

Université de Montréal

**Effets du vieillissement sur les index électrophysiologiques
de l'évaluation des relations spatiales en mémoire de
travail visuelle**

par

Manon Maheux

Département de Psychologie

Faculté des Arts et Sciences

Thèse présentée à la Faculté des Arts et Sciences
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae doctor
en psychologie
option Sciences cognitives et neuropsychologie

Juin, 2015

© Manon Maheux, 2015

Résumé

Le processus de vieillissement humain est un processus complexe qui varie grandement d'une personne à l'autre. Malgré l'ampleur des recherches faites sur le sujet, il reste encore beaucoup à explorer et à comprendre. Cette thèse propose trois expériences qui nous permettent d'améliorer notre compréhension des changements qui s'opèrent dans la mémoire de travail visuelle et l'attention visuospatiale avec la prise en âge. La première expérience propose d'examiner les changements dans les capacités de mémoire de travail visuelle entre des jeunes adultes, des adultes âgés sains et des personnes atteintes de trouble cognitif léger (TCL). De plus, grâce à un suivi fait avec les personnes ayant un TCL, nous avons pu examiner si des différences existaient au niveau comportemental entre les âgés qui ont déclinés vers un type de démence et ceux dont l'état est resté stable.

Plusieurs techniques peuvent être utilisées pour étudier les effets du vieillissement sur le cerveau. Les tests neuropsychologiques et les tâches comportementales présentées dans la première expérience en sont un exemple. La neuroimagerie peut aussi s'avérer particulièrement utile. En effet, certaines mesures électrophysiologiques, aussi appelées potentiels reliés aux événements (PRE), sont associées à des fonctions cognitives précises. Ces composantes nous permettent de suivre ces processus et d'observer les modulations causées par les caractéristiques des stimuli ou l'âge par exemple. C'est le cas de la N2pc (négativité 2 postérieure controlatérale) et de la SPCN (*sustained posterior contralateral negativity*), des composantes électrophysiologiques liées respectivement à l'attention visuospatiale et la mémoire de travail visuelle. On connaît bien ces deux composantes ainsi que les facteurs qui les modulent, or elles sont peu utilisées pour les changements qui occurrent dans l'attention et la mémoire de travail visuelle dans le cadre du processus de vieillissement. Les deuxième et troisième expériences proposent d'utiliser une tâche de recherche visuelle (nombre d'items de couleur et identification d'une relation spatiale entre deux items de couleur) afin d'explorer les changements observables sur ces composantes électrophysiologiques. La deuxième expérience examine l'efficacité d'un paradigme à présentations multiples ('multiple frame') afin de mesurer la N2pc et la SPCN chez de jeunes adultes. La troisième expérience a pour but

d'examiner les effets du vieillissement normal sur l'amplitude et la latence de la N2pc et la SPCN en utilisant le même type de tâche de recherche visuelle.

Mots-clés : vieillissement, mémoire de travail visuelle, attention, électroencéphalographie, cognition, trouble cognitif léger

Abstract

Human ageing is a complex process that varies a lot from one person to the other. Despite the scope of research of that subject, there is still a lot to explore. This thesis proposes three experiments that will help increase our understanding of the many changes in visual working memory and visuospatial attention seen in ageing. The first experiment assesses the changes in visual working memory capacities between young adults, healthy older adults, and persons with MCI. Furthermore, we were able to do a follow-up with the persons with MCI and determine which ones remained in a stable cognitive state and the ones that decline toward mild dementia, providing us with the opportunity to test for potential behavioral differences allowing us to distinguish between them.

Many techniques, such as neuropsychological tests and behavioral tasks, can be used to study the effects of ageing on the brain. Neuroimaging techniques can be particularly useful. In fact, many electrophysiological measures, called event-related potentials (ERPs), are linked to specific cognitive functions which allow us to follow those processes and observe the modulations caused by stimuli characteristics or ageing for example. This is the case of the N2pc (negativity 2 posterior contralateral) and the SPCN (*sustained posterior contralateral negativity*), two ERPs linked to visuospatial attention and visual working memory. While they are both well-known in the literature, not many studies are using them as a way to examine the changes appearing in the visuospatial attention and the visual working memory during the normal ageing process.

The second and third experiment use a visual search task (including 2 conditions: counting the number of items presented and identify a specific spatial relation between 2 coloured items) to explore the changes seen on those ERPs. The second experiment wants to assess the efficiency of a multiple frame paradigm to measure the N2pc and the SPCN with young adults. The third experiment wants to examine the effects of normal ageing on the amplitude and the latency of the two components using the same type of visual search task.

Keywords : aging, visual working memory, attention, electroencephalography, cognition, mild cognitive impairment

Table des matières

Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures	vii
Liste des abréviations.....	viii
Remerciements.....	x
Chapitre 1 : Introduction.....	1
1.1 Contexte général	1
1.2 Vieillessement	2
1.2.1 Vieillessement physique.....	3
1.2.2 Vieillessement cognitif.....	4
1.3 Mémoire de travail.....	4
1.3.1 Modèles de la mémoire de travail.....	6
1.4 Attention	7
1.4.1 Attention et vieillissement	9
1.5 : Électroencéphalographie.....	10
1.5.1 N2pc.....	11
1.5.2 SPCN.....	12
1.5.3 Vieillessement et électrophysiologie	13
1.6 Trouble cognitif léger (TCL)	15
1.6.1 Critères diagnostiques et types de TCL	16
1.7 Hypothèses et buts de la recherche	17
1.7.1 Objectifs généraux	17
Chapitre 2 : Visual Working Memory Capacity Differences Across Time: A Comparative Study Between Young Adults, Healthy Old Adults and Persons with MCI.	25
Contributions des coauteurs.....	27
Abstract.....	28
Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
Methodology.....	Erreur ! Signet non défini.
Results.....	Erreur ! Signet non défini.
Discussion.....	Erreur ! Signet non défini.

Figures.....	Erreur ! Signet non défini.
Appendix.....	Erreur ! Signet non défini.
References.....	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre 3 : Differential engagement of attention and memory in the representation of the number of relevant targets and their spatial relations: Evidence from the N2pc and SPCN	43
Contributions des coauteurs	45
Abstract.....	Erreur ! Signet non défini.
Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
Methodology.....	Erreur ! Signet non défini.
Results.....	Erreur ! Signet non défini.
Discussion.....	Erreur ! Signet non défini.
Chapitre 4 : Effect of Ageing on Visuospatial Attention and Visual Working Memory: an ERP Study	67
Contributions des coauteurs	69
Abstract.....	Erreur ! Signet non défini.
1. Introduction.....	Erreur ! Signet non défini.
2. Methodology.....	Erreur ! Signet non défini.
3. Results.....	Erreur ! Signet non défini.
4. Discussion.....	Erreur ! Signet non défini.
Figures.....	Erreur ! Signet non défini.
References.....	Erreur ! Signet non défini.
Discussion générale	101
Conclusion	112
Bibliographie.....	i

Liste des tableaux

Chapitre 2

Tableau 1 : Résultats moyens pour les tests neuropsychologiques

Tableau 2 : Moyennes et écart-types pour les différentes mesures d'une tâche de mémoire visuelle à court terme

Chapitre 4

Tableau 1 : Moyenne du taux de bonnes réponses et de la valeur de K pour chaque groupe.

Liste des figures

Chapitre 2

Figure 1 : Exemples de procédure pour le niveau de charge 2

Chapitre 3

Figure 1 : Exemples de stimulus

Figure 2 : Courbes électrophysiologiques pour chaque images (frames)

Figure 3 : Courbes électrophysiologiques moyennes pour la condition Compter

Figure 4 : Courbes électrophysiologiques moyennes pour la condition Identification d'une relation spatiale

Chapitre 4

Figure 1 : Flicker photometry task

Figure 2 : Exemple de stimulus et déroulement de l'expérience

Figure 3 : K moyen pour chaque groupe, pour chaque niveau de charge

Figure 4 : Courbes électrophysiologiques pour la condition Compter

Figure 5 : Courbes électrophysiologiques pour la condition Relation spatiale

Figure 6a : Courbes électrophysiologiques pour l'effet de distance (groupe jeunes adultes)

Figure 6b : Courbes électrophysiologiques pour l'effet de distance (groupe adultes âgés)

Liste des abréviations

a-MCI : *amnesic MCI*

C (condition) : condition Compter

C1 : Count 1 item condition

C2 : Count 2 items condition

CAD : dollars canadiens

CDA : *contralateral delayed activity*

cm : centimètres

CNSW : *contralateral negative slow wave*

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

DSM : Diagnostic and statistical manual of mental disorders

EEG : électroencéphalographie

ERP : *event-related potentials*

GDS : Geriatric Depression Scale

HEOG : *horizontal electrooculogram*

HOA : healthy older adults

Hz : hertz

K : mesure d'empan visuel

LRPs : *lateralized readiness potentials*

MCI : *mild cognitive impairment*

MCT : mémoire à court terme

MDT : mémoire de travail

MDRS : Mattis Dementia Rating Scale

MDTv : mémoire de travail visuelle

MEG : magnétoencéphalographie

MFP : *multiple frame procedure*

MLT : mémoire à long terme

MMSE : *Mini Mental State Examination*

MOCA : *Montreal Cognitive Assessment*

mN2pc : équivalent magnétique de la N2pc

ms : millisecondes

na-MCI : *non amnesic MCI*

N2pc : négativité 2 postérieure controlatérale ou *negativity 2 posterior contralateral*

OA : older adults

OMS : Organisation mondiale de la santé

PRE : potentiels reliés aux évènements

QAM : questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire

RGB : système informatique de codage des couleurs

RI/RI : rappel indicé, rappel libre

SMAF : système de mesure de l'autonomie fonctionnelle

SOA : stimulus onset asynchrony

SPCN : *sustained potential contralateral negativity*

STM : *short term memory*

SR (condition) : condition d'identification d'une relation spatiale

SR-G/O : Spatial relation, green above orange condition

SR-O/G : Spatial relation, orange above green condition

TCL : trouble cognitif léger

VEOG : *vertical electrooculogram*

VSTM : *visual short term memory*

VWM : *visual working memory*

WAIS : *Wechsler Adult Intelligence Scale*

WM : *working memory*

YA : *young adults*

Remerciements

Tout d'abord un immense merci à mon directeur de recherche, Pierre Jolicoeur. Votre patience, votre générosité et votre soutien ont eu un impact important sur ma réussite. À mes ami(e)s et collègues du laboratoire, merci pour le soutien moral et pour votre aide pendant toutes ses années, spécialement à Christine qui sait tout et qui possède le téléphone. Merci à ma famille et mes ami(e)s pour les encouragements constants, particulièrement mon conjoint Sébastien qui a dû gérer les hauts et les bas de la vie d'une étudiante graduée.

Chapitre 1 : Introduction

1.1 Contexte général

L'être humain est soumis à des centaines de stimuli à chaque moment de sa vie. La présence de mécanismes qui permettent de diriger et concentrer notre attention est essentielle afin d'éviter d'être submergé par cette information. Le cerveau humain possède des mécanismes efficaces qui nous permettent d'optimiser le déploiement de notre attention en considérant les stimuli pertinents tout en ignorant les autres.

La mémoire de travail est l'un des acteurs qui dépend de ces processus attentionnels. Malgré sa capacité limitée, un empan normal se situant autour de 3 ou 4 items sans plus (Cowan, 2001), elle permet d'encoder de façon temporaire l'information sensorielle qui sera ensuite traitée plus en profondeur.

Bien que certains aspects de ces mécanismes soient connus, les effets du vieillissement sur leur fonctionnement et leur évolution sont encore mal compris. La population québécoise étant une population vieillissante (le nombre de personnes âgées de 65 ans et plus devrait dépasser le nombre de personnes de 0–19 ans au début des années 2020) (Thibault, Létourneau, & Girard, 2004), une meilleure compréhension des phénomènes rattachées à cette étape de la vie devient primordiale. Elle permettra non seulement d'améliorer nos connaissances fondamentales sur le sujet, mais aussi de mieux outiller les cliniciens et les praticiens de toutes sortes qui auront à faire face à une population dont les besoins sont nombreux et encore mal connus.

La grande variabilité présente entre les différentes personnes et le grand nombre de facteurs, tant environnementaux que génétiques, qui peuvent avoir une influence sur le

processus de vieillissement augmentent la difficulté d'étudier cette étape de la vie. Nous nous proposons ici d'examiner les effets du vieillissement sur deux processus cognitifs, soit la mémoire de travail visuelle et l'attention visuospatiale. Pour ce faire, je ferai d'abord un survol des connaissances actuelles sur le sujet. Ensuite, une étude comportementale nous permettra d'examiner les changements dans les capacités mnésiques qui apparaissent lors du vieillissement normal et pathologique, plus précisément dans le cadre du trouble cognitif léger (TCL). Nous examinerons ensuite les changements observables au niveau des composantes électrophysiologiques associées à l'attention visuospatiale et la mémoire de travail visuelle dans le cadre du processus de vieillissement normal. Une mesure d'activité cérébrale ayant une bonne résolution temporelle, l'électroencéphalographie, nous permettra de suivre les processus sensoriels, perceptifs, et cognitifs associés à ces phénomènes de façon précise, détaillée et non-invasive. Finalement, je terminerai avec une discussion générale portant sur les résultats obtenus lors des expériences ainsi que sur leurs potentielles significations par rapport à l'avancée des connaissances sur l'attention et la mémoire.

1.2 Vieillissement

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 que de nombreux changements se produisent au cours de cette étape de la vie.

1.2.1 Vieillesse physique

On parle de vieillissement normal lorsque le corps et/ou le cerveau ne sont pas atteints par une pathologie, qu'elle soit physique ou neuronale. Même lors d'un processus normal, le cerveau lui-même subit plusieurs changements : une diminution du volume du cortex cérébral particulièrement dans les lobes frontal et pariétal (Craik & Salthouse, 2008), la mort d'une partie des neurones, une dégénérescence des axones et une diminution de l'arborisation dendritique, par exemple (Lemaire & Bherer, 2005). Le vieillissement provoque aussi plusieurs changements au niveau biologique. Les fonctions motrices sont ralenties, mais les sens (i.e. la vue, l'ouïe) sont aussi diminués. 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 (Charman, 2008; Owsley, Sekuler, & Siemsen, 1983). Une augmentation de l'épaisseur et du poids de la lentille, une diminution de ses propriétés élastiques causant une résistance mécanique ainsi qu'une réduction de l'éclairement lumineux de la rétine (i.e. le flux lumineux reçu par unité de surface) seraient liés aux déficits visuels observés chez les adultes âgés (Charman, 2008; Owsley et al., 1983). Ces changements sont particulièrement importants puisqu'ils affecteront non seulement l'acuité visuelle des personnes âgées, mais aussi leur capacité à percevoir des stimuli avec une plus faible luminance (Sara & Faubert, 2000) ou à voir certaines couleurs du spectre, particulièrement le bleu (Nguyen-Tri, Overbury, & Faubert, 2003; Wuerger, 2013). Un contrôle strict des différentes caractéristiques des stimuli devient donc essentiel dans le cadre d'expériences visuelles avec des participants âgés, particulièrement lorsque ces caractéristiques sont essentielles à l'accomplissement de la tâche.

1.2.2 Vieillessement cognitif

Ces changements physiques sont habituellement liés aux déclinis cognitifs qui apparaissent lors du vieillissement. Parmi les fonctions cognitives qui déclinent, on retrouve l'attention, la vitesse de traitement de l'information, la perception, 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 changements graduels.

Malgré tout, le vieillissement n'est pas nécessairement synonyme que de déclinis. 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 affectées par le vieillissement. Les deux aspects cognitifs qui nous intéressent ici, soit la mémoire de travail et les capacités attentionnelles, sont toutefois tous les deux souvent diminués lors de la prise en âge.

1.3 Mémoire de travail

La mémoire est probablement l'un des aspects les plus étudiés du cerveau humain. Elle se divise en plusieurs types dont la mémoire de travail (MDT), la mémoire à court terme (MCT) et la mémoire à long terme (MLT).

Les termes MDT et MCT ont longtemps été utilisés comme des synonymes. La définition donnée pour ces types de mémoire varient selon les auteurs, mais aussi selon la population étudiée (Astle & Scerif, 2011). Par contre, la littérature commence à distinguer ces deux types de mémoire de façon plus précise (voir Astle & Scerif, 2011 pour une revue). La

MCT permettrait de maintenir une petite quantité d'information en mémoire alors que la MDT serait plutôt défini comme « une petite quantité d'éléments maintenus dans un état facilement accessible afin d'être disponible pour compléter des tâches cognitives » (Cowan, 2010). Ce type de mémoire permet donc non seulement un maintien des éléments, mais aussi la manipulation de ces items durant la réalisation d'une tâche (Baddeley, 2007). La MDT pourrait donc être utilisée pour commencer à traiter l'information sensorielle, c'est-à-dire déterminer si un stimulus est pertinent ou non et s'il est doit être traité plus en profondeur et encodé en MLT ou s'il peut être ignoré. La différence entre la MCT et la MDT serait donc l'implication des fonctions exécutives et attentionnelles (Baddeley, 2007).

La MDT étant mise à contribution lorsque nous effectuons une tâche cognitive, c'est sur celle-ci que nous nous concentrerons. Les capacités mnésiques sont mesurées par une mesure d'empan, habituellement le K de Cowan pour la mémoire visuelle à court terme. Cette mesure estime le nombre d'items qu'un sujet réussi à maintenir en mémoire durant une courte période de rétention et est calculée par l'équation : $N * (p(\text{hit}) - p(\text{false-alarm}))$ où $p(\text{hit})$ est la probabilité de répondre qu'un item a changé durant une période de rétention quand il a changé, $p(\text{false-alarm})$ est la probabilité de répondre qu'un item a changé quand il n'a pas changé et N est le nombre d'items présentés au sujet au début d'une période de rétention. Cette mesure étant facile à obtenir et à reproduire, elle est fréquemment utilisée. Chez l'adulte sain, cette capacité d'empan, c'est-à-dire le nombre d'items visuels pouvant être mémorisé, se situe entre 3 et 4 (Cowan, 2001).

1.3.1 Modèles de la mémoire de travail

Plusieurs auteurs ont proposés des modèles pour expliquer le fonctionnement de la MDT. Les deux conceptions les plus connues sont le modèle de conception unitaire et le modèle structurel.

Plusieurs auteurs présentent une conception unitaire de la MCT et de la MDT (e.g. Anderson et al., 2004; Oberauer, 2002), mais le modèle de Cowan (1988) est l'un des mieux connus. L'auteur propose l'existence d'un seul et unique système de mémoire qui varie selon la capacité de focus attentionnel. Lorsqu'un item est perçu, il active les régions cérébrales impliquées dans le traitement perceptuel (le cortex visuel pour l'information visuelle par exemple) et l'information est transmise à des structures qui continueront le traitement. Dans ce modèle, la MCT (ou MDT) est représentée par un réseau neuronal qui permet à la représentation de l'item d'être activée. Comme le focus attentionnel est sur l'item, il est possible d'utiliser l'information provenant de l'item afin de prendre une décision ou d'exécuter une tâche cognitive. Le focus attentionnel et la MCT sont des processus interdépendants qui agissent en interaction et qui sont intégrés dans la MLT.

Une deuxième conception est le modèle structurel de Baddeley et Hitch (Baddeley, 2000, 2007; 1974). Ces derniers proposent une vision alternative de la MCT et de la MDT. Le modèle est divisé en trois composantes distinctes, soit l'administrateur central, le calepin visuo-spatial et la boucle phonologique. L'administrateur central est un système de gestion attentionnelle. Il a pour fonction de contrôler et coordonner les éléments provenant du calepin visuo-spatial et de la boucle phonologique, d'allouer l'attention nécessaire et sélectionner les stratégies les plus efficaces pour la réalisation d'une tâche ou la prise d'une décision et de transférer les éléments de la MCT à la MLT (Baddeley & Hitch, 1974; Lemaire & Bherer,

2005). L'administrateur central est lié aux fonctions exécutives (flexibilité mentale, actualisation des informations) (Eustache & Desgranges, 2000).

Le calepin visuospatial comprend 2 sous-systèmes utilisés comme unités d'emmagasinage temporaire et comme mécanisme de rafraîchissement de l'information, plus spécifiquement l'information visuelle, spatiale et kinesthésique. Sa fonction principale est de gérer et coordonner les processus impliqués dans des tâches d'imagerie mentale et de recherche visuospatiale (Baddeley & Hitch, 1974; Lemaire & Bherer, 2005).

La boucle phonologique, quant à elle, permet la mise en œuvre des processus articulatoires impliqués dans la compréhension du langage et de l'auto-répétition mentale permettant de maintenir une information en MDT ou de la transférer en MLT. Ce système ne fonctionne que pour des informations verbales ou acoustiques (Baddeley & Hitch, 1974; Lemaire & Bherer, 2005; Williamson, Baddeley, & Hitch, 2010).

Des études ayant démontré les limites de ce modèle, Baddeley (2000) inclut une nouvelle composante. Le buffer épisodique est un mécanisme d'emmagasinage temporaire qui a la capacité de gérer simultanément l'information provenant d'une variété de sources. Sa capacité d'emmagasinage est cependant limitée. Il permet de gérer plus particulièrement l'information reliée aux événements et à leurs contextes spatio-temporels avec l'aide de l'administrateur central (Baddeley, 2000; Eustache & Desgranges, 2000).

1.4 Attention

La MDT est fortement liée à nos capacités attentionnelles. L'attention sélective nous permet de concentrer notre attention sur les items pertinents et d'ignorer les distracteurs présents dans une tâche de recherche visuelle par exemple. Cette série de processus dynamiques est importante puisque notre environnement change constamment et que la

pertinence des stimuli qui nous entourent est fortement influencée par le contexte. Ce qui est pertinent à un moment peut rapidement devenir sans rapport avec la tâche ou l'environnement (Kramer & Madden, 2008).

La littérature propose deux types d'attention : descendante (*top-down*) et ascendante (*bottom-up*). L'attention descendante réfère à l'habileté d'un individu à traiter l'information de l'environnement de façon intentionnelle et sélective. Ce type d'attention est lié aux attentes de la personne et est donc dépendant de cette dernière. L'attention ascendante implique que le contrôle de l'attention est déterminé par les caractéristiques de l'environnement. Ce type d'attention est donc indépendant des attentes ou des expériences de la personne (Kramer & Madden, 2008).

Les différents modèles proposent deux mécanismes qui permettent d'expliquer l'analyse des objets. Le premier permet d'obtenir une représentation grossière des propriétés des objets ce qui permet au système visuel de distinguer chacun d'entre eux. Le deuxième permet d'encoder les objets en détail, permettant ainsi de les identifier, de les individualiser. Cette première étape d'individuation, i.e. notre capacité à distinguer des éléments dans un environnement ou des stimuli spécifiques, est encore mal compris. L'hypothèse actuelle est que le mécanisme serait dirigé par les caractéristiques des stimuli. Si les items pertinents sont saillants ou possèdent des caractéristiques uniques (la forme ou la couleur par exemple), le processus d'individualisation sera facilité (Kahneman, Treisman, & Gibbs, 1992; Z. Pylyshyn, 1994; Z. W. Pylyshyn, 2001; Scholl, 2001; L. M. Trick & Pylyshyn, 1994).

1.4.1 Attention et vieillissement

Plusieurs études ont examiné différents aspects de l'attention dans le contexte du vieillissement. La plupart des études examinent l'attention soutenue (soit l'habileté à maintenir la vigilance et la concentration à travers le temps) ou l'attention visuelle sélective (soit l'habileté à se concentrer sur les caractéristiques pertinentes tout en ignorant les caractéristiques non pertinentes d'un objet, dans un contexte où les capacités attentionnelles ou de traitement sont limitées). La plupart de ces études montrent des résultats inconsistants, probablement dû à la complexité des tâches attentionnelles : Giambra et Quilter (1988) n'observent pas de changements dûs à l'âge dans une tâche de qui permet de mesurer les capacités d'attention soutenue (Mackworth Clock test). Greenwood, Parasuraman et Haxby (1993) ont montré que l'habileté à s'orienter en utilisant des stimuli visuels, endogènes ou exogènes, demeurent intacte en vieillissant. Des études faites avec des tâches parrallèles (*dual-task*) ou de changements de tâches (*task switching*) montrent que les adultes âgés ont de moins bonnes performances que les jeunes adultes (H. Pashler, 1994; Rogers & Monsell, 1995), alors que Trick et Enns (1998) montrent que si la recherche de caractéristiques reste intacte, la recherche de conjonctions est ralentie avec l'âge.

L'attention soutenue, comme beaucoup de fonctions cognitives, semble présenter, à travers le développement, une courbe en U inversée : on observe une augmentation des capacités attentionnelles lors de l'enfance et l'adolescence qui atteint un plateau à l'âge adulte pour ensuite redescendre lentement en vieillissant. McAvinue et collaborateurs (2012) montrent que trois des aspects importants de l'attention, soit les capacités attentionnelles, l'attention soutenue et la sélectivité attentionnelle sont déclinent de façon différente avec

l'âge. Il semble donc y avoir une relation entre l'âge et le déclin des capacités de traitement visuel et de capacité de la mémoire de travail visuel (MDTV).

