference in human laterality? II. An exhaustive survey of visual laterality studies from six neuropsychology journals. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, *17*(4), 590.
- Hodges, N. J., Lyons, J., Cockell, D., Reed, A., & Elliott, D. (1997). Hand, space and attentional asymmetries in goal-directed manual aiming. *Cortex*, *33*, 251-269.
- Hunter, M. D., Phang, S.-Y., Lee, K.-H., & Woodruff, P. W. R. (2005). Gender-specific sensitivity to low-frequencies in male speech. *Neuroscience Letters*, *375*, 148-150.
- James, W. (1890). *Principles of psychology*. New York: Holt.
- James, W. (1892). *Psychology: Briefer course*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Johnson, S. C., Baxter, L. C., Wilder, L. S., Pipe, J. G., Heiserman, J. E., & Prigatano, G. P. (2002). Neural correlates of self-reflection. *Brain*, *125*, 1808-1814.
- Keenan, J. P., Freund, S., Hamilton, R. H., Ganis, G., & Pascual-Leone, A. (2000). Hand response differences in a self-face identification task. *Neuropsychologia* *38*, 1047-1053.
- Keenan, J. P., Gallup, G. G., & Falk, D. (2003a). *The face in the mirror*. New York: Harper Collins Publishers.
- Keenan, J. P., McCutcheon, B., Freund, S., Gallup, G. G., Sanders, G., & Pascual-Leone, A. (1999). Left hand advantage in a self-face recognition task. *Neuropsychologia* *37*, 1421-1425.
- Keenan, J. P., Nelson, A., O'Connor, M., & Pascual-Leone, A. (2001). Self-recognition and the right hemisphere. *Nature* *409*, 305.

- Keenan, J. P., Wheeler, M. A., Platek, S. M., Lardi, G., & Lassonde, M. (2003b). Self-face processing in a callosotomy patient. *European Journal of Neuroscience, 18*, 2391-2395.
- Kelley, W. M., Macrae, C. N., Wyland, C. L., Caglar, S., Inati, S., & Heatherton, T. F. (2002). Finding the self? An event-related fMRI study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 14*(5), 785-794.
- Kircher, T. T. J., Brammer, M., Bullmore, E., Simmons, A., Bartels, M., & Davis, A. S. (2002). The neural correlates of intentional and incidental self processing. *Neuropsychologia, 40*, 683-692.
- Kircher, T. T. J., Senior, C., Phillips, M. L., Benson, P. J., Bullmore, E. T., Brammer, M., Simmons, A., Williams, S. C. R., Bartels, M., & David, A. S. (2000). Towards a functional neuroanatomy of self processing: Effects of faces and words. *Cognitive Brain Research, 10*, 133-144.
- Kircher, T. T. J., Senior, C., Phillips, M. L., Rabe-Hesketh, S., Benson, P. J., Bullmore, E. T., Brammer, M., Simmons, A., Bartels, M., & David, A. S. (2001). Recognizing one's own face. *Cognition, 78*, B1-B15.
- Kjaer, T. W., Nowak, M., & Lou, H. C. (2002). Reflective self-awareness and conscious states: PET evidence for a common midline parietofrontal core. *NeuroImage, 17*, 1080-1086.
- Lattner, S., Meyer, M. E., & Friederici, A. D. (2005). Voice perception: Sex, pitch, and the right hemisphere. *Human Brain Mapping, 24*, 11-20.
- Lavner, Y., Gath, I., & Rosenhouse, J. (2000). The effects of acoustic modifications on the identification of familiar voices speaking isolated vowels. *Speech Communication, 30*, 9-26.

