

Université de Montréal

**Apports de l'imagerie optique à l'étude de l'impact  
du niveau de scolarité sur la contribution des lobes  
frontaux à la production de mots**

par

Manon Maheux

Département de psychologie

Faculté des Arts et Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Arts et Sciences  
en vue de l'obtention du grade de maîtrise (M.Sc.)  
en psychologie

Août 2010

© Manon Maheux, 2010

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

**Apports de l'imagerie optique à l'étude de l'impact du niveau de scolarité sur la  
contribution des lobes frontaux à la production de mots**

Présentée par :  
Manon Maheux

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Sven Joubert, président-rapporteur  
Yves Joanette, directeur de recherche  
Karima Kahlaoui, co-directrice de recherche  
Sylvie Belleville, membre du jury

## Résumé

Le vieillissement normal est associé à une réorganisation cérébrale qui peut être influencée par plusieurs facteurs. Des théories comme la réserve cognitive de Stern (2002) tentent d'expliquer les effets de ces différents facteurs. Certains, le niveau de scolarité par exemple, sont encore mal connus. Pourtant, le niveau de scolarité est connu pour avoir un impact sur les performances cognitives tout au long de la vie. Le but de ce mémoire est d'étudier les effets du niveau de scolarité sur l'oxygénation cérébrale de personnes âgées en santé lors d'une tâche d'évocation lexicale orthographique et sémantique. Chaque tâche est divisée selon un critère « plus productive » et « moins productive ». Les âgés faiblement scolarisés produisent moins de mots que les âgés fortement scolarisés. De plus, la différence de mots produits entre le critère plus productif et moins productif est plus grande pour la tâche sémantique que pour la tâche orthographique. Du point de vue hémodynamique, les deux groupes ont des activations semblables, contredisant le phénomène HAROLD. De plus, les participants peu scolarisés tendent à activer de façon plus importante l'hémisphère gauche, peu importe la tâche ou la condition. Par contre, les activations varient selon la tâche et la condition dans le cas du groupe fortement scolarisé.

**Mots-clés** : vieillissement, scolarité, réorganisation cérébrale, réserve cognitive, évocation lexicale, imagerie optique

## **Abstract**

Normal aging is associated with cerebral reorganisation which can be influenced by many factors. For example, the theory cognitive reserve (Stern, 2002) is trying to explain how those factors can have an impact on the reorganization. However, some factors, such as educational level, are known to have an impact on cognitive performance. The aim of this dissertation is to study the effect of educational level in cerebral oxygenation of healthy older adults during both phonologic and semantic verbal fluency tasks. Each task is divided into two criteria: more productive and less productive. Behavioural data showed that less educated elderly generate fewer words than more educated ones for both tasks. Moreover, the differences between the number of words for the more productive criterion and the less productive one are higher for the semantic than for the phonologic task. NIRS data showed that both groups activated prefrontal cortex, without difference between them. In addition, less educated participants tend to have bigger activations in the left hemisphere regardless of the task and the criterion. On the other hand, higher educated participants' activations vary according to the task and the criterion unlike the HAROLD model's predictions.

**Keywords** : aging, education, cerebral reorganisation, cognitive reserve, verbal fluency, near-infrared spectroscopy

## Table des matières

1. Introduction.....	9
2. Recension de la littérature.....	10
2.1 Vieillissement.....	10
2.1.1 Vieillissement anatomique.....	10
2.1.2 Vieillissement cognitif.....	11
2.2. Réorganisation cérébrale.....	12
2.2.1. Réserve cognitive.....	13
2.2.2. « Hemispheric Asymetry Reduction in Older Adults » (HAROLD).....	15
2.3 Vieillissement, cognition et scolarité.....	16
2.3.1 Scolarité et vieillissement.....	17
2.3.2 Scolarité et réserve cognitive.....	19
2.4 Évocation lexicale.....	20
2.4.1 Évocation lexicale et scolarité.....	21
2.5 Neuroimagerie.....	22
2.5.1 Imagerie optique.....	23
2.5.2 Imagerie optique et vieillissement.....	24
3. Résumé de la problématique et objectifs.....	26
4. Méthodologie.....	29
4.1. Participants.....	29
4.2. Tâches utilisées.....	31
4.3. Imagerie optique.....	32
4.4. Analyses statistiques.....	33
5. Résultats.....	33
5.1 Données démographiques.....	33
5.2 Données comportementales.....	33
5.3 Données hémodynamiques.....	34
5.3.1 Concentration d'oxyhémoglobine (O <sub>2</sub> Hb).....	34
5.3.2 Concentration de déoxyhémoglobine (HHb).....	35

	iv
6. Discussion.....	37
7. Conclusion.....	43
Bibliographie .....	i

## Liste des tableaux

Tableau I : Nombre de mots acceptés pour chaque groupe de participants

Tableau II : Interaction Groupes (2) x Tâches (2) x Hémisphères (2) x Productivité (2)

## Liste des figures

Figure 1 : Déroulement de l'expérience

Figure 2 : Positions des sources et des détecteurs



## Liste des sigles et des abréviations

CRIUGM : Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal

EEG : électroencéphalogramme

ELO : évocation lexicale orthographique

ELS : évocation lexicale sémantique

HAROLD : *Hemipheric Asymetry Reduction in Older Adults*

Hbtot : hémoglobine totale

HHb : désoxyhémoglobine

HD : hémisphère droit

HG : hémisphère gauche

IO : imagerie optique

IRMf : imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

IUGM : Institut universitaire de gériatrie de Montréal

MCI : *Mild Cognitive Impairment*

MMSE : *Mini Mental State Examination*

MP : moins productif

PAFS : participants âgés fortement scolarisés

PAPS : participants âgés peu scolarisés

PASA : *Posterior-Anterior Shift in Aging*

PP : plus productif

O<sub>2</sub>Hb : oxyhémoglobine

OMS : Organisation mondiale de la santé

TMT : *Trail Making Test*

## Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Yves Joannette et Karima Kahlaoui qui ont accepté de diriger ce mémoire et de m'intégrer dans l'équipe. Ces deux années passées à vos côtés m'ont permis d'acquérir une expérience précieuse dans le monde de la recherche et d'enrichir mes connaissances. Vous m'avez transmis votre passion pour la recherche et votre volonté d'en connaître toujours plus. Merci à vous deux.

Je remercie Joannie Barbeau, Manoush Amiri et Mathieu Desrosiers pour leur aide précieuse lors des acquisitions en image optique. Pour les réponses aux nombreuses questions et pour avoir réglé tous les petits problèmes de transfert, merci Mathieu.

Je veux aussi remercier tous les participants qui ont bien voulu donner de leur temps pour cette étude. Sans eux, il serait impossible de faire de la recherche.

Finalement, un merci tout spécial à mon amoureux et mes deux sœurs. Merci d'avoir partagé avec moi mes succès et mes angoisses durant ce cheminement.

# 1. Introduction

Dans moins de dix ans, le Québec, comme la plupart des sociétés occidentales, fera face à une situation démographique sans précédent. En effet, la population des personnes âgées de 65 ans et plus dépassera la population des 0-19 ans en 2051 (Thibault, 2004). Ce changement démographique important obligera à mieux comprendre ce qui caractérise la personne âgée afin d'adapter en conséquence les différentes approches cliniques. Dans ce contexte, les études sur le vieillissement et ses effets deviendront donc primordiales. Les études sur le vieillissement cognitif représentent à cet égard une dimension importante puisque l'apparition de troubles de la cognition constitue l'un des problèmes les plus craints par les personnes vieillissantes (Tannenbaum, Mayo, & Ducharme, 2005). Parmi les différents aspects de la cognition, les troubles de la communication relèvent un aspect particulier. En effet, les troubles du langage réceptif ou expressif ont un impact non seulement sur les capacités cognitives de l'individu, mais également sur sa capacité à maintenir son réseau social, l'un des déterminants majeurs du bien-vieillir. Or, les bases neurobiologiques de la communication, et en particulier du langage expressif, sont encore mal connues. De plus, on connaît très mal les impacts de différents facteurs susceptibles d'interagir avec le vieillissement, dont le niveau de scolarité.

L'objectif général de ce mémoire est d'étudier l'apport d'une possible réorganisation neurofonctionnelle des lobes frontaux pour la production de mots isolés en fonction de l'impact de la scolarisation lors du vieillissement. Pour ce faire, le texte offrira tout d'abord l'état des connaissances sur le vieillissement normal anatomique et cognitif, l'état actuel des cadres théoriques susceptibles de rendre compte de la réorganisation cérébrale accompagnant le vieillissement, ainsi que les données disponibles relatives aux effets du niveau de scolarité sur les performances cognitives chez les seniors. Par la suite, la méthodologie utilisée en imagerie optique dans le cadre d'une tâche de production de mots sera décrite et les résultats rapportés.

Finalement, une discussion permettra de mettre en lien les résultats obtenus avec les connaissances actuelles afin d'en dégager une conclusion.

## **2. Recension de la littérature**

### **2.1 Vieillesse**

Le vieillissement est défini par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) comme « un processus graduel et irréversible de modifications des structures et des fonctions de l'organisme résultant du passage du temps » (Bergerbest et al., 2009). Tout le monde vieillit, c'est un processus inévitable. Par contre, tous ne vieillissent pas de la même façon. Nous verrons plus loin que de nombreux changements se produisent au cours de cette étape de la vie. Ces derniers ont un impact important sur la façon dont le processus de vieillissement, physique ou cognitif, est vécu.

#### **2.1.1 Vieillesse anatomique**

Le vieillissement provoque plusieurs changements au niveau biologique. Non seulement, les fonctions motrices sont ralenties, mais les sens (i.e. vue, ouïe) sont aussi diminués (Sebag-Lanoë, 1997). Par contre, ce ne sont pas tous les sens qui diminuent au même moment ou à la même vitesse. En effet, les problèmes de presbytie, une diminution du pouvoir d'accommodation du cristallin qui rend difficile à voir de près, commencent à apparaître chez les individus à partir de la quarantaine et la cinquantaine (Logan, Sanders, Snyder, Morris, & Buckner, 2002) alors que la plupart des problèmes d'audition commencent à apparaître lorsqu'on atteint 70 ans (Liu & Yan, 2007). Plusieurs de ces changements sont graduels, la diminution de la flexibilité et de la fluidité des articulations (Sturnieks, St George, & Lord, 2008) ou la réduction de la mobilité amenée, entre autres, par un ralentissement de mouvements

et une diminution des capacités d'équilibre (Kang & Dingwell, 2008) en sont de bons exemples.

Le cerveau aussi subit plusieurs changements anatomiques. Parmi les plus importants, on peut noter une diminution importante du volume cérébral. En effet, le poids du cerveau vers la fin de la vie représente environ 80 à 90 % du poids du cerveau à 20 ans (Lemaire & Bherer, 2005). Cette perte de poids vient d'une mort des cellules nerveuses et d'une dégénération des axones (Lemaire & Bherer, 2005) et est plus présente dans le lobe frontal et pariétal (Dennis & Cabeza, 2008; Raz, 2000; Raz et al., 1997).

On retrouve aussi une perte importante des cellules pyramidales et granulaires, particulièrement dans l'hippocampe, l'amygdale et la substance noire ; un élargissement des ventricules; une diminution de l'arborisation dendritique; une détérioration des systèmes cholinergiques et glutaminergiques; une diminution importante des récepteurs muscariniques et nicotiniques; une diminution des niveaux de tyrosine hydroxylase; une diminution de la sérotonine dans le noyau dorsal du raphé; une diminution de la dopamine dans le putamen et la substance noire et une diminution du nombre de récepteurs D2 de dopamine (Lemaire & Bherer, 2005) ; une perte de matière blanche et grise (surtout au niveau du lobe frontal) ; une dégradation de la myéline (Dennis & Cabeza, 2008) et une atrophie cérébrale au niveau du cortex cérébral (Coffey et al., 1992). Toutes ces modifications anatomiques entraînent des changements au niveau cognitif.