1.5 : Électroencéphalographie

L'arrivée des techniques de neuroimagerie s'est avéré un avantage de taille puisqu'elles nous permettent de littéralement visualiser les structures impliquées dans différents processus cognitifs. Les différentes techniques développées au fil du temps ont permis aux scientifiques d'obtenir différents niveaux de précision tant au niveau temporel qu'au niveau spatial. L'électroencéphalographie (EEG) est connue pour sa fine résolution temporelle qui lui permet de mesurer l'activité cérébrale avec une précision de l'ordre de la milliseconde. Avec le temps, les chercheurs ont réussi à identifier plusieurs composantes, aussi appelées potentiels liés aux événements (PRE ou *event-related potentials* ou ERP), qui ont pu être associées à plusieurs phénomènes cognitifs. Ces associations confèrent un avantage énorme pour l'étude de ces différents processus puisqu'une meilleure compréhension des facteurs qui les modulent permet d'améliorer nos connaissances par rapport au fonctionnement des processus cognitifs sous-jacents. De plus, vue son côté non invasif, il est possible de l'utiliser chez tous les groupes d'âges ce qui nous permet d'étudier les effets du développement et du vieillissement du cerveau humain. La N2pc ou N2 postérieur controlatérale (Luck & Hillyard, 1994b) et la SPCN ou *sustained posterior contralateral negativity* (Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua, & Robitaille, 2006) sont deux composantes négatives retrouvées dans l'hémisphère controlatéral à la présentation du stimulus utilisé et dont l'activité est liée respectivement à l'attention visuospatiale et la mémoire visuelle à court terme.

1.5.1 N2pc

La N2pc est une composante latéralisée bien connue en attention visuelle. Comme son nom l'indique, elle est mesurée au-dessus de l'hémisphère controlatéral à la présentation d'un stimulus pertinent à une tâche (une cible), plus spécifiquement sur les zones postérieures du cortex. Elle est visible environ 180 à 280 ms après la présentation d'une cible, principalement sur la paire d'électrodes PO7-PO8, mais aussi sur les paires adjacentes O1-O2 et P7-P8 du système international 10–10.

Mentionnée pour la première fois au début des années 1990 (Luck, Fan, & Hillyard, 1993; Luck & Hillyard, 1990, 1994b), la N2pc est observée lorsqu'une cible doit être identifiée parmi des distracteurs et est interprétée comme un index électrophysiologique du déploiement de l'attention vers une cible potentielle (Luck & Hillyard, 1994a). Luck et collaborateurs (Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997) ont aussi observé que l'amplitude de la N2pc est modulée par certains facteurs comme le nombre d'items distracteurs et la distance entre ces derniers et la cible. Ces auteurs proposent que la composante est modulée par un système de filtre spatial qui nous permet d'ignorer l'information non pertinente à la tâche. Si la cible est placée près d'un distracteur, il sera plus difficile d'individualiser les deux items, particulièrement s'ils partagent des caractéristiques physiques (la couleur par exemple). Il sera alors possible d'observer une augmentation de l'amplitude de la N2pc qui pourrait être expliquée par une compétition entre les items. Les items étant plus difficiles à individualiser, plus de ressources seront nécessaires pour réussir la tâche ce qui cause l'augmentation observée (Luck & Hillyard, 1994a, 1994b).

Hilimire et collègues (2009, 2010) ont manipulé la distance physique séparant deux items saillants (une cible et un distracteur) placés parmi des distracteurs non saillants disposés en

cercle. Les items saillants pouvaient être soit en positions adjacentes, soit séparés par quatre distracteurs non saillants. Contrairement à l'équipe de Luck, leurs résultats montrent que l'amplitude de la N2pc diminue lorsque les items saillants sont adjacents. Les auteurs proposent, suivant la logique de la théorie de la compétition biaisée de Desimone et Duncan (1995), que la présence de deux items dans le même champ récepteur provoque une compétition entre les deux items, causant ainsi une suppression mutuelle de l'activité neuronale (Hilimire, Mounts, Parks, & Corballis, 2009, 2010). Drisdelle et Jolicoeur (2014) ont tenté d'identifier la théorie qui pouvait expliquer les modulations de la N2pc. Leurs résultats montrent une diminution de l'amplitude de la N2pc pour des items adjacents, tels que proposé par Hilimire et ses collaborateurs (Hilimire et al., 2009, 2010).

1.5.2 SPCN

La SPCN est aussi une composante latéralisée soutenue retrouvée dans les régions postérieures de l'hémisphère controlatéral à la cible. Plus tardive que la N2pc, elle est visible à partir d'environ 300 ms après la présentation de la stimulation (Jolicoeur et al., 2006; Vogel & Machizawa, 2004) sur les mêmes paires du système international que la N2pc (PO7-PO8, mais aussi O1-O2 et P7-P8). Bien que son nom varie selon les auteurs (SPCN : Jolicoeur et al., 2006; Contralateral Negative Slow-Wave ou CNSW : Klaver, Talsma, Wijers, Heinze, & Mulder, 1999; Contralateral Delayed Activity ou CDA : Vogel & Machizawa, 2004), elle est associée à des opérations cognitives plus tardives, souvent reliées au maintien de stimuli sensoriels dans la MDTv. Son amplitude varie avec le nombre d'items présentés et plafonne lorsqu'on atteint les limites de la MDTv de chaque individu (Vogel & Machizawa, 2004), une limite qui se situe à environ 3 ou 4 items tel que mentionné précédemment (Cowan, 2001). De plus, sa durée est corrélée de façon positive avec le temps de réaction des participants à une

tâche (Robitaille & Jolicoeur, 2006), un temps de réaction plus long est donc associé à une composante plus longue, et avec la durée de l'intervalle de rétention (Perron et al., 2009).

1.5.3 Vieillesse et électrophysiologie

Le groupe de Lorenzo-Lopez est l'un des rares à avoir étudié la composante N2pc, mais aussi son homologue magnétique la mN2pc, en lien avec le vieillissement en utilisant l'EEG (Lorenzo-Lopez, Amenedo, & Cadaveira, 2008) et la magnétoencéphalographie (MEG) (Lorenzo-Lopez et al., 2011). Pour leur première expérience, réalisée en 2008, le groupe a utilisé une tâche de recherche visuelle pendant laquelle les participants (un groupe de jeunes adultes et un groupe de personnes âgées) devaient identifier une cible parmi une série de distracteurs. La tâche était séparée en trois conditions : une condition homogène qui contenait 8 barres horizontales bleues, une condition avec la cible qui contenaient 7 barres horizontales bleues et 1 barre verticale également bleue et une condition avec une cible non pertinente qui contenaient 7 barres horizontales bleues et 1 barre horizontale rouge.

Leurs résultats montrent une augmentation dans la latence de la N2pc chez le groupe d'âgés et une diminution de l'amplitude de la composante. Les auteurs proposent que le délai, jumelé à leurs temps de réaction plus lents, pourrait indiquer que les personnes âgées mettent plus de temps à localiser la cible que les jeunes adultes. De plus, l'amplitude étant vue comme une mesure du focus attentionnel, ils suggèrent une réduction des capacités à conserver un focus attentionnel soutenu chez les personnes âgées.

Le groupe a repris le même type d'expérience en 2011 en utilisant cette fois la MEG comme technique d'imagerie. Les deux groupes de participants, des jeunes adultes et des personnes âgées, ont encore été soumis à une tâche de recherche visuelle où ils devaient

identifier une cible parmi une série de distracteurs. Cette fois-ci, l'expérience était divisée en deux conditions : homogène (8 barres horizontales bleues) ou avec la cible (7 barres horizontales bleues et 1 barre verticale bleue). Les résultats de cette étude appuient les données recueillies en 2008 et suggèrent que l'âge est la cause de la grande variabilité observée dans plusieurs processus étudiés ici, soit l'affectation de notre attention à un endroit précis, les processus liés à la préparation d'identification de la cible et la réalisation de la réponse motrice (i.e. appuyer sur une touche du clavier pour indiquer que la cible est présente ou non).

Jost et collègues (2011) ont quant à eux étudié les effets du vieillissement sur la SPCN. Ils utilisèrent deux tâches de MDTv. La première était basée sur le protocole de Luck et Vogel (1997) : on présentait un tableau visuel contenant 2, 4, 6 ou 8 carrés de couleurs et le participant devait indiquer si une deuxième présentation était identique ou non à la première. Les participants âgés avaient une moins bonne performance que celle des jeunes adultes, écart qui augmente lorsqu'on augmente le nombre d'items à mémoriser. La deuxième tâche cherchait à évaluer l'efficacité des processus de filtrage de l'information des participants. Un tableau visuel contenant des rectangles de couleur (rouges, bleus et verts) dans différentes orientations (horizontal ou vertical) était présenté aux participants qui devaient mémoriser l'orientation des rectangles rouges (les cibles) tout en ignorant l'orientation des rectangles bleus et verts (les distracteurs).

Les résultats électrophysiologiques montrent aussi une augmentation de l'amplitude de la SPCN lorsqu'on augmente le nombre d'items pour les deux groupes. Par contre, l'amplitude de la composante est moins grande pour les personnes âgées que pour les jeunes adultes. Les auteurs ont aussi observé un décalage dans le début du processus de filtration entre les deux

groupes, représentée par une augmentation de la latence de la SPCN. En effet, les jeunes adultes semblent filtrer les items plus rapidement que les âgés. Les auteurs suggèrent que les personnes plus âgées pourraient encoder toutes les informations visuelles en mémoire de travail et par la suite filtrer les informations non pertinentes, par exemple, l'orientation d'un rectangle bleu. Ces résultats sont en lien avec la théorie du déficit d'inhibition qui prétend que les personnes âgées auraient une moins bonne capacité à inhiber les informations non pertinentes (Hasher & Zacks, 1988).

Sander et collègues (2011) ont, quant à eux, repris la tâche de mémoire utilisée par Mazza et Caramazza (2011) et l'ont administré à trois groupes : un groupe d'enfants, un groupe de jeunes adultes et un groupe de personnes âgées en utilisant deux temps de présentation des items, soit un temps court (100 ms) et un temps long (500 ms). Du point de vue comportemental, pour le temps de présentation court, les personnes âgées sont le groupe ayant les moins bonnes performances suivi des enfants et finalement des jeunes adultes. Du point de vue électrophysiologique, le même effet de charge est vu chez les trois groupes. Par contre, les différences d'amplitude sont beaucoup plus grandes chez les enfants que chez les deux autres groupes d'âge. Les modulations observées chez les âgées sont les plus faibles. Pour le temps de présentation long, les mêmes effets sont vus de façon plus prononcée. Par contre, les différences d'amplitude sont toujours les plus faibles pour le groupe d'âgés. Les auteurs se rangent d'ailleurs aux hypothèses proposées par Jost et al. (2011).

1.6 Trouble cognitif léger (TCL)

Le trouble cognitif léger (*mild cognitive impairment* ou MCI) est vu comme un état transitionnel entre le vieillissement normal et la démence (Petersen et al., 2001). Pourtant,

malgré le fait qu'une grande partie des gens atteints de TCL progressent vers une démence (maladie d'Alzheimer, démence fronto-temporale, etc), un bon nombre d'entre eux ne subissent pas de déclin supplémentaires et restent stables (Petersen et al., 2001). L'attention des chercheurs et des cliniciens a longtemps été portée sur les différents types de démences ainsi que sur la façon de les diagnostiquer et les traiter, laissant les gens normaux ou dans des états transitoires comme le TCL dans l'oubli. Cette situation est heureusement en train de changer et le TCL a reçu une attention considérable dans les dernières années.

1.6.1 Critères diagnostiques et types de TCL

Les critères diagnostiques du TCL font toujours l'objet de débat parmi les cliniciens. Les caractéristiques suivantes font toutefois l'objet d'une approbation générale : (1) des plaintes cognitives, (2) un déclin de la mémoire et/ou d'un autre domaine cognitif, (3) activités quotidiennes normales, (4) et une absence de démence (Albert et al., 2011; Gauthier et al., 2006; Petersen et al., 2001; Petersen et al., 1999).

En date d'aujourd'hui, il n'existe pas de tests spécifiques (neuropsychologiques ou autres) ou de démarcation précise en termes de déclin cognitif ou physique qui nous permettent de faire un diagnostic. Par contre, les symptômes ne sont jamais assez importants pour rencontrer les critères permettant de diagnostiquer une démence (légère ou autre). Bien que le TCL a longtemps été vu comme affectant principalement la mémoire épisodique à long terme, il est de plus en plus clair que d'autres domaines cognitifs sont touchés.

Il existe plusieurs sous-types de TCL. Le plus commun, appelé TCL amnésique, comprend une détérioration de la mémoire et peut affecter un seul (*a-MCI single domain*) ou plusieurs domaines cognitifs comme le langage, les habiletés visuospatiales ou les fonctions exécutives

(*a-MCI multiple domains*). Certains sous-types ne comprennent pas de détérioration mnésique et sont appelés non amnésique (*na-MCI*) et peuvent eux aussi affecter un seul ou plusieurs domaines cognitifs (Petersen, 2004).

1.7 Hypothèses et buts de la recherche

1.7.1 Objectifs généraux

Nous proposons ici d'étudier les changements observables dans les mécanismes de l'attention visuospatiale et la mémoire de travail lors du processus de vieillissement. Le premier article nous permettra d'examiner les changements dans les capacités mnésiques qui apparaissent lors du vieillissement normal et pathologique, plus précisément dans le cadre du TCL. Nous examinerons aussi les capacités d'une tâche de mémoire ainsi que de différents tests neuropsychologiques à distinguer entre les gens dont l'état restera stable de ceux qui développeront une démence avec le temps. Nous examinerons ensuite les changements observables au niveau des composantes électrophysiologiques associées à l'attention visuospatiale et la mémoire de travail visuelle dans le cadre du processus de vieillissement normal. Pour ce faire, une première étude faite avec de jeunes adultes nous permettra de tester l'efficacité d'un paradigme à images multiples pour étudier les composantes électrophysiologiques comme la N2pc et la SPCN ainsi que les processus d'identification d'une relation spatiale entre deux items de couleurs. Finalement, le troisième article nous permettra d'étudier les effets du vieillissement normal sur la latence et l'amplitude de ces composantes électrophysiologiques.

Le premier article est basé sur les paradigmes utilisés par les équipes de Luck et Vogel (1997) et Vogel et collaborateurs (Vogel, Woodman, & Luck, 2001). La tâche est bien connue

dans la littérature et est fréquemment utilisée pour mesurer l'empan mnésique grâce au K de Cowan. On présente aux participants un tableau visuel contenant des cercles de couleurs. Après une période de rétention variable, on présente de nouveau un tableau visuel contenant le même nombre de cercles. Il faut alors indiquer si la deuxième présentation était identique ou non à la première en appuyant sur un bouton. Cette tâche a plusieurs avantages. Parmi eux, on retrouve l'absence de verbalisation de la réponse qui permet d'utiliser une stimulation visuelle qui ne subira pas d'interférences de la part d'autres types de stimuli, l'absence d'utilisation de la mémoire iconique et l'absence d'utilisation de ressources attentionnelles supplémentaires vu la simplicité de la tâche elle-même ce qui assure la non-utilisation d'autres processus cognitifs.

Cette tâche nous permettra d'examiner les différences dans les capacités entre trois groupes d'âge : de jeunes adultes, des adultes âgés en santé et des adultes âgés ayant un TCL. De plus, nous avons eu la possibilité de faire un suivi annuel avec les personnes ayant un TCL qui ont participé à notre expérience, nous permettant ainsi de savoir lesquels ont décliné vers une démence légère et de tester la possibilité que nos mesures soient assez précises pour distinguer les deux groupes de participants. Nous prédisons que les jeunes adultes auront un K plus élevé que celui des âgés sains et des personnes ayant un TCL et que les âgés sains auront aussi un K plus élevé que les personnes atteintes de TCL. Nous prédisons aussi que les personnes atteintes de TCL qui sont restées stables dans le temps auront un K plus élevé que les personnes qui ont décliné vers une démence légère.

Les deuxième et troisième articles sont basées sur les protocoles de Mazza et Caramazza (2011) ainsi que sur ceux de Vogel et Machizawa (2004). Mazza et Caramazza (2011) ont effectué une tâche de recherche visuelle dans trois expériences différentes : la première consistait à identifier le nombre de cibles présentes parmi une série de distracteurs

(e.g. 2 diamants rouges parmi des verts) ; la deuxième consistait à identifier la présence ou l'absence d'une ou des cibles (e.g. un ou plusieurs diamants verts parmi des rouges) ; la troisième consistait à identifier la présence ou l'absence d'un nombre de cible précisé au début de chaque bloc (e.g. 3 diamants rouges parmi des verts).

Les résultats de l'expérience 1 montrent que l'amplitude de la N2pc et de la SPCN sont toutes les deux modulées par le nombre d'items présentés. Les résultats de l'expérience 2 montrent la présence d'une N2pc qui, contrairement à l'expérience précédente, n'est pas modulée par le nombre d'items présentés. De plus, aucune SPCN n'a été observée. L'expérience 3 quant à elle, montre une modulation de la N2pc et de la SPCN associées au nombre d'items. Cette modulation est présente pour les essais qui contenaient la cible recherchée, mais aussi pour ceux qui ne contiennent pas la cible recherchée. Les auteurs proposent que la modulation de la N2pc n'est pas observée dans l'expérience 2 puisque cette composante est reliée au processus d'individualisation des items observés, une étape inutile pour cette expérience puisque les participants n'ont qu'à indiquer la présence ou l'absence d'une cible i.e. s'il y a 2 couleurs dans le tableau présenté ou une seule. Le même type de raisonnement peut s'appliquer pour les modulations et la présence de la SPCN. Comme cette composante est observée lorsqu'une représentation doit être conservée en mémoire, elle n'est pas observée dans une tâche où il n'est pas nécessaire de conserver des représentations (e.g. l'expérience 2).

Vogel et Machizawa (2004) ont testé de jeunes adultes avec une tâche de mémoire. Les participants devaient mémoriser un tableau visuel contenant entre 1 et 10 carrés de couleurs et indiquer, 1 seconde plus tard, si la deuxième présentation était identique à la première ou non.

Les auteurs rapportent que la SPCN (qu'ils nomment CDA) augmente en fonction du nombre d'items et plafonne à environ 4 items, soit l'empan mnésique moyen pour des stimuli visuels.

Pour le deuxième article, nous utiliserons deux tâches : la première est une tâche de dénombrement et la deuxième une tâche d'identification d'une relation spatiale entre deux stimuli. Ainsi, il sera possible de cibler les processus liés aux mécanismes qui nous intéressent et d'identifier les facteurs qui peuvent ou non avoir une influence sur les composantes. Les tâches en attention visuo-spatiales sont traditionnellement présentées selon un paradigme à image simple (*single frame*). Un tableau visuel est d'abord présenté aux participants qui doivent identifier la présence ou l'absence d'une cible prédéterminée. La réponse est habituellement enregistrée en appuyant sur une touche d'un clavier d'ordinateur. Nous proposons ici d'utiliser un paradigme à images multiples (*multiple frame*) pour nos deux tâches.

Pour la tâche de dénombrement, six tableaux visuels seront présentés successivement (voir Figure 2). Les participants devront alors compter le nombre de tableaux dans lequel apparaît une cible déterminée au début de chacun des deux blocs (1 ou 2 items colorés, voir Figure 3 pour exemple). Une telle tâche devrait nous permettre d'identifier une N2pc pour tous les essais puisque le participant devra déployer son attention sur les stimuli afin de compter les images et produire une réponse. Elle nous permettra de vérifier s'il est possible de reproduire les résultats obtenus avec un protocole traditionnel. En effet, il sera possible d'observer les modulations de l'amplitude de la N2pc. Tel que mentionné précédemment, l'amplitude de la N2pc varie selon le nombre d'items présentés. Elle devrait donc être plus grande pour les essais où il y a deux items colorés. De plus, si l'on suit la logique de Mazza et Caramazza (2011), la SPCN ne devrait pas être présente pour les essais où il n'y a qu'un seul

item coloré puisqu'il n'est pas nécessaire d'encoder, même temporairement, cet item afin de réussir la tâche.

La deuxième tâche suit le même modèle que la première. Six tableaux visuels, contenant 2 items de couleurs identiques ou différentes, seront présentés de façon successive comme pour la tâche de dénombrement. Ici, la cible n'est plus désignée comme étant un nombre d'items (1 ou 2), mais comme une relation spatiale entre deux items de couleurs différentes (un item vert au-dessus d'un item bleu ou un item bleu au-dessus d'un item vert, voir Figure 4 pour des exemples). Afin de réussir à faire la tâche correctement, nous présumons qu'il sera nécessaire de déployer son attention sur l'item du haut (ou du bas), de l'encoder temporairement en mémoire de travail visuelle à court terme, de déployer son attention sur le 2^e item pour enfin déterminer si les deux items sont bien de couleurs différentes, mais aussi si la relation spatiale entre les deux est bel et bien celle recherchée. Suivant la logique de Vogel et Machizawa (2004), nous devrions observer non seulement une N2pc, index du déploiement attentionnel, mais aussi une SPCN qui indiquera un passage en mémoire. Cette dernière devrait être plus grande pour les essais où les deux items sont de couleurs différentes puisqu'il est impossible d'identifier une relation spatiale entre un item bleu et un item vert si les deux items sont de la même couleur.

Si nous observons aussi des modulations dans l'amplitude de la N2pc lorsque le nombre d'items augmente ainsi que des modulations dans l'amplitude de la SPCN lorsque la mise en mémoire est nécessaire, il sera possible d'affirmer que le protocole à images multiples est aussi efficace que son prédécesseur pour étudier les processus attentionnels utilisés pour ces tâches. Ce type de protocole nous permettrait d'augmenter le nombre d'essais expérimentaux tout en conservant une durée totale d'expérimentation acceptable pour les

participants. Vu le grand nombre d'essais, il sera possible de suivre plus efficacement non seulement les processus attentionnels, mais aussi le passage en mémoire des stimuli présentés.

Le troisième article nous permettra de tester ce même protocole avec des gens âgés. Pour s'assurer du bon fonctionnement du paradigme, certains ajustements seront faits afin de prendre en compte la réalité des personnes âgées. En effet, des changements physiques au niveau de l'œil causent des changements importants dans le système visuel : le jaunissement du cristallin diminue la quantité de lumière entrant dans l'œil ce qui pourrait expliquer la différence d'amplitude observée dans les composantes électrophysiologiques étudiées entre les jeunes et les âgés. Nous utiliserons une tâche de fluctuations rapides de la luminance (*flicker photometry task*) afin de maximiser la luminance des stimuli utilisés dans le cadre de l'expérience. Chaque sujet ajustera la luminance de ces stimuli afin de parer aux grandes différences individuelles qui seront présentes chez les sujets âgés. La vision des couleurs est aussi changée avec la prise en âge. La couleur bleue est l'une des couleurs qui est le moins bien perçue chez les âgés, un changement aussi causé par le jaunissement du cristallin, alors que le rouge est toujours bien perçu (Wuerger, 2013). Toutefois, Pomerleau, Fortier-Gauthier, Corriveau, Dell'Acqua, and Jolicoeur (2014) ont démontré un effet de couleur sur les composantes électrophysiologiques lorsque la couleur rouge était utilisée chez les jeunes adultes. Nous avons donc décidé d'utiliser des stimuli verts et oranges, ce qui nous permet d'éviter des effets de couleurs connus pour les deux groupes d'âge. Une mesure du diamètre pupillaire auprès d'un sous-échantillon de participants (jeunes et âgés) nous a permis de déterminer que la diminution des capacités de dilatation de la pupille pouvait avoir un impact sur les données puisque la rétine des participants âgés, ayant une pupille plus petite, recevait moins de lumière que celle des jeunes adultes. Les jeunes adultes ont donc fait la tâche de

fluctuations avec une luminance de départ plus faible (calculé à partir du ratio de diamètre de pupilles mesurées) afin de recréer les effets du vieillissement physique de l'œil.

Cette étape nous permettra de contrôler pour les changements au niveau du cristallin et s'assurer que les différences d'amplitudes mesurées sont bel et bien causées par des changements au niveau cognitif et non par les changements au niveau du cristallin. La tâche de dénombrement permettra d'examiner les effets du vieillissement sur le déploiement d'attention, mais aussi sur l'effet du nombre d'items. Des modulations différentes dans l'amplitude de la N2pc devraient donc être visibles selon les groupes puisque des différences moins marquées ont été observées chez les personnes âgées par d'autres chercheurs (Lorenzo-Lopez et al., 2008; Lorenzo-Lopez et al., 2011). Il sera aussi possible d'observer les changements pour la SPCN qui ici aussi devraient être plus atténués pour le groupe de personnes âgées (Jost et al., 2011; Sander et al., 2011).

La tâche d'identification d'une relation spatiale nous permettra d'étudier les effets d'un traitement de l'information visuelle plus poussée. En effet, il a été mentionné auparavant que pour réussir la tâche, le participant ne peut se contenter de mémoriser si le tableau présenté contient des items de couleurs identiques ou différentes puisqu'il lui faut aussi identifier la position spatiale d'un item par rapport à l'autre. Bien que les patrons de résultats devraient être les mêmes dans les deux groupes, les modulations d'amplitudes (différence en microvolts) devraient être plus faibles pour les adultes âgés tels que vu dans les expériences rapportées précédemment.

Pour cette tâche, nous avons aussi modulé la distance entre les deux stimuli afin d'examiner les effets potentiels de ce changement sur les composantes électrophysiologiques étudiées chez les personnes âgées. Des études faites dans notre laboratoire (Aubin et Jolicoeur,

2014; Drisdelle et Jolicoeur, 2014) montrent une diminution de l'amplitude de la N2pc lorsqu'on diminue la distance entre la cible et un distracteur saillant (Hilimire et al., 2009, 2010). Nous prévoyons donc retrouver ce même genre de patron chez les deux groupes d'âges. Par contre, suivant les résultats d'études en électrophysiologie faites avec des personnes âgées, ces modulations devraient être moins grandes chez le groupe âgé que chez le groupe plus jeune.

**Chapitre 2 : Visual Working Memory Capacity
Differences Across Time: A Comparative Study Between
Young Adults, Healthy Old Adults and Persons with MCI.**

Visual Working Memory Capacity Differences Across Time: A Comparative Study
Between Young Adults, Healthy Old Adults and Persons with MCI.