- Macrae, C. N., Moran, J. M., Heatherton, T. F., Banfield, J. F., & Kelley, W. M. (2004). Medial prefrontal activity predicts memory for self. *Cerebral Cortex*, *14*, 647-654.
- Malcolm, S., & Keenan, J. P. (2003). My right I: Deception detection and hemispheric differences in self-awareness. *Social Behavior and Personality*, *31*, 767-771.
- Markowitsch, H. J. (2003). Autonoetic consciousness. Dans T. Kircher & A. David (Eds.), *The self in neuroscience and psychiatry*. (pp. 180-196). Cambridge, UK; New York: Cambridge University Press.
- Markowitsch, H. J., Thiel, A., Reinkemeier, M., Kessler, J., Koyuncu, A., & Heiss, W.-D. (2000). Right amygdalar and temporofrontal activation during autobiographic, but not during fictitious memory retrieval. *Behavioural Neurology*, *12*, 181-190.
- Meador, K. J., Loring, D. W., Feinberg, T. E., Lee, G. P., & Nichols, M. E. (2000). Anosognosia and asomatognosia during intracarotid amobarbital inactivation. *Neurology*, *55*, 816-820.
- Morin, A. (2002). Right hemispheric self-awareness: A critical assessment. *Consciousness and Cognition*, *11*, 396-401.
- Morin, A., & Michaud, J. (2007). Self-awareness and the left inferior frontal gyrus: Inner speech use during self-related processing. *Brain Research Bulletin*, *74*, 387-396.
- Nakamura, K., Kawashima, R., Sugiura, M., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Nagumo, S., Kubota, K., Fukuda, H., Ito, K., & Kojima, S. (2001). Neural substrates for recognition of familiar voices: A PET study. *Neuropsychologia*, *39*, 1047-1054.

- Northoff, G., Heinzl, A., de Greck, M., Bermpohl, F., Dobrowolny, H., & Panksepp, J. (2006). Self-referential processing in our brain: A meta-analysis of imaging studies on the self. *NeuroImage*, *31*, 440-457.
- Platek, S. M., & Gallup, G. G. J. (2002). Self-face recognition is affected by schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research*, *57*, 81-85.
- Platek, S. M., Keenan, J. P., Gallup, G. G. J., & Mohamed, F. B. (2004a). Where am I? The neurological correlates of self and other. *Cognitive Brain Research*, *19*, 114-122.
- Platek, S. M., Keenan, J. P., & Mohamed, F. B. (2005). Sex differences in the neural correlates of child facial resemblance: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, *25*, 1336-1344.
- Platek, S. M., & Levin, S. L. (2005). Only the mean survive? *Cortex*, *41*, 705-707.
- Platek, S. M., Loughhead, J. W., Gur, R. C., Busch, S., Ruparel, K., Phend, N., Panyavin, I. S., & Langleben, D. D. (2006). Neural substrates for functionally discriminating self-face from personally familiar faces. *Human Brain Mapping*, *27*, 91-98.
- Platek, S. M., Myers, T. E., Critton, S. R., & Gallup, G. G. J. (2003). A left-hand advantage for self-description: The impact of schizotypal personality traits. *Schizophrenia Research*, *65*, 147-151.
- Platek, S. M., Thomson, J. W., & Gallup, G. G. (2004b). Cross-modal self-recognition: The role of visual, auditory, and olfactory primes. *Consciousness and Cognition*, *13*, 197-210.

- Preilowski, B. (1977). Self-recognition as a test of consciousness in left and right hemisphere of «split-brain» patients. *Activitas Nervosa Superior (Praha)*, 19(suppl. 2), 343-344.
- Rodway, P., & Schepman, A. (2007). Valence specific laterality effects in prosody: Expectancy account and the effects of morphed prosody and stimulus lead. *Brain and Cognition*, 63, 31-41.
- Rymarczyk, K., & Grabowska, A. (2007). Sex differences in brain control of prosody. *Neuropsychologia*, 45, 921-930.
- Schmidt-Nielsen, A., & Stern, K. R. (1985). Identification of known voices as a function of familiarity and narrow-band coding. *Journal of the Acoustical Society of America*, 77(2), 658-663.
- Schmitz, T. W., & Johnson, S. C. (2007). Relevance to self: A brief review and framework of neural systems underlying appraisal. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*(31), 585-596.
- Schmitz, T. W., Kawahara-Baccus, T. N., & Johnson, S. C. (2004). Metacognitive evaluation, self-relevance, and the right prefrontal cortex. *NeuroImage*, 22, 941-947.
- Shuster, L. I., & Durrant, J. D. (2003). Towards a better understanding of self-produced speech. *Journal of Communication Disorders*, 36, 1-11.
- Spangenberg, K. B., Wagner, M. T., & Bachman, D. L. (1998). Neuropsychological analysis of a case of abrupt onset mirror sign following a hypotensive crisis in a patient with vascular dementia. *Neurocase*, 4, 149-154.
- Sperry, R. W., Zaidel, E., & Zaidel, D. (1979). Self recognition and social awareness in the disconnected minor hemisphere. *Neuropsychologia*, 17, 153-166.