### **2.1.2 Vieillessement cognitif**

Ces changements sont habituellement la source des déclinis qui apparaissent lors du vieillissement. Parmi les fonctions cognitives qui déclinent, on retrouve l'attention, la vitesse de traitement de l'information, la perception et la mémoire

épisodique (Balota, Dolan, & Duchnek, 2000; Balota & Duchek, 1988; Piolino, Desgranges, Benali, & Eustache, 2002) et la mémoire de travail (Bopp & Verhaeghen, 2005; Foos & Wright, 1992; Hasher & Zacks, 1988). Par contre, tout ne décline pas au même moment. Tout comme pour les changements anatomiques, on assiste ici à des déclinés graduels.

Malgré tout, le vieillissement n'est pas synonyme que de déclinés. En fait, certaines fonctions sont maintenues et même améliorées avec l'âge. Le vocabulaire par exemple, s'accroît avec l'âge (Verhaeghen, 2003). La mémoire sémantique et la compréhension du langage (Burke & Mackay, 1997) font aussi partie des fonctions cognitives qui ne semblent pas affecter par le vieillissement.

Par contre, ces changements sont bien minces si on considère l'ampleur des modifications physiques que subit notre cerveau avec le temps. Plusieurs modèles tentent d'expliquer le phénomène qui semble permettre à certaines personnes de résister aux effets délétères du vieillissement. La plupart proposent une forme de compensation qui permettrait de conserver intactes ses capacités cognitives, du moins pour un certain temps.

## **2.2. Réorganisation cérébrale**

Il est largement admis que le vieillissement s'accompagne d'une réorganisation cérébrale qui peut varier selon les différentes fonctions cognitives étudiées. Parmi les modèles qui tentent d'expliquer ce phénomène, on retrouve la théorie de la réserve cognitive de Stern (2002, 2009) particulièrement intéressante pour son explication du rôle des facteurs environnementaux et des expériences de vies personnelles. De plus, des études en imagerie permettent de constater que certains phénomènes cérébraux, comme la réduction de l'asymétrie cérébrale chez les

âgés (*Hemispheric Asymmetry Reduction in Older Adults* ou HAROLD) (Cabeza, 2002), corroborent les hypothèses de la réserve cognitive.

### **2.2.1. Réserve cognitive**

La réserve cognitive est présentée comme les tentatives du cerveau de faire face aux dommages cérébraux soit en utilisant des processus cognitifs préexistants, soit en recrutant des processus de compensation (Stern, 2002). Le concept fut proposé suite à l'impossibilité de trouver un lien direct entre les dommages cérébraux associés à la maladie d'Alzheimer et l'absence de manifestations cliniques des symptômes (Kalpouzos, Eustache, & Desgranges, 2008; Stern, 2002). Deux modèles sont présentés : le modèle passif et le modèle actif.

Le modèle passif propose que la réserve cognitive d'un individu repose sur les différences interindividuelles anatomiques qui existent entre les individus (Stern, 2002). Selon ce modèle, un seuil critique détermine la réserve cognitive, c'est-à-dire la quantité de dommages que peut subir le cerveau avant l'apparition de symptômes cliniques d'une pathologie (Stern, 2002, 2003). Ce seuil peut varier selon différents facteurs biologiques comme le volume cérébral, le nombre de neurones ou de synapses par exemple (Katzman, 1993; Mortimer, Schuman, & French, 1981; Satz, 1993). Un plus grand nombre de neurones ou un plus gros cerveau, par exemple, permettraient une plus grande résistance à la maladie (Satz, 1993; Villeneuve & Belleville, 2010).

Le modèle actif propose que la réserve repose sur des mécanismes neurocognitifs pouvant être utilisés pour réaliser une tâche donnée (Kalpouzos, et al., 2008; Stern, 2003, 2006, 2009; Stern et al., 2005). Ici, la réserve cognitive est vue comme la capacité d'utiliser des réseaux neuronaux plus efficaces ou plus flexibles pour compenser les dommages dus au vieillissement ou à une pathologie (Stern, 2002,

2003). Plus récemment, Stern (2009) propose que la réserve cognitive puisse en fait être divisée en deux composantes : la réserve neuronale qui réfère aux différences interindividuelles dans les processus cognitifs existant dans un cerveau sain et la compensation neuronale qui réfère aux modifications qui ont lieu dans les processus cognitifs pour faire face aux pathologies et déclin cérébraux.

Plusieurs facteurs peuvent influencer la réserve cognitive. Parmi les plus connus, on note le niveau d'éducation, le style de vie et l'intelligence (Fritsch et al., 2005; Lee, Kim, & Back, 2009; Stern, 2003). Malgré tout, les interactions possibles entre ces facteurs et d'autres modérateurs possibles sont encore mal connues (Villeneuve & Belleville, 2010).

Certains auteurs avancent l'hypothèse qu'une intégration des modèles passif et actif pourrait permettre une meilleure explication du phénomène (Christensen et al., 2007; Kalpouzos, et al., 2008; Stern, 2009). Stern (2009) explique que la démarcation floue entre le concept de réserve cérébrale (modèle passif) et de réserve cognitive (modèle actif) peut être expliquée par trois raisons : la capacité à utiliser différents réseaux neuronaux a nécessairement une base physiologique puisque c'est le cerveau qui gère les fonctions cognitives; la plupart des facteurs qui peuvent influencer la réserve cognitive ont aussi un effet sur le cerveau; enfin, de plus en plus d'études montrent qu'un environnement enrichissant a un effet direct sur la prévention et le ralentissement de certaines pathologies comme la maladie d'Alzheimer (Lazarov et al., 2005). Un grand nombre de synapses et de neurones, par exemple, pourraient faciliter l'utilisation de réseaux neuronaux additionnels ou de stratégies cognitives plus efficaces ce qui réduirait les effets du vieillissement normal ou pathologique (Villeneuve & Belleville, 2010).



### **2.2.2. « Hemispheric Asymetry Reduction in Older Adults » (HAROLD)**

Parmi les observations appuyant la théorie de Stern, on retrouve le phénomène présenté par Cabeza et collègues (2002). Celui-ci s'intéresse à la réorganisation cérébrale interhémisphérique, c'est-à-dire à l'apparition d'une bilatéralisation des activations cérébrales chez les personnes âgées lors de certaines tâches cognitives. Cabeza et ses collègues (2002) ont observé ce phénomène lors d'une tâche de rappel et d'une tâche de mémoire. Les participants furent d'abord soumis à une batterie de tests neuropsychologiques pour déterminer leurs performances cognitives. Les activations cérébrales de jeunes adultes furent alors comparées à celles de personnes âgées ayant de bonnes et de moins bonnes performances cognitives. Les groupes ayant de plus faibles performances cognitives, qu'ils soient jeunes ou âgés, montrent de plus grandes activations dans l'hémisphère gauche du cerveau alors que les âgés ayant de bonnes performances cognitives montrent des activations bilatérales (Cabeza, et al., 2002).

Le modèle initial de Cabeza (2002) expliquait ce phénomène de deux façons. L'hypothèse de compensation impliquait que ce recrutement de régions additionnelles permettait de compenser pour les déclinés cognitifs et structuraux qui apparaissent lors du vieillissement (Cabeza, 2002). L'hypothèse de dédifférenciation proposait que l'apparition des activations bilatérales permettait de contrecarrer une difficulté à recruter les mécanismes neuronaux spécialisés (Cabeza, 2002). Les résultats présentés précédemment (Cabeza, et al., 2002) appuient l'hypothèse de compensation puisque les âgés avec de meilleures performances cognitives montrent des activations bilatérales. De plus, la taille des activations augmente avec la difficulté de la tâche (Cabeza, et al., 2002).

Des recherches récentes proposent que ce recrutement additionnel permettrait de compenser les déclinés cognitifs et anatomiques rencontrés (Grady, 2008; Persson &

Nyberg, 2006). Ce phénomène est d'ailleurs souvent observé chez les personnes âgées qui conservent de bonnes performances cognitives (Cabeza, 2002; Grady, 2008; Reuter-Lorenz et al., 2000; Rypma & D'Esposito, 2000). De plus, cette activation bilatérale présente dans les régions préfrontales a été reliée à une amélioration des performances cognitives chez les âgés (Cabeza et al., 2004; Daselaar, Prince, & Cabeza, 2004; Gutchess et al., 2005; Morcom, Good, Frackowiak, & Rugg, 2003).

Toutefois, cette forme de compensation n'est pas illimitée. À partir d'un certain seuil, différent chez chaque personne, les déclinseront trop importants et le cerveau ne pourra plus compenser de façon efficace. On retrouvera alors un patron d'activation différent : les activations dans les régions préfrontales diminueront avant d'atteindre une hypoactivation qui sera accompagnée d'une détérioration des performances cognitives (Persson & Nyberg, 2006). Ce phénomène n'est cependant pas permanent et peut être renversé : avec l'aide de certains types d'entraînement cognitifs, il est possible d'obtenir de meilleures performances et des activations cérébrales plus fortes (Grady, 2008; Logan, et al., 2002). Bien que la plupart des études se concentrent sur les régions frontales, il semble que cette bilatéralisation des activations pourrait se généraliser aux régions temporo-pariétales (Grady, Bernstein, Beig, & Siegenthaler, 2002; Grady, McIntosh, Horwitz, & Rapoport, 2000) et aux régions pariétales (Safonova et al., 2004).

### **2.3 Vieillesse, cognition et scolarité**

Le niveau de scolarité est une variable très étudiée puisqu'elle est, selon certains auteurs, l'un des meilleurs prédicteurs de déclin cognitif associé au vieillissement (Anstey & Christensen, 2000). En effet, plusieurs études longitudinales montrent que les gens ayant un niveau de scolarité plus élevé ont tendance à montrer moins de déclin cognitif sur un test comme le *Mini Mental State Examination*

(MMSE) (Lyketsos, Chen, & Anthony, 1999). Pourtant, l'étude de l'impact du niveau de scolarité est complexe puisque la définition du terme « niveau de scolarité » varie beaucoup d'une étude à l'autre. La définition la plus utilisée est probablement celle de l'équipe d'Ardila (2000) qui définit le niveau de scolarité comme le nombre d'années totales de fréquentation au sein d'une institution scolaire (Ardila, Ostrosky-Solis, Rosselli, & Gomez, 2000). Les systèmes scolaires variant beaucoup d'un pays et même d'une province à l'autre, cette définition est loin d'être parfaite et peut rendre les comparaisons entre les différentes études difficiles.

