

Université de Montréal

Les effets de la distance physique sur les processus attentionnels sont dépendants de la similarité distracteur-cible : Étude à partir des potentiels reliés aux événements

par
Sébrina Aubin

Département de psychologie
Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des arts et des sciences
en vue de l'obtention du grade de Maîtrise ès science
en psychologie

août, 2013

© Sébrina Aubin, 2013

RÉSUMÉ

L'attention visuelle est un processus cognitif qui priorise le traitement de l'information visuelle d'une région particulière du champ visuel. En électroencéphalographie, la méthode des potentiels reliés aux événements permet l'extraction de composantes associées à divers processus cognitifs. La N2pc, une composante latéralisée caractérisée par une déflexion négative entre 180 et 300 ms post-stimulus du côté contralatéral à l'hémichamp dans lequel l'attention est déployée, reflète les processus impliqués dans le déploiement de l'attention visuo-spatiale. De nombreuses études antérieures ont soulevé plusieurs facteurs pouvant moduler cette composante, provenant d'autant de processus de bas niveau que de processus de haut niveau. Cette présente étude comporte une série d'expériences qui approfondit les connaissances sur le rôle de l'attention sur le traitement et la représentation des items dans les champs récepteurs des aires extrastriées du cortex visuel. Ces études démontrent ainsi que l'attention peut effectivement éliminer l'influence d'un distracteur dissimilaire à la cible lorsque celui-ci se retrouve dans le même champ visuel que l'item auquel l'attention est attribuée. Cependant, lorsque l'item est similaire à la cible, son influence ne peut être éliminée. De plus, cette présente étude identifie le rôle des filtres précoces et tardifs de haut niveau sur la sélection attentionnelle.

Mots clés : Attention visuo-spatiale, N2pc, PRE, similarité, distance, modèle-cible

ABSTRACT

Visual attention is a cognitive process that improves the limited capacity of the visual system by prioritising the processing of information within the attended area of the visual field. Using the event-related potentials method, components associated to such cognitive processes can be extracted from electroencephalographic activity. The N2pc, a lateralized component characterised by a negative deflection between 180 – 300 ms post-stimulus in the posterior electrodes of the hemisphere contralateral to the attended visual hemifield, reflects processes associated to the deployment of visuospatial attention. Previous studies have identified numerous factors, both from bottom-up and top-down influences, capable of modulating this component. The present study expands our understanding of attention on the processing of information from within and between receptive fields in the extrastriate visual cortex. Particularly, the present study shows that attention can be dissociated from salient items when these are dissimilar to the target and that their influence is eliminated when this particular item is located within the same receptive field as the attended item. Additionally, this study recognizes the influence of early and late target-filter processes on attentional selection.

Key words: Visuospatial attention, N2pc, ERP, Similarity, Distance, Target-Template

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
ABSTRACT	iii
LISTE DES FIGURES	v
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	vi
REMERCIEMENTS	vii
CHAPITRE I : CONTEXTE THÉORIQUE.....	1
Contexte théorique	2
Objectifs et hypothèses	17
Contribution à l'article	19
CHAPITRE II : L'ARTICLE	21
Early and late selection modulate competition for representation: Evidence from the N2pc	22
Abstract	23
Introduction	24
Experiment 1	28
Methods	29
Results	35
Discussion	40
Experiment 2	44
Methods	45
Results	46
Discussion	49
Experiment 3	50
Methods	52
Results	53
Discussion	55
General Discussion	56
Conclusion	62
References	64
Tables and Figures	68
CHAPITRE III : RÉSULTATS ET CONCLUSION	76
Discussion des résultats de l'article	77
Conclusion	85
RÉFÉRENCE	86
ANNEXE : Déclaration des coauteurs	94

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Design expérimental de l'expérience 1, illustrant le paradigme à présentation d'images multiples et les stimuli utilisés en tant que cible et distracteurs.

Figure 2. Illustration des composantes PREs lors des 6 séquences d'images d'un essai du paradigme de présentation à images multiples. Le panneau du haut illustre les composantes bilatérales (P1, N1 postérieure, P2 postérieure) et le panneau du bas, les composantes latéralisées (N2pc et SPCN).

Figure 3. Illustration des résultats sur la N2pc obtenus lors de l'expérience 1.

Figure 4. Représentation des stimuli, soit cible et distracteurs, de l'expérience 2.

Figure 5. Illustration des résultats sur la N2pc obtenus lors de l'expérience 2.

Figure 6. Résultats obtenus pour l'expérience 2 (panneau du haut) et pour l'expérience 3 (panneau du bas).

Figure 7. Illustration de l'interaction entre la similarité distracteur-cible et la distance séparant les items saillants dans le champ visuel.

Figure 8. Illustration de l'effet de la distance séparant les items saillants sur la N2pc lorsque ces items sont d'une même couleur (A) ou de couleurs différentes (B).

LISTE DES ABRÉVIATIONS

cd/m ²	Candela par mètre carré
cm	centimètre
EEG	Électroencéphalographie (<i>electroencephalography</i>)
Hz	Hertz
ms	milliseconde
MT	<i>Middle temporal</i> – terme alternatif pour l'aire 5 du cortex visuel
PRE (<i>ERP</i>)	Potentiel relié aux évènements (<i>event-related potentials</i>)
TEO	<i>Inferior Temporal Cortex</i> – aire du cortex visuel
V4	Aire 4 du cortex visuel
V5	Aire 5 du cortex visuel
μV	microvolt

REMERCIEMENTS

J'aimerais, dans un premier temps, remercier mon directeur de recherche, Dr Pierre Jolicoeur, pour l'opportunité qu'il m'a accordée à entreprendre une maîtrise. Également, je le remercie pour sa patience, son soutien, et ses conseils tout au long de ces deux dernières années. Merci aussi à tous mes collègues de laboratoires qui ont toujours été une source d'aide et de réponse lors de mes apprentissages.

Pareillement, je remercie grandement ma famille pour leur soutien ainsi que leur fierté et leur confiance en moi. Merci aussi à mes amis(es) qui m'ont gardée saine d'esprit, surtout dans les derniers mois du projet.

CHAPITRE I
CONTEXTE THÉORIQUE

La vision est le système sensoriel principal des primates, incluant les humains. Conséquemment, il n'est pas surprenant qu'environ un tiers de la surface corticale soit associée au traitement de l'information visuelle. Néanmoins, tout comme les autres sens, son système possède une capacité limitée dans les étapes ultérieures du traitement de l'information visuelle, soit dans les aires extrastriées du cortex visuel. Conséquemment, les processus cognitifs, telle l'attention, pallient cette capacité limitée en optimisant le traitement sensoriel soit par la priorisation et l'accentuation de l'information pertinente, par la diminution de l'influence de l'information moins nécessaire, ou par une combinaison de ces deux approches. L'attribution de l'attention visuelle à une région spécifique du champ visuel, un processus cognitif connu sous le nom d'attention visuo-spatiale, peut facilement être observée par l'entremise de la fovéation. La fovéation se décrit comme étant une saccade oculaire qui a pour but d'aligner la fovéa sur une région d'intérêt du champ visuel. La fovéa est une région de la rétine riche en cônes, un type de photorécepteur possédant de la pigmentation, captant des ondes de différentes longueurs permettant une vision de couleurs. De plus, les cônes ont une connexion directe, d'un ratio près de 1:1 avec les cellules ganglionnaires qui forment le nerf optique quittant l'œil (Remington, 2012). En conséquence, la fovéa permet une discrimination plus délicate et détaillée des attributs des items représentés (Remington, 2012; voir aussi Posner, 1988; Deutsch et Deutsch, 1966).

Toutefois, même si le déploiement de l'attention à une région non-fovéale du champ visuel engendre souvent une saccade oculaire à cette même région, l'attention et la fovéation sont deux processus dissociables (Posner, Snyder, & Davidson, 1980). La fovéation est un effet extrinsèque du déploiement de l'attention visuo-spatiale. Toutefois, l'attention visuo-

spatiale peut aussi être déployée de façon intrinsèque, c'est-à-dire, en absence de saccade oculaire. Conséquemment, l'attention serait un processus cognitif qui précède et oriente la fovéation (voir Posner, 1980).

Diverses théories ont été proposées afin d'expliquer le rôle précis et les mécanismes sous-jacents du déploiement de l'attention visuo-spatiale intrinsèque. Parmi celles-ci se trouve la théorie du faisceau attentionnel de Posner (*Posner's Beam*; voir Posner et al., 1980). Selon Posner, l'attention visuelle serait un processus cognitif séparé du système visuel qui interagit avec celui-ci et les autres systèmes sensoriels. Le faisceau attentionnel sert à prioriser l'information à l'intérieur de la région auquel l'attention est attribuée et à retarder le traitement de l'information à l'extérieur de ce faisceau. Ceci est démontré par une réduction du temps de réponse lorsqu'un stimulus est présenté dans la région auquel l'attention est attribuée et par une augmentation du temps de réponse lorsque celui-ci est présenté à l'extérieur de cette même région (Posner et al., 1980). De plus, la taille du faisceau attentionnel n'est pas fixe. Selon son point central, l'étendue du faisceau peut s'agrandir ou se rétrécir afin de capter l'information pertinente (Posner et al., 1980; voir aussi Eriksen et Yeh, 1985). La théorie de Posner explique aussi le lien entre l'attention et la fovéation. Quoique les deux processus soient distincts, ces processus agissent de façon complémentaire, de sorte que l'attention priorise le traitement de l'information de la région auquel l'attention est attribuée et la fovéation permet une meilleure acuité de l'information traitée (Posner et al., 1980; Posner, 1988).

Une seconde théorie, celle de l'intégration des caractéristiques, proposée par Treisman (*Feature Integration Theory*; Treisman et Gelade, 1980), présente l'attention en tant qu'un mécanisme permettant une intégration correcte et complète des diverses caractéristiques qui composent un item dans le champ visuel (telles sa forme, sa couleur, sa taille, etc.). Ceci est appuyé par le fait que le cortex visuel peut être divisé en plusieurs aires, chacune se spécialisant dans le traitement de différentes caractéristiques visuelles. Par exemple, l'aire visuelle V4 est spécialisée dans le traitement des couleurs tandis que l'aire visuelle V5 (aussi nommé MT) se spécialise dans le traitement du mouvement des stimuli visuels, soit le changement de localisation spatiale dans le temps (par exemple : Zeki, Watson, Lueck, Friston, Kennard, Frackowiak, 1991; KcKeefry et Zeki, 1997; Watson et al., 1993; voir aussi Zeki, 1973, 1974 pour des études chez les macaques). En général, le traitement de l'information visuelle peut être réparti en deux voies; soit la voie dorsale spécialisée dans le traitement de l'information reliée à la localisation de l'item (*how pathway*) et la voie ventrale spécialisée dans le traitement de l'information reliée à l'identité de l'item (*what pathway*; Schneider, 1969; Ungerleider et Mishkin, 1982). Cependant, il est important de noter que ces voies ne sont pas exclusives et qu'il y a plusieurs connexions entre les différentes aires visuelles.

Le champ visuel est souvent bombardé d'informations provenant de divers items différents. En absence d'attention, la complexité du champ visuel peut engendrer une mauvaise recombinaison des différentes caractéristiques des items de l'image visuelle. Les conjonctions illusoire proviennent de ces mauvaises recombinaisons des différentes caractéristiques (pour un survol de la littérature, voir Treisman, 1996). La théorie de

l'intégration des caractéristiques propose ainsi que l'attention est le processus cognitif permettant la recombinaison adéquate des caractéristiques de l'item (Treisman et Gelade, 1980). L'attention visuelle serait alors la colle qui relie les différentes caractéristiques qui composent l'item. Ainsi, en absence d'attention, aucun lien ne peut être formé entre les caractéristiques provenant d'un même item.

Néanmoins, les processus attentionnels sont limités puisque l'attention, permettant l'intégration des caractéristiques de chacun des items, ne peut être déployée de façon séquentielle. Ainsi, selon les caractéristiques qui définissent la cible, l'attention peut ou non être nécessaire pour son identification. Lorsqu'une cible possède une caractéristique particulière et différente des autres items (par exemple, trouver un item rouge parmi des items bleus), le système attentionnel n'est pas requis permettant ainsi une analyse parallèle du champ visuel. Toutefois, lorsque la détection d'une cible repose sur l'intégration de diverses caractéristiques (par exemple, trouver un X rouge parmi des X bleus et de O rouges), les ressources attentionnelles doivent être employées afin de correctement intégrer les différentes caractéristiques de chaque item du champ visuel. En conséquence, la recherche visuelle aura lieu de façon séquentielle (Treisman et Gelade, 1980).

Les études chez les macaques ont aussi permis une analyse profonde du système visuel, et celle-ci, quoiqu'effectuée chez les primates, peut facilement être appliquée au système visuel humain. En particulier, il a été démontré que le rôle de l'attention visuo-spatiale dépend de la localisation des stimuli soit à l'intérieur ou à l'extérieur d'un même champ réceptif (Moran et Desimone, 1985; voir aussi Desimone et Duncan, 1995; Chelazzi, Duncan,

Miller, & Desimone, 1998; Chelazzi, Miller, Duncan, & Desimone, 2001;). Un champ réceptif est la région du champ visuel représenté par un seul neurone dans le cortex visuel. La taille de ce champ réceptif augmente proportionnellement au cours des différentes aires visuelles, tel que le champ réceptif de l'aire corticale V4 est plus grand que celui de l'aire corticale V2, et celui-ci étant plus grand que l'aire corticale visuelle primaire V1. Les études sur les champs réceptifs du système visuel démontrent, ainsi, que lorsque plus d'un item est présent à l'intérieur d'un même champ réceptif, il y a présence de compétition entre ces items pour une représentation par le neurone associé (Moran et Desimone, 1985). Cette compétition est présente sous forme de suppression mutuelle entre les items, qui entraîne un détrimement de l'activité du neurone associé à ce champ réceptif. Cependant, l'attribution de l'attention à l'un des items localisés dans ce champ réceptif module la compétition entre ces items. La suppression provenant des autres items de ce même champ réceptif est atténuée (Moran et Desimone, 1985; Chelazzi et al., 1998, 2001). De plus, la force suppressive de l'item sur lequel l'attention est déployée est augmentée au point que l'activité des neurones de champs réceptifs est similaire à l'activité observée lorsqu'un item est présenté seul (Moran et Desimone, 1985). Inversement, lorsque les deux items sont présentés dans des champs récepteurs distincts, aucune compétition n'est présente entre ces deux items, tel démontré par une activation neuronale correspondant à la présence de l'item dans le champ visuel, indépendamment à ce qu'il y a, ou non, une attribution de l'attention visuelle à cet item (Moran et Desimone, 1985). En conséquence, Desimone et Duncan ont proposé la théorie de la compétition biaisée (Desimone et Duncan, 1995; voir aussi Desimone, 1998). Cette théorie propose que le déploiement de l'attention visuelle soit influencé non seulement par l'information provenant du champ visuel, mais aussi de l'information de haut niveau. Les

processus de haut niveau (*top-down*), retrouvés dans la voie ventrale du système visuel, opèrent par processus de filtrage du champ visuel afin de déployer l'attention vers les objets qui correspondent à un gabarit de caractéristiques qui définissent la cible (*target feature template*). Ainsi, les processus cognitifs de la voie ventrale permettent de régler, de façon biaisée selon les besoins, la compétition entre les items qui partagent les mêmes champs récepteurs du système visuel.

Cette théorie fut davantage appuyée par les études en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf, *functional Magnetic Resonance Imaging*) de Kastner et collègues (Kastner, De Weerd, Desimone, & Ungerleider, 1998; Kastner, De Weerd, Pinsk, Elizondo, Desimone, & Ungerleider, 2001). Ces études ont démontré une réduction de la réponse évoquée dans les aires corticales V2, V4, et TEO lorsque plusieurs stimuli visuels sont présentés simultanément dans le même champ réceptif, appuyant ainsi le phénomène de suppression mutuelle. L'allocation de l'attention à l'un de ces stimuli résulte en l'extinction de cette suppression mutuelle entre les stimuli présentés dans un même champ réceptif (Kastner et al., 1988). De plus, la présence de la suppression mutuelle entre les stimuli est éliminée lorsque la distance physique séparant les stimuli dans le champ visuel est augmentée et les stimuli sont représentés par des champs réceptifs distincts (Kastner et al., 2001).