- Stuss, D. T., & Alexander, M. P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: A conceptual view. *Psychological Research, 63*, 289-298.
- Stuss, D. T., & Anderson, V. (2004). The frontal lobes and theory of mind: Developmental concepts from adult focal lesion research. *Brain and Cognition, 55*, 69-83.
- Stuss, D. T., Gallup, G. G. J., & Alexander, M. P. (2001). The frontal lobes are necessary for 'theory of mind'. *Brain, 124*, 279-286.
- Sugiura, M., Kawashima, R., Nakamura, K., Okada, K., Kato, T., Nakamura, A., Hatano, K., Itoh, K., Kojima, S., & Fukuda, H. (2000). Passive and active recognition of one's own face. *NeuroImage, 11*, 36-48.
- Sugiura, M., Sassa, Y., Jeong, H., Miura, N., Akitsuki, Y., Horie, K., Sato, S., & Kawashima, R. (2006). Multiple brain networks for visual self-recognition with different sensitivity for motion and body part. *NeuroImage, 32*, 1905-1917.
- Sugiura, M., Watanabe, J., Maeda, Y., Matsue, Y., Fukuda, H., & Kawashima, R. (2005). Cortical mechanisms of visual self-recognition. *NeuroImage, 24*, 143-149.
- Théoret, H., Kobayashi, M., Merabet, L., Wagner, T., Tormos, J. M., & Pascual-Leone, A. (2004). Modulation of right motor cortex excitability without awareness following presentation of masked self-images. *Cognitive Brain Research, 20*, 54-57.
- Tonndorf, J. (1972). Bone conduction. Dans J. V. Tobias (Ed.), *Foundations of modern auditory theory*. (Vol. 2, pp. 197-237). New York: Academic Press.
- Tucker, D. M. (1981). Lateral brain function, emotion and conceptualization. *Psychological Bulletin, 89*, 19-46.

- Tulving, E., Kapur, S., Craik, F. I. M., Moscovitch, M., & Houle, S. (1994). Hemispheric encoding/retrieval asymmetry in episodic memory: Positron emission tomography findings. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *91*, 2016-2020.
- Turk, D. J., Heatherton, T. F., Kelley, W. M., Funnell, M. G., Gazzaniga, M. S., & Macrae, C. N. (2002). Mike or Me? Self-recognition in a split-brain patient. *Nature Neuroscience*, *5*(9), 841-842.
- Turk, D. J., Heatherton, T. F., Macrae, C. N., Kelley, W. M., & Gazzaniga, M. S. (2003). Out of contact, out of mind: The distributed nature of the self. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1001*, 65-78.
- Uddin, L. Q., Iacoboni, M., Lange, C., & Keenan, J. P. (2007). The self and social cognition: The role of cortical midline structures and mirror neurons. *TRENDS in Cognitive Sciences*, *11*(4), 153-157.
- Uddin, L. Q., Kaplan, J. T., Molnar-Szakacs, I., Zaidel, E., & Iacoboni, M. (2005a). Self-face recognition activates a frontoparietal «mirror» network in the right hemisphere: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, *25*, 926-935.
- Uddin, L. Q., Molnar-Szakacs, I., Zaidel, E., & Iacoboni, M. (2006). rTMS to the right inferior parietal lobule disrupts self-other discrimination. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, *1*, 65-71.
- Uddin, L. Q., Rayman, J., & Zaidel, E. (2005b). Split-brain reveals separate but equal self-recognition in the two cerebral hemispheres. *Consciousness and Cognition*, *14*, 633-640.
- Van Dommelen, W. A. (1990). Acoustic parameters in human speaker recognition. *Language and Speech*, *33*(3), 259-272.