Manon Maheux^{1,2,3}, Émilie Lepage³, Samira Mellah³, Sylvie Belleville^{1,2,3}, Pierre
Jolicoeur^{1,2,3,4}

¹ Université de Montréal, Montréal, Canada

² Centre de recherche en neuropsychologie et cognition (CERNEC)

³ Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM)

⁴ International Laboratory for Brain, Music, and Sound Research (BRAMS)

Corresponding author:

Pierre Jolicoeur

Département de psychologie

Université de Montréal

C.P. 6128, succursale Centre-ville

Montréal, QC H3C 3J7

Tel: 1-514-343-6972

Fax: 1-514-343-2285

Contributions des coauteurs

L'expérience a été conçue et adaptée à la population clinique par Pierre Jolicoeur et Sylvie Belleville. Les participants ont été recrutés et testés par Émilie Lepage et Samira Mellah. La revue de littérature, l'analyse des données et l'écriture du manuscrit ont été fait par Manon Maheux sous la supervision de Pierre Jolicoeur. Émilie Lepage, Sylvie Belleville et Pierre Jolicoeur ont également participé aux révisions et corrections du manuscrit.

Abstract

The goal of this research was to examine the difference in the capacity of short-term memory between three groups of individuals: younger adults, healthy older adults, and persons with MCI. We used a visual short term memory task inspired by Luck and Vogel (1997) and Vogel and colleagues (2001) in which we modulated the load (number of items on the screen) and the duration of the retention interval. While the later does not seem to have an effect on performance, the former shows that the load-2 condition was too close to subjects' memory capacity but that the load-4 condition was able to distinguish between groups. Another of our goal was to assess the possibility of measuring differences between MCI that stayed stable over time (stables) and those who declined toward mild dementia (decliners). Results show that the decliner had slower reaction times than the stables.

Keywords: Aging, Visual Short-Term Memory, MCI

Introduction

The ageing process is very complicated. Although many of us will go on with our lives with minimal cognitive and/or physical problems, some will suffer more important declines that may lead to dementia. Mild cognitive impairment (MCI) is one of the conditions that has received considerable interest in recent years. It is conceived as a transition state between healthy ageing and mild dementia. Even though clinicians are still arguing about the exact criteria that define this condition, there is a general agreement on its main characteristics: (1) some sort of cognitive complaints, (2) impairment in memory and/or in another cognitive domain, (3) normal activities of daily living, (4) and absence of dementia (Albert et al., 2011; Gauthier et al., 2006; Petersen et al., 2001; Petersen et al., 1999). The cut off mark to determine if somebody suffers from MCI is $-1.5SD$ compared to the mean of a control group. Their symptoms are never severe enough to meet criteria for dementia. Although, MCI has first been conceived as affecting mostly long-term episodic memory, there is increasing evidence that other cognitive domains are impaired as well. The goal of this study was to examine the differences in the capacity of short-term memory in three groups: younger adults, healthy older adults, and persons with MCI.

Short-term memory (STM) and working memory (WM) are often used as synonyms, although they actually refer to somewhat different processes. They both refer to the process of maintaining previously seen information in a privileged state of activation (Astle & Scerif, 2011), but STM is usually confined to the active maintenance of information whereas WM is linked to active maintenance plus transformations or operations on stored information. Memory is linked to many other cognitive functions and is correlated with many abilities like intelligence making it a very complex and useful function. Our memory capacity declines with

ageing and many diseases or conditions are associated with deficits in one or more types of memory. Understanding the evolution of those deficits will help our understanding of those pathologies and, therefore, their potential diagnosis and treatment.

The task used here was inspired by Luck and Vogel (1997) and Vogel and colleagues (2001) and is now used frequently to estimate the capacity of visual short-term memory, often expressed using Cowan's K. Coloured circles are presented on a computer screen for a brief period of time (e.g. 200 ms). After a period of retention during which the screen is blank, participants are shown a single circle that may or may not be the same colour as before. Participants have to detect change (or absence of change) in the display. Memory capacity, or memory span, refers to how many items a person can keep in memory. While this number can vary due to individual differences or to the type of information you have to encode, the average number for visual stimuli is estimated at 4. Memory span is often measured with Cowan's K: $K = N * (p(\text{hit}) - p(\text{false alarm}))$ where N is the number of items presented before the retention period, p(hit) is the probability to answer that the item changed during a retention period when it did change, and p(false alarm) is the probability to answer the item changed when it did not (Cowan, 2001). This task has many advantages. There is no need for verbalization of the answer, which, together with the brief presentation duration tends to discourage verbal recoding of the encoded stimuli. This means we can test visual short-term memory without contamination from other types of memory. If the retention interval is sufficiently long (on the order of 1 s or more), it is unlikely that subjects could rely on iconic memory, and the simplicity of the task means that attentional resources required to perform the task are confined mainly to essential encoding, retention, and retrieval operations specifically needed for visual short-term memory.

There are many subtypes of MCI. The most common, is amnesic MCI (a-MCI), which must include memory impairment and can affect only a single domain (memory; a-MCI single domain) or multiple domains (e.g. language, visuospatial skills, executive functions; a-MCI multiple domains). Some subtypes of MCI include no memory impairment (non-amnesic MCI or na-MCI) but show impairment in at least one other (single) or multiple domains of cognition as well (Petersen, 2004). Since they are the most common type, the subjects tested in this study will be a-MCI single domain.

The goal of this study was to examine the differences in the capacity of short-term memory between three groups of individuals: younger adults, healthy older adults, and persons with MCI. We were also able to do a follow-up with most of our participants with MCI to determine if we could already measure differences between those who will stay stable over time and those who will decline toward mild dementia.

We expected that the young adults would have a higher capacity (K) than the healthy older adults and the persons with MCI, and the healthy older adults would have a higher capacity than the persons with MCI. We also expected that the persons with MCI who remained stable across time in terms of cognitive performance would have a higher K than the patients who declined over the years.

Methodology

Participants

24 young adults (YA; 18-34 years, mean = 24.38 ± 4.98 years, 13 male participants), 27 healthy older adults (HOA; 52-83 years, mean = 70.22 ± 7.23 years, 1 male participant), and 28 persons with MCI (amnesic, single domain) (MCI; 52-81 years, mean = 67.86 ± 7.91

years, 10 male participants) participated in our study. In that last group, 14 participants declined to dementia in the years following this testing while 11 remained stable over the last 6 years. Follow-up information could not be obtained for 3 persons with MCI. Healthy individuals (both young and elder) were recruited from the community: younger adults were students from the CRIUGM, while the older adults were recruited through advertisements in senior centres and magazines for senior. Persons with MCI were referred to our study by collaborating physicians in Montreal. They reported no history of neurological, psychiatric, or toxicological problems. All participants were French speakers and reported normal or corrected-to-normal vision and normal color vision. Exclusion criteria included: general anesthesia during the last year, use of medication that could affect memory or cognitive functions, upper limbs motor dysfunctions or colour-blindness. Neuropsychological tests and health questionnaires were administered with all elderly participants to characterize their cognition and health. The battery included global measures of cognitive functioning (Mattis Dementia Rating Scale (MDRS), Mini Mental State Examination (MMSE)), language (Boston naming test), speed of processing (Coding subtest from WAIS-III), visuospatial capacities (Benton judgment of lines), verbal episodic memory (RI/RI), visual memory (Rey-Osterrieth Complex Figure), inhibition (Stroop Victoria), and a self-assessment of memory questionnaire (questionnaire d'auto-évaluation de la mémoire or QAM). Older participants were also administered a vascular health (Hachinski), a functional autonomy (système de mesure de l'autonomie fonctionnelle ou SMAF) and a geriatric depression (Geriatric Depression Scale (GDS)) questionnaires. The cognitive performance on these tests and results obtained on health questionnaires are summarized in Table 1. All participants gave an informed consent prior to the experimentation.

	Healthy older adults	Persons with MCI	p
Global cognitive functioning			
MMSE (/30)	28.93 (1.14)	28.31 (1.44)	0.088
MDRS (/144)	140.07 (2.85)	136.31 (6.05)	0.005**
Language			
Boston Naming Tests (/15)	13.30 (1.73)	13.12 (1.53)	0.689
Processing Speed			
Digit Symbol (Coding)	11.96 (3.04)	9.27 (2.36)	0.001**
Visuospatial abilities			
Constructional Praxis - copy (/36) (Rey)	32.3 (2.80)	30.58 (4.11)	0.080
Benton judgment of lines	22.59 (3.47)	23.58 (3.81)	0.329
Verbal episodic memory			
Free/Cued recall (Rl/Ri)			
Delayed free recall (/16)	12.44 (2.21)	8.46 (4.93)	0.000**
Visual memory			
Complex Rey figure – 3 min recall	16.65 (5.88)	11.33 (7.21)	0.005**
Inhibition			
Stroop (errors on third plate)	1.04 (1.29)	0.92 (1.26)	0.746
Memory self-assessment			
QAM1 - conversation	1.85 (0.60)	2.66 (1.02)	0.002**
Health questionnaires			
Hachinski	1.35 (1.06)	2.08 (1.41)	0.040*
SMAF	-0.15 (0.31)	-0.92 (0.82)	0.000**
GDS (/5)	0.58 (0.83)	1.12 (1.01)	0.049*

Table 1: Mean results of neuropsychological tests. Standard deviations are in parenthesis.

*p<0.05, **p<0.01 when comparing HOA and MCI

Follow-up

Participants were invited for a yearly clinical assessment to determine whether they had progressed from MCI to a form of dementia or in their symptoms severity. At each follow-up, the same neuropsychological tests and health questionnaires were used so clinicians could determine whether participants were stable, declined or had progressed to dementia. Decliners were participants who showed at follow-up a reduction in performance that was larger than 1 standard deviation (SD) unit of the group control on more than one clinical test. This criterion was used because it represents a large effect size (0.8) and is more than 10 times greater than the annual decline reported by healthy older adults (approximately 0.02 SD annual decline for memory and approximately 0.08 SD for speed of processing; Bennett et al., 2002). Progression to dementia was defined by the participant meeting clinical criteria for dementia as presented in the Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders V (DSM-V). Participants who declined or those progressing to dementia were included in the subgroup of decliner MCI, while the rest of the group were identified as having stable MCI. Eleven of them remained stable (Stables, 6 men and 5 women, mean age = 66.00 ± 8.43 years) and 14 declined toward a mild dementia (Decliners, 4 men and 10 women, mean age = 69.93 ± 6.31 years).

Stimuli and Procedure

All stimuli were presented in an imaginary rectangle of $9.8^\circ \times 7.3^\circ$ with a black central fixation cross and a grey background. Each memory array consisted of either 2 (load-2 condition) or 4 (load-4 condition) coloured circles (0.65° diameter). Each test array consisted of one coloured circle presented at the same location as one of the circles in the memory array. Colours were randomly selected from a set of 8 highly discriminable colours (blue, green, red,

cyan, yellow, pink, white, and black) and any given colour could not appear more than once within an array. Stimulus positions were randomized across trials. The colour of the test circle was different from the corresponding item in the memory array in 50% of trials; colour was identical for the remaining trials.

Subjects were seated in a dimly lighted room and used a chin rest that helped them to maintain a viewing distance of 55 cm from the computer monitor. Participants initiated each trial by pressing the spacebar. The memory array was presented for 400 ms and followed by a blank retention interval of 1000 or 1500 ms. The test array was then presented until a response was recorded. Feedback, in the form of a + or – sign, was provided after each trial (see Figure 1). Responses were made by pressing a key (1 or 2) on the keyboard to indicate if the circle had the same colour as before, or not.

----- Figure 1 about here -----

Participants were instructed to memorise both positions and colours of all the circles in the memory array and to decide if the circle in the test array had the same colour as the one presented in that location in the memory array. Participants performed 20 practice trials and 120 experimental trials per condition for a total of 260 trials. Order of presentation and hand used to respond were counterbalanced across participants. We computed memory span (K) using Cowan's formula presented earlier (Cowan, 2001).

Results

Table 2 shows the mean accuracy (percent correct), mean response time (ms), and mean capacity (K), for each group. ANOVAs and post hoc tests (Tukey) were performed on

group averages with memory load and length of the retention interval as within-subject factors and group as a between-subject factor.

Reaction Time

Reaction times were measured for each trial. There was no interaction between Group x Load x Duration ($F(2, 304) = 0.39, p = 0.677$). No significant main effect was found between the 2 retention interval durations ($F(1,304) = 0.096, p = 0.757$). For this reason, data from both durations were merged for subsequent analyses. We performed a second ANOVA, using with memory load as within-subject factors and group as a between-subject factor. We did observe a significant difference between the loads ($F(1, 304) = 8.42, p = 0.004$): all groups had longer reaction times for the load-4 condition than for the load-2 condition. We also found a significant difference between the groups ($F(2, 304) = 80.89, p=0.000$): the YA were faster than both older groups (HOA : $p=0.000$; MCI : $p=0.000$) and the HOA had shorter reaction times than the MCI ($p = 0.000$).

Cowan's K

The triple interaction (Load x Retention x Groups) was not significant ($F(2, 304) = 0.274, p=0.760$). Once again, we average results for both duration to perform and Load x Group ANOVA. The Load x Group interaction was significant ($F(2, 304) = 4.426, p = 0.013$). There is a significant main effect between the groups: K value was higher for the YA than both older adults groups and the HOA had higher value than the MCI ($F(2,11) = 12.031, p=0.000$). An analysis for each load showed a significant difference between the groups for the load-4 condition only (load-2: $F(2, 78) = 1.632, p = 0.202$; load-4: $F(2, 78) = 5.264, p = 0.007$). Post hoc tests showed a difference between the YA and the HOA ($p = 0.05$) and the MCI ($p = 0.007$) but none between the HOA and the MCI ($p = 0.739$), meaning that while the

YA did have a higher K value than both older groups, the HOA and the MCI did not differ for the load-4 condition. We also observed a main effect of the load ($F(21,11) = 31.751, p=0.000$), where the K value was higher for the load-4 condition than for the load-2 condition.

	Young Adults	Healthy controls	Persons with MCI
Accuracy – load 2	93.1% (0.05)	89.4% (0.07)	89.4% (0.12)
Accuracy – load 4	80.5% (0.10)	74.0% (0.10)	72.0% (0.12)
RT – load 2 (ms) ^{+*}	864 (186.85)	1330 (205.11)	1680 (564.31)
RT – load 4 (ms) ^{+*}	916 (218.13)	1444 (397.88)	1968 (917.60)
K – load 2	1.73 (0.19)	1.58 (0.28)	1.58 (0.48)
K – load 4 ^{+*}	2.44 (0.65)	1.92 (0.70)	1.75 (0.94)

Table 2: Mean and standard deviation (in parenthesis) for the different measures in the visual short-term memory task. ⁺ indicates a significant difference between HOA and YOA, ^{*} indicates a significant difference between HOA and MCI.

Follow-up

The same ANOVAs were performed using stables and decliners as groups. For the reaction time, the triple interaction Group x Load x Duration ($F(1, 92) = 0.013, p = 0.909$) was not significant. A Group x Load ANOVA shows no significant interaction (Groups x Load ($F(1, 92) = 0.002, p = 0.961$)) but a significant difference between the groups ($F(1, 92) = 3.992, p = 0.049$), where the stable MCI have shorter reaction times than the decliners, but not between the load ($F(1, 92) = 2.971, p = 0.088$)

For the K value, the triple interaction Groups x Loads x Durations was not significant ($F(1, 92) = 0.746, p = 0.390$). Data were averaged to perform a Group x Load ANOVA. The

interaction was not significant: Groups x Load ($F(1, 92) = 0.378, p = 0.540$), There were no significant differences between the other variables as well: Groups ($F(1, 92) = 2.139, p = 0.147$), Load ($F(1, 92) = 0.973, p = 0.326$).

Discussion

The goal of this study was to examine the differences in the capacity of visual short-term memory between young adults, healthy older adults, and persons with MCI using a task designed to assess visual STM (VSTM) specifically (Jolicoeur, Lefebvre, & Martinez-Trujillo, 2015; Vogel et al., 2001). This type of task is often used to assess individual differences and to compare groups because it provides a reliable estimate of the capacity of visual short-term memory. We used 2 different loads (2 items and 4 items) because the capacity of most individuals is greater than 2 but usually less than 4, as can be inferred from the results in Table 2.

We modulated the load (the number of items presented on the screen) but also the duration of the retention interval. Since there was no significant difference between the groups for the duration of the interval for any variables, we concluded that the duration did not help nor harmed the subjects. Data from both duration intervals were merged for the analysis.

We observed clear differences in mean response time across groups. The young adults always had a faster reaction time than both the older adults groups and the healthy older adults were also faster than the persons with MCI, a result which supports the reduction in speed seen in the ageing literature. All groups had slower reaction time for the load-4 condition, supporting the idea that this load was approaching (and probably exceed for most of the older

adults) the memory capacity of the subjects, making it more difficult for the subjects to perform the task rapidly.

We also observed a significant interaction between Loads and Groups for the K value. Further analyses showed a difference between the K values for the load-4 condition only between the younger adults and both older adults groups: while the younger adults have a higher K value, there is no difference between the healthy elderly and the persons with MCI. It seems that while the load-2 condition was easy enough so that all participants were able to perform the task without major problems (including persons with MCI), the load-4 condition was higher than the memory span of the older participants who do not seem to be able to retain more than 2 items in memory as shown in Table 2. We could also observe that while the difference was significant when we compared the older adults with the younger adults, we did not find a difference between the healthy older subjects and the persons with MCI. This suggest that the load 4 condition was exceeding the memory capacity of both our older adults groups, a result that also supports current ageing literature stating the decrease of memory capacity with ageing. We suggest that testing at load-4 condition provided a more sensitive test of differences between groups because this load exceeded the capacity of most participants. Given that capacity was close to 2 for many individuals testing at load 2 did not reveal any group differences in terms of capacity. Note, however, that response times did distinguish between groups for both loads.

We were also able to assess the efficiency of this type of task to determine the potential decline of persons with MCI. As mentioned before, we were able to follow-up with 25 of the 28 original persons with MCI. Even with a group as small, we were able to show that decliners had slower reaction times than stables. The fact that the effect of the load was approaching

significance ($p = 0.088$) might indicate that a larger sample is needed and suggests that the number of items might have an effect of the reaction times. Another limit of the study is the light cognitive decline of the MCI group. In fact, their high score for the MMSE and the young age of some participants (in their 50s) might explain the lack of difference between the stable and the decliners.

In conclusion, we were able to examine the differences in the capacity of STM between young adults, healthy older adults and persons with MCI. The duration of the retention interval does not seem to have any effect of subjects' performances. Moreover, testing at load-4 seems to be a good way to distinguish between groups since this load is higher than most subjects' individual memory capacity (K) without being too difficult. We were also able to do a follow-up with the persons with MCI and show that the reaction times were slower for the decliners than for the stables, suggesting that a VSTM task might be a good addition to a battery of tests to detect or for subsequent follow-up of persons with MCI.

Figures

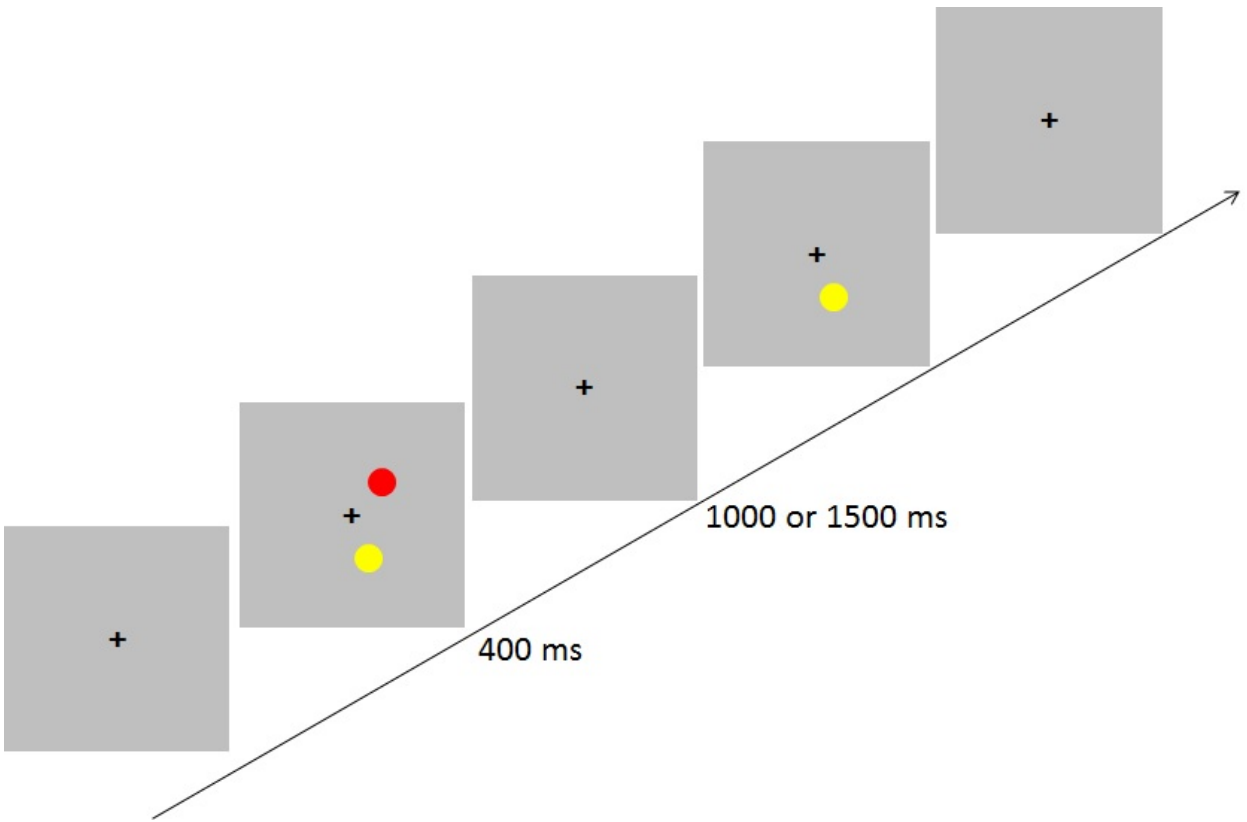


Figure 1: Procedure with load 2.

References

- Albert, M. S., DeKosky, S. T., Dickson, D., Dubois, B., Feldman, H. H., Fox, N. C., . . . Phelps, C. H. (2011). The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimers Dement*, 7(3), 270-279. doi: 10.1016/j.jalz.2011.03.008
- Astle, D. E., & Scerif, G. (2011). Interactions between attention and visual short-term memory (VSTM): what can be learnt from individual and developmental differences? *Neuropsychologia*, 49(6), 1435-1445. doi: S0028-3932(10)00524-5 [pii] 10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.001
- Bennett, D. A., Wilson, R. S., Schneider, J. A., Evans, D. A., Beckett, L. A., Aggarwal, N. T., . . . Bach, J. (2002). Natural history of mild cognitive impairment in older persons. *Neurology*, 59(2), 198-205.
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behav Brain Sci*, 24(1), 87-114; discussion 114-185.
- Gauthier, S., Reisberg, B., Zaudig, M., Petersen, R. C., Ritchie, K., Broich, K., . . . International Psychogeriatric Association Expert Conference on mild cognitive impairment. (2006). Mild cognitive impairment. *Lancet*, 367(9518), 1262-1270. doi: 10.1016/S0140-6736(06)68542-5
- Jolicoeur, P., Lefebvre, C., & Martinez-Trujillo, J.C. (2015). *Mechanisms of Sensory Working Memory, 1st Edition*. Academic Press: Elsevier.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281. doi: 10.1038/36846
- Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. *J Intern Med*, 256(3), 183-194. doi: 10.1111/j.1365-2796.2004.01388.x
- Petersen, R. C., Doody, R., Kurz, A., Mohs, R. C., Morris, J. C., Rabins, P. V., . . . Winblad, B. (2001). Current concepts in mild cognitive impairment. *Arch Neurol*, 58(12), 1985-1992.
- Petersen, R. C., Smith, G. E., Waring, S. C., Ivnik, R. J., Tangalos, E. G., & Kokmen, E. (1999). Mild cognitive impairment: clinical characterization and outcome. *Arch Neurol*, 56(3), 303-308.
- Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions and objects in visual working memory. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 27(1), 92-114.

**Chapitre 3 : Differential engagement of attention and
memory in the representation of the number of relevant
targets and their spatial relations: Evidence from the N2pc
and SPCN**

Differential engagement of attention and memory in the representation of the number
of relevant targets and their spatial relations: Evidence from the N2pc and SPCN

Manon Maheux^{1,2,3,4} and Pierre Jolicœur^{1,2,3,4}

¹ Université de Montréal, Montréal, Canada

² Centre de recherche en neuropsychologie et cognition (CERNEC)

³ Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM)

⁴ International Laboratory for Brain, Music, and Sound Research (BRAMS)

Corresponding author:

Pierre Jolicœur

Département de psychologie

Université de Montréal

C.P. 6128, succursale Centre-ville

Montréal, QC H3C 3J7

Tel: 1-514-343-6972

Fax: 1-514-343-2285

Contributions des coauteurs

L'expérience a été conçue par Pierre Jolicoeur. Les participants ont été testés par Manon Maheux avec l'aide des autres assistantes de recherche. L'analyse des résultats et l'écriture du manuscrit ont été faits par Manon Maheux, sous la supervision de Pierre Jolicoeur.