Outre les théories expliquant le rôle de l'attention visuelle, un second débat a aussi émergé concernant les mécanismes qui contrôlent le déploiement de l'attention visuo-spatiale dans le champ visuel. Des études comportementales, mesurant la variation du temps de réponse et du taux de succès, démontrent que le déploiement de l'attention visuelle peut être

modulé à la fois par des facteurs de bas niveau (*bottom-up*) et par des facteurs de haut niveau (*top-down*). Par exemple, Theeuwes (1991a) propose que l'information de bas niveau guide les processus pré-attentifs. Ceci est appuyé par l'observation d'une augmentation du temps de réponse suite à la présence d'un distracteur plus facilement distinguable que la cible dans le champ visuel (Theeuwes, 1991a). Ainsi, l'attention est, en premier lieu, captée par les items qui se distinguent de l'entièreté du champ visuel (Theeuwes, 1992), un phénomène connu sous le terme de « *pop-out* ». Cependant, cette capture n'est pas égale pour les caractéristiques qui composent un item. La couleur semble être une caractéristique qui capte l'attention plus rapidement et plus facilement que la forme (Theeuwes, 1992; voir aussi Von Wright, 1968). Néanmoins, lorsque l'attention est orientée vers un item particulier du champ visuel, elle ne peut être influencée par les items à l'extérieur de la région du champ visuel où l'attention est déployée (Theeuwes, 1991b). Ces résultats affermissent les conclusions préalablement suggérées par Posner (Posner et al., 1980), et similairement par Eriksen et Yeh (1985), que l'attention agirait sous la forme d'un faisceau déployé vers une région spécifique du champ visuel afin de prioriser l'information à l'intérieur de ce faisceau tout en diminuant l'influence de l'information présente à l'extérieure de celui-ci.

Cependant, les influences de bas niveau ne semblent pas être les seuls critères guidant le déploiement de l'attention à une région spécifique du champ visuel. Les études de Folk, Remington et Johnston (1992) démontrent que la capture attentionnelle d'un item lors d'une tâche de recherche visuelle serait aussi dépendante des caractéristiques qui définissent la cible. En particulier, afin que l'attention visuelle soit orientée vers un distracteur, celui-ci doit partager la même caractéristique qui définit la cible. Leur étude démontre une augmentation

de l'effet d'une amorce (*priming cue*), soit une diminution du temps de réponse lors d'un essai valide et une augmentation du temps de réponse pour un essai non-valide, lorsque cet item est composé de la même caractéristique que la cible (p.ex. la couleur). Ces résultats suggèrent que l'attention visuelle serait orientée vers l'espace du champ visuel où fut présenté l'amorce si et seulement si celui-ci partage les caractéristiques critiques de la cible. De ces résultats, Folk et al. (1992) ont, conséquemment, proposé l'hypothèse de l'orientation involontaire contingente qui postule que l'attention visuelle sera orientée de façon involontaire envers un item non-cible si celui-ci est composé de la caractéristique critique nécessaire à l'identification de la cible, soit la caractéristique qui définit un item en tant que cible. Cette hypothèse postule ainsi qu'un processus de haut niveau filtre le champ visuel afin d'identifier les items pertinents à la tâche et d'orienter l'attention visuelle de façon efficace dans le champ visuel.

Parmi les diverses techniques de neuro-imagerie fonctionnelle conçues afin d'analyser les processus cognitifs se trouve l'électroencéphalographie (EEG). L'EEG est l'étude de l'activité électrique émise par l'encéphale et enregistrée au niveau du cuir chevelu. Cette activité électrique provient majoritairement des changements de polarisation membranaire post-synaptique. Comparé aux autres techniques de neuro-imagerie fonctionnelle, telles la tomographie par émission de positons (*Positron Emission Tomography*) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (*functional Magnetic Resonance Imaging*), l'EEG possède une capacité limitée pour la localisation explicite de la source d'activité post-synaptique. Ceci est une conséquence du fait que l'activité électrique se diffuse rapidement à travers la matière et sa diffusion est influencée par la densité de ce dernier, en particulier au niveau du crâne. Néanmoins, cette technique possède une excellente résolution temporelle qui

permet l'étude de différents processus cognitifs à la milliseconde près. À partir du signal EEG, il est possible d'extraire des composantes associées à des processus cognitifs par la méthode de potentiels reliés aux événements (PRE; Luck, 2005). Cette méthode nécessite une segmentation de l'enregistrement EEG délimité par un événement spécifique (par exemple, les 500 ms suivant la présentation d'un stimulus visuel, ou les 1000 ms qui précèdent une réponse émise par l'individu). La moyenne des segments provenant de la même condition expérimentale optimise le rapport signal-bruit de l'EEG. En résultat, toute activité non associée à la condition expérimentale est soustraite du signal permettant l'isolation des déviations électriques associées à celle-ci (voir Luck, 2005 pour une description complète de cette méthode).

Parmi les composantes PRE associées à une présentation visuelle se trouve une composante qui reflète le déploiement de l'attention visuo-spatiale. La N2pc, ou N2-postérieure-contralatérale, se présente entre 180 et 300 ms après la présentation d'un stimulus visuel latéralisé. Son activité est captée au niveau des électrodes pariétales occipitales postérieures, dont l'activité maximale est atteinte aux électrodes PO7 et PO8. La N2pc est caractérisée par une activité négative du côté contralatéral à la région du champ visuel où l'attention est déployée. Donc, la N2pc est caractérisée comme une composante latéralisée qui peut être aisément observée par une soustraction de l'activité ipsilatérale à l'activité contralatérale selon l'hémichamp visuel dans lequel l'attention est déployée. Plusieurs études antérieures ont démontré que cette composante est associée aux processus cognitifs du déploiement de l'attention visuo-spatiale et peut être influencée à la fois par la présence d'une cible et la présence de distracteurs dans le champ visuel (Luck et Hillyard, 1994a, 1994b;

Eimer, 1996; Girelli et Luck, 1997; Woodman et Luck, 1999). De plus, des études chez les macaques ont établi que les processus sous-jacents à la N2pc proviennent du cortex, particulièrement de l'aire V4 (Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997). Ceci suggère que le déploiement de l'attention se retrouve dans les structures hiérarchiquement supérieures du système visuel où l'information provenant du champ visuel est bien détaillée.

Cependant, les mécanismes qui sous-tendent la N2pc sont encore une source de débat. Luck et Hillyard (1994b) suggèrent que la N2pc reflèterait un processus de filtrage qui atténue l'influence des items distracteurs près de la cible. Cette proposition est appuyée par l'absence de la N2pc lorsque la présentation visuelle ne contient aucun distracteur (cependant, voir Eimer, 1996; Brisson et Jolicoeur, 2007; Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua, et Robitaille, 2006 pour des contre-exemples), et une même absence de la composante lorsque les items non-cibles dans la présentation visuelle sont fortement dissimilaires à la cible. Luck et Hillyard (1994b) concluent ainsi que le déploiement de l'attention visuo-spatiale ne serait présent que lorsqu'il y a besoin de filtrer le champ visuel afin d'éliminer les items confondants. Inversement, Eimer (1996) suggère que la N2pc reflèterait un processus de renforcement du traitement de la cible suite à l'observation de cette composante même si l'information non pertinente ou conflictuelle dans le champ visuel ne nécessite pas une suppression. Récemment, les études de Hickey, Di Lollo, et McDonald (2009) ont suggéré que la N2pc est composée d'au moins deux composantes sous-jacentes, soit la N_T et la P_D . Par l'entremise d'un paradigme originalement proposé par Woodman et Luck (2003) qui impose de placer des stimuli (soit la cible ou le distracteur) sur la médiane verticale, Hickey et al. (2009) ont isolé les processus distincts associés au traitement de la cible et au traitement du distracteur, quant au

déploiement de l'attention visuo-spatiale. La P_D , caractérisée par une déflexion plus positive du côté controlatéral qu'ipsilatéral, serait un index électrophysiologique de la suppression de distracteurs présents dans le champ visuel. La N_T , caractérisée par une déflexion plus négative du côté controlatéral qu'ipsilatéral, serait un index électrophysiologique du traitement de la cible. En conséquence, la $N2pc$ reflèterait la somme de ces deux processus qui sont influencés par les distracteurs autant que par la cible (Hickey et al., 2009; voir aussi Hilimire, Mounts, Parks, et Corballis, 2011).

Mazza et collègues (Mazza, Turatto, et Caramazza, 2009a, 2009b; Mazza et Caramazza, 2011) ont aussi étudié l'influence des distracteurs et des cibles sur la $N2pc$. Ces auteurs démontrent que la $N2pc$ est modulée par certaines caractéristiques des distracteurs (Mazza et al., 2009a, 2009b). En particulier, l'amplitude de cette composante est influencée par le nombre de distracteurs présents dans le champ visuel, où une présentation visuelle contenant plusieurs distracteurs augmente l'amplitude de la $N2pc$, indépendamment de la distance de ces distracteurs et de la cible. De plus, la $N2pc$ est aussi influencée par l'homogénéité des distracteurs dans la présentation visuelle. L'hétérogénéité des distracteurs, soit la présence de distracteurs de différentes couleurs, entraîne un effet d'étalement (*smearing*) de la $N2pc$ (Mazza et al., 2009). Il est possible que l'étalement de cette composante résulte d'une augmentation de la difficulté du déploiement de l'attention visuo-spatiale vers la cible, ce qui augmente la variance de la latence de la $N2pc$. Lorsqu'une moyenne de la $N2pc$ est effectuée, cette variance de latence parmi les multiples essais génère, en conséquence, une apparence d'étalement (Luck, 2005; voir aussi Dowdall, Luczak, et Tata, 2012). Une étude additionnelle par Mazza et al. (2011) démontre que, tout comme le nombre

de distracteurs module l'amplitude de la N2pc, le nombre de cibles présentes dans l'essai module l'amplitude de cette composante. Cependant, cette modulation ne serait présente que lorsqu'une tâche expérimentale nécessite l'identification séparée des cibles présentées, telle lorsque le sujet doit énumérer le nombre de cibles présentes dans le champ visuel (Mazza et al., 2011).

Quelques études ont aussi identifié le rôle des paramètres du paradigme sur la N2pc. Brisson, Robitaille et Jolicoeur (2007) ont démontré que l'intensité de la présence du stimulus, soit par la modulation de la largeur de sa forme, peut influencer la latence d'apparition de la N2pc. L'utilisation d'un trait mince peut, en conséquence, provoquer un retard du déploiement de l'attention, tel démontré par une latence d'apparition prolongée de la N2pc et une augmentation du temps de réponse (Brisson et al., 2007). De plus, la durée de présentation du stimulus est un second facteur pouvant moduler la N2pc (Brisson et Jolicoeur, 2007). Même si une N2pc est présente pour toutes durées de présentation, l'amplitude de cette composante est atténuée lors d'une présentation de longue durée, soit 350 ms, tandis que l'amplitude de la N2pc ne varie pas pour les présentations visuelles de courte durée, soit 50 ms et 200 ms. Ces résultats démontrent ainsi que le déploiement de l'attention visuo-spatiale reflèterait une interaction entre les informations sensorielles de bas niveau et l'influence de haut niveau des processus cognitifs associée à l'accomplissement de la tâche. Il importe alors de considérer les détails du paradigme lors de l'interprétation des résultats obtenus au sujet des processus cognitifs, tel le déploiement de l'attention visuo-spatiale.

En plus des facteurs mentionnés ci-haut, le déploiement de l'attention, tel reflété par la N2pc, est aussi dépendant d'une gamme de facteurs provenant d'influences de bas et haut niveaux qui interagissent avec la présentation de cibles et de distracteurs dans le champ visuel. En général, tel postulé par Folk et al. (1992), lorsqu'une cible est définie par une caractéristique spécifique (par exemple la couleur), l'attention sera déployée sur un distracteur quand celui-ci est défini par cette même caractéristique. Inversement, un distracteur composé de caractéristiques différentes ne possèdera pas la même capacité de capter l'attention. Néanmoins, Girelli et Luck (1997) ont démontré que les caractéristiques des items du champ visuel possèdent toutes des capacités différentes à capter l'attention. Par exemple, la couleur et la forme sont des caractéristiques qui agissent sur la direction du déploiement vers un distracteur seulement lorsque cette caractéristique est en concordance avec les caractéristiques qui définissent la cible. Toutefois, le mouvement est une caractéristique qui, contrairement à la caractéristique de la couleur et de la forme, capte toujours l'attention visuo-spatiale peu importe son lien avec la cible. Girelli et Luck (1997) proposent alors que l'information provenant de la voie magnocellulaire (tel le mouvement) aurait une capacité de capture attentionnelle automatique tandis que la capture attentionnelle de l'information provenant de la voie parvocellulaire serait plutôt dépendante des processus cognitifs de haut niveau. Néanmoins, quoique les études précédentes (telle Girelli et Luck, 1997; Jonide et Yantis, 1988) démontrent que la couleur ne possède pas une capacité de capture attentionnelle automatique, le niveau de saillance de l'item pourrait cependant moduler le déploiement de l'attention visuo-spatiale. Tel démontré par Hickey, McDonald, et Theeuwes (2006) l'attention visuo-spatiale peut aussi être déployée vers des stimuli non pertinents à la tâche si ces stimuli sont plus saillants que les autres items de la même présentation visuelle. De plus,

le déploiement de l'attention dirigé par la saillance serait un processus automatique et inné qui précède l'influence guidée par les processus cognitifs de diriger l'attention vers les stimuli pertinents à la tâche (Hickey, van Zoest, Theeuwes, 2010).

La relation et l'influence provenant des items saillants dans une présentation visuelle furent davantage étudiées par Hilimire et al. (2009, 2010). Ces auteurs ont démontré que la proximité physique entre les items saillants est aussi un facteur qui module le déploiement de l'attention visuo-spatiale. Dans leur étude originale, Hilimire et al. (2009) ont observé une atténuation de l'amplitude de la N2pc associée à la diminution de la séparation physique entre les deux items saillants. En se basant sur la théorie de la compétition biaisée de Desimone et Duncan (1995), Hilimire et collègues ont proposé que, puisque l'attention fut déployée simultanément vers les deux items saillants de la présentation visuelle, l'atténuation de la N2pc reflèterait une dégradation des processus associés à la sélection de la cible qui résulte de la compétition pour représentation entre ces deux items. Plus précisément, la compétition, par suppression mutuelle, serait une source d'interférence sur les processus de sélection de la cible.

Le déploiement de l'attention visuo-spatiale en direction d'une cible et des distracteurs dans le champ visuel fut aussi étudié par Sawaki et Luck (2010) qui ont analysé la relation entre la N2pc, originalement démontrée par Luck et Hillyard (1994a, 1994b), et la sous-composante P_D , suggérée par Hickey et al. (2009). Par l'entremise d'une étude sur le déploiement de l'attention visuo-spatiale vers une cible, un distracteur similaire à la cible et un distracteur saillant distinct de la cible, les auteurs ont identifié que ces trois conditions ont

toutes une capacité de capture attentionnelle. Cependant, lorsqu'un item saillant diffère de la cible la capacité de capture attentionnelle peut être atténuée par un processus de suppression active, reflété par la P_D . Qui plus est, ces auteurs proposent que les facteurs de bas niveau présentent une capacité de capture attentionnelle, mais que celle-ci soit atténuée par les processus de haut niveau. Par contre, la $N2pc$ ne serait présente que lorsque la capture attentionnelle a lieu en absence d'une suppression active du stimulus, tel le cas pour la cible ou pour un distracteur similaire à la cible. Ces résultats appuient davantage l'hypothèse de la capture involontaire contingente de Folk et al. (1992) qui propose que l'attention visuelle puisse être déployée vers un item non-cible si celui-ci est composé des mêmes caractéristiques qui définissent la cible.