### **2.3.1 Scolarité et vieillissement**

Il est clairement établi que le niveau de scolarité a un impact tant au niveau cognitif qu'au niveau anatomique. Si la plupart des chercheurs affirment qu'il a un effet protecteur sur le déclin cognitif, il semble que cela varie selon les fonctions étudiées. Plusieurs équipes de chercheurs ont observé que l'effet de protection semble plus grand pour les épreuves d'intelligence cristallisée (forme d'intelligence fondée sur le bagage de connaissances ou les capacités acquises) alors que l'effet est pratiquement inexistant pour les épreuves d'intelligence fluide (forme d'intelligence désignant l'aptitude à s'ajuster à des situations nouvelles et ne s'appuyant pas sur des connaissances acquises) (Christensen et al., 1997; Lemaire & Bherer, 2005; Mortimer, et al., 1981). Les différences de performances observées se maintiennent dans le temps pour des épreuves globales, des épreuves langagières, de mémoire ou de connaissances générales (e.g. MMSE, mémoire visuelle), alors que la différence diminue pour des épreuves impliquant la vitesse de traitement comme des tests de temps de réaction (Christensen, et al., 1997; Elias, Elias, D'Agostino, Silbershatz, & Wolf, 1997; Ganguli et al., 1991; Le Carret, Lafont, Mayo, & Fabrigoule, 2003; Proust-Lima et al., 2008). Cette forme de « protection » est vue comme la manifestation d'un processus de compensation puisque les gens ayant un niveau de scolarité plus élevé conservent de meilleures performances cognitives pendant une

plus longue période (Christensen, et al., 1997; Le Carret, et al., 2003; Proust-Lima, et al., 2008).

Si plusieurs études ont examiné l'effet possible du niveau de scolarité sur différentes fonctions cognitives, une seule a exploré son impact sur la réorganisation cérébrale lors du vieillissement (Springer, McIntosh, Winocur, & Grady, 2005). Les participants, jeunes adultes et personnes âgées, furent soumis à une tâche de mémoire épisodique lors qu'une session d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle. Les auteurs rapportent que l'âge et le niveau de scolarité ont un effet sur les activations cérébrales. La grande variabilité dans les différents niveaux de scolarité (entre 11 et 20 années chez les jeunes adultes et entre 8 et 21 chez les personnes âgées) ont permis de diviser les participants en « faiblement scolarisés » et « fortement scolarisés ». Chez les jeunes adultes, les participants ayant une scolarité plus faible montraient plus d'activations au niveau frontal alors que ceux ayant une scolarité plus forte montraient plus d'activations au niveau occipital. Le patron inverse fut retrouvé chez les personnes âgées : les gens fortement scolarisés montraient plus d'activation au niveau du lobe frontal alors que c'est le lobe occipital qui montrait le plus d'activations chez les gens faiblement scolarisés.

Les auteurs avancent que les jeunes faiblement scolarisés utilisent leur lobe frontal pour compenser les difficultés rencontrées lorsqu'ils tentent d'effectuer la tâche. Les âgés fortement scolarisés utiliseraient ce même patron d'activation pour compenser les déclinés liés à l'âge et pour conserver de bonnes performances cognitives. Ces résultats viennent appuyer des recherches précédentes (âgés : Cabeza, 2002; jeunes : Grady, McIntosh, Beig, & Craik, 2001). Cette réorganisation rejoint le concept de réserve cognitive de Stern (2002) qui associe des facteurs comme un plus haut niveau de scolarité avec le maintien des fonctions cognitives durant le vieillissement.

### 2.3.2 Scolarité et réserve cognitive

La plupart des études tentant de faire le lien entre la réserve cognitive et le niveau de scolarité étudient des populations souffrant de démences légères (*Mild Cognitive Impairment* ou MCI, maladie d'Alzheimer) et tentent d'identifier des marqueurs précoces de démence qui permettront de meilleurs traitements pour l'avenir (e.g. Rentz et al., 2010). Il y a donc très peu d'études qui étudient l'effet du niveau de scolarité chez des personnes âgées ayant un vieillissement dit normal, c'est-à-dire sans pathologies.

Parmi celles-ci, on retrouve l'étude de Alley et collègues (Alley, Suthers, & Crimmins, 2007) qui ont examiné l'évolution des performances cognitives de 3 541 personnes âgées entre 70 et 103 ans en fonction de leur niveau de scolarité. Ils démontrèrent que les participants ayant un niveau de scolarité élevé avaient de meilleures performances sur les différents tests cognitifs.

D'autres auteurs (Manly, Schupf, Tang, & Stern, 2005; Manly, Touradji, Tang, & Stern, 2003) ont utilisé le niveau d'alphabétisation comme mesure de la scolarité chez des participants âgés de 65 ans et plus. Ici un haut niveau d'alphabétisation est relié à une scolarité plus longue ou de meilleure qualité. Les participants étaient soumis à une évaluation neuropsychologique, médicale et neurologique pendant 5 ans. Comme précédemment, les participants ayant un plus haut niveau d'alphabétisation (et par le fait même de scolarité) ont de meilleures performances sur les tests neuropsychologiques (Manly, et al., 2005; Manly, et al., 2003).

Ces résultats rejoignent le modèle actif de la réserve cognitive de Stern. Cette dernière propose que les personnes ayant un haut niveau de scolarité utilisent des réseaux neuronaux plus efficaces ce qui leur permettrait de ralentir les effets du vieillissement cognitif, ralentissement observé dans ces études (Alley, et al., 2007; Manly, et al., 2005; Manly, et al., 2003; Stern, 2002, 2009). Il semble donc que le

niveau de scolarité, et par extension le niveau d'alphabétisation ont un effet réel sur la réserve cognitive lors du vieillissement pour certains types de fonctions cognitives.

## 2.4 Évocation lexicale

La tâche d'évocation lexicale, aussi appelée fluence verbale, est une tâche largement utilisée tant en milieu clinique que dans un contexte de recherche. Sa simplicité et sa versatilité lui permettent d'être employée et adaptée aux besoins spécifiques de populations très différentes (enfants, âgés, cérébrolésés, etc.). Cette tâche permet d'évaluer la capacité à produire des mots correspondant à un critère précis pendant une période déterminée qui varie habituellement entre 30 secondes et 2 minutes (Lezak, 2004). Elle permet d'étudier les processus exécutifs de recherche, de récupération stratégique de mots et de contrôle de la performance, la vitesse de traitement de l'information, les habiletés verbales ainsi que la connaissance de mots (Bryan, Luszcz, & Crawford, 1997). Pendant les 15 premières secondes, un choix de mots familiers et fréquemment utilisés est disponible. Lorsque cette banque de mots s'épuise, le processus de production de mots devient alors plus complexe, demande plus d'efforts et est moins productif.

Habituellement, les deux critères les plus utilisés sont le critère orthographique et le critère sémantique. L'évocation lexicale orthographique, aussi appelée évocation lexicale phonologique, consiste à produire le plus de mots possible commençant par une lettre donnée, par exemple la lettre « B » ou « M ». Elle est particulièrement sensible aux lésions du lobe frontal (Miceli, Caltagirone, Gainotti, Masullo, & Silveri, 1981). Il est alors possible d'examiner les stratégies de recherche de mots utilisés par les participants puisque ceux qui échoueront à établir une stratégie efficace ne pourront effectuer la tâche correctement (Lezak, 2004).

L'évocation lexicale sémantique, ou évocation lexicale catégorielle consiste à produire le plus de mots possible appartenant à une catégorie sémantique donnée, par exemple « Animaux » ou « Fruits ». Elle semble particulièrement sensible à la détérioration des connaissances sémantiques telles que retrouvées dans la maladie d'Alzheimer (Butters, Granholm, Salmon, Grant, & Wolfe, 1987; Ratcliff et al., 1998). Une bonne performance à cette tâche dépend de l'habileté du participant d'organiser ses pensées en groupes sémantiquement reliés. Ce critère est habituellement plus facile (Lezak, 2004). Ceci pourrait être expliqué par le fait que le cerveau semble être organisé de façon sémantique, c'est-à-dire que notre vocabulaire est classé selon des catégories telles qu'« Animaux », « Couleurs », « Émotions », etc. Cette organisation sémantique faciliterait la recherche des mots d'une même catégorie (Hurks et al., 2006). Le critère orthographique demande, quant à lui, d'emprunter une voie non familière pour accéder au contenu lexical ce qui augmente le degré de difficulté (Kubota et al., 2005).

#### **2.4.1 Évocation lexicale et scolarité**

Certains facteurs comme l'âge, le sexe, la langue maternelle et le niveau de scolarité semblent avoir une influence sur les performances à une tâche d'évocation lexicale et doivent être pris en considération (Benton, 1994; Lezak, 2004). Pourtant, ces facteurs sont encore sujets à débats. Selon certains auteurs, c'est le niveau d'alphabétisation qui aurait un impact sur les performances. Le niveau de scolarité serait plutôt un marqueur du niveau d'alphabétisation ce qui expliquerait son impact (Ratcliff, et al., 1998).

Plusieurs études ont d'ailleurs montrées le lien entre le niveau d'alphabétisation, le niveau de scolarité et les performances à différents tests neuropsychologiques (Acevedo, Loewenstein, Agron, & Duara, 2007; Caramelli, Carthery-Goulart, Porto, Charchat-Fichman, & Nitrini, 2007; Ganguli, et al., 1991; Ganguli et al.; Manly et al.,

1999; Manly, et al., 2005; Manly, et al., 2003). Cette association semble aussi vraie pour une tâche langagière (Arbuckle, Maag, Pushkar, & Chaikelson, 1998; Christensen, et al., 1997; Proust-Lima, et al., 2008).

Une étude récente a examiné les performances de personnes âgées à une tâche de fluence verbale sémantique selon leur niveau de scolarité (Charchat Fichman et al., 2009). Le groupe illettré (0 année de scolarité) produit moins de mots que le groupe hautement scolarisé (12 années de scolarité et plus). Pourtant, les groupes des gens ayant 1 à 4, 5 à 8 et 9 à 11 années de scolarité ne diffèrent pas entre eux. On peut donc avancer que l'impact du niveau de scolarité vient de sa relation avec le taux d'alphabétisation et l'obtention d'une scolarité de niveau secondaire, critères importants pour le raffinement des habiletés cognitives (Charchat Fichman, et al., 2009).

## 2.5 Neuroimagerie

L'imagerie cérébrale a permis de faire avancer rapidement les connaissances neuroanatomiques et neurofonctionnelles en nous permettant de littéralement visualiser les processus cognitifs. Il est possible de séparer les différentes techniques en deux types : l'imagerie structurelle, principalement utilisée pour examiner les structures anatomiques, et l'imagerie fonctionnelle, basée sur des principes hémodynamiques et électrophysiologiques qui permettent d'observer les activités neuronales.

Classiquement, on distingue les techniques selon leur résolution temporelle, i.e. leur capacité à suivre l'activité cérébrale dans le temps, et leur résolution spatiale, i.e. leur capacité à distinguer les structures anatomiques. Une technique comme l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), reconnue pour son excellente résolution spatiale, permet alors d'étudier avec précision les structures cérébrales



recrutées par les processus cognitifs. Une technique ayant une bonne résolution temporelle, l'électroencéphalogramme (EEG) par exemple, permet d'étudier le déroulement temporel d'un processus cognitif de façon plus précise. Plus récemment, une nouvelle technique de neuroimagerie particulièrement conviviale a été popularisée: l'imagerie optique (IO).

### **2.5.1 Imagerie optique**

Cette technique d'imagerie a fait son apparition dans les années 1970 (Jobsis, 1977) pour être de plus en plus développée à partir des années 1990 (Hoshi & Tamura, 1993). Son principe repose sur les propriétés de la lumière, plus spécifiquement sur sa capacité à traverser la peau, les tissus sous-cutanés, les os et le cerveau (Ferrari, Mottola, & Quaresima, 2004). Des sources (aussi appelés émetteurs) produisent une lumière infrarouge, entre 700 et 1000 nm, qui pénètre les tissus biologiques à une profondeur d'environ 1,5 cm (Hoshi & Tamura, 1993). La lumière qui se réfracte suit alors un trajet en forme de banane et est absorbée par des chromophores, ici l'hémoglobine, présente sous deux formes (oxyhémoglobine ou  $O_2Hb$  et désoxyhémoglobine ou HHb) ayant chacune un spectre d'absorption différent (Ferrari, et al., 2004). En recaptant la lumière émise grâce à des détecteurs, il devient possible de calculer la variation dans les concentrations de chromophores et donc, d'identifier les activations cérébrales dans une zone donnée (Herrmann, Walter, Ehlis, & Fallgatter, 2006).