Abstract

The main goal of this research was to gain a better understanding of the role of attention and visual working memory in the evaluation the number of target stimuli as well as their relative spatial positions. We recorded EEG during the tasks and focused on the N2pc as an index of spatial attention and the SPCN as an index of visual working memory. Participants performed two tasks. In a simple counting task they had to determine whether a visual display contained one or two coloured items among grey fillers. The other task consisted of identifying a specific spatial relation between 2 coloured items. The same stimuli (blue or green forms) were used for both tasks. One task was designed to permit an easier evaluation for same-coloured stimuli than differently-coloured stimuli whereas the opposite was true for the other task. We predicted a greater involvement of attention and visual working memory for the more difficult stimulus-task pairings, which should be reflected by differential amplitudes of the N2pc and SPCN. The results confirmed these predictions and suggest that visuospatial configurations that require more time to evaluate induce a greater (and presumably longer) involvement of attention and visual working memory.

Introduction

We are frequently exposed to numerous incoming stimuli that can overload recognition and memory mechanisms (Sperling, 1960). As such, the ability to select the most relevant stimuli to be processed to a higher level is a critical aspect of normal cognitive function. Selective attention and the cognitive functions associated with it have been studied extensively over the years (Pashler, 1998) using chronometric methods complemented by measures of brain activity. Event-related potential (ERP) studies have found specific patterns of brain electric activity that are associated with spatial attention and visual working memory, two cognitive functions critical for this type of processing. These components, measured using well-established methods, are now easily reproducible making them an efficient way to study the evolution of sensory and cognition operations over time under different experimental conditions. Here we will focus on two components, the N2pc (N2 posterior contralateral) and the sustained posterior contralateral negativity (SPCN).

The N2pc (Luck & Hillyard, 1994) is a lateralized component characterized by an enhanced negativity at occipital sites contralateral to the visual hemifield where a relevant item is presented and where attention is presumed to be engaged. The N2pc usually peaks between 200 and 280 ms post-target onset and is usually maximal in amplitude near electrodes PO7 and PO8. It appears to originate in lateral portions of the visual extrastriate cortex (Hopf et al., 2000). There is solid evidence that the N2pc reflects neuronal activity related to attentional selection, although the exact underlying mechanisms are still under debate. Many researchers consider the N2pc as a moment-to-moment index of visuo-spatial attention. Some evidence suggests that the amplitude of N2pc reflects the number of distinct representations that are selected and individuated for further processing (Mazza & Caramazza, 2011). The

N2pc has been used to track the deployment of visual spatial attention in a number of situations (e.g. as a reflection of attentional capture, Brisson, Leblanc, & Jolicoeur, 2009; Hickey, McDonald, & Theeuwes, 2006; Kiss & Eimer, 2011; Leblanc, Prime, & Jolicoeur, 2008).

The amplitude of the N2pc has been shown to depend on the nature of the attentional processing required by the task. For example, Mazza and Caramazza (2011) asked subjects to perform three different tasks using the same set of stimuli (red and green diamonds on a black background). In one task they reported the number of stimuli presented in a particular colour (e.g., how many red items were in the display?); in another task they reported whether the display contained stimuli in a specific colour, regardless of their number; and in a third task they reported whether a specific number of coloured stimuli are present or not (e.g., were there exactly 2 red items?). Their results showed a modulation of the amplitude of the N2pc for target number (how many items) for the first and third tasks, but not for the second one. The authors took these results to suggest that a coarse initial representation of the relevant objects is created to permit the individuation of each of them by the visual system; a task-dependant process that can be affected by top-down influence. In their view, N2pc reflects the individuation process.

The SPCN (Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua, & Robitaille, 2006) is also a lateralized component seen at occipital sites contralateral to the presentation of encoded stimuli. The SPCN is also called the contralateral negative slow wave (CNSW, Klaver, Talsma, Wijers, Heinze, & Mulder, 1999), or contralateral delay activity (CDA, Vogel & Machizawa, 2004). It is a later component with an onset usually after 300 ms post-target with a maximum also often at the PO7 and PO8 electrodes. The duration (and offset) of the SPCN has been shown to

depend on the duration of processing of information held in visual short-term memory, either by virtue of the duration of a retention interval (e.g., Perron et al., 2009) or by the duration the processing of information held in visual short-term memory (e.g., Prime & Jolicoeur, 2010). The SPCN has been linked to active maintenance of information in visual working memory in experiments in which the amplitude of the SPCN increased as the number of items held in memory increased. Importantly, this increase reached a ceiling or plateau when the number of items corresponded to the maximum capacity of the subjects in the experiment (Robitaille et al., 2010; Vogel & Machizawa, 2004). Passage into visual short-term memory appears to be spontaneously required when a task requires detailed form discrimination for patterns that are not highly overlearned (e.g. Kiss & Eimer, 2011). The SPCN has also been shown to be functionally dissociable from the N2pc, despite very similar scalp distributions of voltage fields (e.g., Jolicoeur, Brisson, & Robitaille, 2008). The SPCN has also been observed in tasks in which the stimuli are continuously visible, as in the curve-tracing task (Lefebvre, Jolicoeur, & Dell'Acqua, 2010). Still, much work remains to be done to understand the exact functional correlates of the N2pc and the SPCN, and of their interrelations.

Experiments on visuospatial attention and working memory are typically based on experiments in which each trial involves the presentation of one visual array used by the subject to base an immediate response. We will call this approach the single-frame procedure. In the present work we used a multiple frame procedure (MFP), in which each trial involved the presentation of six frames. Subjects made a response after each set of six frames based on how many times a specific target was presented in the preceding set of frames. This procedure takes advantage of the high temporal resolution of electroencephalography (EEG) and the fact that EEG can be used to monitor sensory, perceptual, and cognitive process as they unfold

even in the absence of an overt response. The activity we are interested in occurs shortly after the presentation of each frame, and the multiple frame procedure in conjunction with EEG recordings, allowed us to examine attentional, VSTM, and downstream cognitive operations more efficiently than with single-frame methods (see Sagiv & Bentin, 2001; Vogel & Luck, 2000, for other examples of procedures based on target counting). The MFP was used by Pomerleau, Fortier-Gauthier, Corriveau, Dell'Acqua, & Jolicoeur (2014), to study color-specific effects on attentional deployment, and in particular the N2pc component, providing strong support for the method.

The main goal of the present research was to examine the role of attention and visual working memory in target enumeration as well as in the evaluation of spatial relations among salient visual stimuli. We used a MFP and EEG recordings to study the underlying mechanisms mediating performance in these tasks and in particular we relied on the SPCN to track the involvement of the visual working memory (VWM) for different stimulus configurations within specific cognitive tasks.

Our hypothesis was that visual working memory would be involved to a greater degree when a given stimulus-task pairing would require more processing, compared with a stimulus-task pairing with a lighter processing demand. We expected a smaller SPCN for lighter loads. Our strategy was to combine identical stimulus configurations with two different tasks in such way that one configuration would produce a heavier load in one task and a lighter load in the other task, whereas a second configuration would produce the opposite pattern. We explain the rationale for these predictions in the remainder of the Introduction

One task required determining how many salient visual stimuli were in a visual display. This task was based on the one used by Mazza and Caramazza (2011), which we

called ‘Count’ (C) in this article. Using displays like the one in Figure 1, we included either one coloured item (either green or blue) or two coloured items (two green, two blue, or one green and one blue). In the context of the MFP, subjects performed one block of trials in which a target was defined as a display containing a single coloured item, regardless of colour. In a second block of trials, a target was defined as a display containing two coloured items, regardless of colour. Subjects reported how many targets (displays matching the target definition) were seen after viewing a set of six displays. We expected to replicate the findings of Mazza and Caramazza (2011), concerning the difference between displays containing one versus two items, namely a larger N2pc and SPCN for displays with two items, regardless of target definition (one vs. two). More importantly for our present purposes, however, was that we predicted that determining that a display contained two same-colour salient items would require more time, and hence engage attention and visual working memory to a greater extent, than for two different-colour items. We base this prediction on the notion that target individuation should be facilitated by the presence of a clear perceptual cue indicating the presence of two targets (namely, two different colours). The presence of a single salient colour could be consistent with the presence of a single item, and we predicted that individuating two same-colour targets would thus take longer and likely require more attention and perhaps rely on visual working memory to a greater extent than the individuation of two items in distinct salient colours.

The second task, called ‘Spatial Relations’ (SR) required the verification of a particular spatial relation among items that had distinct colours. Here a target was defined either as a green item above a blue one, in one block of trials; or as a blue item above a green one, in another block of trials. In this task, two blue or two green items were non-targets in the MFP.

In this task, we predicted that more processing, and hence attention and involvement of visual working memory, would be required when the display contained two different-color items than for two same-color items. If the display did not contain two colors, then it could not be a target. If, however, there were two salient colors, then the display would need to be checked for the particular spatial relation in the target definition (e.g., blue above green).

The same stimuli (pairs of same-color or different-color items) should thus engage attention and visual working memory to different degrees, depending on the task, and this should be reflected in a larger SPCN for same-color pairs than different-color pairs for the Count condition and the opposite pattern for the Spatial Relations condition.

Methodology

Subjects

Thirty-five students from Université de Montréal participated in our study; each received \$20 (CAD) as compensation for their time. Data from one subject was removed from analysis due to a high number of artefacts. The final group consisted of 34 students (10 males, 30 right-handed, age between 18 and 34 years-old, mean = 23.59 ± 4.0 years). All subjects reported no history of neurological, psychiatric, or toxicological problems. All had normal colour vision, based on testing with diagnostic chromatic plates, and gave written informed consent prior to testing.

Stimuli and Procedure

Each frame consisted of 16 items, each shaped like a digital number 8 ($0.8^\circ \times 0.4^\circ$) placed on an imaginary circle (diameter = 7.6°). The circle was centered on a fixation cross at the center of the screen, as illustrated in Figure 1. Coloured items were blue or green while

distracters were grey, all on a black background. The luminance of the figure-eight characters was equated using a Minolta CS-100 chroma meter. Each trial used a MFP consisting of 6 frames. There were 3 possible types of frames: 1 item of colour (either blue or green), 2 items of the same colour (2 blue or 2 green), or 2 items of different colours (1 blue and 1 green). In each task, there were 0, 2, 4, or 6 targets in a sequence of 6 frames. When a frame contained two coloured items, they were always separated by two grey items.

==== Insert Figure 1 about here =====

Subjects were seated in a dimly light, electrically shielded room and were positioned on a chin rest 57 cm from the computer monitor. Each trial was initiated by pressing the space bar. A white fixation cross was presented in the center of the screen for 500 ms followed by the 6 frames presented for 200 ms each. The stimulus onset asynchrony (SOA) from one frame to the next was 800 ± 100 ms. After the last frame, subjects had 2000 ms to answer before a feedback display was provided for 750 ms. Response was given by pressing a key (c, v, b, n) to indicate the number of targets seen across the 6 preceding frames on that trial (which could be 0, 2, 4, or 6). The experiment consisted of 4 blocks, each with a different target definition, divided into two conditions: the C condition (during which subjects had to count the number of coloured items in each frame, which could be either 1 or 2), and the SR condition (during which subjects had to identify the spatial relation between the coloured item on each frame). The general instructions were the same for each block: subjects had to count the number of frames that included a target. What defined a target changed for each block and was described in the written instructions at the beginning of each block. Possible targets for the C condition

were 1 coloured item (regardless of colour) or 2 coloured items (regardless of whether the 2 items were the same colour or not, and without regard to spatial position). Possible targets for the SR condition were one blue item above a green item or one green item above a blue item (as illustrated in Figure 1). All frames in the SR condition contained 2 items. Each block consisted of 16 practice trials (which were not included in the analysis) and 64 experimental trials for a total of 256 trials, yielding measurements for 1536 frames. The order of trials within blocks was random and the order of blocks and the hand of response were counterbalanced across subjects.

EEG Recording and Analysis

EEG data were recorded with 64 Ag-AgCl active electrodes mounted on an elastic cap (BioSemi Active Two system) according to the 10–10 international system (Sharbrough et al., 1991) at Fp1, Fpz, Fp2, AF7, AF3, AFz, AF4, AF8, F7, F5, F3, F1, Fz, F2, F4, F6, F8, FT7, FC5, FC3, FC1, FCz, FC2, FC4, FC6, FT8, T7, C5, C3, C1, Cz, C2, C4, C6, T8, TP7, CP5, CP3, CP1, CPz, CP2, CP4, CP6, TP8, P9, P7, P5, P3, P1, Pz, P2, P4, P6, P8, P10, PO7, PO3, POz, PO4, PO8, O1, Oz, O2, and Iz sites. Two additional electrodes, one at the left and one at the right mastoid were used, and potentials at other electrodes were re-referenced to their average. Eye movements were measured with horizontal (HEOG) and vertical electrooculogram (VEOG). HEOG was defined as the voltage difference between 2 electrodes placed at the external canthi of the eyes while VEOG was defined as the voltage difference between the signal at Fp1 and at an electrode placed below the left eye. Signals were digitized at 512 Hz (DC to 134 Hz) and later bandpass filtered from 0.05 to 30 Hz during post-recording processing. One subject had different filtering parameters (bandpass of 0.2 – 20 Hz) because of larger slow drifts and other noise sources compared with other subjects. Trials with

incorrect answers, eye movements, blinks and other artefacts were excluded from the analysis. The EEG was segmented into 700-ms epochs starting 100 ms before and ending 600 ms after the onset of each frame. A baseline correction was performed by subtracting the mean voltage during the 100-ms pre-frame interval from the voltage on the whole segment. Event-related lateralizations were computed by subtracting ipsilateral activity from contralateral activity for each pair of lateral electrodes. The N2pc and SPCN components were examined primarily at posterior electrodes (PO7/PO8, PO3/PO4, P7/P8, O1/O2).

Results

Only trials with correct answers were included in the analyses. Mean accuracy for the group was 96.3%. We note that a correct response summarized performance for 6 frames. Obtaining a correct response entailed making 6 consecutive correct internal decisions, or 4 correct decisions and two incorrect ones that cancelled out (miscounting a non-target as a target compensated by missing a target), with other possibilities having negligible probabilities. Using a simple binomial model, we estimated the probability of a correct decision at a frame-by-frame level at $p > .99$ for the present level of accuracy (the proof is left as an exercise for the reader).

The mean accuracy in the C condition was 95.9% in the C condition, and 96.7% in the SR condition, $F(1, 32) = 1.83$, $p > 0.19$, showing that the tasks are not different in term of accuracy.

Our analyses of event-related potentials focused on lateralized potentials, specifically the N2pc and SPCN components. We first examined how the results varied across frame positions in the MFP sequence. Figure 2 shows the event-related lateralization waveforms for

each individual frames, averaging across all conditions. ANOVAs were performed on the mean amplitude of the N2pc (in the time interval of 215 – 255 ms) to check for possible differences between the frames. We performed a first analysis for the C condition that compared results for one item versus for two items. Results for the Number of stimuli x Frames ANOVA show no significant interaction ($F(5, 165) = 1.26, p > .28$) nor main effect for the frame ($F(5, 165) = 1.17, p > .32$) for N2pc amplitude. Next we compared the C and SR conditions, for displays with two salient items. The ANOVA had Conditions x Type of stimuli (same colour vs. different colour) x Frame as within-subjects factors. There were no significant interactions involving Frame: all $F_s < 1.83$, all $p_s > .10$.

We also examined the onset latency of the N2pc across conditions and frames using a jackknife approach in which we measured the latency at which N2pc reached 50% of the area under the curve (Kiesel, Miller, Jolicoeur, & Brisson, 2008).

There was only one case in which we found a significant effect, which is shown in Figure 2: the onset of the N2pc for the first frame position was significantly delayed relative to that of the other frames, ($F(1, 33) = 12.74, p < .0012$) but only the first frame differs from the others. This was the only significant effect of Frame, and given that this effect did not interact with anything else, we did not consider frame position further. The analyses we report below are thus based on analyses in which we aggregated the data across frame positions.

Figure 3 shows the grand average waveforms for each type of target for the C condition while Figure 4 shows the grand average waveforms for the SR condition. Detailed analyses for the event-related lateralized components are described in more detail below.

==== Insert Figures 2, 3 and 4 about here =====

N2pc

ANOVAs were performed on the mean amplitude of the N2pc, in the interval of 215 – 255 ms) after averaging data from all the frames. The first analysis enables us to compare results for one item versus two items. In an analysis including just the C condition, we found a significant difference of the number of items presented. The mean amplitude was larger when 2 items were presented compared to when there was only 1 item presented ($F(1, 33) = 16.78, p < .000$). There was also a significant effect of the stimulus type in that the amplitude of the component was larger when the 2 items had the same colour compared to when they had different colours ($F(1, 33) = 12.57, p < .001$). In a separate analysis of just the SR condition, there was no difference in the amplitude of N2pc depending on whether the two items had the same or different colour ($F(1, 33) = 0.25, p > .62$).

However, when we included Condition (C vs. SR) and Type of stimulus (same vs. different colour) in a combined ANOVA considering only trials with two items in the C condition, there was a significant Condition by Type of stimulus interaction, $F(1, 33) = 5.53, p < .03$, in which the difference between same-color and different-color displays was larger for the C condition than for the SR condition. We also found a main effect of the Type of stimulus ($F(1,33) = 11.93, p < 0.002$) where the amplitude was larger when the stimuli are the same colours compared to stimuli of different colours. There was no significant main effect of the conditions ($F(1,33) = 0.60, p > .45$).

Negative Inflection

We also observed a negative inflection following the N2pc that was present for all types of stimuli. We quantified this component by taking the mean amplitude between 285 and 305 ms post-target onset. As for N2pc, the amplitude was larger when 2 items were presented

compared to when only 1 item was presented in the C condition, $F(1, 33) = 57.43, p < .0001$. However, it was not significantly modulated by the type of stimulus given there was no difference in this inflection when items had the same colour versus when they had different colours in both the C Condition, $F(1, 33) = 0.97, p > .33$, or the SR condition, $F(1, 33) = 3.18, p > .08$. There was, however, a significant interaction between Condition x Type of stimulus, $F(1, 33) = 10.95, p < .0001$, showing an inversion of the waveforms between the C and SR condition for the two different types of 2-colour trials.

SPCN

The SPCN was quantified as the mean amplitude of the event-related lateralization on the interval from 450 to 550 ms. ANOVAs were performed as for the other components. In the C condition, the SPCN was larger when there were two coloured items in the frame compared to when there was only one, $F(1, 33) = 29.49, p < .0001$. There was no difference between same-colour versus different colour pairs when there were two salient items in the C condition, $F(1, 33) = 1.65, p > .20$. However, a significant difference was found in the SR condition in which two same-coloured items produced a smaller SPCN compared with two different-colour items, $F(1, 33) = 5.39, p < .027$. A significant interaction Condition (C vs. SR) x Type (same-colour vs. different-colour) of stimulus was also found, $F(1, 33) = 6.38, p < .017$, reflecting the cross-over interaction in mean SPCN amplitude for different-colour and same-colour items across the SR and C conditions.

Discussion

The goal of this research was to examine the role of attention and visual working memory in the processing of simple visual displays requiring either evaluating the number of

target stimuli in the display or verifying a simple spatial relation among them. We used electrophysiological measures to track attention and visual working memory on a moment-to-moment basis. The stimuli were displayed a MFP in which subjects counted the number of times particular configurations of stimuli defining a target occurred in a set of six frames. This procedure allowed us to observe electrophysiological responses to more than 1500 search displays per subject in about 60 minutes of time on task. The MFP confers an important advantage in terms of testing efficiency compared with the usual, single-frame procedure, typically used in studies of attention and memory.

We studied the cognitive processes linked to processing two different types of targets: looking for a particular number of items or identifying a specific spatial relation between two stimuli. In trial blocks in which targets were defined by a particular number of coloured items, the amplitude of the N2pc and of the SPCN were larger for two items than for one. These results replicate and extend previous findings (e.g., Mazza & Caramazza, 2011) by showing that determining that a display contains two same-color items requires a stronger attentional response than for two different-color items. This difference is unlikely to have been caused by physical properties of the stimuli because the same stimuli were used in the SR condition but did not cause the same amplitude difference. We believe that these differences reflect strategic processing differences across tasks. When the task was to determine whether there is a single coloured item, or two coloured items, the presence of two distinct colours (green and blue) in the visual field may have allowed subjects to disengage spatial attention more quickly than when the two coloured items had the same colour. Determining if 1 or 2 items were present would be easier if the items were in different colours because there could be a maximum of 2 items and colours (i.e., if the participant noticed two different colours, they could infer that

there were two items without knowing where they were). In contrast, if they only saw one colour, there could be one or two items, and a more detailed individuation process would be required to distinguish between 2 items of the same colour. We hypothesize that this greater need for attentional individuation explains the difference in the amplitude of the N2pc. An alternative way to think about these findings might be that individuating two different-color items is easier than for same-color items because of the convergence of two sources of information (e.g., discontinuities in a spatial saliency map, and discontinuities in different portions of color space). Two locations plus two colors would create a redundancy gain relative to two locations in only one color, facilitating individuation and reducing the need for spatial attention.

An important goal of the present work was to examine how attention and memory participate in the SR task. There were always 2 items in this condition, and targets were defined as an item of one colour above one of the other colour. We supposed that attention would be deployed on the items long enough to determine if the items had the same colour or not. If the colours were different, then we supposed that they would process the information further to determine if the correct spatial relation was present. We hypothesized that some of this processing would occur after the N2pc and require passage into visual working memory, and be reflected by a larger amplitude of the SPCN. Importantly, this is exactly what was observed: the SPCN was larger for two items with a different colour, than for items that had the same colour. Interestingly, the pattern of SPCN amplitudes was reversed in the C condition, which required counting but not establishing a spatial relation.

The significant interaction between Condition (C vs. SR) and Type of stimulus (same vs. different-colour) in the amplitude of the SPCN demonstrates the importance of the task in

determining the role of processing in visual short-term memory for identical stimulus configurations. An important finding was that we also found the same stimulus-task interaction during the N2pc time window, which suggests that perceptuo-cognitive processing choices were already taking place and modulating the N2pc.

An unexpected result was the negative inflection found between the N2pc and the SPCN (at about 300 ms). What this inflection reflects is unclear and is not always seen in published N2pc-SPCN waveforms. However, visual inspection of Mazza and Caramazza's (2011) results shows a similar deflection, but the authors did not discuss it. The component was present in all conditions and types of stimuli in the present article. We initially thought that this deflection might be a second and smaller N2pc linked to the shift of attention to the second item presented. However the presence of the inflection when there was only 1 item in the C condition makes this interpretation rather implausible. We leave it to future research to determine if there is a functional significance associated with this deflection.

Finally, the results highlight the success of the MFP. The main advantage of the procedure is that it typically increases the number of studied attentional events by a factor of two or more compared with a typical single-frame procedure. This increased efficiency can be put to good use in the laboratory by enabling more sensitive designs or designs with more conditions. In the clinic, the MFP holds the promise of enabling shorter tests without loss of sensitivity.

References

- Brisson, B., Leblanc, E., & Jolicoeur, P. (2009). Contingent capture of visual-spatial attention depends on capacity-limited central mechanisms: evidence from human electrophysiology and the psychological refractory period. *Biol Psychol*, *80*(2), 218-225. doi: 10.1016/j.biopsycho.2008.10.001
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *J Cogn Neurosci*, *18*(4), 604-613. doi: 10.1162/jocn.2006.18.4.604
- Hopf, J. M., Luck, S. J., Girelli, M., Hagner, T., Mangun, G. R., Scheich, H., & Heinze, H. J. (2000). Neural sources of focused attention in visual search. *Cereb Cortex*, *10*(12), 1233-1241.
- Jolicoeur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Res*, *1215*, 160-172. doi: 10.1016/j.brainres.2008.03.059
- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006). On the control of visual spatial attention: evidence from human electrophysiology. *Psychol Res*, *70*(6), 414-424. doi: 10.1007/s00426-005-0008-4
- Kiesel, A., Miller, J., Jolicoeur, P., & Brisson, B. (2008). Measurement of ERP latency differences: a comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. *Psychophysiology*, *45*(2), 250-274. doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.00618.x
- Kiss, M., & Eimer, M. (2011). Attentional capture by size singletons is determined by top-down search goals. *Psychophysiology*, *48*(6), 784-787. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01145.x
- Klaver, P., Talsma, D., Wijers, A. A., Heinze, H. J., & Mulder, G. (1999). An event-related brain potential correlate of visual short-term memory. *Neuroreport*, *10*(10), 2001-2005.
- Leblanc, E., Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *J Cogn Neurosci*, *20*(4), 657-671. doi: 10.1162/jocn.2008.20051
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, *31*(3), 291-308.
- Mazza, V., & Caramazza, A. (2011). Temporal brain dynamics of multiple object processing: the flexibility of individuation. *PLoS One*, *6*(2), e17453. doi: 10.1371/journal.pone.0017453
- Pashler, Harold. (1998). *Attention*. Hove, East Sussex, UK: Psychology Press.
- Perron, R., Lefebvre, C., Robitaille, N., Brisson, B., Gosselin, F., Arguin, M., & Jolicoeur, P. (2009). Attentional and anatomical considerations for the representation of simple stimuli in visual short-term memory: evidence from human electrophysiology. *Psychol Res*, *73*(2), 222-232. doi: 10.1007/s00426-008-0214-y
- Pomerleau, V. J., Fortier-Gauthier, U., Corriveau, I., Dell'Acqua, R., & Jolicoeur, P. (2014). Colour-specific differences in attentional deployment for equiluminant pop-out colours: evidence from lateralised potentials. *Int J Psychophysiol*, *91*(3), 194-205. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.10.016

- Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2010). Mental rotation requires visual short-term memory: evidence from human electric cortical activity. *J Cogn Neurosci*, 22(11), 2437-2446. doi: 10.1162/jocn.2009.21337
- Robitaille, N., Marois, R., Todd, J., Grimault, S., Cheyne, D., & Jolicoeur, P. (2010). Distinguishing between lateralized and nonlateralized brain activity associated with visual short-term memory: fMRI, MEG, and EEG evidence from the same observers. *Neuroimage*, 53(4), 1334-1345. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.07.027
- Sagiv, N., & Bentin, S. (2001). Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *J Cogn Neurosci*, 13(7), 937-951. doi: 10.1162/089892901753165854
- Sharbrough, F., Chatrian, G.-E., Lesser, R.P., Lüders, H., Nuwer, M., & Picton, T.W. (1991). American electroencephalographic society guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 8(2), 200-202.
- Sperling, George. (1960). The Information Available in Brief Visual Presentations. *Psychological Monographs: General and Applied*, 74(11, Whole No. 498), 1-29.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2000). The visual N1 component as an index of a discrimination process. *Psychophysiology*, 37(2), 190-203.
- Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, 428(6984), 748-751. doi: 10.1038/nature02447
nature02447 [pii]

Figures

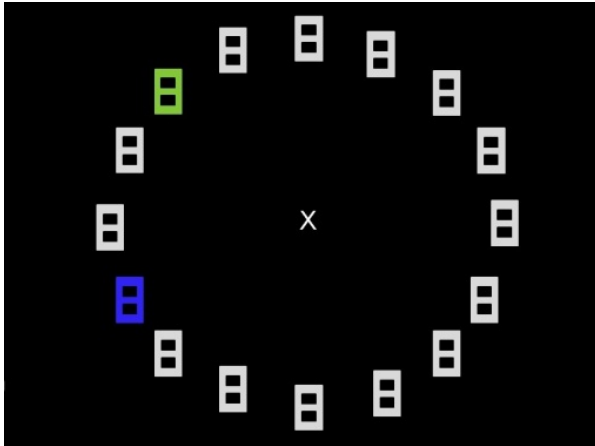


Figure 1: Example a stimulus display in a frame with two colored items.