La capacité de capture de l'attention d'un stimulus dépend non seulement des paramètres de ce stimulus par rapport aux autres du champ visuel, mais aussi de la tâche et des processus cognitifs associés à sa réussite (p. ex. Luck et Hillyard, 1994b; Eimer, 1996; Kiss, Jolicoeur, Del'Acqua, & Eimer, 2008; Leblanc, Prime, & Jolicoeur, 2008). Tel que démontré par Kiss et al. (2008), un distracteur peut effectivement capturer l'attention visuo-spatiale si celui-ci partage les caractéristiques de la cible qui sont nécessaire à l'exécution de la tâche. De plus, cette capture attentionnelle est dépendante de la similarité du distracteur à la cible (Leblanc et al., 2008). Dans leur deuxième expérience, Leblanc et al. (2008) ont démontré que la capture attentionnelle par un distracteur a lieu si celui-ci est de la même couleur que la cible. De plus, la capture attentionnelle est encore plus forte lorsque le distracteur provient aussi de la même catégorie que la cible. L'accroissement de la capture attentionnelle est

reflété par une augmentation de l'amplitude et la durée de la composante N2pc. Ces résultats appuient aussi l'hypothèse de l'orientation involontaire contingente de Folk et al. (1992).

Objectif et hypothèses

L'objectif du mémoire est d'approfondir les connaissances sur les processus qui sous-tendent le déploiement de l'attention visuo-spatiale, tels que mesurés par la N2pc. Plus spécifiquement, nous examinerons le rôle de la séparation entre les items auxquels l'attention est déployée, et en conséquence le rôle des champs réceptifs, sur les processus de sélection attentionnelle, particulièrement les filtres précoces et tardifs qui déterminent le déploiement de l'attention visuo-spatiale.

Les études précédentes par Hilimire et al. (2009, 2010) ont démontré une atténuation de l'amplitude de la N2pc lorsque les items sont présentés en proximité l'un de l'autre dans le champ visuel. Ces auteurs proposent ainsi que l'atténuation reflèterait une dégradation du processus de sélection de la cible qui résulte de l'augmentation de la compétition pour représentation de ces items dans les champs réceptifs qu'ils partagent. Selon cette hypothèse, une plus grande atténuation sera présente lorsque la compétition entre les deux items est elle aussi augmentée. Les effets de similarité entre distracteurs et cibles démontrent une influence du processus de haut niveau sous forme de filtre de sélection attentionnelle qui serait guidé par une représentation mentale de la cible (modèle-cible). La compétition entre les items auxquels l'attention est déployée peut ainsi être manipulée par une similarité entre le distracteur et la cible, de sorte que plus un distracteur est similaire à la cible, plus grande sera la compétition entre ces deux items (voir Kiss et al., 2009; Leblanc et al., 2008; Sawaki et Luck, 2010). En

conséquence, lorsque les deux items sont présentés près l'un de l'autre dans le champ visuel et, donc, partagent les mêmes champs réceptifs, il y aurait une atténuation de l'amplitude de la N2pc qui reflète la dégradation des processus de sélection de la cible. Cependant, cette atténuation sera amplifiée avec le degré de similarité du distracteur à la cible. Toutefois, l'augmentation de la similarité entre le distracteur et la cible n'aura aucun effet lorsque la distance entre les deux items est augmentée, car ceux-ci ne partagent plus les mêmes champs récepteurs.

De plus, ce mémoire vise un second objectif. Les études présentées contribueront aussi à la validation du paradigme de présentation à images multiples (*Multiple Frame Procedure, MFP*). Ce paradigme permet un déroulement séquentiel de plusieurs présentations visuelles (images) lors d'un même essai. Afin d'éviter une contamination des processus cognitifs par les processus provenant des images précédentes ou suivantes, il est essentiel d'assurer un intervalle de présentation suffisamment longue entre les diverses présentations d'un même essai. L'utilité de ce nouveau paradigme est qu'il permet une présentation d'un grand nombre de stimuli visuels et de conditions expérimentales en peu de temps, permettant l'optimisation de l'enregistrement EEG et l'augmentation du rapport signal-bruit de ces données. De plus, la présentation à images multiples est un paradigme qui permet l'évaluation de la présence et l'absence de la cible sur les composantes PRE sans la nécessité d'employer un paradigme qui manipule la fréquence de présentation (*oddball paradigm*). Il importe alors de démontrer que ce paradigme génère les mêmes composantes PRE que celles observées avec l'utilisation d'un paradigme classique à présentation visuelle simple. Particulièrement, il importe de démontrer

que les composantes générées par chaque image de l'essai ne sont pas influencées ou contaminées par les processus cognitifs associés aux images précédentes et subséquentes.

Contribution à l'article

Cette présente section décrit la contribution des auteurs à la réalisation de l'article qui compose ce présent mémoire. L'idée générale et les hypothèses associées de cette présente étude, basée sur les résultats de diverses études antérieures, furent initialement abordées par Dr Pierre Jolicoeur. L'expérience initiale fut programmée par Pia Amping. Celle-ci fut modifiée par Sébrina Aubin et Pia Amping afin de créer les versions subséquentes de l'étude, soit les expériences 2 et 3 de la présente étude.

La collecte de données EEG pour les trois expériences qui forment cette étude a été réalisée par Sébrina Aubin et l'équipe d'assistantes techniques du laboratoire de neurosciences cognitives de Pierre Jolicoeur au Centre de recherche en neuropsychologie et cognition (CERNEC) à l'Université de Montréal. L'analyse des données EEG et le traitement statistique de celles-ci furent accomplis par Sébrina Aubin avec des outils créés par Amping et Jolicoeur sur une plateforme MATLAB et les toolbox EEGlab et ERPlab, ainsi que le logiciel SPSS. L'interprétation des résultats obtenus pour les trois expériences fût achevée par Dr Pierre Jolicoeur et Sébrina Aubin.

Une première version de l'article a été rédigée par Sébrina Aubin. Celle-ci fut par la suite révisée principalement par le Dr Jolicoeur pour des recommandations, commentaires et suggestions. L'article, intitulé *Early and late selection modulate competition for*

representation: Evidence from the N2pc, sera présenté dans sa version finale de soumission au journal *Psychophysiology*.

CHAPITRE II
L'ARTICLE

**Early and late selection modulate competition for representation:
Evidence from the N2pc**

Sébrina Aubin¹, Pierre Jolicoeur¹

¹Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Université de Montréal, Montréal,
Québec, Canada, H3C 3J7

Running head: Early and Late Selection

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

Both top-down and bottom-up factors have previously been shown to modulate the N2pc, an event-related potential component reflecting mechanisms of visuospatial attention deployment. In this study, both of these factor groups were tested by examining the interaction between the similarity of the distractor to the target and the physical distance separating attended items in the visual field. The distractor-target similarity was varied both on a semantic and a physical level. Additionally, the similarity of the salient items in the visual field was varied in colour, either same or different. Three experiments identified interactive relationships between these factors on the amplitude and the latency of N2pc. Both early and late target-template selection filters are shown to modulate the N2pc. However modulation of selection probabilities by early and late filters can only be achieved when attended items are spatially next to each other in the visual display, and likely because they were in the same receptive fields of neurons involved in attentional control.

Key words: Visuospatial attention, N2pc, ERP, biased competition, top-down filters, multiple-frame procedure, early selection, late selection

Visual attention has been described as a cognitive process that enables accurate processing of visual information despite the limited capacity of latter stages of processing taking input from the visual system (Pinker, 1984). However, the deployment to visuospatial attention in the visual field has been shown to be dependent on a variety of factors. Endogenous, top-down factors possess a strong influence on the deployment of visuospatial attention. Folk, Remington, and Johnston (1992) demonstrated that when a target was defined as a coloured singleton, the presence of a coloured priming cue at an invalid location in the visual field resulted in a response time delay. Conversely, when the target was defined by a sudden luminance onset, the presence of the same invalid coloured priming cue no longer influenced target detection response times. In light of these and other findings, Folk et al. (1992) proposed the Contingent Involuntary Orienting Hypothesis postulating that involuntary attentional capture occurs when a distractor shares the properties that are essential for target selection.

Top-down influence and the Contingent Involuntary Orienting Hypothesis have also been detected in electrophysiological measures of the deployment of visuospatial attention. In electroencephalography (EEG), an event-related potential (ERP) component, the N2pc, has been associated with processes of visuospatial attention deployment. The N2pc, or N2-posterior-contralateral, is detected at posterior parietal-occipital electrodes 180–280 ms after visual stimulus presentation and is characterised by a difference in hemispheric activity in which the contralateral hemisphere to the attended lateralised location in the visual field becomes more negative than its ipsilateral counterpart. The underlying processes reflected by this component have been shown to be influenced by both target and distractor presence in the

visual field (Luck & Hillyard, 1994a, 1994b, see also Eimer, 1996; Girelli & Luck, 1997; Woodman & Luck, 1999; Hickey, McDonald, & Theeuwes, 2006; Mazza, Turrato, & Caramazza, 2009; Hickey, Di Lollo, & McDonald, 2009; Robitaille & Jolicoeur, 2006; Sawaki & Luck, 2010; Mazza & Caramazza, 2011).

Studies like that of Kiss, Jolicoeur, Del'Acqua, and Eimer (2008) have demonstrated, through studies on the amplitude of the N2pc, that the deployment of visuospatial attention can be oriented towards distractor items in the visual field when these items share the same target features necessary for the accomplishment of the task. Moreover, Leblanc, Prime, and Jolicoeur (2008) have also demonstrated that attentional capture by a distractor item is dependent on the similarity of this item to the target. In Experiment 2 of their study, distractors were presented in the visual periphery in the frame preceding target presentation during a rapid serial visual presentation (RSVP) stream. Combinations of similarity by colour and category between the distractor and target were manipulated where the distractor could match the target-colour, target-category, both target-colour and target-category, or neither. Results showed that non-target-coloured distractors failed to capture attention, by an absence of the N2pc, regardless of the category of the distractor (target-match or non-target-match). Nevertheless, an N2pc was present for the distractor when this item was target-coloured, suggesting that attention was captured by this distractor. Additionally, the amplitude and offset latency of the N2pc increased when the distractor also matched the target-category in addition to target-colour. Leblanc et al. (2008) thus provided evidence suggesting that top-down set for the selection of items in a particular colour caused contingent spatial attention

capture by distractors that match this colour and that the duration of capture was modulated by additional matching attributes.

Although attention is often strongly influenced by top-down factors, bottom up factors also modulate how attention is deployed (e.g., Theeuwes, 1991, 1992; Hickey et al., 2006; Hickey, van Zoest, & Theeuwes, 2009). Psychophysiological studies in the macaque have also been an important source of information elucidating underlying attentional mechanisms operating in the visual system. In particular, the spatial separation between items in the visual field has been shown to be an important determinant of neuronal responses (Moran & Desimone, 1985; Chelazzi, Duncan, Miller, & Desimone, 1998; Chelazzi, Miller, Duncan, & Desimone, 2001). In order to account for their observations, Desimone and Duncan proposed the Biased Competition Theory (Desimone & Duncan, 1995; Desimone, 1998). This theory posits that when multiple items fall within a same receptive field, they compete for representation via a mutual suppression of neuronal response (Moran & Desimone, 1985). However, when visual attention is deployed on one of these stimuli, the suppressive influence of competing items is attenuated or eliminated (Moran & Desimone, 1985; Chelazzi et al., 1998, 2001). Consequently, attention would serve to filter out irrelevant information from within the receptive field. When the two items fall within different receptive fields, competition for representation no longer occurs. Additionally, the neural activity produced by the receptive field containing a single item is equivalent when attention is attributed inside or outside of the receptive field (Moran & Desimone, 1985).

Supporting evidence of the biased competition theory has been reported in other neuroimaging studies. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) studies by Kastner and colleagues (Kastner, De Weerd, Desimone, & Ungerleider, 1998; Kastner, De Weerd, Pinsk, Elizondo, Desimone, & Ungerleider, 2001) reported an evoked response suppression in the visual cortices in V4 and TEO when unattended visual stimuli were simultaneously presented in the same receptive field as compared to a sequential presentation of these stimuli in the same receptive fields (Kastner et al., 1998; Kastner et al., 2001). When attention was oriented to a particular stimulus in the receptive field, the evoked response increased, suggesting that visuospatial attention counteracts the suppression induced by the competing stimulus as well as enhances the processing of the attended stimulus (Kastner et al., 1998). Additionally, as previously reported by Moran and Desimone (1985), when the visual stimuli fall within different receptive fields, the evoked response to their simultaneous presentation does not differ from that of a sequential presentation of the same visual stimuli, suggesting that mutual suppression only occurs when visual stimuli fall within the same receptive field (Kastner et al., 2001).

Hilimire, Mounts, Parks, and Corballis (2009, 2010) observed a similar pattern in ERP components, including the N2pc, when they reduced the spatial separation between two salient stimuli in the visual field. Reducing the distance between a salient target and salient distractor decreased the amplitude of the N2pc component (Hilimire et al., 2009). The amplitude of the N2pc was attenuated when salient items were closer, when they presumably had a higher probability of stimulating the same receptive fields of neurons participating in the mechanisms controlling the N2pc. The authors proposed that the observed attenuation of the N2pc with

decreasing distance reflects an increase in mutual suppression of items competing for selection (Hilimire et al., 2009, 2010).

The present study sought to understand basic attentional mechanisms and their relationship to the N2pc by varying three experimental factors: Target Presence, Physical Distance separating salient items (target and distractor) among non-salient distractors, and the Similarity between the salient distractor and the target. With these manipulations, we sought to examine the role of distractor-target similarity on the distance effect reported by Hilimire et al. (2009, 2010).

Experiment 1

In Experiment 1, salient items were either presented in adjacent positions or separated by non-salient distractors. Concurrently, the similarity between different salient distractors and the target was manipulated on both a physical and a semantic level. As participants searched for vowels, the semantic similarity of the salient distractors to the target could either be strong (consonants), intermediate (digits) or weak (non-alphanumeric symbols). The weak semantic link between the non-alphanumeric symbols to the vowels was also accompanied with distinctive featural traits composing these symbols. This ensured the lowest similarity between this salient distractor category and the target¹. We sought to determine whether N2pc modulation with distance would interact with different levels of competition at the level of representation capturing these semantic relationships. Stronger competition for representation should be present when the distractor is more similar to the target, such as when they are

¹ This also confounded physical similarity and semantic similarity, which we examined in Experiment 2.

consonants. Conversely, competition should be reduced when the distractor is dissimilar to the target; such is the case for the non-alphanumeric salient distractors. Hilimire et al. (2009) proposed that the attenuation of the N2pc would reflect competition between salient items when these fall within the same receptive field. In the same logic, when salient items are separated by a short distance, the amplitude of the N2pc might depend on the semantic similarity of the salient distractor to the target if this level of representation modulates competition for selection. When the salient items are separated by a greater distance, however, and are no longer in the same receptive field, the semantic similarity of the distractor to the target should no longer modulate the amplitude of the N2pc.