- Van Lancker, D., & Kreiman, J. (1987). Voice discrimination and recognition are separate abilities. *Neuropsychologia* 25(5), 829-834.
- Van Lancker, D., Kreiman, J., & Emmorey, K. (1985a). Familiar voice recognition: Patterns and parameters, Part I: Recognition of backward voices. *Journal of Phonetics*, 13, 19-38.
- Van Lancker, D., Kreiman, J., & Wickens, T. D. (1985b). Familiar voice recognition: Patterns and parameters, Part II: Recognition of rate-altered voices. *Journal of Phonetics*, 13, 39-52.
- Vogeley, K., Bussfeld, P., Newen, A., Herrmann, S., Happé, F., Falkai, P., Maier, W., Shah, N. J., Fink, G. R., & Zilles, K. (2001). Mind Reading: Neural mechanisms of theory of mind and self-perspective. *NeuroImage*, 14, 170-181.
- Von Kriegstein, K., & Giraud, A.-L. (2004). Distinct functional substrates along the right superior temporal sulcus for the processing of voices. *NeuroImage*, 22, 948-955.
- Voyer, D. (1995). Effect of practice on laterality in a mental rotation task. *Brain and Cognition*, 29, 326-335.
- Wang, X., & Kadia, S. C. (2001). Differential representation of species-specific primate vocalizations in the auditory cortices of marmoset and cat. *Journal of Neurophysiology*, 86, 2616-2620.
- Wang, X., Merzenich, M. M., Beitel, R., & Schreiner, C. E. (1995). Representation of a species-specific vocalization in the primary auditory cortex of the common marmoset: temporal and spectral characteristics. *Journal of Neurophysiology*, 74, 2685-2706.

- Weems, S. A., & Zaidel, E. (2005). The effect of response mode on lateralized lexical decision performance. *Neuropsychologia*, *43*, 386-395.
- Wheeler, M. A., Stuss, D. T., & Tulving, E. (1997). Toward a theory of episodic memory: The frontal lobes and autonoetic consciousness. *Psychological Bulletin*, *121*(3), 331-354.
- Wilding, J., & Cook, S. (2000). Sex differences and individual consistency in voice identification. *Perceptual and Motor Skills*, *91*(2), 535-538.
- Yarmey, A. D., Yarmey, A. L., Yarmey, M. J., & Parliament, L. (2001). Commonsense beliefs and the identification of familiar voices. *Applied Cognitive Psychology*, *15*, 283-299.

Annexe 1

1. Riz
2. Rite
3. Blé
4. Bec
5. Sac
6. Jus
7. Lune
8. Peu
9. Boue
10. Poule
11. Sceau
12. Colle
13. Pâte
14. Fin
15. Blanc
16. Brun
17. Pont
18. *Chemise*
19. *Serein*
20. *Câline*

X = Expérimentation 1 et 2

X = Expérimentation 2 seulement

Annexe 2Hommes:

1. Repas
2. Père
3. Canot
4. Sapin
5. Matin
6. Musique
7. Définir
8. Famille
9. Commerce
10. Vulgaire
11. Parfait
12. Impatient
13. Oublier
14. Château
15. Heureux
16. Soleil

Femmes:

1. Maladie
2. Premier
3. Déclin
4. Rouge
5. Timide
6. Folie
7. Pilote
8. Maison
9. Famille
10. Départ
11. Chapeau
12. Beaucoup
13. Métier
14. Vécu
15. Chapeau
16. Début

Annexe 3

1. **Riz**
2. **Rite**
3. **Blé**
4. **Bec**
5. **Sac**
6. **Jus**
7. **Lune**
8. **Peu**
9. **Chemise**
10. **Sercin**
11. **Boue**
12. **Poule**
13. **Sceau**
14. **Colle**
15. **Câlîne**
16. **Pâte**
17. **Fin**
18. **Blanc**
19. **Brun**
20. **Pont**
21. **Bateau**
22. **Galop**

23. **Damier**

24. eeeee

25. iiii

26. ooooo