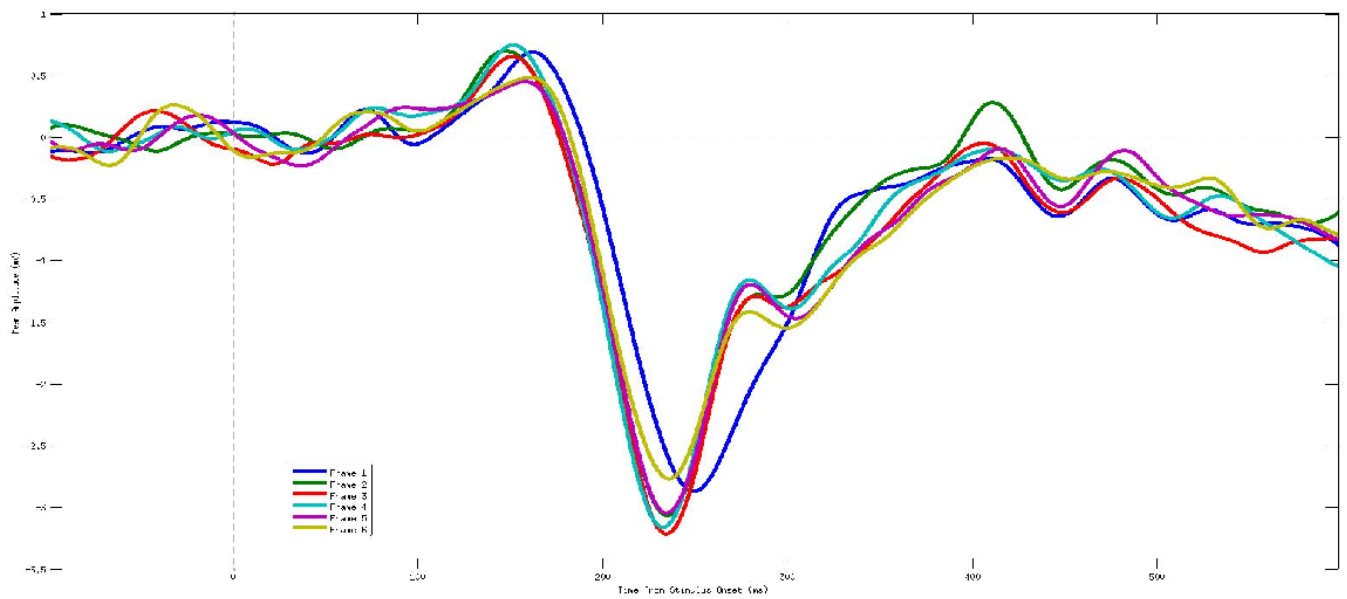


Figure 2: Waveforms for each frame at PO7/PO8.

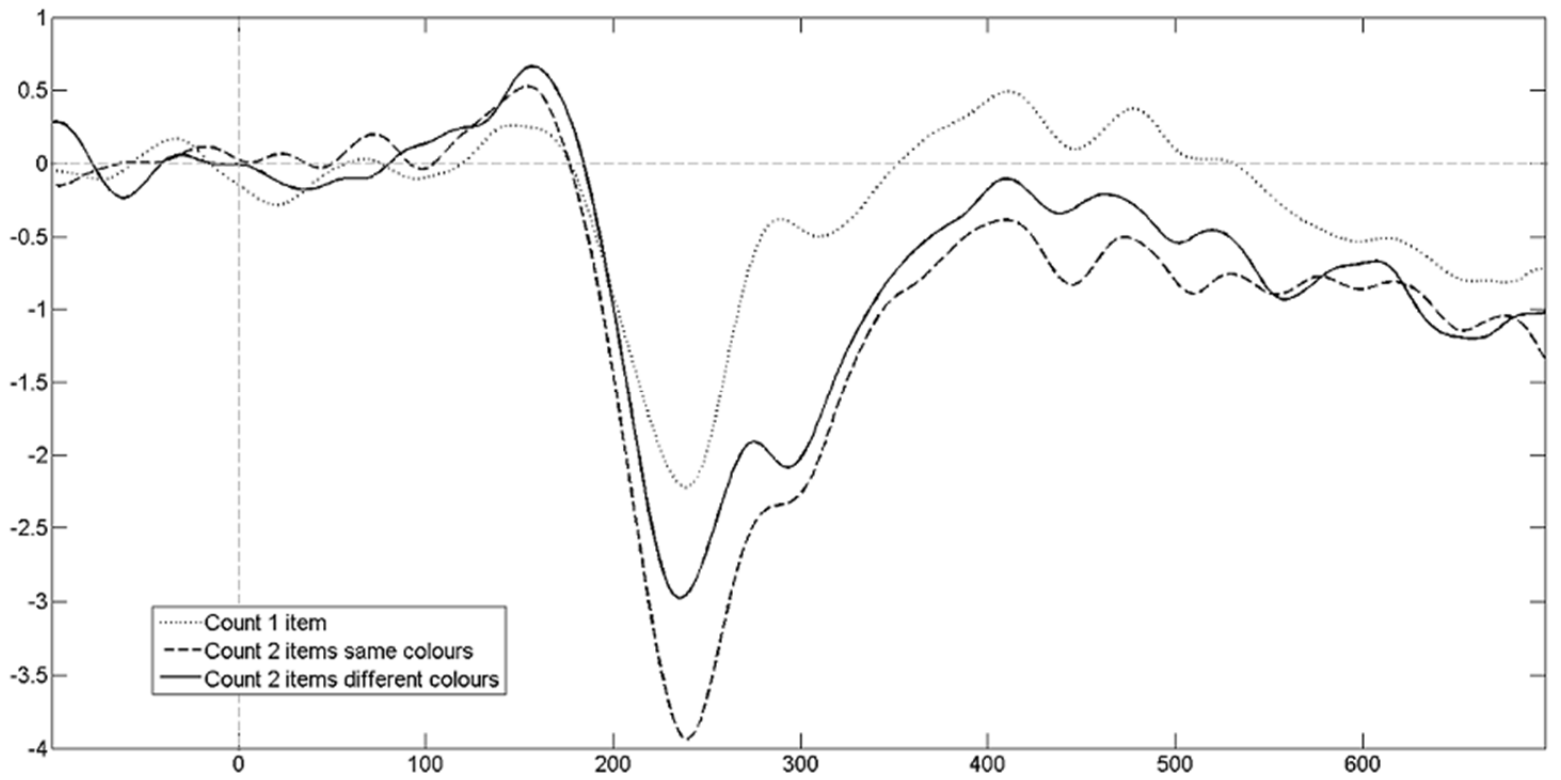


Figure 3: Count Condition at PO7/PO8.

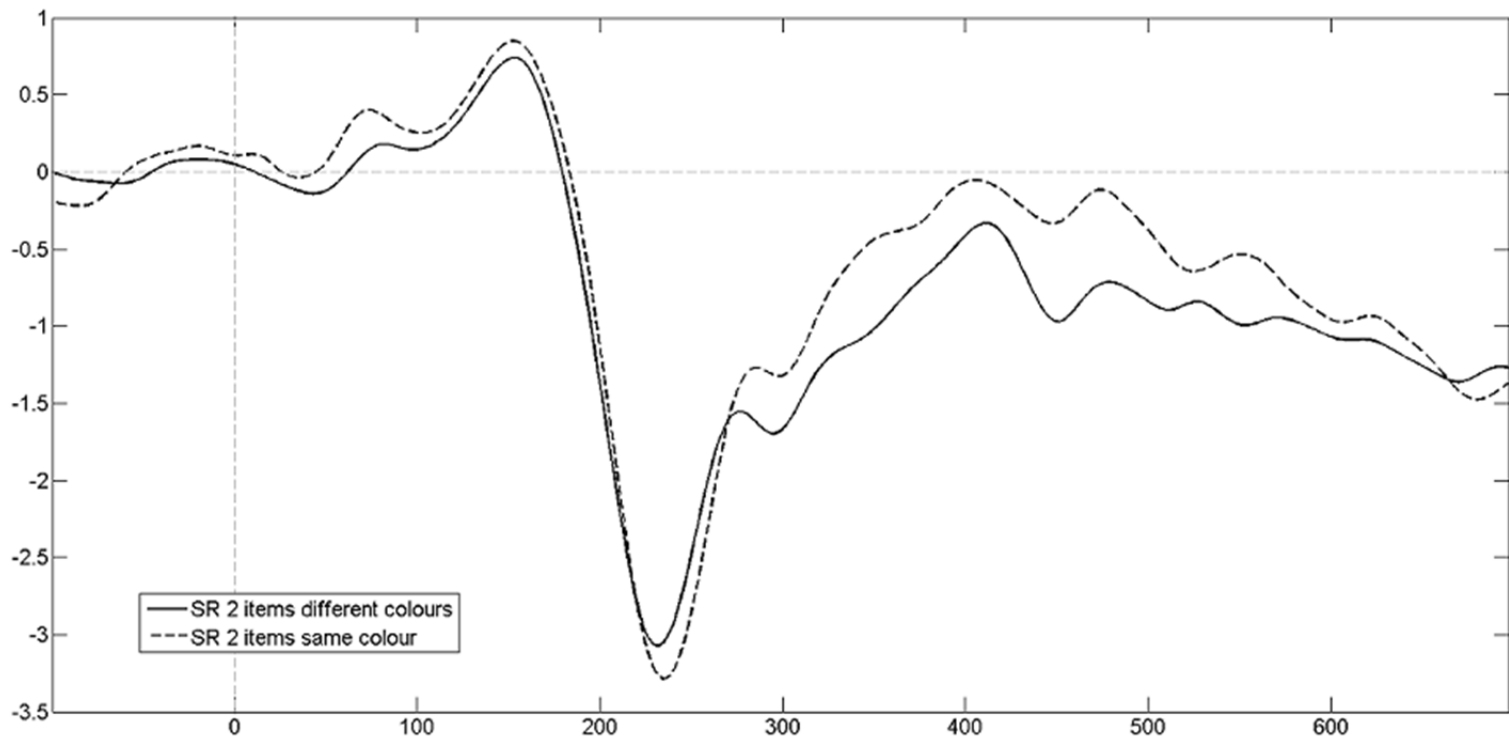


Figure 4: Spatial Relation Condition at PO7/PO8.

**Chapitre 4 : Effect of Ageing on Visuospatial Attention and
Visual Working Memory: an ERP Study**

Running head: RUNNING HEAD

Effect of Ageing on Visuospatial Attention and Visual Working Memory: an ERP Study

Manon Maheux^{1,2,3,4} and Pierre Jolicœur^{1,2,3,4}

1 Université de Montréal, Montréal, Canada

2 Centre de recherche en neuropsychologie et cognition (CERNEC)

3 Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM)

4 International Laboratory for Brain, Music, and Sound Research (BRAMS)

Corresponding author:

Pierre Jolicœur

Département de psychologie

Université de Montréal

C.P. 6128, succursale Centre-ville

Montréal, QC H3C 3J7

Tel: 1-514-343-6972

Fax: 1-514-343-2285

Contributions des coauteurs

L'expérience a été conçue par Pierre Jolicoeur et adaptée pour les personnes âgées par Manon Maheux avec l'aide de Pia Amping, programmeuse. Les participants ont été testés par Manon Maheux avec l'aide des autres assistantes de recherche. L'analyse des résultats et l'écriture du manuscrit ont été faits par Manon Maheux, sous la supervision de Pierre Jolicoeur.

Abstract

The goal of this research was to understanding how aging of the nervous system affects mechanisms of attention and visual working memory. We used the N2pc and the SPCN (sustained posterior contralateral negativity), two lateralized event-related potentials (ERPs) linked to visuospatial attention and visual working memory. Previous work has not taken into account physical changes in the aging eye in ERP studies of the aging attentional system, despite potential impact of peripheral vision (e.g., yellowing of the lens and reduction in pupil diameter). Flicker photometry was used to adjust the luminance of the stimuli for each participant to adjust stimuli across younger and older. Our goal was to study the effect of normal aging on the amplitude and latency of the N2pc and the SPCN using two cognitive tasks (counting and identifying a spatial relationship between two coloured items). Results revealed a smaller amplitude and delayed latency of these attentional and memory responses for the older participants compared to a group of younger adults, suggesting weakened and slower neuronal responses mediating attention and memory confined to the central nervous system.

1. Introduction

The human brain is a very complex structure and we are still trying to understand how it changes during the ageing process. Event-related potentials (ERPs) can help us study some of those cognitive processes and how they change with age. The N2pc (a posterior contralateral negativity at about the time of the N2) and the SPCN (sustained posterior contralateral negativity) are two lateralized ERPs linked respectively to visuospatial attention and visual working memory, the two processes studied here.

The N2pc (Luck & Hillyard, 1994a) is an enhanced negativity at occipital sites (typical maximum at PO7 and PO8 electrodes) contralateral to the visual hemifield where a relevant item is presented and where attention is presumed to be engaged. It usually peaks between 200 and 280 ms post target onset in for younger adults. Mentioned for the first time at the beginning of the 1990s (Luck, Fan, & Hillyard, 1993; Luck & Hillyard, 1994a, 1994b), evidence shows that the N2pc reflects neuronal activity related to attentional selection. As such, the N2pc and has been used to track the deployment of visual spatial attention in a number of situations, such as visual search (e.g. Brisson, Leblanc, & Jolicoeur, 2009; Hickey, McDonald, & Theeuwes, 2006; Kiss & Eimer, 2011; Leblanc, Prime, & Jolicoeur, 2008). Many groups also showed that the amplitude of N2pc is modulated by a number of factors including the presence of nearby distractors and the distance between the target and the distractors (Hilimire, Mounts, Parks, & Corballis, 2009, 2010; Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997). Luck et al. (1997) showed an increase in the N2pc amplitude when the target was close to a distractor. The authors proposed that the component reflects the operation of a spatial filter system that provides a way to ignore irrelevant information, thereby enabling more efficient processing of selected items. When the target is close to a distractor, it becomes

harder to individualise the two items, even more if they share a physical characteristic (e.g., shape or colour). When the items are harder to distinguish, more attentional effort will be needed to perform the task, which is reflected in an increase in the amplitude of the N2pc (Luck et al., 1997).

Other researchers have manipulated the distance between a target and a salient distractor placed amongst non-salient distractors arranged on an imaginary circle about fixation. Salient items could be adjacent or separated by non-salient distractors. Unlike Luck and colleagues, their results revealed a diminution of N2pc amplitude when the items were adjacent (Hilimire et al., 2009, 2010). These authors proposed, in line with the Desimone and Duncan (1995) biased competition model, that the presence of two items in the same receptive field creates mutual suppression of the neuronal activity related to the stimuli (Hilimire et al., 2009, 2010). Studies conducted in our laboratory (Drisdelle & Jolicoeur, submitted) performed experiments that extend their work and their results also show a diminution of the N2pc when salient items are adjacent to each other, showing that the finding of Hilimire and colleagues are robust and replicable across laboratories and conditions.

Very few studies have examined how the N2pc changes with age. Lorenzo-López and colleagues examined both the N2pc (2008) and its magnetic equivalent, the mN2pc (Lorenzo-Lopez et al., 2011) in the ageing brain. The authors used a visual search task during which two groups of subjects consisting of younger or older adults had to identify a target (a horizontal blue bar) amongst distractors. The task was divided into three conditions: homogenous target-absent (8 blue horizontal bars), target-present (7 blue horizontal bars and 1 blue vertical bar), and with an irrelevant pop-out (7 blue horizontal bars and 1 red horizontal bar). The most important result in their experiments was a delay in the mean onset latency and a diminution in

the mean amplitude of the N2pc for the older group. The amplitude of the N2pc is thought of as a measure of differential attentional focus on a target relative to distractors. A diminution of the amplitude of N2pc suggests that older adults have a reduced capacity to focus their attention on target stimuli. The latency of the component is linked to the moment that attention is successfully deployed on the target. The delay suggests that older adults need more time to engage attention on the target than their younger counterparts.

The same group redid the same type of experiment in 2011 using magnetoencephalography (MEG). Once again, younger or older subjects were asked to perform a visual search task in which they had to distinguish between two conditions: homogenous target-absent (8 blue horizontal bars) versus target-present (7 blue horizontal bars and 1 blue vertical bar). The MEG results showed the same type of pattern seen in the electroencephalography (EEG) experiment, and the authors suggest that ageing is the cause of the large variability they were able to observe in deployment of attention and on the processes linked to target identification.

The SPCN (Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua, & Robitaille, 2006), also called contralateral delayed activity (or CDA, Vogel & Machizawa, 2004) or contralateral negative slow wave (or CNSW, Klaver, Talsma, Wijers, Heinze, & Mulder, 1999), is a lateralized component seen at the same occipital sites as the N2pc (i.e., typically maximum at electrodes PO7 and PO8). This later component usually appears 300 ms and it has been linked to active maintenance of information in visual working memory. The amplitude of the SPCN usually increases as the number of items held in memory is increased. Importantly, this increase reaches a plateau when the numbers of items corresponds to the maximum capacity of the subjects in the experiment (Robitaille et al., 2010; Vogel & Machizawa, 2004). Finally, despite very similar

scalp distributions of voltage fields, of the N2pc and SPCN, these components have been shown to be functionally dissociable (e.g. Jolicoeur, Brisson, & Robitaille, 2008).

Once again, very few studies examined the effect of the ageing process on the SPCN. Jost, Bryck, Vogel, and Mayr (2011) used two tasks, a visual working memory task based on the Luck and Vogel (1997) paradigm and a filtering task. For the memory task, participants were presented a memory array containing 2, 4, 6, or 8 coloured squares. After a variable retention period, a test array was presented containing the same number of coloured squares they saw before. Participants had to determine if the two arrays were identical or not, and they answered by pressing a button. Older participants had a lower accuracy rate than younger adults and the difference between the groups increased with the number of items to memorize. The second task examined the efficacy of attentional filtering. Participants were presented with visual arrays containing coloured rectangles in red, blue, and green in 2 different orientations (horizontal or vertical) and had to memorize the orientation and position of the red rectangles while ignoring blue and green ones. Electrophysiology results showed an increase of the SPCN amplitude with the number of items (in both groups) and a delay in the onset latency of the SPCN in older adults. The amplitude modulation was smaller for the older adults as well. Younger adults seemed to begin the filtering process earlier than the older adults. The authors suggest that the older participants encode all the visual information and then filter out the irrelevant stimuli, dropping blue and green rectangles later in the retention interval.

Sander, Werkle-Bergner, and Lindenberger (2011) studied the link between age and SPCN. They used the paradigm developed by Mazza and Caramazza (2011) with three age groups (children, young adults, and older adults) and 2 presentation times: short (100 ms) and

long (500 ms). For the short presentation time, the older adults had the lowest accuracy, followed by the children, and then the young adults. A similar pattern was observed with the SPCN amplitude while looking at the load effect: amplitude increased with load for each group. Once again, however, these differences were smaller for older adults, next largest for children, and largest for young adults. The same type of pattern was seen with the long presentation time and the amplitude differences were still smallest for the older adults group. The results were generally consistent with those reported by Jost et al. (2011).

In all these studies on aging and visual attention and memory, an important factor was overlooked: the physical changes happening in the ageing eye. These changes must be taken into consideration because many of them have an impact on perception. The yellowing of the lens for example, has an effect on colour vision, an important aspect in this project (Wuerger, 2013). The ageing phenomenon decreases our ability to discriminate between small colour differences and while colour perception remains largely unaffected, short wavelengths (needed to see blue) are not perceived as well as it is in younger adults (Wuerger, 2013). A way to control for this important aspect is to use a variant of the heterochromatic flicker photometry task to adjust the luminance of the stimuli for each participant (Bone & Landrum, 2004; Walsh, 1927) in a way that takes into account differential sensitivity across the visible spectrum. Furthermore, to mimic the ageing process and compensate for the smaller pupil diameter measured in older participants, we used an overall lower luminance with a group of younger.

The goal of this study was to examine the effect of normal aging on the amplitude and latency of the N2pc and SPCN using a slightly modified versions of two cognitive tasks

(counting and identifying a spatial relationship between two coloured items) we used in a preceding study (Maheux & Jolicoeur, 2015).

Subjects were asked to perform 2 tasks. The first task was a simple counting task (named Count (C) condition) where they had to identify the number of time they saw a specific number of coloured items in a simple visual search display (either 1 or 2). The second task was the identification of a specific spatial relation (green-above-orange, or orange-above-green) between 2 items (named the Spatial relation (SR) condition). In this case, the target was defined by the presence of a specific spatial relation between 2 coloured items (e.g., an orange item above a green item or vice versa). The Count condition, sensitive to the individuation process, should cause a modulation of the amplitude of N2pc. The number of items to be individuated being one of the factors that modulate the amplitude of the N2pc, we expected to observe a larger amplitude when two items were presented compared to when one item was presented. The difference should be observable with the SPCN, since the number of items modulates its amplitude as well. The Spatial relation condition should be sensitive to the information processing required to evaluate spatial relations correctly, which we expected would require passage of information into visual working memory (VWM). If both the Count and the Spatial Relation condition require the subject to individuate each stimulus, the Spatial relation condition also requires to determine whether their relative spatial positions conform to the required spatial relation. We expect this processing to take additional time, which might encourage the maintenance of the items in visual working memory, therefore, creating a larger SPCN than the Count condition. Evidence supporting this hypothesis was found in another study performed by our lab (Maheux & Jolicoeur, 2015). We expected to see similar

amplitude modulations for the older groups for both the N2pc and the SPCN since the task was adapted to our older participants' realities and capacities.

We also expected a delay in the latency of the onset of SPCN for the older participants as seen on Lorenzo-López and colleagues' experiments if the effects observed by Lorenzo-López and colleagues were due to aging of the central nervous system. The adaptations made in this experiment should help us to determine whether the changes seen are due to peripheral mechanisms like the physical ageing of the eye or to the ageing of the central nervous system.

Another goal of this study is to examine the effect of the distance between the stimuli in a context of normal ageing. As mentioned before, the N2pc is modulated by the distance between two salient task-relevant items (Hilimire et al., 2010). While we do not completely understand the mechanism by which distance modulates the N2pc, work done in our lab (Drisdelle & Jolicoeur, 2015) suggests distance effects reflect a different process than the one influenced by target-distractor similarity. One possibility is that distance effects reflect bottom-up effects whereas those affected by target-distractor similarity relationships would reflect top-down mechanisms. To the best of our knowledge, no group examined these distance effects in the context of normal ageing. Zeef and colleagues (1996) examined the modulations of lateralized readiness potentials (LRPs) with a flanker task in which they modulated the similarity of the stimuli (i.e., letters) and the distance between them. They showed a delay in the latency of the LRPs and behavioral differences (longer reaction times) for the older adults when compared to the younger adults. Those differences disappear when the distance reaches 0.93 degree of visual angle between each stimulus. The increase in distance also decreases the reaction time of each group, suggesting that there were less competition for attentional resources if the stimuli are placed far away from each other.

2. Methodology

2.1 Subjects

Thirty young adults and 44 healthy elderly adults participated to our study. Four younger and 18 older adults were excluded because of artefacts, low accuracy, or low neuropsychological test scores, incapacity to perform the task, drug use, or incomplete data because only one of two test sessions were completed.

The final groups included 26 younger adults (YA; 5 males, 22 right-handed, age between 18 and 31, mean 22.15 ± 2.62 years) and 26 older adults (OA; 5 males, 23 right-handed, age between 60 and 78, mean 67.85 ± 4.88 years) recruited from a pool of participants maintained by the Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM). Each participant was tested in 2 sessions of approximately 2 hours each and received 40\$ (CAD) as compensation for their time. Participants were paired across groups for handedness and gender and, when possible, education level. All subjects reported no history of neurological, psychiatric, or toxicological problems. All had normal or corrected-to-normal vision and normal colour vision, based on testing with diagnostic chromatic plates, and gave written informed consent prior to testing.