Method

Participants

Electroencephalographic (EEG) recordings were collected from 41 participants. Participants (between 18 and 35 years of age) were neurologically intact, had normal or corrected-to-normal visual acuity, and reported having normal colour vision. Signed consent was given by the participants and they received financial compensation (20\$ CAN) for their participation. Of the 41 participants, 29 were kept for analysis (mean age: 23.44 ± 3.81 ; 12 males, 2 left-handed). Data sets from 5 participants were excluded due to low accuracy scores on the task (under 70%). An additional 6 data sets were excluded as less than 50% of the trials remained in at least one experimental condition due to errors or artefact rejection, or the data sets contained a mean HEOG or a mean VEOG deviation exceeding $5\mu\text{V}$ indicating an eye movement toward the salient stimuli in at least one experimental condition after artifact and ocular movement rejection. A data set, presenting outlying data, was excluded from analysis

in order to maintain a normal distribution of the data. Normality of distribution was calculated using the Kolmogorov-Smirnov normality test on the mean amplitude of the overall N2pc, collapsing across all experimental conditions. When normality was not met, datasets presenting extreme scores² were removed and distribution was re-computed. This process was ongoing until normality was met. Normality of distribution was ensured for each of the three experiments of this study, as well as between the experiments in order to validly examine results obtained between these experiments.

Procedure

Participants were seated in a dark, electrically shielded room at a distance of 57 cm, maintained with the use of a chin rest, from the computer screen upon which the visual stimuli were presented. Participants were instructed to maintain gaze on a fixation cross (0.41° x 0.41°) presented at the center of the screen during the trial while stimuli were presented in the visual periphery. Visual stimuli were presented using a Multiple Frame Procedure (MFP). This paradigm allows for multiple consecutive visual search presentations (frames) to occur within a single trial while the inter-frame duration is kept sufficiently long to allow early cognitive processes to occur without interference from preceding or following frames. The benefit of the paradigm is the capacity to present a greater number of visual search presentations without increasing the total length of the experiment, rendering the MFP a powerful and efficient paradigm for event-related potential (ERP) studies. Additionally,

² Outlying datasets were easily identifiable by the extreme score for mean amplitude of the N2pc. Deselection of these datasets resulted in normally distributed data without further adjustments to the datasets.

effects of motor preparation and response are minimized because a response is only required at the end of the trial.

Each trial consisted of six consecutive frames separated by a jittered stimulus onset asynchrony (SOA) of 900 ± 100 ms. Frame duration was varied across two groups of participants. An initial group (24 participants), had a frame presentation duration of 300 ms. Of the 24 participants, 18 were kept for analysis (mean age: 23.50 ± 3.76 ; 7 males, 1 left-handed). Although this duration provided sufficient time to perceive the visual stimulation, this length of presentation also promoted saccadic movements towards the items (rejection of 4 participants). In an attempt to reduce this tendency for the following experiments, all the while ensuring the validity of this first experiment, a second group of participants was tested with a frame duration of 200 ms. Of the 17 participants collected in the second group, 11 were kept for analysis (mean age: 23.36 ± 4.08 ; 5 males, 1 left-handed). Of the 7 rejected data sets of this second group, only 2 exclusions resulted for ocular activity, while the other 5 had low success rates resulting in insufficient amount of remaining trials (below 50% of maximal number of trials). Therefore, although the 200 ms did not provide much better results, this presentation duration did not hinder the success rate of the participants retained in the final analyses, as will be shown in the behavioural result section of this experiment. As a result, the 200 ms frame presentation duration will be used in the following experiments.

Participants were asked to report the number of vowels (0, 2, 4, or 6) presented throughout the six frames of each trial by pressing the corresponding keyboard keys (c, v, b, n). Each trial was initiated by pressing the space bar, allowing the participants time to blink

and prepare between trials. The first frame of the trial began 500 ms (with ± 100 ms jitter) after the trial was initiated. Response hand, either left or right, was counterbalanced across participants. A maximal response time of 4000 ms was allowed, followed by visual feedback presented at the center of the screen (“+” for a correct response, “-” for an incorrect response, or “|” for timed-out).

Figure 1 illustrates the layout of stimuli in each frame and shows the characters used as stimuli for each category. Each frame was composed of 16 equiluminant items (0.41° (length) x 0.82° (height)) arranged equidistantly to form a circle around the fixation cross (radius of 3.83°). Fourteen of these items (non-salient distractors) were grey (luminance: 7.04 cd/m^2) and shaped as 7-segment figure 8s. The other two items (target and/or salient distractor) were blue (luminance: 7.21 cd/m^2). A target (blue vowel) could be present or absent in each frame, whereas the second blue item was always a salient distractor. In the case where the target was absent in a frame, the two blue items were both distractors of the same semantic category. There were three exemplars in each of the three semantic categories. Salient items were either presented in adjacent positions (near) or separated by 3 grey distractors (far). In any given frame, the two blue items were in the same hemifield (left or right). Across all trials, every possible pair of positions in the circle for each of the two distances, excluding the two positions on the vertical meridian, was used with equal probability.

Insert Figure 1 about here

Frames with target presence (present or absent), distance separating the salient items (near or far), and semantic category of salient distractors (consonant, digit, or non-alphanumeric symbol) were all intermixed in a different quasi-random order for each participant, allowing the measure of independent and interactional effect of each factor. The experiment consisted of an initial block of 30 practice trials followed by two experimental blocs of 144 trials, resulting in 1728 frames (excluding practice trials).

EEG recordings

EEG data from 64 active Ag/AgCl electrodes were recorded at a sampling frequency of 512 Hz using a Biosemi Active Two system. Electrodes, mounted on an elastic cap, were placed at corresponding sites to the International 10-10 System and labeled accordingly (Sharbrough et al., 1991). The EEG recording was re-referenced offline to average of mastoids. Horizontal electrooculograph (HEOG), measuring horizontal eye movements, was recorded as the voltage difference between electrodes placed at the external canthi of the left and right eye. Vertical electrooculograph (VEOG), measuring vertical eye movements and eye blinks, was recorded as the voltage difference between an electrode placed under the left eye and electrode Fp1, located above the left eye. Post-recording, a high-pass filter of 0.01Hz and a low-pass filter of 30 Hz was applied to the EEG signal. The EOG signals (HEOG and VEOG) were filtered with a 0.10 Hz high-pass filter and a 10 Hz low-pass filter.

EEG from each frame in trials with a correct response was segmented from -100 ms to +700 ms relative to frame onset and baseline corrected using the average voltage over the 100 ms pre-stimulus period. Epochs containing blinks (VEOG deflection $> 50\mu\text{V}$ within a 300 ms

window), eye movements (HEOG deflection $> 30\mu\text{V}$ within a 300 ms window), or artifacts in the EEG signals (signal exceeding $\pm 100\mu\text{V}$; excluding electrodes at the Fp1, Fpz, and Fp2 positions) were excluded from analysis. Data sets having less than 50% of the maximum number of trials in one or more experimental condition, or a mean HEOG/VEOG deviation surpassing $5\mu\text{V}$ when averaging over trials with salient stimuli in the left versus right hemifield, were excluded from further analysis. These strict exclusion criteria in the ocular signals ensured that residual ocular movement did not contaminate the analyzed EEG data.

Statistical Analyses

To validate results from the multiple frame procedure, the amplitude and onset latency of five ERP components were analysed for each of the 6 frame positions in the trial sequences. The components were the P1, posterior N1, and posterior P2, and the lateralised components, N2pc and SPCN. These 5 ERP components all showed maximal activity at lateral occipital electrodes and were thus analysed from the recordings at the PO7/PO8 electrode pair.

The amplitude, onset latency, and offset latency of the N2pc component were analysed in greater detail to identify the independent and interactional effects of target presence, distance separating the salient items, and the semantic category of the distractor. Amplitude was measured by the mean amplitude within a time window centered at the component peak activity, estimated from the grand average waveform combining all conditions. Latencies were measured using jackknifed waveforms as the latency of the waveform reaching 50% of peak amplitude. Jackknife estimates were back transformed to individual subject estimates (Brisson & Jolicoeur, 2008; Smulders, 2010). Separate Greenhouse-Geisser corrected mixed

analysis of variance (mixed ANOVAs) were conducted to measure the effect of frame position on the early ERP components and the individual and interactive effects of the experimental factors on the N2pc. Post-hoc analyses, Bonferroni corrected pairwise comparisons, and paired t-tests (with corresponding adjustments to the significance value) were calculated to test specific contrasts.

Results

Behavioural results

Mean accuracy scores were obtained for each group (300 ms stimulus presentation: $92.77 \pm 6.69\%$; 200 ms stimulus presentation: $89.83 \pm 6.13\%$) were high and not significantly different, $t(27) = 1.184, p = .247$. This level of accuracy confirms that participants were able to perform the task and count targets with high accuracy in most frames. For a trial to count as correct in the present analysis, the correct target count had to be given, implying accurate processing in each of the 6 frames in the trial because the probability of cancelling errors, such as missing a target in one frame and false-alarming to a distractor in another frame is very low.

Electrophysiological results

Frame Analysis

In order to validate the multiple-frame procedure we performed a set of ANOVAs in which we examined ERPs in each of the six frames in the trial sequences. We performed such analyses for each of the three experiments in the article. Because the results were very similar

across experiments, we present results combined over experiments³. The analyses are based on results from 71 subjects (29 in Experiment 1, 25 in Experiment 2, 17 in Experiment 3; Experiments was a between-subject factor). We performed separate analyses for the onset latency and the amplitude of five ERP components (P1, posterior N1, posterior P2, N2pc, and SPCN). Figure 2 displays the waveforms of these components for each frame position within the trials. These analyses revealed no differences between the three experiments for any component (all $F_s(2, 68) < 1.408, p_s > .252, \eta^2 > .040$) nor any interactions between the experiments and frame position (all $F_s(10, 340) < 1, 310, p_s > .237, \eta^2 > .037$). These results show that the differences between the frames were robust and replicated across the three experiments, which is why we combined the experiments.

Insert Figure 2 about here

The P1 (85 – 115 ms in Experiments 1 and 3; 95 – 125 ms in Experiment 2) was earlier and larger in amplitude in the first frame of the trial, while no differences were present for the subsequent frames (amplitude: $F(5, 340) = 9.386, p < .001, \eta^2 = .126$; onset: $F(5, 340) = 5.860, p < .001, \eta^2 = .077$), as shown by significant Bonferroni pairwise comparisons between the 1st and the 2nd, 3rd, 4th, and 5th frame (amplitude, all $p_s < .007$; latency, all $p_s < .022$). The amplitude of the posterior N1 (135 – 165 ms in Experiments 1 and 3; 135 – 175 ms in

³ Given that the experimental design used in all three experiments was nearly identical, the data could be combined to study, with increased statistical power, the variance across of the ERP components across the 6 frames of the trial. In addition, any differences from the experimental conditions across experiments, such as the different non-alphanumeric symbols between Experiment 1 and Experiments 2 and 3, as well as the use of two different colours in Experiment 3, would be absent from the frame analysis as all the experimental conditions were combined for each of the frames.

Experiment 2) gradually decreased with each frame presentation ($F(5, 340) = 13.281, p < .001, \eta^2 = .169$) as reflected by significant Bonferroni corrected pairwise comparisons between the 1st and 5th frame, the 1st and 6th frame, the 2nd and 4th frame, the 2nd and 5th frame, the 2nd and 6th frame, the 3rd and 5th frame, the 3rd and 6th frame, and the 4th and 6th frame ($p < .037$). The latency of the posterior N1 did not vary between the six frame positions ($F(5, 340) = 1.055, p = .358, \eta^2 = .015$). The posterior P2 (200 – 250 ms in Experiments 1 and 3; 215 – 265 ms in Experiment 1) was significantly larger in the first frame than for the following frames, which had equivalent amplitudes ($F(5, 340) = 72.703, p < .001, \eta^2 = .517$). Bonferroni pairwise comparisons illustrate this effect (comparisons between the 1st and all subsequent frames, $ps < .001$, comparisons between 2nd, 3rd, 4th, 5th, and 6th frame, all $ps > .999$). No variations in the onset latency of the posterior P2 were present ($F(5, 340) = 1.648, p = .176, \eta^2 = .024$).

The N2pc (210 – 250 ms) also varied both in amplitude ($F(5, 340) = 4.970, p < .001, \eta^2 = .068$) and latency ($F(5, 340) = 15.967, p < .001, \eta^2 = .190$). The 6th frame of the trial had a smaller amplitude, as shown by significant Bonferroni pairwise comparisons between the 6th frame and the 2nd, 3rd and 4th frames (all $ps < .040$). Additionally, the onset of the 1st frame was delayed while subsequent frames showed no variance in latency, as shown by Bonferroni pairwise comparisons between the 1st and all subsequent frames ($ps < .001$). Lastly, no modulation of latency nor amplitude were present for the SPCN (400 – 500 ms; amplitude: $F(5, 340) = .255, p = .922, \eta^2 = .004$; onset: $F(5, 340) = .466, p = .681, \eta^2 = .007$).

N2pc

Given the general stability of the N2pc across frame positions in the trials, we performed subsequent analyses without regard to frame-position. Here, we focused on results from Experiment 1. Three separate mixed ANOVAs measured the variance of the amplitude, onset latency, and offset latency of the N2pc (210-250 ms post-stimulus) with factors target presence, the distance separating the salient items in the visual presentation, and the semantic category of the salient distractor in a visual presentation (within subject factors), and groups (frame duration of 200 or 300 ms; between subject factors). Figure 3 illustrates the lateralised waveforms produced by the different experimental condition. No differences were detected for the overall N2pc between the two groups (amplitude: $F(1, 27) = .057, p = .813, \eta^2 = .002$; onset: $F(1, 27) = .684, p = .416, \eta^2 = .025$; offset: $F(1, 27) = .164, p = .689, \eta^2 = .006$). Additionally, although the amplitude of the N2pc appeared to increase when the target was present in the frame, this difference did not reach significance ($F(1, 27) = 2.835, p = .104, \eta^2 = .095$; onset: $F(1, 27) = .112, p = .740, \eta^2 = .004$; offset: $F(1, 27) = .796, p = .380, \eta^2 = .029$). The distance separating the two salient stimuli did, however, significantly modulate both the amplitude and the onset latency of the N2pc (amplitude: $F(1, 27) = 14.672, p = .001, \eta^2 = .352$; onset: $F(1, 27) = 9.148, p = .005, \eta^2 = .253$; offset: $F(1, 27) = 2.039, p = .165, \eta^2 = .070$). The amplitude of the N2pc was attenuated and the onset delayed when the two salient items were presented in adjacent positions. The category of the salient distractor present in the visual presentation also generated significant variance in the amplitude and the offset latency of the N2pc, as well as marginal variance in the onset of this component (amplitude: ($F(2, 54) = 23.970, p < .001, \eta^2 = .470$; onset: $F(2, 54) = 3.011, p = .067, \eta^2 = .100$; offset: $F(2, 54) = 4.515, p = .018, \eta^2 = .143$). Bonferroni pairwise comparisons between the salient distractor

categories on the amplitude and offset latency of the N2pc corroborated a significant difference between the 3 salient distractor category where the non-alphanumeric distractors generated a reduced amplitude and earlier offset of N2pc while the digit salient distractor category resulted in an increase in the amplitude of the N2pc (consonant vs digit, amplitude: $p = .041$; offset: $p > .999$; consonant vs symbol, amplitude: $p = .002$; offset: $p = .070$; digit vs symbol, amplitude: $p < .001$; offset: $p = .033$).

Insert Figure 3 about here

Importantly, there was a significant interaction between semantic categories of the salient distractors and the distance separating the salient items on the amplitude of the N2pc (amplitude: $F(2, 54) = 6.685, p = .003, \eta^2 = .198$; onset: $F(2, 54) = 1.537, p = .226, \eta^2 = .054$; offset: $F(2, 54) = 2.145, p = .130, \eta^2 = .074$). Post-hoc Bonferroni pairwise comparisons between the salient distractor categories were calculated for the two distances separating the salient stimuli separately in order to decompose the interaction. When the salient items were presented in adjacent positions, the amplitude of the N2pc was significantly attenuated for non-alphanumeric symbols as compared to the consonant and the digit salient distractor categories (both $p < .001$), while no differences were present between the consonant and digit salient distractor categories ($p > .999$). When items were presented farther apart, no differences were detected between the consonant and non-alphanumeric distractor categories ($p = .919$). The digit distractor category, however, showed an increased amplitude compared to the consonant and non-alphanumeric symbol salient distractor categories ($p = .012$ and $p = .001$, respectively).