La distance optimale entre la source et le détecteur est de 3 centimètres (Ferrari, et al., 2004). On considère qu'il y a eu activation cérébrale lorsqu'on observe une augmentation de la concentration d' $O_2Hb$  et d'hémoglobine totale (Hbtot) ainsi qu'une diminution de la concentration de HHb pour une région donnée (Sakatani, Lichty, Xie, Li, & Zuo, 1999). En plus de son principe simple, l'imagerie optique possède de nombreux avantages : elle est non invasive, peu dispendieuse, facilement

transportable dans l'environnement naturel du patient, elle peut être utilisée avec des populations de tous les âges (des nourrissons aux personnes âgées) et avec toutes sortes de pathologies puisqu'elle est peu sensible aux mouvements et ne demande pas la prise d'un agent contrastant (Herrmann, Ehlis, & Fallgatter, 2004; Herrmann, et al., 2006; Hoshi & Tamura, 1993; Strangman, Boas, & Sutton, 2002).

Malheureusement, cette technique ne permet que des enregistrements au niveau cortical, elle possède une faible résolution spatiale comparativement à d'autres techniques comme l'IRMf et perd de son efficacité avec les peaux foncées et les chevelures épaisses et foncées puisque la lumière peut difficilement les traverser (Ferrari, et al., 2004; Kameyama, Fukuda, Uehara, & Mikuni, 2004; Strangman, et al., 2002).

### **2.5.2 Imagerie optique et vieillissement**

Peu d'études ont examiné l'impact de l'âge sur les activations cérébrales à l'aide de l'imagerie optique et d'une tâche de fluence verbale. Herrmann et ses collègues (2006) par exemple, ont comparé les réponses hémodynamiques de 44 jeunes adultes et 42 personnes âgées lors d'une tâche de fluence verbale orthographique et sémantique. Ils ont tenté de déterminer les effets du genre et de l'âge sur les activations cérébrales. Les auteurs ont pu observer une latéralisation des activations dans le cortex préfrontal gauche pour la tâche sémantique seulement. De plus, les aînés montraient une latéralisation plus faible que les jeunes adultes. D'un point de vue comportemental, les auteurs n'ont pas observé de différences liées à l'âge ou au genre pour la tâche orthographique. Toutefois, les femmes et les jeunes adultes produisent plus de mots pour la tâche sémantique que les hommes et les personnes âgées.

Une étude récente (Kahlaoui et al., en révision) a examiné l'effet de l'âge sur l'oxygénation cérébrale du cortex préfrontal lors d'une tâche de fluence verbale. L'étude utilise deux versions d'une tâche d'évocation lexicale (sémantique et orthographique) dont le degré de productivité varie. L'étude démontre que d'un point de vue comportemental, il n'y a pas de différences significatives entre les performances (i.e. nombres de bonnes réponses) des deux groupes, mais qu'il y a une différence du point de vue du degré de productivité. En effet, tous les participants ont produit moins de mots pour les stimuli dits « moins productifs » (critère orthographique : B, D, N, V, critère sémantique : Fleurs, Meubles, Outils, Véhicules/Moyens de transport). Pourtant, les résultats hémodynamiques ne montrent pas de différences significatives dans les activations cérébrales mises à part l'augmentation réduite de la concentration de O<sub>2</sub>Hb et la diminution réduite de la concentration de HHb retrouvée chez les âgés. Ce phénomène est d'ailleurs observé dans plusieurs autres études (Herrmann, et al., 2006; Hock et al., 1995; Kameyama, et al., 2004; Mehagnoul-Schipper et al., 2002; Safonova, et al., 2004; Schroeter, Zysset, Kruggel, & von Cramon, 2003; Tsujii, Okada, & Watanabe, 2010). De plus, les deux groupes montrent des activations bilatérales pour les critères orthographiques « plus productif » et « moins productif » et le critère sémantique « plus productif ».

Bien qu'intéressantes, ces études se concentrent principalement sur l'âge. Il serait intéressant d'étudier l'effet des autres facteurs susceptibles d'avoir un effet sur les activations cérébrales ou les performances cognitives et comportementales. Nous avons mentionné plus haut que le niveau de scolarité a un effet important sur la cognition et la réorganisation cérébrale. Pourtant, la plupart des études ne prennent pas ce facteur en considération (Kahlaoui, et al., en révision) ou ne le mentionnent tout simplement pas (Herrmann, et al., 2006).

### **3. Résumé de la problématique et objectifs**

L'opinion publique présente le vieillissement comme une succession de déclinis que nous devons subir sans possibilité de changements. Nous avons vu précédemment qu'il n'en est rien puisque plusieurs fonctions cognitives ne sont pas touchées par ce processus de la même façon.

En effet, il existe de nombreuses études qui appuient l'existence d'une réorganisation cérébrale. Plusieurs théories, la réserve cognitive de Stern (2002) par exemple, nous permettent d'identifier des facteurs qui ont un effet sur l'accélération des déclinis ou le maintien des fonctions cognitives, cependant les interactions pouvant avoir lieu entre les différents facteurs sont encore mal connues. Pour plusieurs, les premiers symptômes de déclinis sont particulièrement angoissants, particulièrement pour une fonction aussi essentielle que le langage.

L'évocation lexicale est très utilisée, tant dans le milieu clinique que dans le milieu de la recherche, puisqu'elle permet d'identifier plusieurs problématiques potentielles comme des lésions au lobes frontaux ou au niveau dorsolatéral et/ou striatal (Lezak, 1994). Par contre, ce test doit être utilisé avec précaution puisque plusieurs facteurs peuvent avoir un effet sur la performance. L'âge, le sexe et le niveau d'éducation sont de bons exemples (Lezak, 1994). En effet, ce dernier semble avoir un effet important sur la plupart des fonctions cognitives et sur les capacités de réorganisation et de compensation cérébrale. Pourtant, il n'existe pas d'études ayant permis d'examiner l'impact de la scolarité sur la réorganisation de la région frontale sous-tendant l'évocation lexicale.

L'objectif général de ce mémoire est d'étudier l'effet du niveau de scolarité sur l'oxygénation cérébrale du cortex préfrontal lors d'une tâche d'évocation lexicale. Pour ce faire, nous examinerons les performances de personnes âgées ayant différents niveaux de scolarité sur deux tâches d'évocation lexicale, soit une tâche

orthographique et une tâche sémantique. Il est connu que les performances à ces deux tâches diffèrent selon l'âge et le niveau de scolarité. Par contre, nous ne connaissons pas les effets de ce type de facteur sur un aspect nouveau soit le degré de productivité. Nous nous pencherons sur cette question en divisant les tâches en deux conditions : la condition « moins productive », c'est-à-dire les lettres et catégories pour lesquelles les participants produisent moins de mots et la condition « plus productive », c'est-à-dire les lettres et catégories pour lesquelles les participants produisent plus de mots. La condition « moins productive » demandera un plus grand effort cognitif au participant et peut donc être vue comme une tâche plus complexe. Cet effet de productivité (et donc de complexité) devrait avoir un effet sur la performance des participants.

Il est attendu que les personnes âgées ayant un plus haut niveau de scolarité auront de meilleures performances, c'est-à-dire produiront plus de mots, que les personnes ayant un niveau de scolarité plus faible. Les participants produiront plus de mots pour la tâche d'évocation sémantique puisqu'elle est plus facilement réalisée que la tâche orthographique (Lezak, 2004). Il est aussi attendu que les participants produiront plus de mots pour la condition plus productive que pour la condition moins productive.

D'un point de vue hémodynamique, la théorie de la réserve cognitive prédit que les participants ayant un plus haut niveau de scolarité conserveront de meilleures performances cognitives. Ses performances sont habituellement associées à des activations bilatérales au niveau des lobes frontaux, phénomène expliqué par HAROLD (Cabeza et al., 2002). Il est donc attendu que les participants avec un niveau de scolarité plus élevé montreront des activations bilatéralisées alors que les participants faiblement scolarisés montreront des activations latéralisées dans l'hémisphère gauche.

Compte tenu de notre problématique, ce projet compare un groupe de participants âgés peu scolarisé avec le groupe de participants âgés plus scolarisés issu du travail dirigé de Joannie Barbeau, effectué dans le cadre d'un baccalauréat en orthophonie, et dont l'objectif était d'étudier l'effet du vieillissement sur l'oxygénation cérébrale.

## 4. Méthodologie

### 4.1. Participants

Un groupe de 18 participants âgés peu scolarisés ont été recrutés. Six d'entre eux durent être éliminés du à des problèmes d'optodes ( $n = 4$ ), à des artéfacts causés par des mouvements ( $n = 1$ ) et à une réponse comportementale inadéquate ( $n = 1$ ). Les résultats des douze participants âgés peu scolarisés restants (PAPS : 2 hommes et 10 femmes), âgés entre 61 et 76 ans (moyenne =  $70 \pm 5.4$  ans) et ayant entre 7 et 12 années de scolarité (moyenne =  $10.08 \pm 1.94$  années) ont pu être analysés.

Tous les participants sont droitiers selon une traduction de l'*Edinburgh Handedness Inventory* (Oldfield, 1971), de langue maternelle française et sans historique de dyslexie, troubles psychiatriques ou neurologiques ou de toxicomanie et ont une vision normale ou corrigée. Les participants furent soumis au *Mini Mental State Examination* (MMSE ; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975) pour détecter des troubles cognitifs potentiels. Ils ont tous obtenu un score normal, c'est-à-dire supérieur ou égal à 25 pour le groupe d'âgés peu scolarisés et supérieur ou égal à 28 pour le groupe d'âgés fortement scolarisés.

Tel que mentionné précédemment, un autre groupe de participants plus scolarisés va permettre de réaliser nos comparaisons (participants issus du travail dirigé de Joannie Barbeau, étudiante en orthophonie intégrée au présent programme de recherche). Ce groupe comprend 16 participants âgés fortement scolarisés (PAFS : 4 hommes et 12 femmes), âgés entre 64 et 78 ans (moyenne =  $70,19 \pm 4,59$  ans) et ayant entre 17 et 20 années de scolarité (moyenne =  $17,4 \pm 0,81$  années). Ces participants correspondent aux mêmes critères d'inclusion et d'exclusion que le groupe précédent.

L'utilisation d'une batterie de tests neuropsychologiques a permis d'établir que les deux groupes ont des performances semblables sur le plan cognitif. On retrouve : la version française du test de Hayling, adaptée par Belleville et al. (2006) qui permet de

mesurer la vitesse d'initiation et les capacités d'inhibition d'une réponse automatique ; le *Trail Making Test* (TMT) utilisé pour l'attention, la vitesse d'exécution et la flexibilité mentale ; le test d'attention D2 permettant de mesurer l'attention et la capacité à discerner des détails précis ; le test des cloches qui permet de détecter les inattentions visuelles ; le test *Stroop*, version Victoria pour mesurer la capacité à maintenir un but et à supprimer la réponse habituelle pour une réponse moins familière ; un test d'empan de chiffres à l'endroit et à l'envers et le *Wisconsin Sorting Card Test*, version 64 cartes, permettant de mesurer l'habileté à former des concepts abstraits, de changer et maintenir ses concepts. Finalement, le questionnaire des activités stimulantes de Wilson et al. (2003) permettant d'identifier, de façon qualitative, la fréquence de certaines activités stimulantes (lecture de livres ou de journaux, par exemple) à différentes périodes de la vie.