2.2 Stimuli and Procedure

The first session consisted of 2 computer tasks and 2 neuropsychological tests. All participants were administered the Montreal Cognitive Assessment (MOCA) and the Similarities subtest of the Wechsler Adult Intelligence Scale (WAIS-III) to assess the general cognitive functioning of our participants. Participants were then administered a colour calibration task based on flicker photometry, which allowed us to control the inter-individual variability in visual and colour sensitivity across older and younger adults. The second task

used was a behavioural visual short-term memory (VSTM) task used as a way to measure the visual memory span (K) of each participant. The second session consisted of an EEG recording while participants performed visual search tasks that engaged visual-spatial attention and visual working memory.

2.2.1. Flicker Photometry Task

As mentioned before, the physical ageing of the eyes can have an important impact on perception. The flicker photometry task aimed to adjust the relative luminance of the stimuli within and between subjects, taking into account two main factors: pupil diameter (known to be smaller for the older adults relative to their younger counterparts) and the yellowing of the lens, which can change the relative luminance of stimuli that differ in spectral composition. Each subject was asked to perform the flicker photometry task as a way to calibrate the colours used in the experiment so as to minimize the impact of the ageing process and the variability present in older persons. Red was used to fix luminance because longer wavelengths are the least affected by yellowing of the lens. Young adults were tested the same way but using a lower luminance red as basic colour. The base luminance for younger adults was calculated by measuring pupil diameter from a subset of older and younger adults and using their ratio as a basis for calibration between age groups.

The luminance adjustment task used the rapid alternation of two coloured stimuli, here numbered disks, at the same spatial position, as illustrated in Figure 1. Participants had to minimise their perception of flicker through luminance adjustment of one of the two colours while they alternated. The frequency of the alternation was low enough to lead to the perception of flicker when the luminance of stimuli was not matched, but high enough to lead to chromatic fusion (the frequency used was 15 Hz). Equal luminance is obtained between

colours when the perception of flicker is minimised. The usual heterochromatic flicker photometry task was modified by presenting disks containing flickering colours to the periphery of the visual field thus allowing us to present them in a similar fashion (i.e., at the same retinal eccentricity) as in the experimental tasks. Participants were instructed to look at the central fixation point to make their decision. Only after doing this could participants look directly at the disks if need be.

==== Insert Figure 1 about here =====

The second modification was in the simultaneous display of several different luminance values, at different positions around stimuli on a circle about fixation. The task of the observer was to report the position of the disk that was perceived as flickering the least. A reference disk that had the same colour and luminance was presented at each position. The test disk had a slightly different luminance and, depending on the colour of the circle (grey, orange, or green), a slightly different RGB value was displayed within each disk. From a random position, a precise value was added in clockwise manner four times and from the same disk, the same value was subtracted five times in an anticlockwise manner. The variation started with relative large steps from position to position and was decreased in the subsequent display, after the subject indicated which position had the least flicker. Participants were instructed to choose which of the 10 numbered disks showed the least flicker. Answers were recorded through the numeric keypad of a keyboard, key 0 corresponding to disk 0 and key 9 to disk 9. This test disk was then used as the starting point for the next presentation of the stimuli with smaller inter-disk steps. The colour tested (e.g., grey) was presented in 10 different values while the colour used to fix the luminance (red) stayed the same.

The same flicker photometry method was used to adjust the intensity of the two other colours used (i.e., orange and green). After each response, the RGB differences between circles were adjusted to represent smaller range of RGB colours starting with the stimulus chosen on the previous response, until a small single-step difference remained between each disks. This procedure allowed us to select the RGB values providing the least individual luminance difference perception for each colour. Each of the 3 colours was calibrated three times through 4 forced choice frames. The mean of each RGB component for the three calibrations was used as the experimental colours.

2.2.2. Visual short-term memory

The second task used was a behavioural visual short-term memory (VSTM) task used as a way to measure the visual memory span (K) of each participant. Each memory array consisted of a set number of coloured disks (starting with 2 and going up to 6 from block to block) presented on a grey background, at random positions around a black cross placed at central fixation. The colours were chosen from a set of highly distinguishable colours (blue, green, pink, orange, mauve, yellow) and a given colour could not appear more than once within an array. The memory array was presented for 200 ms and was followed by a test array after a blank retention interval of 1200 ms. The test array consisted of a single coloured disk at a position previously occupied by a disk in the memory array. The colour of the disk was different from the corresponding memory array in 50% of the trials. The task was to decide if the colour of the test disk was the same or different as the colour of the disk in the memory array by pressing keys on a computer keyboard. Visual memory span, i.e. the number of items a person can keep in memory, was quantified using Cowan's K formula: $K = N * (p(\text{hit}) - p(\text{false alarm}))$ where N is the number of items presented before the retention period, p(hit) is the

probability to answer that the item changed during a retention period when it did change, and $p(\text{false alarm})$ is the probability to answer the item changed when it did not (Cowan, 2001).

2.2.3 EEG session (Second session)

The second session consisted of an EEG recording while participants performed visual search tasks that engaged visual-spatial attention and visual working memory. Each trial consisted of 6 frames presented in slow succession in a multiple-frame procedure. Each frame consisted of 16 items, each shaped like a digital number 8 ($0.8^\circ \times 0.4^\circ$) placed on an imaginary circle (diameter = 7.6°) centered on a fixation cross at placed at the center of the screen, as illustrated in Figure 2. Coloured items were orange or green while distractors were grey, all on a black background. The coloured items were all in the left or right hemifield, in any given frame, and appeared equally often on each side over the frames in each block of trials. There were 3 possible types of frame: 1 coloured item (either orange or green), 2 same-coloured items (2 orange or 2 green), or 2 different-coloured items (1 orange and 1 green). In each of the two tasks, there were 0, 2, 4, or 6 targets in the sequence of 6 frames. Targets could be adjacent (no distractors between them) or separated (with 3 distractors between them). What counted as a target depended on the task, which remained constant for a block of trials.

==== Insert Figure 2 about here =====

Subjects were seated in a dimly light, electrically-shielded room and were positioned on a chin rest at 57 cm from the computer monitor. Each trial was initiated by pressing the space bar. A white fixation cross was presented in the center of the screen for 500 ms followed by 6 frames presented for 200 ms each. The stimulus onset asynchrony (SOA) from one frame to the next was 1000 ± 100 ms. After the last frame, subjects had 2000 ms to answer before a feedback display was provided for 750 ms. Response was given by pressing a key (c, v, b, n)

to indicate the number of targets seen across the 6 preceding frames on that trial, which could be 0, 2, 4, or 6.

The experiment consisted of 4 blocks, each with a different target definition, divided into two main tasks: the C task (during which subjects had to count the number of coloured items in each frame, which could be either 1 or 2). There were two conditions for the C task: C1 and C2, tested in separate trial blocks. In the C1 task, targets were defined as a single coloured item in the search frame, regardless of colour (in this condition the presence of two coloured items counted as a distractor). In the C2 condition, targets were defined as two coloured items, regardless of their specific colours. In the C2 condition, a single coloured item counted as a distractor. The SR task was also divided into two conditions, tested in separate trial blocks. In one condition, green-above-orange (SR-G/O) a target was defined as a frame that contained a green and an orange item with the green position higher than orange. In the other condition, SR-O/G, targets were orange over green. In both conditions, two green, two orange, or an orange and green in the wrong relative positions were distractors and were not to be counted.

All the blocks had the same general instructions: subjects had to count the number of frames that included a target. What defined a target changed for each block and was described in the written instructions at the beginning of each block. All frames of the SR condition contained 2 items. Each block consisted of 16 practice trials (which were not included in the analysis) and 96 experimental trials for a total of 384 experimental trials. Given that there were 6 frames per trial, the analyses were based on 2304 search frames per subject. The order of presentation of blocks and the hand of response were counterbalanced across subjects. Conditions within blocks were pseudo-randomly ordered, with all possible combinations of

task variables (side, distance, presence/absence of a target, and so on) changing at random from frame to frame.

2.3 EEG Recording and Analysis

EEG data were recorded with 64 Ag-AgCl active electrodes mounted on an elastic cap (BioSemi Active Two system) according to the 10–10 international system (Sharbrough et al., 1991) at Fp1, Fpz, Fp2, AF7, AF3, AFz, AF4, AF8, F7, F5, F3, F1, Fz, F2, F4, F6, F8, FT7, FC5, FC3, FC1, FCz, FC2, FC4, FC6, FT8, T7, C5, C3, C1, Cz, C2, C4, C6, T8, TP7, CP5, CP3, CP1, CPz, CP2, CP4, CP6, TP8, P9, P7, P5, P3, P1, Pz, P2, P4, P6, P8, P10, PO7, PO3, POz, PO4, PO8, O1, Oz, O2, and Iz sites. Two additional electrodes, one at the left and one at the right mastoid were used, and potentials at other electrodes were re-referenced to their average. Eye movements were measured with horizontal (HEOG) and vertical electrooculogram (VEOG). HEOG was defined as the voltage difference between 2 electrodes placed at the external canthi of the eyes while VEOG was defined as the voltage difference between the signal at Fp1 and at an electrode placed below the left eye. Signals were digitized at 512 Hz (DC to 134 Hz) and later bandpass filtered from 0.05 to 30 Hz during post-recording processing. Frames with eye movements, blinks, or other artefacts were excluded from the analysis. On trials with an incorrect reported count, all 6 frames were excluded from the analysis. The EEG was segmented into 900-ms epochs starting at 100 ms before, and ending 800 ms after the onset of each frame. A baseline correction was performed by subtracting the mean voltage during the 100-ms pre-frame interval from the voltage on the whole segment. Event-related lateralizations were computed by subtracting ipsilateral activity from contralateral activity for each pair of lateral electrodes, with ipsilateral and contralateral defined relative to the visual hemifield in which the coloured item (or items) had been

presented. The N2pc and SPCN components were examined primarily at posterior electrodes (PO7/PO8, PO3/PO4, P7/P8, O1/O2).

3. Results

3.1 Behavioral measures

==== Insert Table 1 about here =====

Table 1 shows the mean accuracy (percent correct) and mean capacity (K) for each group. A value of K was first computed for each load (2, 3, 4, 5, 6). Figure 3 shows that both groups reach a plateau around the load-4 condition. Values for the last 3 loads were averaged (K_{mean}) to get a more stable measure of each individual capacity. T-tests were performed on accuracy and K_{mean} values across the two groups. Mean accuracy was higher for young adults than for older adults ($t(50) = 4.986, p < .0001$) and the K_{mean} estimate was also larger for younger than for older adults ($t(50) = 4.263, p < .0001$).

==== Insert Figure 3 about here =====

3.2 EEG results

ANOVAs were performed to compare the two groups with the type of stimulus (1 item vs 2 same colours vs 2 different colours) for the Count condition as a within-subject factor and group as a between-subjects factor. The trials with only 1 item were then removed from the analyses to study the effect of distance. New ANOVAs were performed with Task (or conditions, C vs. SR), Type of stimulus (2 same colours vs. 2 different colours), and Distance between stimuli (near vs. far) as within-subjects factors and Group as a between-subjects factor.

3.2.1 N2pc

Figure 4 shows the grand average waveforms for the Count condition for both groups. Statistical analyses were performed using fractional area latency on jackknife averages to estimate the latency at which the waveforms reached 50% of the area under the curve (Kiesel, Miller, Jolicoeur, & Brisson, 2008). Since the difference was significant between the groups, indicating a later onset latency for older adults ($F(1, 50) = 62.08, p < .0001$), we used two different time windows for subsequent analyses. ANOVAs were performed on the mean amplitude of the N2pc in the time interval of 218 – 268 ms for the younger adults and 262 – 312 ms for the older adults.

==== Insert Figure 4 about here =====

We found a significant main effect of Type of stimulus ($F(2, 100) = 10.170, p < .0001$), for which the N2pc was smaller when 1 item was presented compared to 2 items of the same colour ($F(1, 50) = 18.331, p < .0001$) and compared to 2 items in different colours ($F(1, 50) = 13.632, p = .001$). There was no significant difference between the same-colour and different-colour stimuli ($F(1, 50) = 1.565, p = .217$).

Figure 5 shows the average waveforms for the SR condition for both groups. For this condition, the main effect of Type of stimulus was very close to significance ($F(1, 50) = 3.908, p = .054$), showing that the amplitude of the N2pc was marginally larger for different-color pairs than for same-color pairs. We found no effect of the group for this condition or the Type of stimulus x Conditions interaction.

==== Insert Figure 5 about here =====

To examine the potential effect of distance, we eliminated frames with only 1 item and performed another ANOVA including Group (young vs. older adults) as a between-subjects

factor, and Tasks (C vs. SR), Type of stimulus (same vs. different colours), and Distance (near vs. far) as within-subjects factors. Contrarily to previous studies, we did not find a significant main effect of Group ($F(1, 50) = 2.545, p = .117$) which might be caused by our manipulation of the luminance of the stimuli. We found a significant main effect of Distance ($F(1, 50) = 6.237, p = .016$), in which the amplitude of the N2pc was larger when the items were farther away from each other. Importantly, we found a significant interaction between Group and Distance ($F(1, 50) = 4.226, p = .045$), reflecting a larger effect of distance for younger adults than for older adults, as can be seen in Figure 6. No other significant effects or interactions were found.

==== Insert Figure 6 about here =====

3.2.2 SPCN

ANOVAs were performed on the mean amplitude of the SPCN in the time interval of 450 – 600 ms for the younger adults and 500 – 650 ms for the older adults, to take into account the clear difference in the latency of the component across groups. For the C condition, we found a significant main effect of Type of stimulus ($F(2, 100) = 3.207, p = .045$), in which the SPCN was smaller when 1 item was presented compared to 2 items of the same colour ($F(1, 50) = 4.904, p = .031$) or compared to 2 items in different colours ($F(1, 50) = 4.230, p = .045$). There was no significant difference between the same-colour and different-colour stimuli ($F(1, 50) = < 1, p = .983$) (see Figure 4). We did find a significant main effect of Type of stimulus for the SR condition ($F(1, 50) = 27.529, p < .0001$): the SPCN was larger when the items were different colours for both groups.

Once again, we removed frames with only 1 item to examine the effect of distance with a second ANOVA (Group x Task x Type of stimulus x Distance). We observed a significant

quadruple interaction Group x Task x Type of stimulus x Distance ($F(1, 50) = 7.109, p = .01$). We analyzed each group separately to decompose this interaction. For the young adults, we found significant main effects of Task ($F(1, 25) = 10.654, p = .003$), Type of stimulus ($F(1, 25) = 11.392, p = .002$), and Distance ($F(1, 25) = 8.900, p = .006$). The SPCN was larger for the SR condition than for the C condition, when the items were in different colours than when they had the same colour, and when the items were far from each other compared to adjacent items. For the older adults, none of the main effects, or any of the interactions were significant.

For the omnibus analysis, no triple interactions were significant. Three double interactions were significant: Task x Type of Stimulus ($F(1, 50) = 4.463, p = 0.040$), Type of stimulus x Group ($F(1, 50) = 7.320, p = .019$), and Task x Group ($F(1, 50) = 4.666, p = .036$). The Task x Type of Stimulus interaction showed that the amplitude of the SPCN was similar for both types of stimuli for the C condition but that the difference in amplitudes was larger for the different-colour stimuli for the SR condition. The Group x Type of Stimulus interaction was a larger difference of amplitude between the items of same or different colours for the young adults compared to the older adults. The Group x Task interaction was a difference in amplitude for the SPCN between the two conditions that was larger for the younger adult group than for the older adult group. We also found a significant main effect for the distance ($F(1, 50) = 8.605, p = .005$) and for Type of stimulus ($F(1, 50) = 6.519, p = .014$). The amplitude of the SPCN was larger when the items were farther away from each other compared to when they were adjacent and when the items were in different colours compared to when they had the same colour. Once again we did not find any differences between the groups, which might be explained by our control over stimulus luminance across groups.

4. Discussion

The goal of this study was to examine the effect of normal ageing on attention and memory, via measurements of two electrophysiological components linked to visuospatial attention (N2pc) and visual working memory (SPCN). We used slightly modified versions of two cognitive tasks used in one of our previous work (Maheux & Jolicoeur, 2015).

We also examined the memory capacity (K) of each participant for 5 different loads (2 to 6). In general, K increased with load and reached a plateau at a K of about 2 for older adults and at a K of about 3 for younger adults. This substantial difference in the maximum capacity estimate across older and younger adults is consistent with the idea that memory capacity decreases with ageing.

Analyses on the N2pc showed a delay in the latency of the older adult group consistent with the results of Lorenzo-Lopez et al. (2008) who suggested that the delay comes from a slowing of the processing of attention deployment for the older adults. The fact that we still find a difference between the groups even after controlling for the changes in perception due to physical ageing of the eyes supports the hypothesis the cause of the delay in older adults has a locus in the central nervous system, rather than in the eye. As seen in our previous work (Maheux & Jolicoeur, 2015), we observed a larger N2pc amplitude when there were 2 items presented compare to only one and when the items were the same colour. The number of items presented is known to modulate the amplitude of the N2pc and this type of pattern was seen in our last experiment and in earlier work (Mazza & Caramazza, 2011). We suggested that since the N2pc is linked to deployment of attention and that its amplitude increases with the need for attention, those modulations could be explained by an increase in the difficulty of individuation of the two stimuli when they had the same colour.

As Lorenzo-Lopez et al. (2008), we found clear differences across younger and older adults in the temporal dynamics of attention deployment and subsequent engagement of visual working memory. This was most obviously seen in the onset latency of the N2pc. Clearly, the shape of the waveforms was also different across groups. This is more difficult to quantify. If we use the standard approach of comparing mean amplitudes in a wide-enough window aligned on the basis of maxima in the grand average waveforms, we find no significant differences across groups for the N2pc or the SPCN. It seems to us that waveforms for younger adults are sharper than that for older adults, which probably reflects less inter-subject variance compared with the older-adult group. Component smearing due to increased latency variability would tend to reduce the amplitude of the grand average and increase the apparent duration a component, while preserving the overall area under the curve. It is possible that we observed a clearer picture of this underlying group difference because of our better control for the retinal luminance of the stimuli across groups. In any case, we argue that our procedure for equating retinal luminance allows us to interpret group differences as a reflection of changes in neuronal mechanisms in the central nervous system, as opposed to ageing of the eye.

Prior work from Hilimire and colleagues (2009, 2010), and from our lab (Aubin & Jolicoeur, 2015; Drisdelle & Jolicoeur, 2015) found that the distance between the potential target stimuli has a consistent impact on the amplitude of the N2pc (larger N2pc for more distant stimuli). This effect was reproduced here but showed to be nonsignificant for older adults. Hilimire and colleagues (2009, 2010) proposed the idea of a mutual suppression of the neuronal activity of each items. Adjacent (or closer) items would be more likely to stimulate cells receiving input from the same receptive field, which in turn would result in increased competition between them. Items placed in more distant positions would tend to stimulate

different receptive fields, thereby reducing inter-item competition. A decrease in inhibitory mechanisms is often seen during the ageing process and might explain the difference in modulation of the N2pc between the groups. On the other hand, if inhibition due to local competition was reduced in older adults and so eliminated the distance effect, and inhibition causes a reduction in N2pc, then it is not clear why N2pc was reduced, overall, in older adults compared with younger adults. It seems likely that other factors caused the overall reduction in N2pc amplitude in older adults, such as a less efficient engagement of attention on potential targets (or perhaps increased variance in the latency of the component). In this scenario, the overall decrease in N2pc amplitude and increased latency of onset of the N2pc would reflect a reduction in the efficiency of attentional deployment on potential targets. The reduced distance effect might reflect a distinct reduction in local mutual inhibition among representations competing for selection. It is as yet unclear whether these two potential influences reflect ageing of a single underlying mechanism, or of more than one.

The pattern of results found here for the SPCN was also similar as the one found in our previous experiment. Once again, we were able to see the modulation caused by the number of items for the C condition (smaller SPCN for 1 item compared with 2 items). While there was no difference in the amplitude between items of same and different colours for the C condition, we did find a significant difference for the SR condition. As we suggested in our previous paper, visual working memory may be less required to perform well in the C condition, which would explain a reduced modulation of the SPCN, a component linked to the maintenance of information in working memory. On the other hand, the use of working memory may be required to determine if the items presented are in the correct spatial configuration, which would require a more time-consuming neural computation. The complex

Group x Task x Type of stimulus x Distance interaction suggests that the changes caused by the ageing process are more intricate than a global attenuation of SPCN. By examining patterns of results in each group, we were able to show a number of interesting differences. Younger adults had a larger amplitude for the SR condition (vs. C condition), for stimuli of different colours (vs. of the same colour), and for items far from each other (vs. adjacent). None of these effects were seen for the older group. One possibility is that younger adults are able to complete processing for simpler tasks during the N2pc time window and, for these conditions, are less likely to engage working memory mechanisms, reflected in a smaller SPCN. If this more rapid, on-the-fly, neural decision is delayed, a more uniform reliance on working memory may result, thereby attenuating modulations of the SPCN. All conditions would tend to recruit visual working memory to the same extent, and thus produce approximately equal SPCN amplitudes. Smaller variations in the amplitude of the SPCN in older adults are consistent with the findings of Sander et al (2011) and Jost et al. (2011). Our new finding and interpretations provide new explanations for these heretofore unexplained patterns of results.

We also found that the SPCN was larger when the items were farther away from each other, as found for the N2pc (Aubin & Jolicoeur, 2015; Drisdelle & Jolicoeur, 2015; Hilimire et al., (2009, 2010). Although Hilimire and colleagues did not specifically look at the SPCN, we can extrapolate their account for similar effects on the N2pc based on the mutual suppression of competing proximal stimuli to mechanisms leading to the sustained responses observed as the SPCN.

The SPCN was also larger when the items were different colours, supporting our previous results and suggesting that information needs to be put into working memory to be

able to process the characteristics needed to determine if the presentation correspond to the spatial relations designed as a target for the SR condition.

In summary and conclusion, we showed that ageing delays the onset of attention deployment, likely increases the variability of this deployment, and causes a number of other changes in the amplitude of the N2pc and SPCN relative to patterns observed for younger adults. Importantly, our methods allowed us to conclude that these effects are unlikely to have been caused by ageing of the eye and so they are most likely to originate in ageing of the central nervous system. Furthermore, the use of the multiple frame procedure and target counting tasks coupled with the event-related potential method means that observed slowing of attention in our results cannot be attributed to motor slowing.

Figures

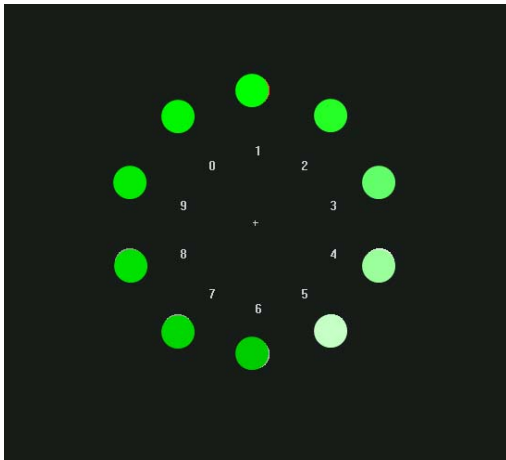


Figure 1: Flicker photometry task

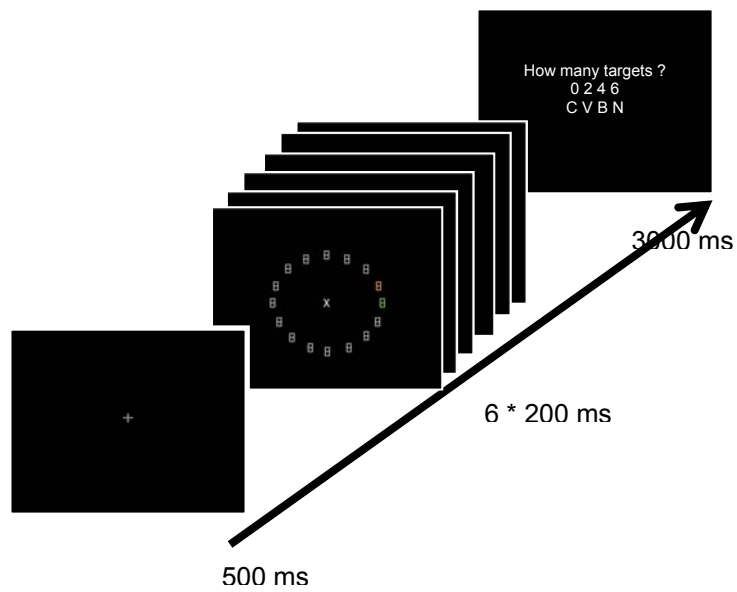


Figure 2: Example of stimulus used and procedure

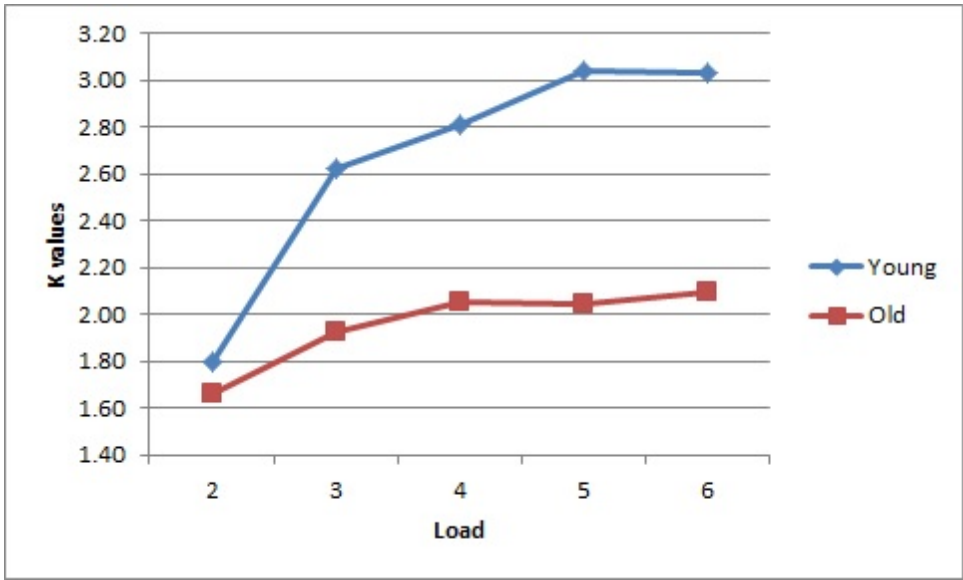


Figure 3: Mean value of K for each load, for each age group.