A three-way interaction was also found for the amplitude of the N2pc between target presence and the semantic category of the salient distractors amongst the two groups (amplitude: $F(2, 54) = 4.692, p = .019, \eta^2 = .148$; onset: $F(2, 54) = 1.907, p = .162, \eta^2 = .066$; offset: $F(2, 54) = .792, p = .457, \eta^2 = .029$). Table 1 lists the average amplitudes of the means producing this interaction. The pattern of means suggests the amplitude of the N2pc increased when a target was present in the frame, but the degree of increment was variable across the distractor categories of the two groups: a larger difference was detected in the second group across target presence as compared to the first group. We have no ready explanation for this effect. Given that the interaction between target presence and semantic category did not replicate in Experiments 2 and 3, the present result could be a Type I error, and will not be discussed further.

Insert Table 1 about here

Discussion

A Multiple Frame Procedure (MFP) was used to investigate the joint effects of target-distractor similarity and distance on mechanisms of attention. In each trial, a series of six visual frames were presented sequentially at a rate (about one frame per second, 900 ms \pm 100 ms to be exact) that allows the associated cognitive processes of each frame to occur without significant interference from preceding or following frames (see, e.g., Arnell & Jolicoeur, 1999). In support of this new paradigm, high accuracy scores were obtained in all three experiments, showing that participants were able to process the vast majority of frames correctly and count targets when they were present. To validate the experimental paradigm,

both the amplitude and onset latency of 5 ERP components (P1, posterior N1, posterior P2, N2pc, and SPCN) were measured at each of the 6 frame positions during the trial sequences. The absence of a main effect of Experiments or of an interaction between Experiments and the frame position supports the robustness of the observed results for the frame positions during the trial sequences. All ERP components were present for each frames suggesting that the display of each of the six frames was properly perceived, attended, and processed. Therefore, the presentation of multiple visual search frames within a single trial does not interfere with the processing of each frame individually. Importantly, the differences across frames for the N2pc, while statistically significant, were sufficiently small to have negligible consequences for subsequent analyses of effects of distance and distractor category. We note that the posterior N1 showed a gradual decrease in amplitude with each subsequent frame in the trial sequence, suggesting adaptation of an underlying process. Currently, less is known on the posterior P2 (see Luck, 2005) and we find it interesting that the amplitude of the posterior P2 was larger for the first frame than for subsequent frames, which may reflect a start-up cost associated with engaging task-related processing.

Amplitude variations were detected on the last frame of the trial for the N2pc. It is possible that this effect results from target presence predictability for the last frame of the trial. Possible target counts for the trial were in increments of two (0, 2, 4, or 6 vowels could be present in the trial). Consequently, it was possible to determine this number by the 5th frame of the trial (for example, if by the 5th frame, the accumulated count was 3, one could expect to find a vowel on the 6th frame). This predictability of the frame would cause participants to not deploy attention on the final frame on some of the trials, resulting in overall reduced amplitude

of the N2pc for the 6th frame. Although this effect reflects a possible weakness for the present study, the effect was numerically small and unlikely to bias the results. We also found a reliable delay of the onset of the N2pc on the first frame, with no further variation in latency for subsequent frames. This initial delay suggests a small ‘warm-up’ cost for the first attentional deployment, on frame 1, followed by stable ongoing performance once the sequence was engaged. In addition, the fact that N2pc remained constant (except for the last frame) in amplitude while the N1 decreased steadily over the sequence of frames provides evidence for their functional independence.

It is also interesting that the posterior N1 component decreased in amplitude across frames, despite the relatively long inter-frame delay. The steady decline in N1 amplitude is consistent with neuronal habituation at some level in the visual system, under conditions of repetitive visual stimulation, as suggested by Casiraghi, Fortier-Gauthier, Sessa, Dell'Acqua, & Jolicoeur (2013).

Given that our focus was on the study of visual spatial attention, via the N2pc, the fact that N2pc amplitude and latency remained relatively constant, across frames (with no variations for the SPCN), we performed further analyses of lateralized components without regard to frame position.

Competition for representation by neurons of a receptive field, by way of mutual suppression, is present when multiple stimuli fall within this same receptive field (Moran & Desimone, 1985; Desimone & Duncan, 1995). Hilimire et al. (2009), observing a similar

pattern in the N2pc, proposed that this competition results in the degradation of target selection processes, as reflected by an attenuation of the N2pc component, when attended salient items are presented in close proximity to one another. Consequently, should the competition for representation be increased, target selection processes should, therefore, be further degraded. Previous studies have shown that distractors having a greater similarity to the target generate a greater level of competition for attention, as reflected in contingent capture. Therefore, we postulated that increasing the similarity between the salient distractor and the target would increase competition among salient items that fall within the same receptive fields. An increase in competition would be reflected by an attenuation of the N2pc, according to Hilimire et al. (2009). However, the results obtained in this first experiment suggest this is not the case. Increasing similarity to the target in close proximity from non-alphanumeric character distractors to consonant or digit distractors produced an increase in N2pc, not a decrease.

Interestingly, at the same time, we replicated the effect of distance reported by Hilimire et al. (2009, 2010): N2pc generally decreased in amplitude as distance was reduced. What our results show, however, is that the distance effect interacts with the category of the salient distractors. The amplitude of the N2pc was more strongly attenuated when the salient distractor in the visual presentation was a non-alphanumeric symbol, differing in low-level of similarity to the target, while little to no distance effect was detected when the salient distractor was a consonant, sharing the highest level of similarity to the target. All of these results cannot be accommodated with a single underlying explanatory mechanism, such as a reduction of N2pc with increasing competition. Neither can a monotonic distractor

suppression account explain the results (e.g., Luck & Hillyard, 1994b). On that account, decreasing distance should increase the need for distractor suppression, and thus N2pc should increase in amplitude. Instead, the opposite occurs, suggesting that the distractor-suppression account is also incomplete.

Experiment 2

The results of Experiment 1 were clear-cut: N2pc amplitude decreased with distance, and especially for the non-alphanumeric symbol distractor category. How to interpret these results, however, is less clear because the non-alphanumeric distractors were not only semantically different from vowels (consonants and digits), but also they differed in their physical form features (as shown in Figure 1). It is therefore possible that the physical differences between targets and non-alphanumeric symbols were the cause of the attenuation of N2pc at short distance. If the semantic relationship between the target and the salient distractor was the underlying cause, a similar trend to that seen for the non-alphanumeric symbols would have been present for the digit distractor category, as its semantic distance to the target category was greater than for consonants. This result suggests that the most likely cause of the disproportionate reduction in N2pc amplitude with decreasing distance for the non-alphanumeric characters was their physical feature differences relative to the target vowels.

Experiment 2 was designed to test this hypothesis by repeating Experiment 1 except for a change in the physical strokes used to draw a new set of non-alphanumeric characters. As shown in Figure 4, the new set of characters used the same strokes for all 4 categories,

including the non-alphanumeric category. If the semantic relationship between distractor and target was a contributor to the effects observed in Experiment 1, we should replicate (at least partially) the main result, namely a greater reduction in N2pc with decreasing distance for non-alphanumeric characters, relative to consonants and digits. If difference in physical form was the cause, then the effect should disappear in Experiment 2 because physical differences across categories were eliminated at the level of individual character strokes. Specifically, the strong attenuation in the amplitude of the N2pc when the visual display contained non-alphanumeric distractors and the salient items were presented in spatial proximity of each other should no longer be present in this experiment.

Method

The same procedures as in Experiment 1 were used in Experiment 2, except for the following modifications. The frame presentation duration was maintained at 200 ms for all participants. Additionally, new exemplars composed the non-alphanumeric distractor group. The physical shapes of these new symbols were more similar to those of the other categories (vowels, consonants, and digits) given that all shapes were created using the same underlying strokes, as illustrated in Figure 4. Lastly, a slight modification was made to the “E” character of the target category by lengthening the middle horizontal line so it would be identical to the stroke in all characters.

Insert Figure 4 about here

Participants were also separated into two groups based on the color of the salient items presented throughout the experiment. Some participants were presented with blue salient items (with grey non-salient distractors), while other participants were presented red salient items (with grey non-salient distractors). The motivation for this between-subjects manipulation will become clear in Experiment 3. The blue (identical to the first experiment), red, and grey (identical to the first experiment) were all approximately equiluminant (blue: 7.21 cd/m²; red: 7.16 cd/m²; grey: 7.04 cd/m²), measured using a chromameter.

EEG was recorded from 36 participants and data from 11 were excluded from analysis; 4 were excluded due to low accuracy (less than 70%), 4 were excluded as less than 50% of the trials were retained in one or more condition as a result of artifact and ocular rejection, and 3 were excluded as mean HEOG/VEOG (separated between left and right presentations) deviated more than 5 μ V, suggesting residual eye movements toward the target. The remaining 25 participants (mean age: 23.16 \pm 4.51; 6 males, 2 left-handed) were included in data analysis, in which 16 participants (mean age: 22.5 \pm 4.00; 1 male, 2 left-handed) were presented with blue coloured salient items, and 9 participants (mean age: 24.33 \pm 5.34; 5 males, 0 left-handed) were presented with red coloured salient items.

Results

Behavioural Results

High accuracy scores were obtained for both groups (blue salient items: 88.73% \pm 5.90%; red salient items: 90.93% \pm 8.45%). These scores were not significantly different

across groups, $t(23) = .766, p = .451$, suggesting that the task difficulty remained the same, regardless of the colour of the salient items.

Electrophysiological Results

Figure 5 illustrates the lateralised waveform for these results. The amplitude and latency for N2pc (210 – 250 ms) did not differ between the two groups, divided by the colour of the salient items (either blue or red; amplitude: $F(1, 23) = .211, p = .650, \eta^2 = .009$; onset: $F(1, 23) = 1.326, p = .261, \eta^2 = .055$; offset: $F(1, 23) = .130, p = .721, \eta^2 = .006$). No modulation of N2pc was detected for the presence of a target in the visual presentation (amplitude: $F(1, 23) = .104, p = .750, \eta^2 = .005$; onset: $F(1, 23) = .637, p = .433, \eta^2 = .027$; offset: $F(1, 23) = .071, p = .792, \eta^2 = .003$). The amplitude of the N2pc was attenuated and the onset delayed when the two items were presented in adjacent positions in the visual hemifield (amplitude: $F(1, 23) = 20.126, p < .001, \eta^2 = .467$; onset: $F(1, 23) = 25.948, p < .001, \eta^2 = .530$; offset: $F(1, 23) = 1.749, p = .199, \eta^2 = .071$). Additionally, the semantic category of the salient distractor, either consonants, digits, or non-alphanumeric symbols, also modulated the amplitude of N2pc (amplitude: $F(1, 23) = 3.451, p = .047, \eta^2 = .130$; onset: $F(2, 46) = 1.097, p = .340, \eta^2 = .046$; offset: $F(1, 23) = .041, p = .931, \eta^2 = .002$). Bonferroni corrected pairwise comparisons reveal that the digit distractor category generated a larger amplitude than consonants ($p = .055$) and non-alphanumeric symbols ($p = .082$) while the amplitude of the N2pc did not differ between the latter two salient distractor categories ($p > .999$).

Add Figure 5 about here

An interaction was also detected on the onset latency of the N2pc for the distance separating the salient items in the visual field and the category of the salient distractors ($F(2, 46) = 3.497, p = .043, \eta^2 = .132$). Paired t-tests (with corresponding adjustment of the significance threshold) were calculated to further investigate the distance effect on the different salient distractor groups separately. These analyses revealed a delay in N2pc onset when the salient items were presented in adjacent positions, for both consonant and non-alphanumeric symbol distractor categories ($p < .002$ in both cases). However, this trend was not significant for the digit category ($p = .213$).

Experiment 2 revealed no differences between the consonant and non-alphanumeric salient distractor categories. Specifically, the increased attenuation of the amplitude of N2pc, in Experiment 1, for the symbol category when the salient items were presented in proximity to each other, was absent in Experiment 2. Additionally, Experiment 2 showed no difference in the offset of N2pc between the three salient distractor categories.

Experiment 1 vs Experiment 2

To determine whether the attenuation of the N2pc for non-alphanumeric symbols, when the salient items were presented in adjacent positions, resulted from a low-level physical distinction or from semantic disparity between distractor and target, independent t-tests were computed for this salient distractor category for the two distance conditions. If the effect for this category is dependent on low-level distinctions, significant differences will be detected across the two experiments when the salient items were present in adjacent positions. However, we postulated that the similarity between distractor and target does not play a role

when the salient items are separated by a greater distance, there should be no difference between the experiments for this condition. Additionally, no differences should be present between the other salient distractor categories, regardless of the separation between the salient items in the visual field as these categories were comprised of the same exemplars in both Experiment 1 and 2. Independent *t*-tests were computed for these categories. The *t*-tests across Experiment 1 and 2 show just that. A significant difference was found for the non-alphanumeric distractors when the salient items were presented in adjacent positions ($t(52) = 3.221, p = .002$) while no differences were found when the salient items were separated by a greater distance ($t(52) = 1.370, p = .177\dots$). Furthermore, no significant differences were found between Experiments 1 and 2 for the consonant or digit distractors whether they were presented close or farther apart from each other (all t s $< .960, p$ s $> .342$).

Discussion

The focus of Experiment 2 was to determine if the results observed in the preceding experimental design resulted from a difference in form features across the non-alphanumeric distractors and vowel targets, or in contrast, to a difference at the level of semantics. Because the new non-alphanumeric distractors were composed of parts or features that overlapped completely with the feature set used for the other categories, we minimized feature differences in form across categories. If the effects in Experiment 1 were due to form differences, then no differences would be expected here. In this case, the N2pc should be the same across the three distractor categories, regardless of their semantic similarity to the target. Indeed, the most important outcome of Experiment 2 was the absence of differential effects, both in amplitude or in onset latency of the N2pc, between the consonant distractor and the non-alphanumeric

distractor categories. These results suggest that semantic effects in the present results were small or nil and that the non-alphanumeric symbol effect observed in Experiment 1 was elicited by the distinctive form features composing the items. These results are supported by the significant differences between experiments for the non-alphanumeric distractors, when these items are presented in adjacent positions, while no differences were found for the consonant and digit distractor categories.

Additionally, in line with Hilimire et al. (2009, 2010), a distance effect on the N2pc was also found in Experiment 2. The amplitude of the N2pc was attenuated and the onset was delayed when the salient items were presented in adjacent positions. This result further supports the role of competition and the likelihood of stimulating common receptive fields in the need for attentional deployment.

Experiment 3

The salient stimuli in Experiments 1 and 2 had the same colour. Experiment 3 was designed to examine if the distance effects found in Experiment 2 would be different if the two salient items were in different colours (as in Hilimire et al., 2009). We wished to determine if, by differentiating the colour of the salient items in the visual presentation, each item could be more easily distinguished and individuated from the other. When two items are separated by a short distance and can be distinguished on the basis of a low-level physical feature, such as colour, attention might be more readily disengaged from the non-pertinent item. If true, the amplitude of the N2pc might be further attenuated when the salient items are presented in

proximity to one another regardless of the physical form similarity between the salient distractor and the target.

A comparison of distance effects across Experiments 1, 2, and 3, should permit a preliminary determination of how feature differences across target and distractor are used in the selection and processing of targets and distractors. Importantly, in Experiment 1, the form difference not only provided a basis for discrimination of the two salient items, but form was the dimension used to select the target. Removing low-level feature differences in Experiment 2 eliminated the disproportionate reduction in N2pc for non-alphanumeric character distractors. Experiment 3 will allow us to determine if any distinguishing feature value in close proximity is sufficient to produce a large decrease in N2pc, or if the feature difference must be one that supports the selection process directly by virtue of being included in the original selection parameters (or selection template). The colour difference we used in Experiment 3 could not be used to support target selection directly because the target could be presented in either colour (red or blue) with equal probability. Only once selected on form, could the colour difference be used to assist in filtering in the target while filtering out the distractor. We might refer to this distinction as a post-selection feature difference as opposed to a pre-selection feature difference. If a post-selection feature difference is sufficient, then large distance effects on N2pc should be found in Experiment 3, in all three categories, and the results in the short-distance condition should approach what we found in Experiment 1 for the non-alphanumeric characters. If a post-selection feature difference is not sufficient, then the distance effects should be similar to those found in Experiment 2.