Les performances des groupes ne sont pas différentes pour le test des cloches, le test *Stroop* version Victoria et le test du *Wisconsin Sorting Card Test*. Par contre, les participants moins scolarisés sont significativement plus lents dans le test du Hayling (condition automatique :  $t = 6.403$ ,  $dl = 26$ ,  $p < 0.01$  ; condition inhibition :  $t = 2.676$ ,  $dl = 26$ ,  $p < 0.05$ ) et font plus d'erreurs dans la condition d'inhibition ( $t = 3.674$ ,  $dl = 26$ ,  $p < 0.01$ ) que les participants fortement scolarisés. Ils sont aussi plus lents dans la partie A du Trail Making Test ( $t = -2.183$ ,  $dl = 26$ ,  $p < 0.05$ ), font plus d'erreurs de confusion, c'est-à-dire en raturant des lettres incorrectes, dans le test D2 ( $t = 3.564$ ,  $dl = 26$ ,  $p < 0.01$ ) et ont un empan envers plus faible ( $t = -2.711$ ,  $dl = 26$ ,  $p < 0.05$ ).

Tous les participants ont lu et signé un formulaire de consentement écrit avant de participer à cette étude et furent recrutés par le biais d'affiches et grâce à la banque de participants du Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM). Une compensation financière de 25 dollars fut accordée à tous les participants. Ce projet de recherche a été approuvé par le comité d'éthique de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (IUGM).



## 4.2. Tâches utilisées

Deux versions d'une tâche d'évocation lexicale (orthographique et sémantique) furent utilisées et contrebalancées parmi les participants. Un projet pilote, amorcé par Élie Thiboutot-Rioux et Hélène Bougie, stagiaires d'été, a permis de déterminer quatre stimuli plus productifs (F, M, P et T pour le critère phonétique et Animaux, Fruits, Sports et Vêtements pour le critère sémantique) ainsi que quatre stimuli moins productifs (B, D, N et V pour le critère phonétique et Fleurs, Meubles, Outils et Véhicules/Moyens de transport pour le critère sémantique). Chaque stimulus (lettre ou catégorie) était présenté sur l'écran de l'ordinateur en blanc sur fond noir pour une période de 30 secondes. Pour chaque stimulus, les participants avaient pour consigne de produire le plus de mots possible appartenant à la catégorie ou commençant par la lettre indiquée à l'écran en évitant les noms propres, les conjugaisons de verbe, les répétitions et les déclinaisons (féminin et pluriel). La tâche contrôlait au participant de nommer les jours de la semaine en boucle en commençant par « Lundi » durant 60 secondes. Les réponses des participants étaient enregistrées sur magnétophone et par écrit.

Le paradigme en bloc débute avec une ligne de base de 45 secondes et se termine 12 minutes plus tard par une autre ligne de base de 45 secondes. Chaque stimulus était précédé et suivi d'une ligne de base (voir Figure 1). Les participants devaient alors fixer le centre de l'écran en évitant de bouger ou de parler. Chaque passation se déroule de manière individuelle, dure environ 1h30 et inclut une batterie de tests neuropsychologiques. Les participants sont confortablement installés dans un fauteuil dans une pièce calme et sombre du CRIUGM et ont comme consigne d'éviter de bouger la mâchoire et le corps.

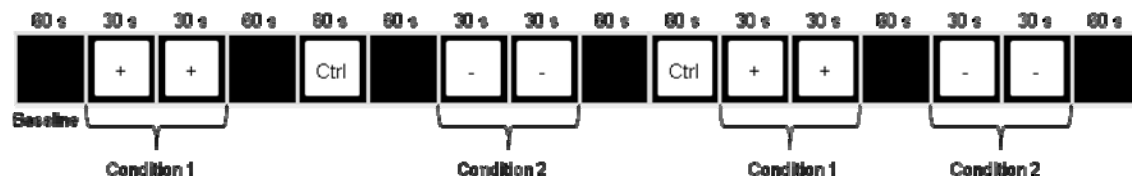


Figure 1 : Déroulement de l'expérience

« + » : Condition 1 : stimuli plus productifs (F, M, P, T/Animaux, Fruits, Sports, Vêtements)

« - » : Condition 2 : stimuli moins productifs (B, D, N, V/Fleurs, Meubles, Outils, Véhicules-Moyens de transport)

Ctrl : tâche contrôle

### 4.3. Imagerie optique

Les changements dans les concentrations d'O<sub>2</sub>Hb, HHb et Hbtot ont été mesurés en utilisant le système TechEn CW32 en utilisant deux longueurs d'onde différentes (690 et 830 nm, choisies pour leur sensibilité respective à HHb et O<sub>2</sub>Hb) et 8 paires (2 sources et 8 détecteurs). L'espace entre une source et un détecteur est de 3 cm ce qui permet une pénétration de la lumière de l'ordre de 2 à 3 cm (Toronov et al., 2001). Les optodes furent placées dans la région préfrontale (voir Figure 2), en position Fp1 et Fp2 selon le système international 10/20 (Jasper, 1958).

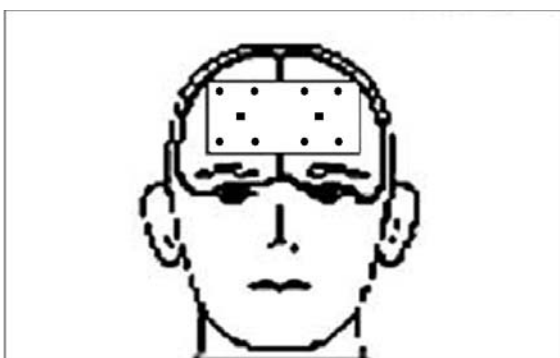


Figure 2 : Positions des sources et des détecteurs

Les carrés représentent les sources

Les ronds représentent les détecteurs.

## 4.4. Analyses statistiques

Les données démographiques (âge, niveau de scolarité) ainsi que les résultats aux tests neuropsychologiques ont été comparés grâce à des tests t de Student afin de déterminer sur quels points les groupes sont différents.

Des analyses statistiques furent aussi réalisées sur les données comportementales, i.e. le nombre de réponses correctes, et les données hémodynamiques, i.e. la variation du taux de concentration d'O<sub>2</sub>Hb et de HHb.

Les données comportementales sont analysées grâce à une ANOVA à mesures répétées Tâches (2) x Productivité (2) x Groupes (2). Les données hémodynamiques sont aussi analysées avec une ANOVA à mesures répétées Tâches (2) x Hémisphères (2) x Paires (4) x Productivité (2) x Groupes (2).

## 5. Résultats

### 5.1 Données démographiques

Un test t de Student permet de déterminer que les deux groupes ne diffèrent pas au niveau de l'âge ( $t = 0,319$ ,  $dl = 26$ ,  $p > 0,05$ ), mais que le groupe PAFS est significativement plus scolarisé que le groupe PAPS ( $t = 12,15$ ,  $dl = 13,747$ ,  $p < 0,01$ ).

### 5.2 Données comportementales

Les participants ayant un plus haut niveau de scolarité produisent plus de mots que les participants ayant un faible niveau de scolarité ( $F(1,26) = 9.901$ ,  $p < 0.05$ ). Une interaction significative Tâches x Productivité ( $F(1,26) = 74.994$ ,  $p < 0.01$ ) permet de constater que la différence de mots entre la condition « plus productive » ( $F(1,26) = 5.75$ ,  $p < 0.05$ ) et la condition « moins productive » ( $F(1,26) = 22,07$ ,  $p <$

0.01) est plus grande pour la tâche d'évocation lexicale sémantique que pour la tâche orthographique. Le nombre de réponses correctes pour chaque tâche et chaque condition de productivité est présenté dans le tableau 1.

		Âgés fortement scolarisés		Âgés peu scolarisés	
Tâches	Productivité	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Orthographique	Plus	39,88	8,51	32,42	10,17
	Moins	36,50	6,95	27,58	8,92
	Total	76,4	14,4	60,0	18,2
Sémantique	Plus	43,31	7,46	36,50	5,47
	Moins	28,88	5,92	22,92	4,52
	Total	72,2	13,0	59,4	8,9

Tableau I : Nombre de mots acceptés pour chaque groupe de participants

## 5.3 Données hémodynamiques

### 5.3.1 Concentration d'oxyhémoglobine (O<sub>2</sub>Hb)

L'analyse des concentrations d'O<sub>2</sub>Hb permet d'identifier un effet principal d'Hémisphères ( $F(1,26) = 4,413$ ,  $p < 0,046$ ), un effet principal de Paires ( $F(3,78) = 6,729$ ,  $p < 0,01$ ), une interaction Hémisphères x Paires ( $F(3,78) = 3,576$ ,  $p < 0,05$ ) et une interaction Tâches x Hémisphères x Productivité x Groupes ( $F(1,26) = 5,253$ ,  $p < 0,05$ ) significatifs. L'effet principal de groupe est non significatif ( $F(1,26) = 0,018$ ,  $p = 0,894$ ).

L'analyse de l'interaction Hémisphères x Paires ( $F(3,78) = 3,576$ ,  $p < 0,05$ ) permet de constater que certaines paires d'optodes sont activées plus fortement que d'autres et que ces paires varient selon l'hémisphère. L'analyse de l'interaction Tâche x

Hémisphères x Productivité x Groupes ( $F(1,26) = 5,253$ ,  $p < 0,05$ ) permet de constater que le groupe PAPS tend à avoir des activations plus importantes dans l'hémisphère gauche pour la condition plus et moins productive des tâches sémantique et orthographique. Par contre, le groupe PAFS tend à avoir des activations plus importantes dans l'hémisphère droit pour la condition plus productive de la tâche orthographique et moins productive pour la tâche sémantique. Leurs activations sont plus importantes dans l'hémisphère gauche pour la condition moins productive de la tâche orthographique et pour la condition plus productive pour la tâche sémantique. Les moyennes sont présentées dans le tableau II.

### **5.3.2 Concentration de déoxyhémoglobine (HHb)**

L'analyse des variations des concentrations de HHb ne présente aucun effet principal significatif que ce soit pour la variable Tâches ( $F(1,26) = 0,731$ ,  $p = 0,400$ ), Hémisphères ( $F(1,26) = 0,679$ ,  $p = 0,417$ ), Paires ( $F(3,78) = 1,650$ ,  $p = 0,185$ ), Productivité ( $F(1,26) = 0,000$ ,  $p = 1,000$ ) ou Groupes ( $F(1,26) = 0,832$ ,  $p = 0,370$ ). Aucun effet d'interaction n'est significatif.