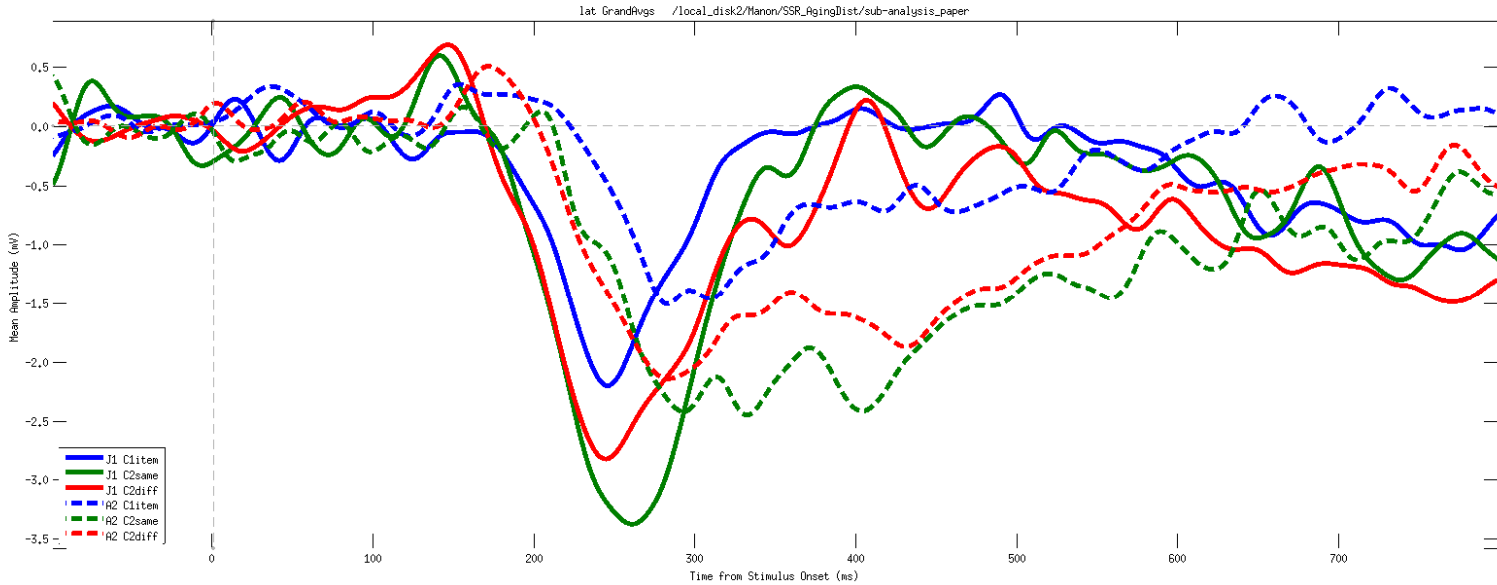


Figure 4: Grand average waveforms for the Count condition for displays with one item (blue), two items that had the same color (green), or two items that had different colors (red). Continuous lines = younger adults, dotted lines = older adults.

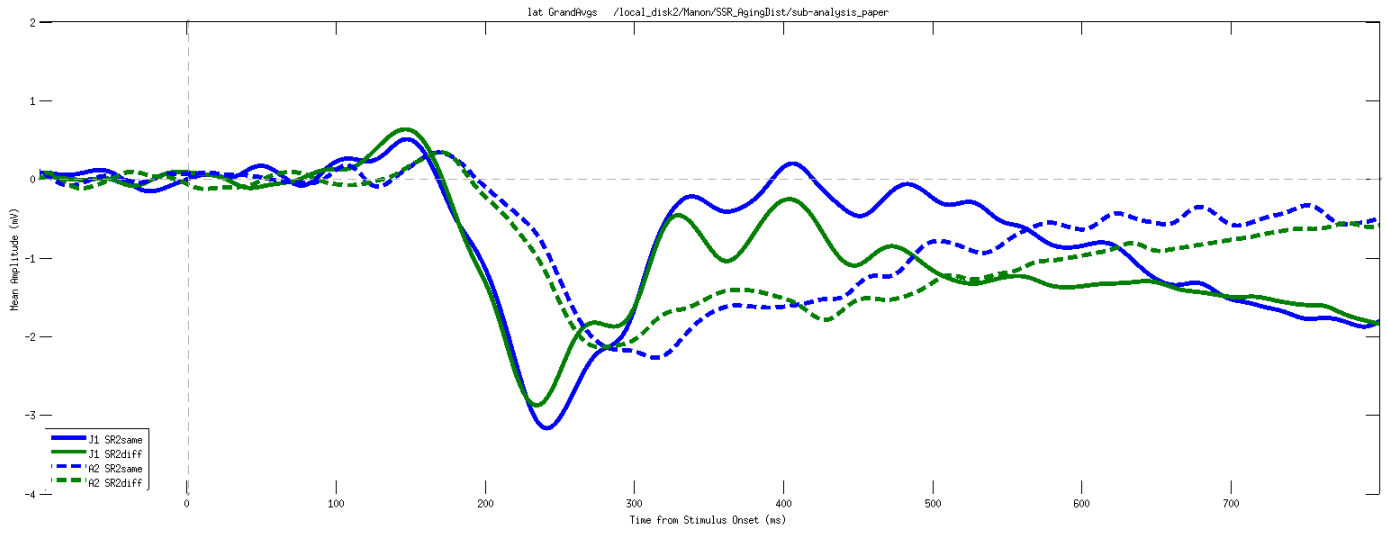


Figure 5: Gand average waveforms for the SR condition for the same-color (blue) and different-color (green) conditions; continuous line = younger adults, dashed line = older adults.

A) Younger Adults

B) Older Adults

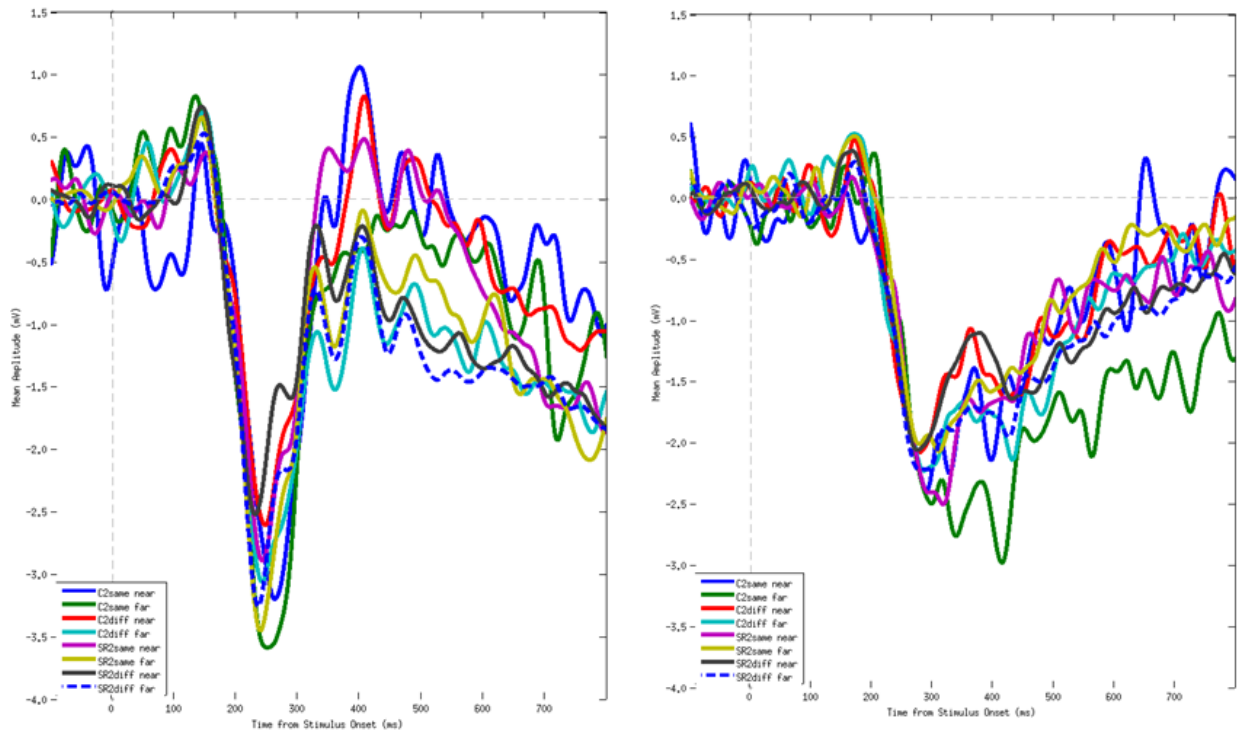


Figure 6: Average waveforms for each Task, Distance, and Type of stimulus. A) Younger adults. B) Older Adults. .

Tables

	Young adults	Older adults
Accuracy	95.8% (5)	81.2% (14)
K_{mean}	2.93 (0.79)	2.07 (0.67)

Table 1: Mean of accuracy and K_{mean} for each group. SDs are in parenthesis.

References

- Aubin, S., & Jolicoeur, P. (submitted). Early and late selection modulate competition for representation: Evidence from the N2pc.
- Bone, R. A., & Landrum, J. T. (2004). Heterochromatic flicker photometry. *Arch Biochem Biophys*, *430*(2), 137-142. doi: 10.1016/j.abb.2004.04.003
- Brisson, B., Leblanc, E., & Jolicoeur, P. (2009). Contingent capture of visual-spatial attention depends on capacity-limited central mechanisms: evidence from human electrophysiology and the psychological refractory period. *Biol Psychol*, *80*(2), 218-225. doi: 10.1016/j.biopsycho.2008.10.001
- Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behav Brain Sci*, *24*(1), 87-114; discussion 114-185.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annu Rev Neurosci*, *18*, 193-222. doi: 10.1146/annurev.ne.18.030195.001205
- Drisdelle, B.L., & Jolicoeur, P. (submitted). The effect of spatial distance and physical similarity between a target and a salient distractor on attentional selection: Evidence from electrophysiology.
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *J Cogn Neurosci*, *18*(4), 604-613. doi: 10.1162/jocn.2006.18.4.604
- Hilimire, M. R., Mounts, J. R., Parks, N. A., & Corballis, P. M. (2009). Competitive interaction degrades target selection: an ERP study. *Psychophysiology*, *46*(5), 1080-1089. doi: PSYP846 [pii] 10.1111/j.1469-8986.2009.00846.x
- Hilimire, M. R., Mounts, J. R., Parks, N. A., & Corballis, P. M. (2010). Event-related potentials dissociate effects of salience and space in biased competition for visual representation. *PLoS One*, *5*(9). doi: 10.1371/journal.pone.0012677
- Jolicoeur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Res*, *1215*, 160-172. doi: 10.1016/j.brainres.2008.03.059
- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006). On the control of visual spatial attention: evidence from human electrophysiology. *Psychol Res*, *70*(6), 414-424. doi: 10.1007/s00426-005-0008-4
- Jost, K., Bryck, R. L., Vogel, E. K., & Mayr, U. (2011). Are old adults just like low working memory young adults? Filtering efficiency and age differences in visual working memory. *Cereb Cortex*, *21*(5), 1147-1154. doi: bhq185 [pii] 10.1093/cercor/bhq185
- Kiesel, A., Miller, J., Jolicoeur, P., & Brisson, B. (2008). Measurement of ERP latency differences: a comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. *Psychophysiology*, *45*(2), 250-274. doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.00618.x
- Kiss, M., & Eimer, M. (2011). Attentional capture by size singletons is determined by top-down search goals. *Psychophysiology*, *48*(6), 784-787. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01145.x
- Klaver, P., Talsma, D., Wijers, A. A., Heinze, H. J., & Mulder, G. (1999). An event-related brain potential correlate of visual short-term memory. *Neuroreport*, *10*(10), 2001-2005.
- Leblanc, E., Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *J Cogn Neurosci*, *20*(4), 657-671. doi: 10.1162/jocn.2008.20051
- Lorenzo-Lopez, L., Amenedo, E., & Cadaveira, F. (2008). Feature processing during visual search in normal aging: electrophysiological evidence. *Neurobiol Aging*, *29*(7), 1101-1110. doi: S0197-4580(07)00040-1 [pii]

10.1016/j.neurobiolaging.2007.02.007

Lorenzo-Lopez, L., Gutierrez, R., Moratti, S., Maestu, F., Cadaveira, F., & Amenedo, E. (2011). Age-related occipito-temporal hypoactivation during visual search: relationships between mN2pc sources and performance. *Neuropsychologia*, *49*(5), 858-865. doi: S0028-3932(11)00020-0 [pii]

10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.015

Luck, S. J., Fan, S., & Hillyard, S. A. (1993). Attention-Related Modulation of Sensory-Evoked Brain Activity in a Visual Search Task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*(2), 188-195.

Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: an ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cogn Psychol*, *33*(1), 64-87. doi: 10.1006/cogp.1997.0660

Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, *31*(3), 291-308.

Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *20*(5), 1000-1014.

Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, *390*(6657), 279-281. doi: 10.1038/36846

Maheux, M., & Jolicoeur, P. (submitted). Differential engagement of attention and memory in the representation of the number of relevant targets and their spatial relations: Evidence from the N2pc and SPCN.

Mazza, V., & Caramazza, A. (2011). Temporal brain dynamics of multiple object processing: the flexibility of individuation. *PLoS One*, *6*(2), e17453. doi: 10.1371/journal.pone.0017453

Robitaille, N., Marois, R., Todd, J., Grimault, S., Cheyne, D., & Jolicoeur, P. (2010). Distinguishing between lateralized and nonlateralized brain activity associated with visual short-term memory: fMRI, MEG, and EEG evidence from the same observers. *Neuroimage*, *53*(4), 1334-1345. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.07.027

Sander, M. C., Werkle-Bergner, M., & Lindenberger, U. (2011). Contralateral delay activity reveals life-span age differences in top-down modulation of working memory contents. *Cereb Cortex*, *21*(12), 2809-2819. doi: bhr076 [pii]

10.1093/cercor/bhr076

Sharbrough, F., Chatrjian, G.-E., Lesser, R.P., Lüders, H., Nuwer, M., & Picton, T.W. (1991). American electroencephalographic society guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, *8*(2), 200-202.

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, *428*(6984), 748-751. doi: 10.1038/nature02447 nature02447 [pii]

Walsh, J. W. (1927). Photometry. *Science*, *66*(1707), 259-260. doi: 10.1126/science.66.1707.259-b

Wuerger, S. (2013). Colour constancy across the life span: evidence for compensatory mechanisms. *PLoS One*, *8*(5), e63921. doi: 10.1371/journal.pone.0063921

Zeef, E. J., Sonke, C. J., Kok, A., Buiten, M. M., & Kenemans, J. L. (1996). Perceptual factors affecting age-related differences in focused attention: performance and psychophysiological analyses. *Psychophysiology*, *33*(5), 555-565.

Discussion générale

Le but de ce travail était d'étudier les changements observables dans les mécanismes de l'attention visuospatiale et la mémoire de travail dans le cadre du processus de vieillissement. Les trois articles inclus ici nous ont permis de comparer les personnes âgées et les jeunes adultes et d'identifier les différences au niveau comportemental et électrophysiologique.

Le premier article voulait examiner les changements dans les capacités mnésiques qui apparaissent lors du vieillissement normal et pathologique, plus précisément dans le cadre d'un TCL de type amnésique à domaine unique (*a-MCI, single domain*). Nous avons aussi examiner la pertinence d'utiliser une tâche mesurant les capacités de la mémoire de travail ainsi que de différents tests neuropsychologiques afin de déterminer s'il était possible de distinguer non seulement les gens âgés sains de ceux qui ont un TCL, mais aussi les gens avec TCL qui resteront stables par rapport à ceux qui déclineront vers une démence légère avec le temps.

L'article examine les différences dans les capacités de la mémoire à court-terme visuelle entre trois groupes (jeunes adultes, âgés sains, personnes avec TCL) en utilisant une tâche de mémoire conçue pour évaluer spécifiquement la mémoire visuelle à court terme (Jolicoeur, Lefebvre, & Martinez-Trujillo, 2015; Vogel et al., 2001). Ce type de tâche est régulièrement utilisé pour évaluer les différences individuelles et pour comparer des groupes puisqu'elle permet d'obtenir une estimation fiable des capacités de la mémoire visuelle à court terme. Nous avons utilisé ici deux niveaux de charge différents (2 items et 4 items) puisque la capacité de la plupart des individus est plus grande que deux items, mais habituellement moins que 4 tel que démontré dans le tableau 2 (voir Chapitre 2). Nous avons modulé le niveau de

charge (le nombre d'items présentés à l'écran), mais aussi la durée de l'intervalle de rétention. Les analyses statistiques montrent qu'il n'y a aucune différence pour la durée de l'intervalle de rétention entre les groupes peu importe la variable étudiée, nous permettant de conclure que la durée de rétention n'a pas d'effet sur la performance des sujets. Les données pour les deux intervalles ont donc été fusionnées pour les analyses subséquentes.

Il est possible d'observer des différences claires dans les temps de réaction entre les groupes. Les jeunes adultes ont toujours un temps de réaction plus court que celui des deux groupes de personnes âgées et les âgés sains sont aussi plus rapides que les personnes avec TCL, un résultat qui supporte la diminution de vitesse vue dans la littérature en vieillissement. Tous les groupes avaient de temps de réaction moins rapides pour la condition de niveau de charge 4, supportant l'idée que si le niveau de charge augmente au point d'approcher (et même, pour la plupart des adultes âgés, de dépasser) la capacité mnésique des sujets, rendant ainsi plus difficile pour ces derniers de performer de façon plus rapide.

Nous avons aussi pu observer une interaction significative entre le niveau de charge et le groupe pour la valeur de K. Des analyses plus approfondies montrent que la différence entre les valeurs de K pour le niveau de charge 4 est significative seulement lorsqu'on compare les jeunes adultes et les sujets âgés : les jeunes adultes ont une valeur de K plus grande que celles des deux groupes d'âgés (sains et TCL), mais il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes de sujets âgés. Il semble que si le niveau de charge 2 est assez facile pour que tous les participants puissent réussir la tâche sans problème, y compris les personnes avec un TCL, le niveau de charge 4 était plus élevé que la capacité mnésique des participants âgés qui semblent atteindre un plafond à environ 2 items tel qu'indiqué dans le tableau 2 (voir Chapitre 2).

Nous suggérons que de tester au niveau de charge 4 permet une mesure plus sensible des différences entre les groupes puisque ce niveau de charge excède les capacités de la plupart des participants. La capacité de la plupart des sujets étant trop près de 2, les mesures faites au niveau de charge 2 n'ont pas réussi à révéler des différences de capacité entre les groupes (voir les tableaux 3 et 4 dans les annexes du Chapitre 2 pour une liste taux de détections correctes et de fausses alarmes ainsi que les valeurs de K pour chaque sujet). Il est important de noter par contre, que les temps de réaction au niveau de charge 2 permettent de distinguer parmi les groupes.

Nous avons aussi pu tester l'efficacité de ce type de tâches pour déterminer le déclin potentiel de personnes avec TCL. Tel que mentionné précédemment, nous avons pu faire un suivi avec 25 des 28 sujets avec MCI originaux. Malgré la petitesse du groupe, nous avons pu montrer que les déclineurs avaient des temps de réaction plus longs que les stables. De plus, le fait que l'effet du niveau de charge tend à s'approcher du niveau significatif ($p = 0,08$) pourrait indiquer le besoin d'un groupe de sujets plus grand et suggère que le nombre d'items présentés à l'écran pourrait avoir un effet sur les temps de réaction.

En conclusion, nous avons pu examiner les différences dans les capacités de la mémoire à court terme entre trois groupes d'âges (jeunes adultes, âgés sains et personnes avec MCI). De plus, tester les sujets à un niveau de charge 4 semble être une bonne façon de différencier les capacités des groupes puisque ce niveau est plus haut que la capacité mnésique individuelle des sujets tout en ne devenant pas trop difficile. Notre suivi avec les personnes avec MCI nous a permis de constater que les temps de réaction différaient entre les groupes, suggérant qu'une tâche mesurant la mémoire visuelle à court terme pourrait être un bon ajout dans une batterie

comprenant des tests neuropsychologiques et comportementaux, permettant la détection ou le suivi d'un TCL.

Nous avons ensuite examiné les changements observables au niveau de différentes composantes électrophysiologiques associées à l'attention visuospatiale et la mémoire de travail visuelle dans le cadre du processus de vieillissement normal. Le deuxième article présente les résultats d'une expérience faite avec de jeunes adultes qui utilise les mesures électrophysiologiques de l'attention et de la mémoire afin d'étudier le rôle de la sélection et de la mémoire visuelle à court terme dans des tâches qui requièrent l'individualisation d'objets visuels et l'identification d'une relation spatiale entre deux items de couleurs. Nous avons utilisé une procédure à images multiples dans laquelle les participants doivent compter le nombre d'apparitions d'une configuration particulière de stimuli, définie comme une cible, apparaît dans une série de tableaux visuels. Cette façon de procéder nous permet d'observer une réponse électrophysiologique pour plus de 1500 tableaux visuels pour chaque sujet pour une expérience durant environ 60 minutes après une période d'essais de pratique. Nous avons pu étudier les processus cognitifs liés au traitement de deux types de cibles : compter un nombre spécifique d'items et identifier une relation spatiale entre deux stimuli. Dans les blocs expérimentaux où la cible était définie comme un nombre spécifique d'items de couleurs (1 ou 2), l'amplitude de la N2pc et de la SPCN était plus grande lorsque deux items étaient présentés comparativement à un seul. Nos résultats reproduisent des résultats précédemment vus dans la littérature et démontre que la procédure à images multiples est une façon adéquate de mesurer la N2pc et/ou la SPCN (e.g. Mazza & Caramazza, 2011). Cette procédure nous permet de presque tripler le nombre d'essais faits dans une période donnée ce qui lui confère un avantage important en terme d'efficacité.

Un résultat particulièrement intéressant est que, pour la condition Compter, l'amplitude de la N2pc est plus grande lorsque les items étaient de la même couleur que lorsque les items étaient de couleurs différentes. Que cette différence soit causée par les propriétés physiques des stimuli est peu probable puisque les mêmes ont été utilisés pour la condition Relation spatiale, mais n'ont pas créé la même différence d'amplitude. Nous croyons que ces différences reflètent des stratégies de traitement différentes selon la tâche. Lorsque la tâche est de déterminer s'il y a un ou deux items de couleurs, la présence de deux couleurs distinctes (le vert et le bleu) dans le champ visuel permet aux participants de désengager leur attention spatiale plus rapidement que si les items sont de la même couleur. Déterminer s'il y a 1 ou 2 items présents serait plus facile si les items sont de couleurs différentes puisqu'il ne peut y avoir au maximum que 2 items et 2 couleurs (i.e. si le participant perçoit deux couleurs différentes, il lui est possible d'inférer qu'il y a deux items). À l'opposé, s'ils ne voient qu'une seule couleur, il pourrait y avoir un ou deux items et un processus d'individualisation plus détaillée serait requis pour distinguer deux items de même couleur. Nous émettons l'hypothèse que le plus grand besoin de ressources attentionnelles nécessaires à l'individualisation explique la différence vue sur l'amplitude de la N2pc.

Un but important de ce projet était d'examiner comment l'attention et la mémoire participent dans la tâche Relation spatiale. Pour cette condition, tous les tableaux visuels contenaient deux items et la cible était définie comme un item d'une couleur au-dessus d'un item de l'autre couleur. Nous supposons que l'attention serait déployée sur les items pendant assez longtemps pour déterminer si les items sont de la même couleur ou non. Si les items sont de couleurs différentes, nous supposons que l'information sera traitée plus en profondeur afin de déterminer si la relation spatiale recherchée est celle présentée. Nous émettons l'hypothèse

que ce traitement sera effectué après la N2pc et exigera un passage de l'information dans la mémoire visuelle à court terme ce qui se reflètera dans une augmentation de l'amplitude de la SPCN. C'est exactement ce qui est observée ici : la SPCN est plus grande si les items sont de couleurs différentes comparativement à lorsque les items sont de même couleur. Il est intéressant de noter que le patron présenté dans l'amplitude de la SPCN est inversée pour la condition Compter qui demande de compter les items, et non d'établir une relation spatiale entre eux. L'interaction significative entre la Condition (Compter vs. Relation spatiale) et le Type de stimulus (couleurs identiques vs. différentes) pour l'amplitude de la SPCN démontre l'importance de la tâche pour déterminer le rôle du traitement d'information dans la mémoire visuelle à court terme.

Un autre résultat inattendu est une déflexion négative retrouvée entre la N2pc et la SPCN, à environ 300 ms après l'apparition du stimulus. Ce qu'est cette déflexion reste toujours incertain et elle n'est pas toujours présentes dans des courbes électrophysiologiques N2pc-SPCN publiées jusqu'à maintenant. Toutefois, une inspection visuelle de l'article de Mazza et Caramazza (2011) permet de constater la présence d'une déflexion similaire dont les auteurs de discutent pas. Cette composante est présente chez toutes les conditions et pour tous les types de stimuli présents dans cet article. Notre hypothèse initiale était que cette déflexion pourrait représenter une deuxième N2pc, plus petite, liée au déplacement de l'attention vers le second item présenté. Toutefois, la présence de cette déflexion dans la condition où un seul item est présenté rend cette interprétation moins plausible. Nous laissons à une recherche future le soin de déterminer l'identité et la fonction de déflexion.