Method

The procedure was the same as in Experiment 2, except for the following modification. The two salient items presented in each frame were in different colours. One salient item was blue while the second was red, presented in the context of non-salient grey distractors. These colours were the same as in Experiment 2 (and were thus equiluminant). The colour of the target and distractor varied randomly from frame to frame, with an equal probability for the target to be blue or red. Consequently, participants did not know which item could be the target and likely attended to both of them while trying to determine if one of them was a vowel.

EEG recordings from 28 participants were collected for this experiment. A total of 11 participants were excluded from analysis; 3 were excluded due to low accuracy scores (less than 70%), 3 were excluded as less than 50% of the trials in at least one experimental condition remained after artifact and ocular rejection, and 2 were excluded as a deviation greater than $5\mu\text{V}$ was present on the mean HEOG or VEOG signal (average of all condition presented to the left and right visual hemifield separately). These strict criteria were designed to circumvent contamination of the ERP component from eye movements toward the salient items. To maintain a normal distribution of the data, calculated from the N2pc time window from the averaged lateralized waveform, an additional three participants were excluded from analysis due to outlying data. Normality of distribution was necessary for comparisons of results obtained across experiments. In total, 17 participants (mean age: 23.47 ± 3.91 ; 2 males; 4 left-handed) were included in data analysis.

Results

Behavioural results

High accuracy scores were once again obtained by the participants included in the analysis ($80.45\% \pm 8.25\%$). This is indicative that the participants were able to attend to both salient items in most frames and complete the required task regardless of the additional differentiation, by colour, of the salient items.

Electrophysiological results

To measure the independent and interactive effects of target presence, the distance separating the two salient items and the salient distractor category, separate repeated-measure ANOVAs were calculated on the amplitude and latencies of the N2pc (210 – 250 ms). Figure 6 illustrates the corresponding lateralized waveforms. No interactions were found between these three experimental factors. However, significant effects were found for the amplitude of the N2pc in regards to both target presence and the distance separating the salient items in a visual presentation, independently. Specifically, the amplitude of the N2pc increased when the target was present in the frame (amplitude: $F(1, 16) = 12.494, p = .003, \eta^2 = .438$; onset: $F(1, 16) = .070, p = .795, \eta^2 = .004$; offset: $F(1, 16) = .011, p = .918, \eta^2 = .001$). Additionally, the amplitude of the N2pc increased with an increased distance separating the salient items (amplitude: $F(1, 16) = 21.213, p < .001, \eta^2 = .570$; onset: $F(1, 16) = 1.756, p = .204, \eta^2 = .099$; offset: $F(1, 16) = .922, p = .351, \eta^2 = .054$). The salient distractor category (consonants, digits, or non-alphanumeric symbols) presented in the visual stimulation only showed marginal variability on the amplitude of N2pc (amplitude: $F(2, 32) = 3.181, p = .057, \eta^2 = .166$; onset: $F(2, 32) = .608, p = .518, \eta^2 = .037$; offset: $F(2, 32) = .888, p = .405, \eta^2 = .053$).

Experiment 2 vs. Experiment 3

We compared the results of Experiment 3 (different colours) with those found in Experiment 2 (same colour) in mixed ANOVAs that included three within-subjects experimental factors: Target Presence, Distance separating the salient items, and salient Distractor Category and one between-subjects factor, Experiment. There was no overall effect on N2pc of presenting the two salient items in different colours (Experiment 3) as opposed to in the same colour (Experiment 2) on amplitude, onset, and offset latency of N2pc (210 – 250 ms post-stimulus; amplitude: $F(1, 40) = .449, p = .507, \eta^2 = .011$; onset: $F(1, 40) = 1.731, p = .196, \eta^2 = .041$; offset: $F(1, 40) = .729, p = .398, \eta^2 = .018$). Nonetheless, differences were detected across the three experimental factors. A significant interaction for target presence was found when the colour of the salient items (either same or different) comes into play (amplitude: $F(1, 40) = 4.847, p = .034, \eta^2 = .108$; onset: $F(1, 40) = .385, p = .539, \eta^2 = .010$; offset: $F(1, 40) = .046, p = .831, \eta^2 = .001$). The presence of a target in the frame only modulated the amplitude of the N2pc when the salient items were of different colours (see Figure 6). No differences for target presence were detected when salient items were of the same colour (see Figure 5).

The distance effect, a reduction in the amplitude of the N2pc for adjacent salient items was present in both experiments. This effect did not interact with the difference in colour of the salient items in the visual field (amplitude: $F(1, 40) = 1.534, p = .223, \eta^2 = .037$; onset: $F(1, 40) = 2.002, p = .165, \eta^2 = .048$; offset: $F(1, 40) = .022, p = .882, \eta^2 = .001$). Similarly,

no interaction was detected between the experiments and the salient distractor categories (amplitude: $F(2, 80) = .039, p = .957, \eta^2 = .001$; onset: $F(2, 80) = .246, p = .760, \eta^2 = .006$; offset: $F(2, 80) = .558, p = .567, \eta^2 = .014$). Furthermore, no interactions across the 3 experimental factors were present when comparing the two experiments (amplitude: all F s < .559, p s > .563, η^2 s < .014; onset: all F s < 1.561, p s > .217, η^2 s < .038; offset: all F s < .731, p s > .456, η^2 s < .018).

Discussion

This third experiment aimed to examine the role of post-selection feature distinctions between the salient items on the N2pc. The two salient items were in two different colours (one blue and one red). Although this colour difference made it easy to distinguish the two items, colour could not be used to select which one was the target because the target could be in either colour, at random, from frame to frame. Therefore, should results reveal an increased attenuation of amplitude when the salient items were presented in close proximity to one another, this would suggest that the effect observed in Experiment 1 for the non-alphanumeric could result from filtering stages that occur after attention has been focused on one of the two salient items. On the other hand, equivalent distance effects as in Experiment 2 would suggest that the attenuation of N2pc for non-alphanumeric distractors in Experiment 1 resulted from top-down target-filtering processes. The current results reveal two main effects for the N2pc: an increase in amplitude for target presence, and an increase in amplitude when the salient items were presented farther apart in the visual hemifield. The latter effect, however, did not significantly differ from the observed distance effect of Experiment 2, revealing that the

colour of the salient items, being either the same or different, does not modulate the distance effect.

A second effect, an increase in amplitude of N2pc by the presence of a target in the frame, was also present in Experiment 3, and this effect significantly differed from Experiment 2, where no differences were detected for target presence or absence in the frame. These results therefore suggest that facilitation of individualisation of the salient items may also modulate attentional selection.

General Discussion

A robust N2pc response was observed in all conditions in all three experiments as a function of the visual field in which potential targets were presented. In the present experiments, every frame contained two salient items that were equally likely to be a target. We assume that attention was allocated to both of them, an assertion that is supported by the effects of distance and similarity on the amplitude of the N2pc. There is good evidence that the amplitude of N2pc sometimes increases as the number of salient potential targets increases (Mazza & Caramazza, 2011) under conditions in which items need to be individuated to perform a given task. As in the work of Hilimire et al. (2009, 2010), we varied the distance between two salient potential targets and generally found that the amplitude of the N2pc decreased as distance decreased. The most important new finding from the current work was that the distance effect was strongly modulated by the physical similarity of the potential targets to the selection template for targets in the task.

Taken as a whole, several aspects of our results appear to be inconsistent with two major proposals for the underlying mechanisms leading to the N2pc. Consider first the distractor suppression hypothesis proposed by Luck and Hillyard (1994b). In their view, the N2pc reflects a process involved in the suppression of competing information from distractor items. A larger N2pc is predicted when there is greater competition between targets and distractors. This hypothesis is able to account for the reduction in N2pc found in Experiment 1 when the non-alphanumeric distractors were physically dissimilar to the target template. A decrease in similarity would reduce the need for distractor suppression, and thus produce a smaller N2pc, as was found. Importantly, however, the increase in N2pc with increasing distance between salient items is problematic for the account. Increasing physical separation decreases competition, as shown for example in a reduction of flanker interference on response times and accuracy (e.g., Eriksen, 1995). A decrease in distractor competition with increasing distance should cause N2pc to decrease, but the opposite was found here and by Hilimire et al. (2009, 2010). Consequently, the distractor suppression hypothesis appears incomplete.

The account for distance effects proposed by Hilimire et al. (2009, 2010) based on the biased-competition model of Moran and Desimone (1985) can explain part of the results, and in particular the decrease in the amplitude of N2pc with decreasing distance. This is not surprising because the hypothesis was initially proposed specifically to account for this effect. According to the hypothesis, increasing competition by decreasing distance causes an increase in mutual interference between the competing salient stimuli. Mutual interference would cause a reduction in neuronal activity and be reflected in a reduction of N2pc amplitude.

Although this is an elegant explanation for the modulation of N2pc by distance, the explanatory mechanism makes the wrong prediction for the effect of similarity found in Experiment 1. When the non-alphanumeric characters were less similar to targets by virtue of distinctive shape features, competition was reduced. A reduction in competition should reduce mutual interference and thus cause an increase in the amplitude of N2pc. Instead, the opposite was found: N2pc was sharply reduced. As for the distractor suppression hypothesis, the mutual suppression account of Hilimire et al. can account for some of the results but not for all of them with a single explanatory mechanism.

Given the substantial modulation of the amplitude of N2pc by the number of potential target items and the individuation hypothesis of Mazza and Caramazza (2011), one might wonder whether the need for individuation could provide a single sufficient account of our results. However, it is not entirely clear how to apply the individuation idea in our situation given that there were always exactly two salient possible targets. Given that these items presumably had to be individuated to determine whether one of them was a target, the number of individuated items was constant and equal to two. We might suppose that the difficulty of individuation might modulate N2pc. We might then suppose that using two distinct colours (red and blue, in Experiment 3), for the salient items made individuation easier, than using the same colour (Experiments 1 and 2), and that an easier individuation process would lead to a smaller N2pc. However, the amplitude of N2pc was not significantly different across Experiments 2 and 3. Perhaps two blue or two red items were already as easy to individuate as one red and one blue item. Increasing distance would presumably facilitate individuation, which should then decrease N2pc, but N2pc increased with increasing distance. It is possible

that the spatial extent occupied by attended or individuated items modulates N2pc, although this hypothesis does not seem to play a significant role in controlling the amplitude of the SPCN that often follows the N2pc (Jolicoeur, Brisson, & Robitaille, 2008; McCollough, Machizawa, & Vogel, 2007). Still, the N2pc and SPCN can be functionally dissociated and so it is possible that spatial extent might have a minimal impact on SPCN while having a significant impact on N2pc (Jolicoeur et al., 2008). In short, as for the distractor suppression hypothesis and the mutual interference hypothesis, the individuation hypothesis can explain some of the results (most importantly the effects of the number of items to be processed), but it does not provide a clear set of principles by which to explain the distance and similarity effects we found in this study under conditions where the number of individuated items was likely constant.

In light of the current results, we propose an alternative explanation for the distance and similarity effects revealed by our experiments. Our model hinges on the notion that N2pc reflects attentional selection for further processing. In this model, the amplitude of N2pc is influenced by the probability of selection and the number of selected representations. The probability of selection is influenced by the similarity of distractors at various levels of processing. We suppose that the number of individuated items from our displays was constant, at two, and that these items were the saliently-coloured items. Individuated salient items would then be compared against a selection template (or perhaps a set of templates, e.g., one for each vowel) that specified what counted as a target and what could be rejected as a distractor. When one or both salient items could be rejected on the basis of low-level shape features, selection filters could decrease the probability of selection, leading to a smaller N2pc.

Importantly, the early-selection filtering appeared only to work when the two salient items were in close proximity, and presumably present in the same receptive fields of neurons involved in the attentional circuits that modulate the N2pc.

Consequently, we are arguing that some selection processes that modulate N2pc operate on a local spatial scale that we assume to depend on the size of the receptive fields of higher-level visual areas (Desimone & Duncan, 1995). When salient items differed on a low-level physical feature from the target-selection template, these items could be filtered out by this local mechanism, and the probability of selection would be decreased. However, when individuated salient items could not be filtered out at an early stage, both would have been selected and compared with the target template in subsequent processing. Importantly, early-selection based on distinctive shape features in the present context was apparently not possible when the salient items were more widely separated in visual space. This mechanism would provide one basis by which we could begin to explain distance effects, on the supposition that the efficiency of early selection would tend to decrease as distance increased (at least for small shape features). In our view, therefore, the attenuation of N2pc with decreasing distance does not reflect direct competitive interactions between the salient items. Rather, N2pc decreased because selection mechanisms that operate only on a local scale would guide attention to a subset of the salient items competing for selection. Successful selection of a single item or filtering out of an item would cause a reduction of the amplitude of N2pc.

The foregoing account might appear to have difficulty with the distance effects found for digits and consonant distractors in Experiment 1, and for all distractor categories in

Experiments 2 and 3, given that opportunities for local early-selection were minimized in these conditions. One possible answer is that distance effects, although significant, were relatively small in these conditions, consistent with subtle physical differences among stimuli. Another possibility is that some portion of the distance effect could be mediated by selection based on stimulus category, or late selection. On this view, a similar but weaker selection process would allow the 'de-selection' or filtering out of non-vowels, based on category membership, with increasing probability as distance was reduced. There is good evidence that letters and digits trigger brain activations that are differentiable within about 150 ms of stimulus onset (Dehaene, 1996; Bentin, Mouchetant-Rostaing, Giard, Echallier, & Pernier, 1999; Spironelli & Angrilli, 2007).

However, the early-selection effect in the presence of low-level distinguishing features supporting selection, as mentioned in the foregoing paragraph, would have to be clearly stronger to fit the results. Importantly, our data did provide evidence for an influence of category membership on the amplitude of N2pc: the presence of digit distractors was associated with a significantly larger N2pc. Given the absence of significant interactions between distance and distractor category for Experiments 2 and 3 and the digit and consonant categories in Experiment 1, we need to suppose that we did not have the power to detect differences in the efficiency of selection for these categories if there were any in our paradigm.

Some results may appear difficult to explain with our new model. We discuss two such findings here. First, as mentioned in the foregoing paragraph, a larger N2pc was found when the display contained a digit. One could imagine that the vowel-digit distinction would

facilitate the selection of the vowel, ultimately leading to a smaller N2pc according to our account. One possible balancing factor, though, is that letters were more likely to occur, overall, than digits by a factor of 2:1, because target-present displays always contained a vowel (and hence a letter). If the presentation of a less-frequent category created a relative novelty effect, it is possible that attention was directed to digits for a longer period of time before they could be filtered out, compared with consonants (Strayer & Johnston, 2000). A similar underlying novelty effect might also be present for the non-alphanumeric symbol distractor category but would be overshadowed by the shape-feature dissimilarity of the salient distractor category to the target category which reduces selection probability. Another difficult question for our model is why did we find a larger N2pc for target-present displays than for target-absent displays, but only in Experiment 3, when the two salient colour items had different colours, and not in Experiments 1 or 2, when the two salient items were in the same colour? We do not have a good account for this finding. But, it is not clear how the other three accounts we discussed earlier could accommodate this pattern of results.