Groupes	Tâches	Hémisphères	Productivité	Moyennes	Écarts Types
PAPS	ELO	HD	PP	5,296 <sup>E</sup> -6	0,000
			MP	7,562 <sup>E</sup> -6	0,000
		HG	PP	8,228 <sup>E</sup> -6	0,000
			MP	9,713 <sup>E</sup> -6	0,000
	ELS	HD	PP	5,557 <sup>E</sup> -6	0,000
			MP	9,713 <sup>E</sup> -6	0,000
		HG	PP	8,919 <sup>E</sup> -6	0,000
			MP	9,862 <sup>E</sup> -6	0,000
PAFS	ELO	HD	PP	7,803 <sup>E</sup> -6	0,000
			MP	9,030 <sup>E</sup> -6	0,000
		HG	PP	1,114 <sup>E</sup> -5	0,000
			MP	9,924 <sup>E</sup> -6	0,000
	ELS	HD	PP	5,383 <sup>E</sup> -6	0,000
			MP	8,348 <sup>E</sup> -6	0,000
		HG	PP	7,031 <sup>E</sup> -6	0,000
			MP	1,050 <sup>E</sup> -6	0,000

Tableau II : Interaction Groupes (2) Tâches (2) x Hémisphères (2) x Productivité (2)

PAPS : Participants âgés peu scolarisés  
 PAFS : Participants âgés fortement scolarisés  
 ELO : Évocation lexicale orthographique  
 ELS : Évocation lexicale sémantique  
 HD : Hémisphère droit  
 HG : Hémisphère gauche  
 PP : plus productif  
 MP : moins productif

## 6. Discussion

Cette étude avait pour but d'examiner l'effet du niveau de scolarité sur l'oxygénation cérébrale du cortex préfrontal lors d'une tâche d'évocation lexicale chez des personnes âgées. Les résultats montrent qu'il y a un effet de la scolarité sur les performances des participants. En effet, les participants fortement scolarisés produisent plus de mots que les participants faiblement scolarisés ce qui confirme notre première hypothèse.

De plus, les participants produisent un plus grand nombre de mots pour la condition orthographique que pour la condition sémantique lorsqu'on additionne le critère « moins productif » et le critère « plus productif ». Ces résultats vont à l'encontre de la littérature sur l'évocation lexicale qui dit que la tâche sémantique est plus facilement réussie que la tâche orthographique et, par le fait même de notre deuxième hypothèse. Des études ont par contre montré que les performances à une tâche d'évocation lexicale orthographique augmentaient avec l'âge (Henry & Phillips, 2006; Tombaugh, Kozak, & Rees, 1999). Il semble en effet que l'âge permet de prédire les performances pour la condition orthographique alors que c'est le niveau de scolarité qui permet de prédire les performances pour la condition sémantique (Tombaugh, et al., 1999). Henry et Phillips (2006) montre que des personnes âgées ont de meilleures performances que de jeunes adultes pour une tâche d'évocation lexicale orthographique. Ces résultats pourraient être expliqués par le fait que cette tâche est liée à l'intelligence cristallisée et au niveau de vocabulaire, deux fonctions conservées et même améliorées avec l'avancée en âge. En effet, l'intelligence cristallisée représente notre bagage de connaissances, bagage qui augmente au gré de nos expériences de vies et de nos apprentissages. Malheureusement, aucun test de vocabulaire n'a été choisi pour la batterie de tests neuropsychologique. Il est donc impossible de vérifier si les performances à la tâche orthographique de nos participants corréleront de façon positive avec leurs performances à un test de vocabulaire.

La présence d'une interaction amène un certain questionnement. Le tableau 1 nous permet de constater que le critère « plus productif » est effectivement plus facilement réussi que le critère « moins productif ». Par contre, la différence est plus grande pour la tâche sémantique que pour la tâche orthographique. Il semble donc que certaines lettres et certaines catégories soient effectivement moins productives, ou plus complexes, que d'autres ce qui confirme notre troisième hypothèse. Nous avons mentionné précédemment que le niveau de scolarité permettait de prédire la performance à une tâche d'évocation lexicale sémantique. Tombaugh et collègues (1999) ont obtenu ses données en utilisant la catégorie « Animaux » qui fait partie de nos catégories plus productives. D'ailleurs, la plupart des études qui utilisent une tâche d'évocation lexicale n'utilise qu'une seule catégorie : « Animaux ».

Le degré de difficulté entre les catégories moins productives et les catégories plus productives est peut-être plus grand qu'entre les lettres plus et moins productives. Le tableau 1 montre que le nombre de mots produits pour la tâche sémantique plus productive, condition qui comprend la catégorie « Animaux », est plus grand que pour toutes les autres conditions confondues. Pourtant, les catégories moins productives sont les moins bien réussies peu importe le niveau de scolarité. La tâche sémantique est présentée comme plus facile puisque le cerveau semble être organisé en catégories et sous-catégories (Hurks, et al., 2006) (Animaux : animaux de la ferme, de la jungle, domestique, poissons, oiseaux, etc). Nous avons mentionné précédemment que la tâche d'évocation lexicale orthographique était liée au niveau de vocabulaire et à l'intelligence cristallisée. Il se peut que ses deux fonctions permettent de compenser la difficulté de la condition orthographique moins productive ce qui permet aux personnes âgées d'avoir une meilleure performance pour cette tâche que pour la tâche sémantique.

Notre quatrième hypothèse suggère que le groupe fortement scolarisé présentera des activations cérébrales bilatérales alors que le groupe faiblement scolarisé présentera



des activations latéralisées dans l'hémisphère gauche du cortex préfrontal. Pourtant, nos résultats ne semblent pas aller dans cette direction puisque les deux groupes de personnes âgées, fortement et faiblement scolarisées, montrent des activations latéralisées dans l'hémisphère gauche. Ces résultats sont en désaccord avec les prédictions de HAROLD (Cabeza, et al., 2002) et avec les résultats de l'étude de Springer et collègues (2005). En effet, ces derniers ont montré que les âgés fortement scolarisés activent les régions frontales et latérales alors que les âgés moins scolarisés utilisent les régions postérieures pour effectuer une tâche d'encodage et de reconnaissance. Les participants du groupe PAFS devraient donc montrer des activations plus importantes au niveau préfrontal que les participants du groupe PAPS. Cette différence pourrait être expliquée par le fait que nous avons utilisé une tâche différente (évocation lexicale vs encodage et reconnaissance), connue pour activer non seulement les régions frontales, mais aussi les régions temporales (Lezak, 2004). Une autre explication pourrait être que le système de compensation utilisé ne représente pas celui retrouvé dans le phénomène HAROLD.

Des modèles différents ont d'ailleurs été proposés. Le phénomène *Posterior-Anterior Shift in Aging* ou PASA, proposé par Davis et al. (2008), en est un bon exemple. Ce phénomène s'intéresse à la réorganisation intrahémisphérique, c'est-à-dire la réorganisation présente dans différentes régions d'un même hémisphère. Grady et collègues (1994) sont les premiers à avoir observé ce phénomène pour une tâche d'appariements de visages et de localisation en comparant des jeunes adultes et des personnes âgées avec un niveau de scolarité semblable. Les auteurs montrent que malgré des performances comportementales similaires, les deux groupes activent des régions cérébrales différentes. Les jeunes adultes tendent à avoir de plus grandes activations dans le cortex occipital, plus spécialement la voie visuelle. Les personnes âgées tendent à avoir de faibles activations dans cette région, mais de plus importantes dans le cortex occipito-temporal, préfrontal et pariétal. Selon les auteurs, ce changement dans le patron d'activation est la manifestation d'un processus de compensation mis en place pour contrer la diminution d'efficacité dans le cortex

occipital (Grady et al., 1994). Davis et al. (2008) ont d'ailleurs confirmé la présence d'un tel phénomène avec une tâche de rappel épisodique et de perception visuo-spatiale. La réduction des activations dans les régions postérieures et l'augmentation des activations dans les régions antérieures pourraient être expliquées par l'incapacité des personnes âgées à recruter les mécanismes spécialisés nécessaires à la tâche, appuyant l'hypothèse de compensation (Davis, et al., 2008). D'ailleurs, le phénomène PASA a été observé avec plusieurs autres fonctions cognitives : attention (Cabeza, et al., 2004), perception visuelle (Grady, et al., 2000), traitement visuo-spatial (Nyberg et al., 2003), mémoire de travail (Rypma & D'Esposito, 2000), encodage et rappel de la mémoire épisodique (Dennis, Daselaar, & Cabeza, 2007; Grady, et al., 2002).

Des auteurs proposent que le phénomène observé ne soit pas un processus de compensation comme HAROLD ou PASA, mais un processus de dédifférentiation. La théorie présentée Li et Lindenberger (1999) suggère une évolution graduelle de notre système cognitif. Un enfant naîtrait avec des habiletés générales qui se transformeraient habiletés distinctes avec les années. Durant le processus de vieillissement, certaines de ces habiletés et processus neuronaux se fusionneraient avec des habiletés et processus similaires, diminuant ainsi le nombre de processus cognitifs chez l'âge (Balinsky, 1941; Baltes & Lindenberger, 1997; Garrett, 1946). Il y aurait donc une différenciation chez l'enfant et une dédifférentiation chez la personne âgée ce qui amènerait les déclin cognitifs observées à cette période de la vie. Le modèle de dédifférentiation est appuyé par des études qui montrent que les corrélations entre différentes mesures cognitives ou entre des mesures cognitives et des mesures sensorielles augmentent avec la prise en âge (Baltes & Lindenberger, 1997, par exemple), corrélations qui indiqueraient que le nombre de processus neuronaux disponibles diminuent avec le temps. L'absence d'activations bilatérales dans le cortex préfrontal pourrait donc être expliquée par ce modèle.

Notre étude comporte plusieurs limites. Le nombre inégal de participants dans chaque groupe. De plus, nos échantillons sont relativement petits ( $n = 16$ ,  $n = 12$ ) ce qui peut expliquer le manque de résultats significatifs, particulièrement pour les données hémodynamiques. De plus, la présence d'un test de vocabulaire dans la batterie de tests neuropsychologiques aurait pu nous apporter des informations intéressantes tel que mentionné précédemment. Le manque de méthodes standardisées pour utiliser l'imagerie optique est aussi une limite importante. En effet, la technique est tellement récente qu'elle ne bénéficie pas encore d'un casque standardisé comme l'EEG par exemple.

De plus, le petit nombre de paires utilisées (8 au total) ne permet d'examiner qu'une petite région du cortex préfrontal. Il est donc possible que le phénomène de réorganisation cérébrale soit présent dans d'autres régions que celle étudiée ce qui la rend impossible à observer. Pourtant, la plupart des études actuelles en imagerie optique utilisent aussi très peu d'optodes, probablement à cause de la difficulté de standardiser les mesures. De plus, une étude récente (Quaresima, Giosue, Roncone, Casacchia, & Ferrari, 2009) montre que les analyses de groupe devraient être complétées par des analyses individuelles. En effet, il existe une grande variabilité retrouvée des patrons d'activations retrouvés en imagerie optique. Par exemple, il est possible d'observer un patron d'activation nulle alors que la performance comportementale est comparable aux autres participants. Les auteurs proposent que ceci est dû à l'utilisation d'une stratégie alternative qui utilise des régions cérébrales qu'il n'est pas possible d'observer avec les optodes présentes. On retrouve aussi une hyperactivation de certaines zones qui pourraient être reliées à une insuffisance neuronale. Le cerveau aurait donc à compenser pour la région dysfonctionnelle en augmentant l'activation cérébrale (Quaresima, et al., 2009).

D'autres études seront nécessaires à une meilleure compréhension de ces patrons d'activations. Finalement, l'introduction d'un groupe de jeunes adultes faiblement

scolarisés permettrait d'examiner non seulement l'effet du niveau de scolarité, mais aussi l'effet de l'âge sur l'oxygénation cérébrale du cortex préfrontal.

## **7. Conclusion**

Cette étude montre qu'il y a un effet du niveau de scolarité au niveau des performances comportementales. En effet, les participants ayant un haut niveau de scolarité ont de meilleures performances que les participants ayant un niveau de scolarité plus faible. De plus, la condition « plus productive » est mieux réussie que la condition « moins productive » dans les deux groupes. Étonnamment, la tâche d'évocation lexicale orthographique semble mieux réussie que la tâche sémantique, et ce, pour les deux groupes. Du côté hémodynamique, il n'y a pas différence significative dans les activations cérébrales des deux groupes malgré le fait que la littérature prédise le contraire. Les participants peu scolarisés tendent à activer de façon plus importante l'hémisphère gauche, peu importe la tâche et le critère de productivité alors que les activations des participants fortement scolarisés changent selon la tâche et le critère de productivité.