Finalement, nous avons pu démontrer le succès de la procédure à images multiples. Le principal avantage de cette procédure est évidemment la possibilité de pouvoir augmenter le

nombre d'évènements (ou d'essais) par un facteur de deux ou plus par rapport à une procédure classique. Cette efficacité accrue peut être mise à bon usage dans un contexte d'expériences en laboratoire en nous permettant de créer des designs expérimentaux plus sensibles ou contenant plus de conditions. En milieu clinique, une procédure à images multiples pourrait permettre de raccourcir la durée des tests tout en évitant les pertes de sensibilité des mesures.

Finalement, dans le cadre du troisième article, nous avons utilisé la procédure développée ci-haut pour étudier une population connue pour sa grande variabilité : les personnes âgées. L'expérience sera légèrement modifiée afin d'étudier l'effet du vieillissement normal sur l'attention et la mémoire en utilisant deux mesures électrophysiologiques liées à l'attention visuospatiale (N2pc) et la mémoire de travail visuelle (SPCN).

Nous avons aussi examiné la capacité mnésique (K) de chaque participant à 5 niveaux de charge différents (de 2 à 6). Généralement, K augmente en fonction du niveau de charge et forme un plateau à la capacité maximale d'un individu. Ce plateau est atteint pour un K d'environ 2 chez les personnes âgées et environ 3 pour les jeunes adultes. Cette différence substantielle entre l'estimation des capacités maximales des adultes jeunes et âgés est en accord avec l'idée que la capacité mnésique diminue avec l'âge.

Des analyses faites sur la N2pc montrent un délai dans sa latence pour le groupe d'âgés qui concordent avec les résultats présentés par Lorenzo-Lopez et al. (2008) qui suggèrent que le délai observé vient d'un ralentissement du processus de déploiement de l'attention présent chez les personnes âgées. Le fait que cette différence soit toujours présente malgré le fait que nous avons contrôlé pour les changements dans la perception reliée au vieillissement physique de l'œil appuie l'hypothèse que la cause du délai chez les adultes âgés aurait une origine dans

le système nerveux et non dans l'œil. Tel que vu dans notre expérience précédente (voir Chapitre 3), il est possible d'observer que l'amplitude de la N2pc est plus grande lorsque deux items sont présentés comparativement à un seul et lorsque les items sont de la même couleur comparativement à des couleurs différentes. Le nombre d'items présentés est connu comme étant un facteur qui module l'amplitude de la N2pc et des résultats similaires sont retrouvés dans notre expérience précédente et dans des travaux antérieurs (Mazza & Caramazza, 2011). Nous proposons que, puisque l'amplitude est liée au déploiement attentionnel et qu'elle augmente avec l'accroissement du besoin en ressources attentionnelles, les modulations observées pourraient être expliquée par une augmentation de la difficulté à individualiser les items lorsqu'ils sont de la même couleur. Contrairement à ce que montre Lorenzo-Lopez et al. (2008), nous n'avons pas pu montrer qu'il y avait une différence significative entre les amplitudes des deux groupes. Lorenzo-Lopez et ses collègues proposent que les adultes âgés ont une moins bonne capacité à diriger leur attention sur la cible ce qui expliquerait la diminution de l'amplitude de la N2pc. Nous n'avons pas réussi à reproduire ce résultat ce qui pourrait indiquer que le fait de diminuer la luminosité de nos stimuli nous aurait permis de recréer, du moins en partie, le vieillissement physique de l'œil.

Des études précédentes effectuées dans différents laboratoires (Aubin & Jolicoeur, 2014; Drisdelle & Jolicoeur, 2014; Hilimire et al., 2009, 2010) montrent que la distance entre deux stimuli cibles potentiels a un impact sur l'amplitude de la N2pc (des stimuli plus éloignés produisent une N2pc plus ample). Cet effet est reproduit ici, mais de façon plus faible chez les personnes âgées. Hilimire et ses collègues (2009, 2010) propose l'idée d'une suppression mutuelle de l'activité neuronale de chaque item. Les items qui sont près les uns des autres sont plus enclins à stimuler un même champ réceptif ce qui crée une compétition entre eux. Les

items plus éloignés vont tendre à stimuler des champs récepteurs différents et, par le fait même, réduisent la compétition inter-item. Le processus de vieillissement est souvent associé à une diminution des mécanismes d'inhibition ce qui pourrait expliquer la différence de modulation vue dans les groupes. D'un autre côté, si l'inhibition est due à une compétition local est diminuée chez les âgés, ce qui éliminerait l'effet de la distance des stimuli, et que l'inhibition cause une diminution de la N2pc, il est difficile de savoir pourquoi la N2pc diminue chez les âgés comparativement à chez les jeunes. Il semble probable que d'autres facteurs pourraient causer la diminution générale de l'amplitude de la N2pc chez les adultes âgés, un moins bon engagement de l'attention sur les cibles potentielles, par exemple. Dans ce scénario, la diminution de l'amplitude et l'augmentation de la latence de la N2pc pourrait refléter une diminution dans l'efficacité du déploiement attentionnel sur les cibles potentielles. L'effet réduit de la distance pourrait refléter une réduction distincte de l'inhibition locale mutuelle parmi les représentations qui entrent en compétition pour la sélection attentionnelle. Il est toujours impossible de déterminer de façon claire si les potentiels observés reflètent le vieillissement d'un mécanisme unique ou la combinaison de plusieurs mécanismes.

Les patrons de résultats retrouvés pour la SPCN sont aussi similaires à ceux retrouvées dans notre étude précédente (voir Chapitre 3). Encore une fois, il est possible d'observer une modulation de l'amplitude de la SPCN causée par le nombre d'items pour la condition Compter (amplitude plus petite lorsqu'un seul item est présenté). Bien qu'il n'y est pas de différences entre les amplitudes des essais où les items sont de la même couleur ou de couleurs différentes pour la condition Compter, nous avons trouvé une différence significative pour la condition Relation spatiale. Tel que nous avons suggéré dans notre article précédent, la mémoire de travail visuelle ne devrait pas être nécessaire à la condition Compter ce qui

expliquerait l'absence de modulation sur la SPCN, une composante liée à la maintenance d'informations dans la mémoire de travail. Par contre, l'utilisation de la mémoire de travail est nécessaire lorsqu'il faut identifier si les items présentés sont dans la configuration spatiale recherchée, ce qui demandera un traitement neuronal plus prenant. La quadruple interaction Groupe x Tâches x Types de stimuli x Distances suggère que les changements causés par le processus de vieillissement sont plus complexes qu'une atténuation globale de la SPCN. En examinant les patrons de résultats pour chaque groupe séparément, il est possible de montrer plusieurs différences intéressantes. Les jeunes adultes ont une SPCN plus grande pour la condition Relation spatiale (vs. la condition Compter), pour des stimuli de couleurs différentes (vs. de la même couleur), et pour les items qui sont éloignés (vs. adjacents). Aucun de ses effets n'est retrouvé chez les âgés. Une explication possible est que les jeunes adultes sont capables de compléter le traitement pour une tâche simple pendant la fenêtre d'apparition de la N2pc et que, dans ses conditions, ils sont moins enclins à engager des mécanismes reliés à la mémoire de travail ce qui se refléterait par une SPCN plus petite. Si ce type de décision neuronale rapide est retardée, la mémoire de travail sera utilisée de façon plus constante ce qui atténuera les modulations observables sur la SPCN.

Nous avons aussi trouvé un impact non seulement de la tâche faite par le sujet, mais aussi du type de stimuli présenté. L'interaction montre que le même stimulus, présenté dans deux tâches différentes, n'est pas traité de la même façon et ce, par les deux groupes. Nous montrons aussi que les jeunes adultes ont des modulations de la SPCN qui sont plus grandes que celles retrouvées chez les personnes âgées ce qui supporte les résultats présentés par Sander et al. (2011) et Jost et al. (2011). Aucun des auteurs ne propose une explication pour ces résultats.

Les données montrent que la SPCN est plus grande lorsque les items sont éloignés les uns des autres ce qui supporte aussi les résultats de Hilimire et al. (2009, 2010). Bien que ces auteurs ne se soient pas intéressés à la SPCN, il est possible d'extrapoler que la suppression mutuelle causée par le fait d'avoir plusieurs items dans un même champ réceptif pourrait affecter d'autres composantes que la N2pc. La SPCN était aussi plus grande lorsque les items présentés étaient de différentes couleurs ce qui supporte nos résultats précédents et suggère que l'information doit passer en mémoire de travail si le sujet veut réussir à traiter les caractéristiques nécessaires à la tâche, i.e. déterminer si la présentation correspond à la cible spécifiée pour ce bloc.

Bien que nous avons montré que le vieillissement a un effet sur l'amplitude et la latence de la N2pc et la SPCN, la cause sous-jacente est toujours incertaine. Puisque nous n'avons pu reproduire les résultats de travaux précédents (Jost et al., 2011 ; Lorenzo-Lopez et al., 2008; Sander et al., 2011) en contrôlant pour la diminution de la perception de certaines couleurs ou la diminution de la luminosité associée au vieillissement de l'œil, il est peu plausible que les changements observés sur les deux composantes étudiées soient causés par l'œil lui-même. Nos résultats suggèrent que la cause de ces différences trouve son origine dans le système nerveux central.

Conclusion

En conclusion, bien que ce projet ne permette pas d'expliquer totalement ce qui se passe pendant le processus de vieillissement, il propose des pistes intéressantes. Le premier article montre qu'une mesure de la capacité mnésique comme le K, une tâche simple et facile à reproduire, pourrait permettre de distinguer entre des groupes d'âgés avec TCL, un avantage certain dans l'étude de cette pathologie. Le deuxième article montre l'importance de la tâche dans le traitement qui est fait des caractéristiques des stimuli présentés. En effet, les mêmes stimuli, présentés dans le cadre de deux tâches différentes, sont associés à des modulations différentes de la N2pc et la SPCN. Les résultats nous ont aussi permis de déterminer qu'une procédure à images multiples telle que présentée ici permet non seulement de mesurer efficacement la N2pc et la SPCN, mais aussi d'augmenter le nombre d'essais sans augmenter (ou presque) la durée de l'expérience. Cette caractéristique est un avantage important, particulièrement lorsque les expériences portent sur une population aussi changeante que les personnes âgées. Le troisième article montre que plusieurs changements sont visibles au niveau électrophysiologique tant au niveau de la N2pc et de la SPCN. On retrouve une atténuation et un retard dans la N2pc chez les personnes âgées comparativement aux jeunes adultes. Bien que ce patron de résultats soit aussi retrouvé pour la SPCN, une analyse des groupes séparés nous permet de constater que les effets retrouvés sont très différents. Si le (ou les) mécanisme(s) associé(s) à la mémoire de travail est toujours mal compris, les résultats présentés ici montrent clairement que le processus de vieillissement est plus complexe qu'une simple atténuation de l'activité neuronale chez les âgés.

Bibliographie

- Albert, M. S., DeKosky, S. T., Dickson, D., Dubois, B., Feldman, H. H., Fox, N. C., . . . Phelps, C. H. (2011). The diagnosis of mild cognitive impairment due to Alzheimer's disease: recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimers Dement*, 7(3), 270-279. doi: 10.1016/j.jalz.2011.03.008
- Anderson, J. R., Bothell, D., Byrne, M. D., Douglass, S., Lebiere, C., & Qin, Y. (2004). An integrated theory of the mind. *Psychol Rev*, 111(4), 1036-1060. doi: 2004-19012-009 [pii]
- 10.1037/0033-295X.111.4.1036
- Astle, D. E., & Scerif, G. (2011). Interactions between attention and visual short-term memory (VSTM): what can be learnt from individual and developmental differences? *Neuropsychologia*, 49(6), 1435-1445. doi: S0028-3932(10)00524-5 [pii]
- 10.1016/j.neuropsychologia.2010.12.001
- Aubin, S., & Jolicoeur, P. (submitted). Early and late selection modulate competition for representation: Evidence from the N2pc.
- Baddeley, Alan D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends Cogn Sci*, 4(11), 417-423. doi: S1364-6613(00)01538-2 [pii]
- Baddeley, Alan D. (2007). *Working memory, thought, and action*. Oxford ; Toronto: Oxford University Press.
- Baddeley, Alan D., & Hitch, G. (1974). *Working memory* (Vol. 8). New York: Academic Press.
- 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.
- Bergerbest, D., Gabrieli, J. D., Whitfield-Gabrieli, S., Kim, H., Stebbins, G. T., Bennett, D. A., & Fleischman, D. A. (2009). Age-associated reduction of asymmetry in prefrontal function and preservation of conceptual repetition priming. *Neuroimage*, 45(1), 237-246. doi: S1053-8119(08)01111-7 [pii]

10.1016/j.neuroimage.2008.10.019

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. doi: 60/5/P223 [pii]

Brisson, B., Leblanc, E., & Jolicoeur, P. (2009). Contingent capture of visual-spatial attention depends on capacity-limited central mechanisms: evidence from human electrophysiology and the psychological refractory period. *Biol Psychol*, 80(2), 218-225. doi: 10.1016/j.biopsycho.2008.10.001

Burke, D. M., & Mackay, D. G. (1997). Memory, language, and ageing. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 352(1363), 1845-1856. doi: 10.1098/rstb.1997.0170

Charman, W. N. (2008). The eye in focus: accommodation and presbyopia. *Clin Exp Optom*, 91(3), 207-225. doi: CXO256 [pii]

10.1111/j.1444-0938.2008.00256.x

Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information-processing system. *Psychol Bull*, 104(2), 163-191.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: a reconsideration of mental storage capacity. *Behav Brain Sci*, 24(1), 87-114; discussion 114-185.

Cowan, N. (2010). Multiple concurrent thoughts: The meaning and developmental neuropsychology of working memory. *Dev Neuropsychol*, 35(5), 447-474. doi: 925868890 [pii]

10.1080/87565641.2010.494985

Craik, Fergus I. M., & Salthouse, Timothy A. (2008). *The handbook of aging and cognition* (3rd ed.). New York, NY: Psychology Press.

Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annu Rev Neurosci*, 18, 193-222. doi: 10.1146/annurev.ne.18.030195.001205

Drisdelle, B.L., & Jolicoeur, P. (submitted). The effect of spatial distance and physical similarity between a target and a salient distractor on attentional selection: Evidence from electrophysiology.

Eustache, F., & Desgranges, G. (2000). *Les chemins de la mémoire*. Paris: Éditions Le Pommier.

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.

- Gauthier, S., Reisberg, B., Zaudig, M., Petersen, R. C., Ritchie, K., Broich, K., . . . International Psychogeriatric Association Expert Conference on mild cognitive impairment. (2006). Mild cognitive impairment. *Lancet*, 367(9518), 1262-1270. doi: 10.1016/S0140-6736(06)68542-5
- Giambra, L. M., & Quilter, R. E. (1988). Sustained attention in adulthood: a unique, large-sample, longitudinal and multicohort analysis using the Mackworth Clock-Test. *Psychol Aging*, 3(1), 75-83.
- Greenwood, P. M., Parasuraman, R., & Haxby, J. V. (1993). Changes in visuospatial attention over the adult lifespan. *Neuropsychologia*, 31(5), 471-485.
- 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.
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *J Cogn Neurosci*, 18(4), 604-613. doi: 10.1162/jocn.2006.18.4.604
- Hilimire, M. R., Mounts, J. R., Parks, N. A., & Corballis, P. M. (2009). Competitive interaction degrades target selection: an ERP study. *Psychophysiology*, 46(5), 1080-1089. doi: PSYP846 [pii]
- 10.1111/j.1469-8986.2009.00846.x
- Hilimire, M. R., Mounts, J. R., Parks, N. A., & Corballis, P. M. (2010). Event-related potentials dissociate effects of salience and space in biased competition for visual representation. *PLoS One*, 5(9). doi: 10.1371/journal.pone.0012677
- Hopf, J. M., Luck, S. J., Girelli, M., Hagner, T., Mangun, G. R., Scheich, H., & Heinze, H. J. (2000). Neural sources of focused attention in visual search. *Cereb Cortex*, 10(12), 1233-1241.
- Jolicoeur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Res*, 1215, 160-172. doi: 10.1016/j.brainres.2008.03.059
- Jolicoeur, P., Lefebvre, C., & Martinez-Trujillo, J.C. (2015). *Mechanisms of Sensory Working Memory, 1st Edition*. Academic Press: Elsevier.
- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006). On the control of visual spatial attention: evidence from human electrophysiology. *Psychol Res*, 70(6), 414-424. doi: 10.1007/s00426-005-0008-4

Jost, K., Bryck, R. L., Vogel, E. K., & Mayr, U. (2011). Are old adults just like low working memory young adults? Filtering efficiency and age differences in visual working memory. *Cereb Cortex*, *21*(5), 1147-1154. doi: bhq185 [pii]

10.1093/cercor/bhq185

Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: object-specific integration of information. *Cogn Psychol*, *24*(2), 175-219. doi: 0010-0285(92)90007-O [pii]

Kiss, M., & Eimer, M. (2011). Attentional capture by size singletons is determined by top-down search goals. *Psychophysiology*, *48*(6), 784-787. doi: 10.1111/j.1469-8986.2010.01145.x

Klaver, P., Talsma, D., Wijers, A. A., Heinze, H. J., & Mulder, G. (1999). An event-related brain potential correlate of visual short-term memory. *Neuroreport*, *10*(10), 2001-2005.

Kramer, Arthur F., & Madden, David, J. (2008). Attention. In F. I. M. Craik & T. A. Salthouse (Eds.), *The Handbook of Aging and Cognition, Third Edition* (pp. 189-249). New York: Psychology Press.

Leblanc, E., Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *J Cogn Neurosci*, *20*(4), 657-671. doi: 10.1162/jocn.2008.20051

Lemaire, Patrick, & Bherer, Louis. (2005). *Psychologie du vieillissement : une perspective cognitive* (1ère éd. ed.). Bruxelles: De Boeck.

Lorenzo-Lopez, L., Amenedo, E., & Cadaveira, F. (2008). Feature processing during visual search in normal aging: electrophysiological evidence. *Neurobiol Aging*, *29*(7), 1101-1110. doi: S0197-4580(07)00040-1 [pii]

10.1016/j.neurobiolaging.2007.02.007

Lorenzo-Lopez, L., Gutierrez, R., Moratti, S., Maestu, F., Cadaveira, F., & Amenedo, E. (2011). Age-related occipito-temporal hypoactivation during visual search: relationships between mN2pc sources and performance. *Neuropsychologia*, *49*(5), 858-865. doi: S0028-3932(11)00020-0 [pii]

10.1016/j.neuropsychologia.2011.01.015

Luck, S. J., Fan, S., & Hillyard, S. A. (1993). Attention-Related Modulation of Sensory-Evoked Brain Activity in a Visual Search Task. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *5*(2), 188-195.

- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: an ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cogn Psychol*, 33(1), 64-87. doi: 10.1006/cogp.1997.0660
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1990). Electrophysiological evidence for parallel and serial processing during visual search. *Percept Psychophys*, 48(6), 603-617.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31(3), 291-308.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, 20(5), 1000-1014.
- Luck, S. J., & Vogel, E. K. (1997). The capacity of visual working memory for features and conjunctions. *Nature*, 390(6657), 279-281. doi: 10.1038/36846
- Mazza, V., & Caramazza, A. (2011). Temporal brain dynamics of multiple object processing: the flexibility of individuation. *PLoS One*, 6(2), e17453. doi: 10.1371/journal.pone.0017453
- McAvinue, L. P., Habekost, T., Johnson, K. A., Kyllingsbaek, S., Vangkilde, S., Bundesen, C., & Robertson, I. H. (2012). Sustained attention, attentional selectivity, and attentional capacity across the lifespan. *Atten Percept Psychophys*, 74(8), 1570-1582. doi: 10.3758/s13414-012-0352-6
- Nguyen-Tri, D., Overbury, O., & Faubert, J. (2003). The role of lenticular senescence in age-related color vision changes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 44(8), 3698-3704.
- Oberauer, K. (2002). Access to information in working memory: exploring the focus of attention. *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 28(3), 411-421.
- Owsley, C., Sekuler, R., & Siemsen, D. (1983). Contrast sensitivity throughout adulthood. *Vision Res*, 23(7), 689-699. doi: 0042-6989(83)90210-9 [pii]
- Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychol Bull*, 116(2), 220-244.
- Pashler, Harold. (1998). *Attention*. Hove, East Sussex, UK: Psychology Press.
- Perron, R., Lefebvre, C., Robitaille, N., Brisson, B., Gosselin, F., Arguin, M., & Jolicoeur, P. (2009). Attentional and anatomical considerations for the representation of simple stimuli in visual short-term memory: evidence from human electrophysiology. *Psychol Res*, 73(2), 222-232. doi: 10.1007/s00426-008-0214-y

- Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment as a diagnostic entity. *J Intern Med*, 256(3), 183-194. doi: 10.1111/j.1365-2796.2004.01388.x
- Petersen, R. C., Doody, R., Kurz, A., Mohs, R. C., Morris, J. C., Rabins, P. V., . . . Winblad, B. (2001). Current concepts in mild cognitive impairment. *Arch Neurol*, 58(12), 1985-1992.
- Petersen, R. C., Smith, G. E., Waring, S. C., Ivnik, R. J., Tangalos, E. G., & Kokmen, E. (1999). Mild cognitive impairment: clinical characterization and outcome. *Arch Neurol*, 56(3), 303-308.
- Piolino, P., Desgranges, B., Benali, K., & Eustache, F. (2002). Episodic and semantic remote autobiographical memory in ageing. *Memory*, 10(4), 239-257. doi: 10.1080/09658210143000353
- Pomerleau, V. J., Fortier-Gauthier, U., Corriveau, I., Dell'Acqua, R., & Jolicoeur, P. (2014). Colour-specific differences in attentional deployment for equiluminant pop-out colours: evidence from lateralised potentials. *Int J Psychophysiol*, 91(3), 194-205. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2013.10.016
- Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2010). Mental rotation requires visual short-term memory: evidence from human electric cortical activity. *J Cogn Neurosci*, 22(11), 2437-2446. doi: 10.1162/jocn.2009.21337
- Pylyshyn, Z. (1994). Some primitive mechanisms of spatial attention. *Cognition*, 50(1-3), 363-384.
- Pylyshyn, Z. W. (2001). Visual indexes, preconceptual objects, and situated vision. *Cognition*, 80(1-2), 127-158. doi: S0010-0277(00)00156-6 [pii]
- Robitaille, N., & Jolicoeur, P. (2006). Fundamental properties of the N2pc as an index of spatial attention: effects of masking. *Can J Exp Psychol*, 60(2), 101-111.
- Robitaille, N., Marois, R., Todd, J., Grimault, S., Cheyne, D., & Jolicoeur, P. (2010). Distinguishing between lateralized and nonlateralized brain activity associated with visual short-term memory: fMRI, MEG, and EEG evidence from the same observers. *Neuroimage*, 53(4), 1334-1345. doi: 10.1016/j.neuroimage.2010.07.027
- Rogers, R.D., & Monsell, S. (1995). Costs of a Predictable Switch Between Simple Cognitive Tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 124(2), 207-231.
- Sagiv, N., & Bentin, S. (2001). Structural encoding of human and schematic faces: holistic and part-based processes. *J Cogn Neurosci*, 13(7), 937-951. doi: 10.1162/089892901753165854

Sander, M. C., Werkle-Bergner, M., & Lindenberger, U. (2011). Contralateral delay activity reveals life-span age differences in top-down modulation of working memory contents. *Cereb Cortex*, *21*(12), 2809-2819. doi: bhr076 [pii]

10.1093/cercor/bhr076

Sara, M., & Faubert, J. (2000). Aging, perception, and visual short-term memory for luminance-defined form. *Ophthalmic Physiol Opt*, *20*(4), 314-322.

Scholl, B. J. (2001). Objects and attention: the state of the art. *Cognition*, *80*(1-2), 1-46. doi: S0010-0277(00)00152-9 [pii]

Sharbrough, F., Chatrian, G.-E., Lesser, R.P., Lüders, H., Nuwer, M., & Picton, T.W. (1991). American electroencephalographic society guidelines for standard electrode position nomenclature. *Journal of Clinical Neurophysiology*, *8*(2), 200-202.

Thibault, N., Létourneau, E., & Girard, C. (2004). *Si la tendance se maintient ... Perspectives démographiques, Québec et régions, 2001-2051.*: Statistiques Canada.

Trick, L. M., & Pylyshyn, Z. W. (1994). Why are small and large numbers enumerated differently? A limited-capacity preattentive stage in vision. *Psychol Rev*, *101*(1), 80-102.

Trick, Lana M., & Enns, James T. (1998). Lifespan changes in Attention: The Visual Search Task. *Cognitive Development*, *13*, 369-386.

Verhaeghen, P. (2003). Aging and vocabulary scores: a meta-analysis. *Psychol Aging*, *18*(2), 332-339.

Vogel, E. K., & Machizawa, M. G. (2004). Neural activity predicts individual differences in visual working memory capacity. *Nature*, *428*(6984), 748-751. doi: 10.1038/nature02447

nature02447 [pii]

Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2001). Storage of features, conjunctions and objects in visual working memory. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *27*(1), 92-114.

Williamson, V. J., Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (2010). Musicians' and nonmusicians' short-term memory for verbal and musical sequences: comparing phonological similarity and pitch proximity. *Mem Cognit*, *38*(2), 163-175. doi: 10.3758/MC.38.2.163

Wuerger, S. (2013). Colour constancy across the life span: evidence for compensatory mechanisms. *PLoS One*, 8(5), e63921. doi: 10.1371/journal.pone.0063921