Conclusion

The present study discovered a new interaction between distractor-target similarity and the spatial separation of salient attended items in the visual field on the amplitude of N2pc. This interaction — a larger decrease in the amplitude of N2pc as distance between salient items is reduced for distractors that are less similar to a target template — is difficult to explain based on extant models of the N2pc. We propose that the N2pc reflects the selection probability of items in visual displays and the operation of a spatially-local selection

mechanism that can filter out distractors with increasing efficiency as the distance between items competing for selection is reduced. Selection of fewer items leads to a smaller N2pc.

References

- Arnell, K. M., & Jolicoeur, P. (1999). The attentional blink across stimulus modalities: Evidence for central processing limitations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 630-648.
- Bentin, S., Mouchetant-Rostaing, Y., Giard, M.H., Echallier, J.F., & Pernier, J. (1999). ERP manifestations of processing printed words at different psycholinguistic levels: Time course and scalp distribution. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *11*(3), 235-260.
- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2008). Express attentional re-engagement but delayed entry into consciousness following invalid spatial cues in visual search. *PLoS one*, *3*(12), e3967.
- Casiraghi, M., Fortier-Gauthier, U., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Jolicoeur, P. (2013). N1pc reversal following repeated eccentric visual stimulation. *Psychophysiology*, *50*, 351-364.
- Chelazzi, L., Duncan, J., Miller, E.K., & Desimone, R. (1998). Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *Journal of Neurophysiology*, *80*, 2918-2840.
- Chelazzi, L., Miller, E.K., Duncan, J., & Desimone, R. (2001). Responses of neurons in macaque area V4 during memory-guided visual search. *Cerebral Cortex*, *11*, 761-772.
- Dehaene, S. (1996). The organisation of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *8*(1), 47-68.
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, *353*(1373), 1245-1255.
- Desimone, R. & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, *18*, 193-222.
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neuropsychology*, *99*, 225-234.
- Eriksen, C. W. (1995). The flankers task and response competition: A useful tool for investigating a variety of cognitive problems. *Visual Cognition*, *2*, 101-118.
- Girelli, M., & Luck, S.J. (1997). Are the same attentional mechanisms used to detect visual search targets defined by color, orientation, and motion? *Journal of Cognitive Neuroscience*, *9*(2), 238-253.

- Folk, C., Remington, R., & Johnston, J. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(4), 1030-1044.
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. (2008). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(4), 760-775.
- Hickey, C., McDonald, J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(4), 604-613.
- Hickey, C., van Zoest, W., & Theeuwes, J. (2009). The time course of exogenous and endogenous control of covert attention. *Experimental Brain Research*, 201(4), 789-796.
- Hilimire, M.R., Mounts, J.R.W., Parks, N.A., & Corballis, P.M. (2009). Competitive interaction degrades target selection: An ERP study. *Psychophysiology*, 46, 1080-1089.
- Hilimire, M.R., Mounts, J.R.W., 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), 1-11.
- Jolicoeur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Research*, 1215, 160-172.
- Kastner, S., De Weerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L.G. (1998). Mechanisms of directed attention in the human extrastriate cortex and revealed by functional MRI. *Science*, 282, 108-111.
- Kastner, S., De Weerd, P., Pinsk, M.A., Elizondo, M.I., Desimone, R., & Ungerleider, L.G. (2001). Modulation of sensory suppression: Implications for receptive field sizes in the human visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 86, 1398-1411.
- Kiss, M., Jolicoeur, P., Del'Acqua, R., & Eimer, M. (2008). Attentional capture by visual singletons is mediated by top-down task set: New evidence from the N2pc component. *Psychophysiology*, 45(6), 1013-1024.
- Leblanc, E., Prime, D., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), 657-671.
- Luck, S.J., & Hillyard, S.A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31, 291-308.

- Luck, S.J., & Hillyard, S.A. (1994b). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(5), 1000-1014.
- Mazza, V., & Caramazza, A. (2011). Temporal brain dynamics of multiple object processing: The flexibility of individuation. *PLoS one*, 6(2), 1-8.
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009). An electrophysiological assessment of distractor suppression in visual search tasks. *Psychophysiology*, 46, 771-775.
- McCollough, A.W., Machizawa, M.G., & Vogel, E.K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, 43, 77-94.
- Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, 229, 782-784.
- Pinker, S. (1984). Visual cognition: An introduction. *Cognition*, 18, 1-63.
- Robitaille, N., & Jolicoeur, P. (2006). Effect of cue-target interval on the N2pc. *NeuroReport*, 17, 1655-1658.
- Sawaki, R., & Luck, S.J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: Electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Attention, Perception, & Psychophysics*; 72(6); 1455-1470.
- Spironelli, C., & Angrilli, A. (2007). Influence of phonological, semantic, and orthographic tasks on the early linguistic components N150 and N350. *International Journal of Psychophysiology*, 64, 190-198.
- 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, 200-202.
- Smulders, F.T.Y. (2010). Simplifying jackknifing of ERPs and getting more out of it: Retrieving estimates of participants' latencies. *Psychophysiology*, 47, 378-392.
- Strayer, D.L., & Johnston, W.A. (2000). Novel popout is an attention-based phenomenon: An ERP analysis. *Perception & Psychophysics*, 62(3), 459-470.
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & Psychophysics*, 50(2), 184-193.
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, 51(6), 599-606.

Woodman, G.F. & Luck, S.J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400(6747), 867-869.

Table 1. Averaged amplitude of N2pc (210 – 250 ms time window) shown for the two groups, separated by frame presentation for salient distractor categories and target presence.

		Group1 (300 ms)		Group 2 (200 ms)	
		Mean Amplitude (μ V)	Standard Error	Mean Amplitude (μ V)	Standard Error
No Target	Consonant	-2.556	0.341	-2.303	0.437
	Digit	-2.613	0.343	-3.380	0.439
	Symbol	-1.786	0.341	-1.331	0.436
Target	Consonant	-2.679	0.393	-2.794	0.502
	Digit	-2.956	0.436	-3.058	0.558
	Symbol	-1.846	0.385	-2.328	0.493

Figure 1. Experimental design of Experiment 1: (A) Illustrates the Multiple Frame Presentation paradigm layout. Each trial consists of 6 consecutive visual search frames each separated by a jittered SOA of $900\text{ms} \pm 100\text{ms}$. (B) Illustrates the different variables composing the visual presentation. Each frame contains 14 non-salient grey items and two salient blue items, either targets (vowels) or salient distractors (consonants, digits, or non-alphanumeric symbols).

Figure 2. ERP waveforms (at PO7/PO8) of the 6 frame positions within the trials. The ERPs present in these waveforms pool both frame presentation durations, either 200ms or 300ms. (A) Bilateral ERP waveform averaged across the contralateral and ipsilateral activity. P1, posterior N1 and posterior P2 components are present in this waveform. (B) Lateralised ERP waveform is obtained by subtracting ipsilateral activity from contralateral counterpart. The lateralized ERP components, the N2pc and SPCN, can be observed from this waveform.

Figure 3. Experiment 1 ERP waveforms at PO7/PO8 electrodes. Top figure shows the ERP signal for consonants (full line), digits (dotted line), and non-alphanumeric symbols (dashed line) both for target present (red) and target absent (blue) trials when the two salient items were presented in adjacent positions. Bottom figure shows the same variables when the distance between the salient items was increased such as they were separated by 3 non-salient distractors. The ERPs present in these waveforms combine both the 200ms and 300ms frame presentation duration as no overall differences were detected for the N2pc for these two durations.

Figure 4. Design of the variables used in Experiment 2. New variables were created for the non-alphanumeric symbol salient distractor category to better match the targets. Additionally, the middle horizontal line of the “E” variable in the vowel category was also extended to be of the same length as its other horizontal lines. Non-salient distractors, consonants, and digits were identical the Experiment 1.

Figure 5. Experiment 2 ERP waveforms at PO7/PO8 electrodes. These waveforms combine the activity for both blue and red salient items as no differences were detected for the N2pc between the two colours. Figure shows the ERP signal for consonants (full line), digits (dotted line), and non-alphanumeric symbols (dashed line) both for in the near condition (red), where salient items were present in adjacent positions, and far condition (black), where salient items were separated by 3 non-salient distractors.

Figure 6. Experiment 3 ERP waveforms at PO7/PO8 electrodes. Top figure shows the ERP signal for consonants (full line), digits (dotted line), and non-alphanumeric symbols (dashed line) both for target present (red) and target absent (blue) trials when the two salient items were presented in adjacent positions. Bottom figure shows the same variables when the distance between the salient items was increased such as they were separated by 3 non-salient distractors.

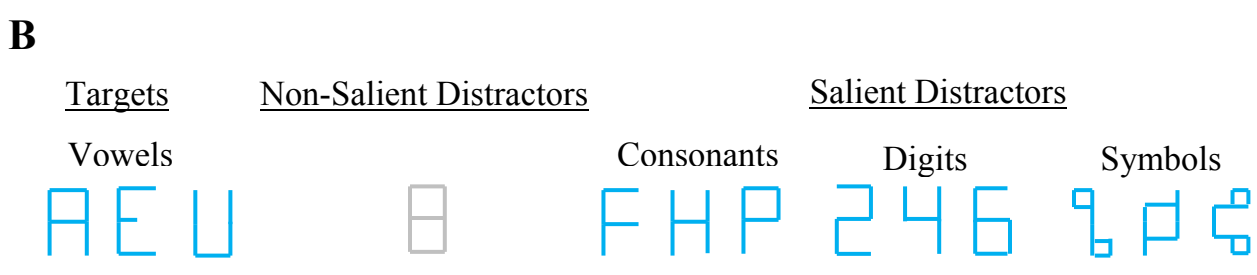
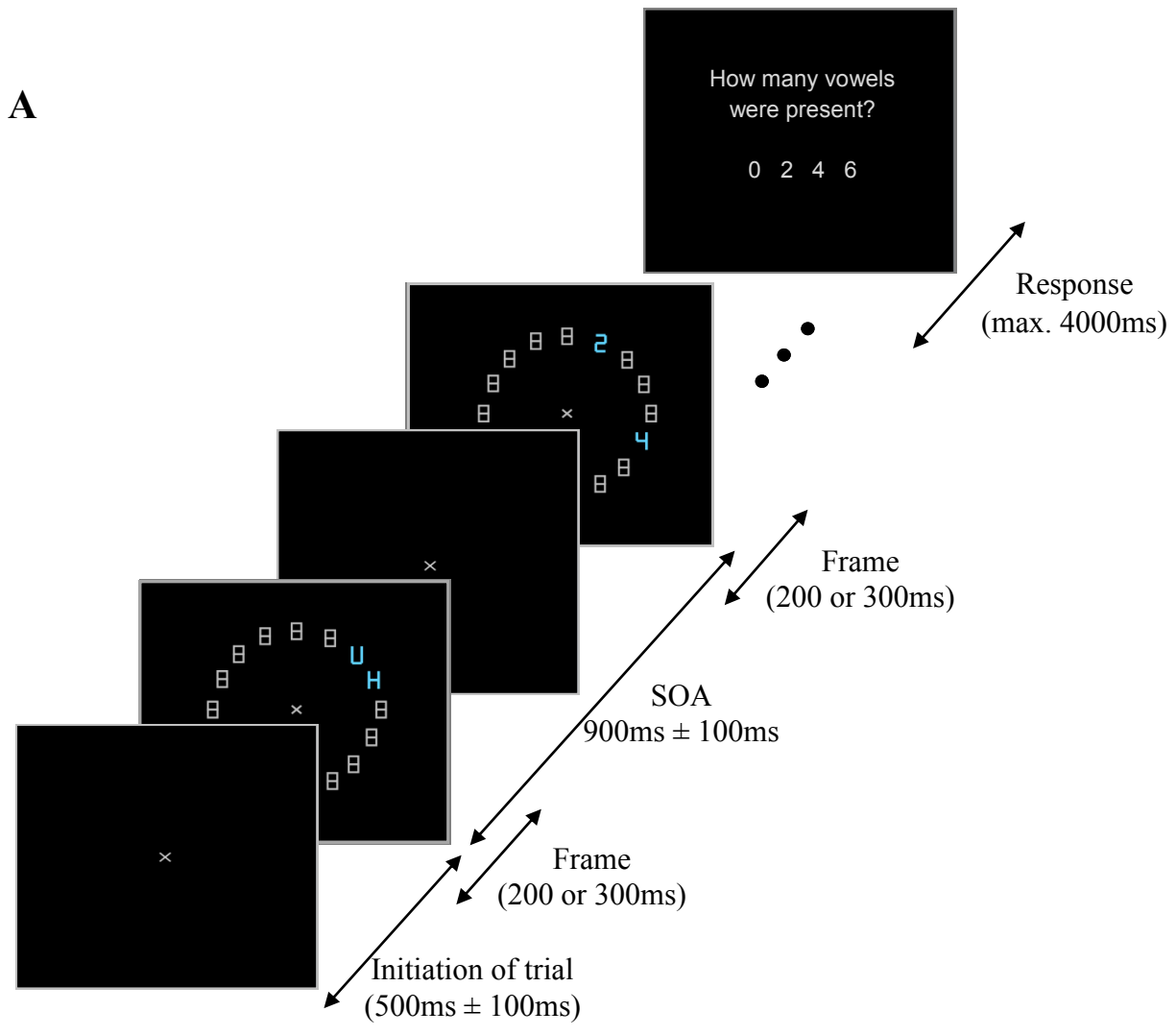