## Bibliographie

- Acevedo, A., Loewenstein, D. A., Agron, J., & Duara, R. (2007). Influence of sociodemographic variables on neuropsychological test performance in Spanish-speaking older adults. *J Clin Exp Neuropsychol*, *29*(5), 530-544.
- Alley, D., Suthers, K., & Crimmins, E. (2007). Education and Cognitive Decline in Older Americans: Results From the AHEAD Sample. *Res Aging*, *29*(1), 73-94.
- Anstey, K., & Christensen, H. (2000). Education, activity, health, blood pressure and apolipoprotein E as predictors of cognitive change in old age: a review. *Gerontology*, *46*(3), 163-177.
- Arbuckle, T. Y., Maag, U., Pushkar, D., & Chaikelson, J. S. (1998). Individual differences in trajectory of intellectual development over 45 years of adulthood. *Psychol Aging*, *13*(4), 663-675.
- Ardila, A., Ostrosky-Solis, F., Rosselli, M., & Gomez, C. (2000). Age-related cognitive decline during normal aging: the complex effect of education. *Arch Clin Neuropsychol*, *15*(6), 495-513.
- Balinsky, B. (1941). An Analysis of the mental factors of various groups from nine to sixty. *Genetic Psychologu Monographs*, *23*, 191-234.
- Balota, D. A., Dolan, P. O., & Duchnek, J. M. (2000). Memory changes in healthy older adults. In E. Tulving & F. I. Craik (Eds.), *The Oxford Handbook of Memory* (pp. 395-410). New York: Oxford University Press.
- Balota, D. A., & Duchek, J. M. (1988). Age related differences in lexical access, spreading activation, and simple pronunciation. *Psychology and Aging*, *3*, 84-93.
- Baltes, P. B., & Lindenberger, U. (1997). Emergence of a powerful connection between sensory and cognitive functions across the adult life span: a new window to the study of cognitive aging? *Psychol Aging*, *12*(1), 12-21.
- Belleville, S., Rouleau, N., & Van der Linden, M. (2006). Use of the Hayling task to measure inhibition of prepotent responses in normal aging and Alzheimer's disease. *Brain Cogn*, *62*(2), 113-119.
- Benton, A. L. (1994). *Contributions to neuropsychological assessment : a clinical manual* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.
- Bergerbest, D., Gabrieli, J. D., Whitfield-Gabrieli, S., Kim, H., Stebbins, G. T., Bennett, D. A., et al. (2009). Age-associated reduction of asymmetry in prefrontal function and preservation of conceptual repetition priming. *Neuroimage*, *45*(1), 237-246.
- Bopp, K. L., & Verhaeghen, P. (2005). Aging and verbal memory span: a meta-analysis. *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci*, *60*(5), P223-233.
- Bryan, J., Luszcz, M. A., & Crawford, J. R. (1997). Verbal knowledge and speed of information processing as mediators of age differences in verbal fluency performance among older adults. *Psychol Aging*, *12*(3), 473-478.

- Burke, D. M., & Mackay, D. G. (1997). Memory, language, and ageing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 352(1363), 1845-1856.
- Butters, N., Granholm, E., Salmon, D. P., Grant, I., & Wolfe, J. (1987). Episodic and semantic memory: a comparison of amnesic and demented patients. *J Clin Exp Neuropsychol*, 9(5), 479-497.
- Cabeza, R. (2002). Hemispheric asymmetry reduction in older adults: the HAROLD model. *Psychol Aging*, 17(1), 85-100.
- Cabeza, R., Anderson, N. D., Locantore, J. K., & McIntosh, A. R. (2002). Aging gracefully: compensatory brain activity in high-performing older adults. *Neuroimage*, 17(3), 1394-1402.
- Cabeza, R., Daselaar, S. M., Dolcos, F., Prince, S. E., Budde, M., & Nyberg, L. (2004). Task-independent and task-specific age effects on brain activity during working memory, visual attention and episodic retrieval. *Cereb Cortex*, 14(4), 364-375.
- Caramelli, P., Carthery-Goulart, M. T., Porto, C. S., Charchat-Fichman, H., & Nitrini, R. (2007). Category fluency as a screening test for Alzheimer disease in illiterate and literate patients. *Alzheimer Dis Assoc Disord*, 21(1), 65-67.
- Charchat Fichman, H., Santos Fernandes, C., Nitrini, R., Alves Lourenço, R., de Paiva Paradela, E. M., Carthery-Goulart, M. T., et al. (2009). Age and education level effects on the performance of normal elderly on category verbal fluency tasks. *Dementia and Neuropsychologia*, 3(1), 49-54.
- Christensen, H., Anstey, K. J., Parslow, R. A., Maller, J., Mackinnon, A., & Sachdev, P. (2007). The brain reserve hypothesis, brain atrophy and aging. *Gerontology*, 53(2), 82-95.
- Christensen, H., Korten, A. E., Jorm, A. F., Henderson, A. S., Jacomb, P. A., Rodgers, B., et al. (1997). Education and decline in cognitive performance: compensatory but not protective. *Int J Geriatr Psychiatry*, 12(3), 323-330.
- Coffey, C. E., Wilkinson, W. E., Parashos, I. A., Soady, S. A., Sullivan, R. J., Patterson, L. J., et al. (1992). Quantitative cerebral anatomy of the aging human brain: a cross-sectional study using magnetic resonance imaging. *Neurology*, 42(3 Pt 1), 527-536.
- Daselaar, S. M., Prince, S. E., & Cabeza, R. (2004). When less means more: deactivations during encoding that predict subsequent memory. *Neuroimage*, 23(3), 921-927.
- Davis, S. W., Dennis, N. A., Daselaar, S. M., Fleck, M. S., & Cabeza, R. (2008). Que PASA? The posterior-anterior shift in aging. *Cereb Cortex*, 18(5), 1201-1209.
- Dennis, N. A., & Cabeza, R. (2008). Neuroimaging of healthy cognitive aging. In F. I. M. C. a. T. A. Salthouse (Ed.), *The Handbook of Aging and Cognition, Third Edition* (pp. 1-54): Erlbaum.
- Dennis, N. A., Daselaar, S., & Cabeza, R. (2007). Effects of aging on transient and sustained successful memory encoding activity. *Neurobiol Aging*, 28(11), 1749-1758.
- Elias, M. F., Elias, P. K., D'Agostino, R. B., Silbershatz, H., & Wolf, P. A. (1997). Role of age, education, and gender on cognitive performance in the



- Framingham Heart Study: community-based norms. *Exp Aging Res*, 23(3), 201-235.
- Ferrari, M., Mottola, L., & Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Can J Appl Physiol*, 29(4), 463-487.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res*, 12(3), 189-198.
- Foos, P. W., & Wright, L. (1992). Adult age differences in the storage of information in working memory. *Exp Aging Res*, 18(1-2), 51-57.
- Fritsch, T., Smyth, K. A., McClendon, M. J., Ogrocki, P. K., Santillan, C., Larsen, J. D., et al. (2005). Associations between dementia/mild cognitive impairment and cognitive performance and activity levels in youth. *J Am Geriatr Soc*, 53(7), 1191-1196.
- Ganguli, M., Ratcliff, G., Huff, F. J., Belle, S., Kancel, M. J., Fischer, L., et al. (1991). Effects of age, gender, and education on cognitive tests in a rural elderly community sample: norms from the Monongahela Valley Independent Elders Survey. *Neuroepidemiology*, 10(1), 42-52.
- Ganguli, M., Snitz, B. E., Lee, C. W., Vanderbilt, J., Saxton, J. A., & Chang, C. C. Age and education effects and norms on a cognitive test battery from a population-based cohort: the Monongahela-Youghiogheny Healthy Aging Team. *Aging Ment Health*, 14(1), 100-107.
- Garrett, H. E. (1946). A developmental theory of intelligence. *Am Psychol*, 1(9), 372-378.
- Grady, C. L. (2008). Cognitive neuroscience of aging. *Ann N Y Acad Sci*, 1124, 127-144.
- Grady, C. L., Bernstein, L. J., Beig, S., & Siegenthaler, A. L. (2002). The effects of encoding task on age-related differences in the functional neuroanatomy of face memory. *Psychol Aging*, 17(1), 7-23.
- Grady, C. L., Maisog, J. M., Horwitz, B., Ungerleider, L. G., Mentis, M. J., Salerno, J. A., et al. (1994). Age-related changes in cortical blood flow activation during visual processing of faces and location. *J Neurosci*, 14(3 Pt 2), 1450-1462.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Beig, S., & Craik, F. I. (2001). An examination of the effects of stimulus type, encoding task, and functional connectivity on the role of right prefrontal cortex in recognition memory. *Neuroimage*, 14(3), 556-571.
- Grady, C. L., McIntosh, A. R., Horwitz, B., & Rapoport, S. I. (2000). Age-related changes in the neural correlates of degraded and nondegraded face processing. *Cogn. Neuropsychol.*, 217, 165-186.
- Gutchess, A. H., Welsh, R. C., Hedden, T., Bangert, A., Minear, M., Liu, L. L., et al. (2005). Aging and the neural correlates of successful picture encoding: frontal activations compensate for decreased medial-temporal activity. *J Cogn Neurosci*, 17(1), 84-96.

- Hasher, L., & Zacks, R. T. (1988). Working memory, comprehension, and aging : A review and a new view. In G. H. Bower (Ed.), *The Psychology of Learning and Motivation* (Vol. 22, pp. 193-225). San Diego, CA: Academic Press.
- Henry, J. D., & Phillips, L. H. (2006). Covariates of production and perseveration on tests of phonemic, semantic and alternating fluency in normal aging. *Neuropsychol Dev Cogn B Aging Neuropsychol Cogn*, 13(3-4), 529-551.
- Herrmann, M. J., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. J. (2004). Bilaterally reduced frontal activation during a verbal fluency task in depressed patients as measured by near-infrared spectroscopy. *J Neuropsychiatry Clin Neurosci*, 16(2), 170-175.
- Herrmann, M. J., Walter, A., Ehlis, A. C., & Fallgatter, A. J. (2006). Cerebral oxygenation changes in the prefrontal cortex: effects of age and gender. *Neurobiol Aging*, 27(6), 888-894.
- Hock, C., Muller-Spahn, F., Schuh-Hofer, S., Hofmann, M., Dirnagl, U., & Villringer, A. (1995). Age dependency of changes in cerebral hemoglobin oxygenation during brain activation: a near-infrared spectroscopy study. *J Cereb Blood Flow Metab*, 15(6), 1103-1108.
- Hoshi, Y., & Tamura, M. (1993). Dynamic multichannel near-infrared optical imaging of human brain activity. *J Appl Physiol*, 75(4), 1842-1846.
- Hurks, P. P., Vles, J. S., Hendriksen, J. G., Kalff, A. C., Feron, F. J., Kroes, M., et al. (2006). Semantic category fluency versus initial letter fluency over 60 seconds as a measure of automatic and controlled processing in healthy school-aged children. *J Clin Exp Neuropsychol*, 28(5), 684-695.
- Jasper, H. (1958). The ten-twenty system of the International Federation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 10, 371-375.
- Jobsis, F. F. (1977). Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 198(4323), 1264-1267.
- Kahlaoui, K., Di Sante, G., Barbeau, J., Maheux, M., Lesage, F., Ska, B., et al. (en révision). The contribution of NIRS to the study of prefrontal cortex activations for phonological and semantic oral naming.
- Kalpouzos, G., Eustache, F., & Desgranges, B. (2008). [Cognitive reserve and neural networks in normal aging and Alzheimer's disease]. *Psychol Neuropsychiatr Vieil*, 6(2), 97-105.
- Kameyama, M., Fukuda, M., Uehara, T., & Mikuni, M. (2004). Sex and age dependencies of cerebral blood volume changes during cognitive activation: a multichannel near-infrared spectroscopy study. *Neuroimage*, 22(4), 1715-1721.
- Kang, H. G., & Dingwell, J. B. (2008). Effects of walking speed, strength and range of motion on gait stability in healthy older adults. *J Biomech*, 41(14), 2899-2905.
- Katzman, R. (1993). Education and the prevalence of dementia and Alzheimer's disease. *Neurology*, 43(1), 13-20.
- Kubota, Y., Toichi, M., Shimizu, M., Mason, R. A., Coconcea, C. M., Findling, R. L., et al. (2005). Prefrontal activation during verbal fluency tests in

- schizophrenia--a near-infrared spectroscopy (NIRS) study. *Schizophr Res*, 77(1), 65-73.
- Lazarov, O., Robinson, J., Tang, Y. P., Hairston, I. S., Korade-Mirnic, Z., Lee, V. M., et al. (2005). Environmental enrichment reduces Abeta levels and amyloid deposition in transgenic mice. *Cell*, 120(5), 701-713.
- Le Carret, N., Lafont, S., Mayo, W., & Fabrigoule, C. (2003). The effect of education on cognitive performances and its implication for the constitution of the reserve cognitive. *Developmental Neuropsychology*, 23, 317-337.
- Lee, Y., Kim, J., & Back, J. H. (2009). The influence of multiple lifestyle behaviors on cognitive function in older persons living in the community. *Prev Med*, 48(1), 86-90.
- Lemaire, P., & Bherer, L. (2005). *Psychologie du vieillissement : une perspective cognitive* (1ère éd. ed.). Bruxelles: De Boeck.
- Lezak, M. D. (2004). *Neuropsychological assessment* (4th ed.). Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Li, S.-C., & Lindenberger, U. (1999). Cross-level unification : A computational exploration of the link between deterioration of neurotransmitter systems and dedifferentiation of cognitive abilities in old age. In L.-G. Nilsson & H. J. Markowitsch (Eds.), *Cognitive Neuroscience of Memory* (pp. 103-146). Seattle, WA: Hogrefe & Huber.
- Liu, X. Z., & Yan, D. (2007). Ageing and hearing loss. *Journal of Pathology*, 211, 188-197.
- Logan, J. M., Sanders, A. L., Snyder, A. Z., Morris, J. C., & Buckner, R. L. (2002). Under-recruitment and nonselective recruitment: dissociable neural mechanisms associated with aging. *Neuron*, 33(5), 827-840.
- Lyketsos, C. G., Chen, L. S., & Anthony, J. C. (1999). Cognitive decline in adulthood: an 11.5-year follow-up of the Baltimore Epidemiologic Catchment Area study. *Am J Psychiatry*, 156(1), 58-65.
- Manly, J. J., Jacobs, D. M., Sano, M., Bell, K., Merchant, C. A., Small, S. A., et al. (1999). Effect of literacy on neuropsychological test performance in nondemented, education-matched elders. *J Int Neuropsychol Soc*, 5(3), 191-202.
- Manly, J. J., Schupf, N., Tang, M. X., & Stern, Y. (2005). Cognitive decline and literacy among ethnically diverse elders. *J Geriatr Psychiatry Neurol*, 18(4), 213-217.
- Manly, J. J., Touradji, P., Tang, M. X., & Stern, Y. (2003). Literacy and memory decline among ethnically diverse elders. *J Clin Exp Neuropsychol*, 25(5), 680-690.
- Mehagnoul-Schipper, D. J., van der Kallen, B. F., Colier, W. N., van der Sluijs, M. C., van Erning, L. J., Thijssen, H. O., et al. (2002). Simultaneous measurements of cerebral oxygenation changes during brain activation by near-infrared spectroscopy and functional magnetic resonance imaging in healthy young and elderly subjects. *Hum Brain Mapp*, 16(1), 14-23.

- Miceli, G., Caltagirone, C., Gainotti, G., Masullo, C., & Silveri, M. C. (1981). Neuropsychological correlates of localized cerebral lesions in non-aphasic brain-damaged patients. *J Clin Neuropsychol*, 3(1), 53-63.
- Morcom, A. M., Good, C. D., Frackowiak, R. S., & Rugg, M. D. (2003). Age effects on the neural correlates of successful memory encoding. *Brain*, 126(Pt 1), 213-229.
- Mortimer, J. A., Schuman, L., & French, L. (1981). Epidemiology of dementing illness. In J. A. Mortimer & L. M. Schuman (Eds.), *The Epidemiology of dementia. Monographs in epidemiology and biostatistics*. (pp. 323-333). New York: Oxford University Press.
- Nyberg, L., Sandblom, J., Jones, S., Neely, A. S., Petersson, K. M., Ingvar, M., et al. (2003). Neural correlates of training-related memory improvement in adulthood and aging. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 100(23), 13728-13733.
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97-113.
- Persson, J., & Nyberg, L. (2006). Altered brain activity in healthy seniors: what does it mean? *Prog Brain Res*, 157, 45-56.
- Piolino, P., Desgranges, B., Benali, K., & Eustache, F. (2002). Episodic and semantic remote autobiographical memory in ageing. *Memory*, 10(4), 239-257.
- Proust-Lima, C., Amieva, H., Letenneur, L., Orgogozo, J. M., Jacqmin-Gadda, H., & Dartigues, J. F. (2008). Gender and education impact on brain aging: a general cognitive factor approach. *Psychol Aging*, 23(3), 608-620.
- Quaresima, V., Giosue, P., Roncone, R., Casacchia, M., & Ferrari, M. (2009). Prefrontal cortex dysfunction during cognitive tests evidenced by functional near-infrared spectroscopy. *Psychiatry Res*, 171(3), 252-257.
- Ratcliff, G., Ganguli, M., Chandra, V., Sharma, S., Belle, S., Seaberg, E., et al. (1998). Effects of literacy and education on measures of word fluency. *Brain Lang*, 61(1), 115-122.
- Raz, N. (2000). Aging of the brain and its impact on cognitive performance: Integration of structural and functional findings. In F. I. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition* (pp. 1-90). Mahwah : NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Raz, N., Gunning, F. M., Head, D., Dupuis, J. H., McQuain, J., Briggs, S. D., et al. (1997). Selective aging of the human cerebral cortex observed in vivo: differential vulnerability of the prefrontal gray matter. *Cereb Cortex*, 7(3), 268-282.
- Rentz, D. M., Locascio, J. J., Becker, J. A., Moran, E. K., Eng, E., Buckner, R. L., et al. (2010). Cognition, reserve, and amyloid deposition in normal aging. *Ann Neurol*, 67(3), 353-364.
- Reuter-Lorenz, P. A., Jonides, J., Smith, E. E., Hartley, A., Miller, A., Marshuetz, C., et al. (2000). Age differences in the frontal lateralization of verbal and spatial working memory revealed by PET. *J Cogn Neurosci*, 12(1), 174-187.
- Rypma, B., & D'Esposito, M. (2000). Isolating the neural mechanisms of age-related changes in human working memory. *Nat Neurosci*, 3(5), 509-515.

- Safonova, L. P., Michalos, A., Wolf, U., Wolf, M., Hueber, D. M., Choi, J. H., et al. (2004). Age-correlated changes in cerebral hemodynamics assessed by near-infrared spectroscopy. *Arch Gerontol Geriatr*, 39(3), 207-225.
- Sakatani, K., Lichty, W., Xie, Y., Li, S., & Zuo, H. (1999). Effects of aging on language-activated cerebral blood oxygenation changes of the left prefrontal cortex: Near infrared spectroscopy study. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 8(6), 398-403.
- Satz, P. (1993). Brain reserve capacity on symptom onset after brain injury : A formulation and review of evidence for treshold theory. *Neuropsychology*, 7, 273-295.
- Schroeter, M. L., Zysset, S., Kruggel, F., & von Cramon, D. Y. (2003). Age dependency of the hemodynamic response as measured by functional near-infrared spectroscopy. *Neuroimage*, 19(3), 555-564.
- Sebag-Lanoë, R. (1997). *Vieillir en bonne santé* (Desclée de Brouwer ed.). Paris: Desclée de Brouwer.
- Springer, M. V., McIntosh, A. R., Winocur, G., & Grady, C. L. (2005). The relation between brain activity during memory tasks and years of education in young and older adults. *Neuropsychology*, 19(2), 181-192.
- Stern, Y. (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *J Int Neuropsychol Soc*, 8(3), 448-460.
- Stern, Y. (2003). The concept of cognitive reserve: a catalyst for research. *J Clin Exp Neuropsychol*, 25(5), 589-593.
- Stern, Y. (2006). Cognitive reserve and Alzheimer disease. *Alzheimer Dis Assoc Disord*, 20(3 Suppl 2), S69-74.
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015-2028.
- Stern, Y., Habeck, C., Moeller, J., Scarmeas, N., Anderson, K. E., Hilton, H. J., et al. (2005). Brain networks associated with cognitive reserve in healthy young and old adults. *Cereb Cortex*, 15(4), 394-402.
- Strangman, G., Boas, D. A., & Sutton, J. P. (2002). Non-invasive neuroimaging using near-infrared light. *Biol Psychiatry*, 52(7), 679-693.
- Sturnieks, D. L., St George, R., & Lord, S. R. (2008). Balance disorders in the elderly. *Neurophysiol Clin*, 38(6), 467-478.
- Tannenbaum, C., Mayo, N., & Ducharme, F. (2005). Older women's health priorities and perceptions of care delivery: results of the WOW health survey. *CMAJ*, 173(2), 153-159.
- Thibault, N., Létourneau, E. et G.D. (2004). La composition par âge de la population du Québec d'ici 2051, *Statistique Canada : Institut de la statistique du Québec. Perspectives démographiques 2001-2051*. Québec: Statistique Canada : Institut de la statistique du Québec.
- Tombaugh, T. N., Kozak, J., & Rees, L. (1999). Normative data stratified by age and education for two measures of verbal fluency: FAS and animal naming. *Arch Clin Neuropsychol*, 14(2), 167-177.
- Toronov, V., Webb, A., Choi, J. H., Wolf, M., Michalos, A., Gratton, E., et al. (2001). Investigation of human brain hemodynamics by simultaneous near-

- infrared spectroscopy and functional magnetic resonance imaging. *Med Phys*, 28(4), 521-527.
- Tsujii, T., Okada, M., & Watanabe, S. (2010). Effects of aging on hemispheric asymmetry in inferior frontal cortex activity during belief-bias syllogistic reasoning: a near-infrared spectroscopy study. *Behav Brain Res*, 210(2), 178-183.
- Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary scores: a meta-analysis. *Psychol Aging*, 18(2), 332-339.
- Villeneuve, S., & Belleville, S. (2010). [Cognitive reserve and neuronal changes associated with aging]. *Psychol Neuropsychiatr Vieil*, 8(2), 133-140.
- Wilson, R., Barnes, L., & Bennett, D. (2003). Assessment of lifetime participation in cognitively stimulating activities. *J Clin Exp Neuropsychol*, 25(5), 634-642.