Figure 1

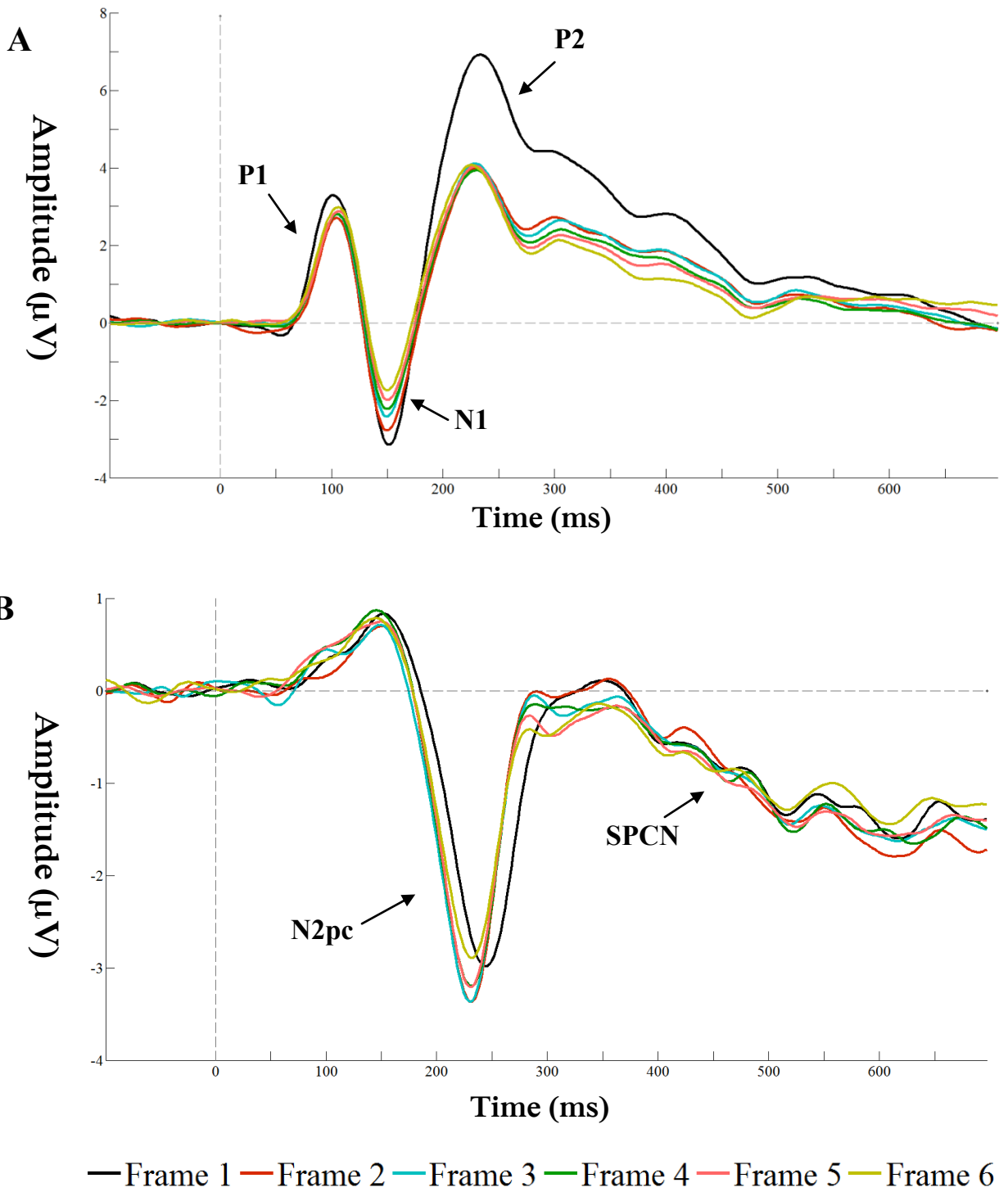


Figure 2

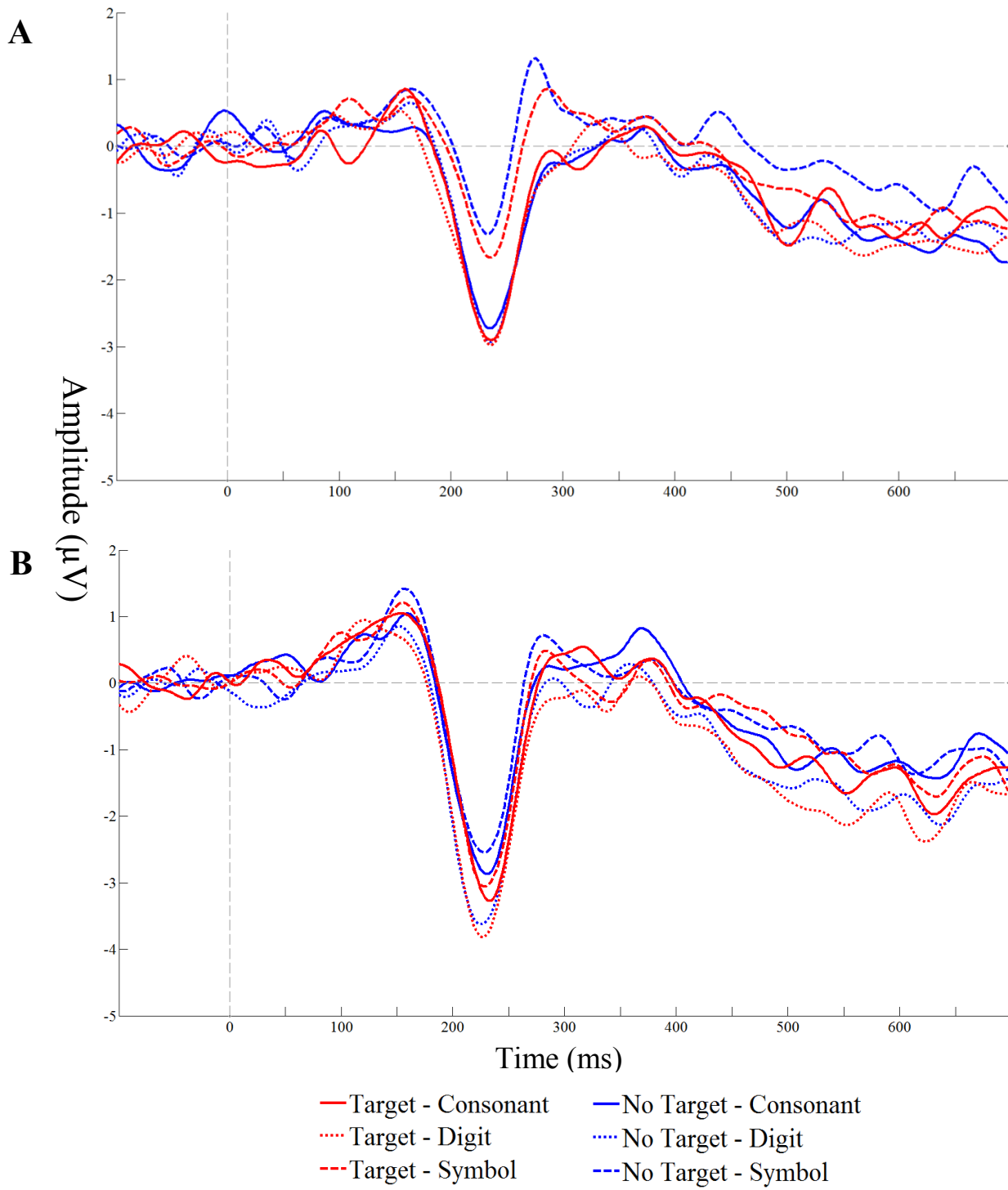


Figure 3

<u>Targets</u>	<u>Non-Salient Distractors</u>	<u>Salient Distractors</u>		
Vowels		Consonants	Digits	Symbols
A E U	8	F H P	2 4 6	∩ ∩ ∩

Figure 4

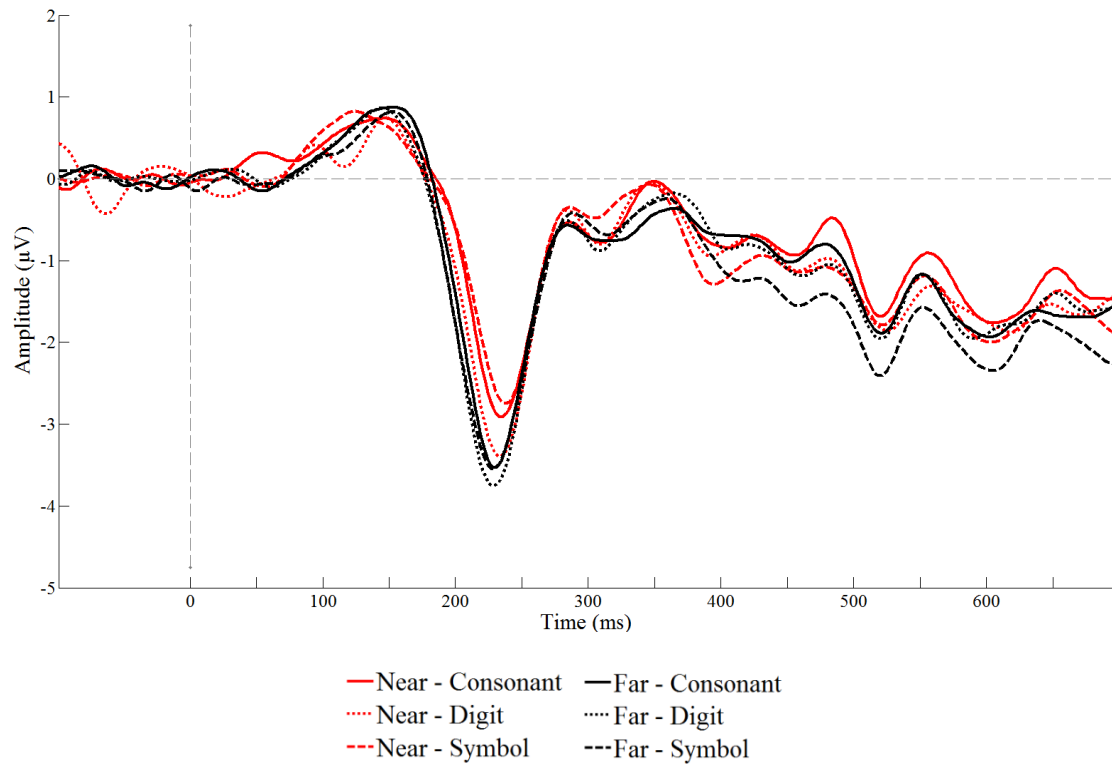
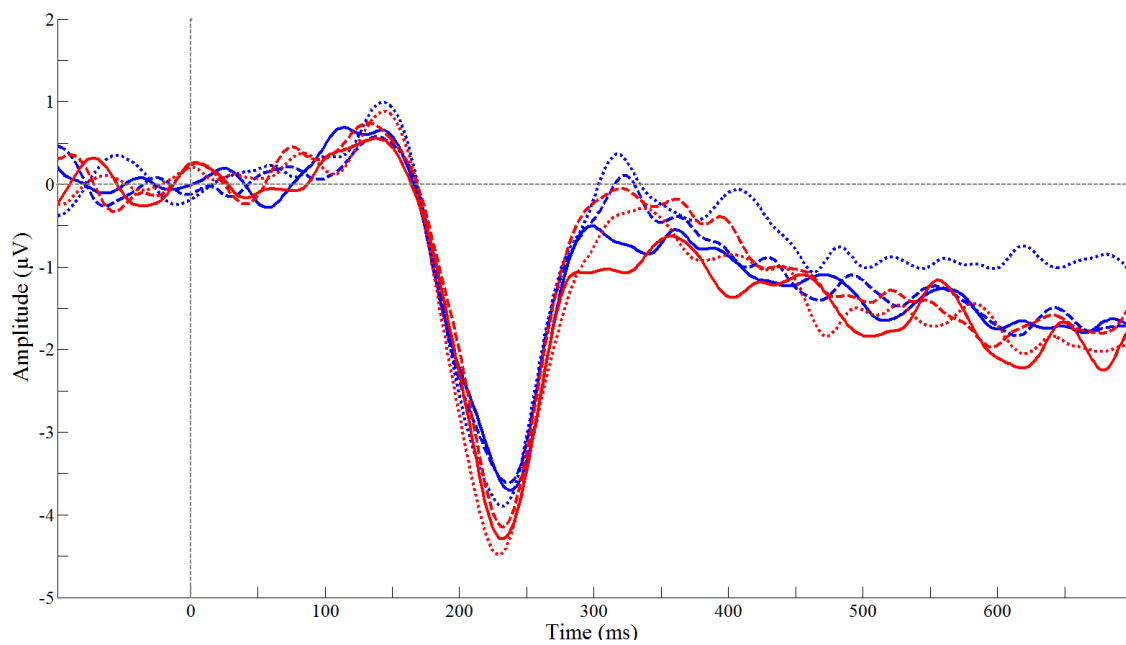
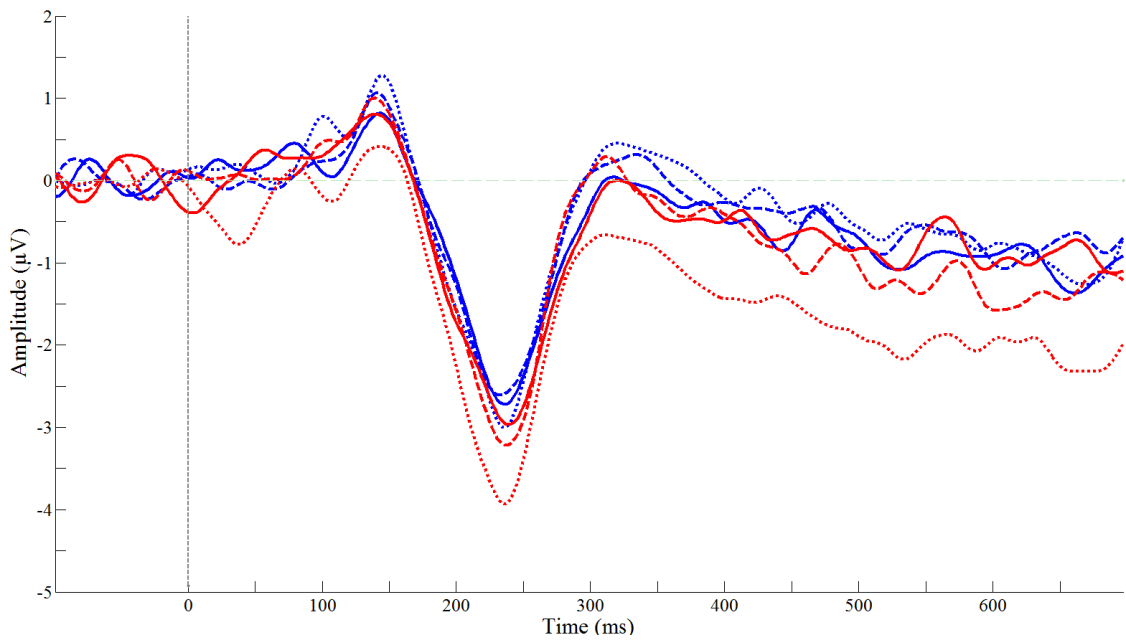


Figure 5



- Target - Consonant — No Target - Consonant
- Target - Digit No Target - Digit
- - - Target - Symbol - - - No Target - Symbol

Figure 6

CHAPITRE III
RÉSULTATS ET CONCLUSION

Discussion des résultats de l'article

Cette présente section fournit un bref sommaire des résultats principaux obtenus lors des expériences qui constituent ce mémoire, et des discussions et conclusions tirées de ceux-ci. Pour une explication plus détaillée, ainsi que les résultats secondaires des expériences, voir les sections *Results*, *Discussion*, et *General Discussion* du chapitre précédent.

Validation de la présentation à images multiples

L'utilisation d'un nouveau paradigme de présentation de stimuli dans cette présente étude, celui d'une présentation à images multiples, nécessite conséquemment une analyse démontrant la validité de ce paradigme. Plus particulièrement, il est nécessaire de démontrer que les composantes présentes dans ce paradigme sont identiques aux composantes observées lors d'un paradigme traditionnel qui consiste en une seule présentation de stimuli par essai. De plus, il importe de démontrer la stabilité de ces composantes au cours de la séquence d'images et que celles-ci ne sont pas influencées par les images précédentes et subséquentes du même essai. Conséquemment, la latence d'apparition et l'amplitude de cinq composantes PREs ont été examinées pour les 6 images qui composent les essais de l'expérience. Les composantes choisies pour une telle analyse étaient soit d'origine bilatérale (P1, N1 postérieure et P2 postérieure) ou latéralisée (N2pc et SPCN) et reflètent soit des processus automatiques (dits exogènes) du système visuel ou des processus cognitifs (dits endogènes), telles l'attention visuo-spatiale et la mémoire de travail visuelle.

La figure 2 (au Chapitre 2) illustre les résultats obtenus pour les différentes composantes PREs lors des 6 images de l'essai. Une variance au niveau de l'amplitude ou de la latence fut détectée pour quatre de ces cinq composantes. On note que la composante P1 est de plus grande amplitude et apparaît plus tôt lors de la première image que lors des images subséquentes. L'amplitude de la N1 postérieure diminue de façon graduelle avec chaque présentation successive de l'essai. L'amplitude de la P2 postérieure, similairement à la P1, était significativement plus grande pour la première image de l'essai sans variation significative pour les images subséquentes. La variation de l'amplitude pour la N2pc, contrairement à la P2 postérieure qui est la composante bilatérale ayant la même présence temporelle que la N2pc, provient d'une réduction de l'amplitude lors de la dernière image de l'essai. De plus, une augmentation de la latence d'apparition de la N2pc est observée pour la première image en absence de variance de la latence pour les images subséquentes de l'essai. Les profils de variations d'amplitude et de latence pour ces composantes suggèrent qu'elles résultent d'une modulation de la sensibilité du système visuel à la suite de présentations répétitives et aux mêmes endroits du champ visuel, mais que les processus cognitifs sous-jacents seraient néanmoins présents. De plus, la réduction graduelle de l'amplitude de la N1 postérieure supporte l'hypothèse de Casiraghi, Fortier-Gauthier, Sessa, Dell'Acqua, & Jolicoeur (2013), qu'il y a une habitude neuronale du système visuel primaire à des présentations visuelles répétitives. La seule exception à l'explication ci-dessus est l'atténuation de l'amplitude de la N2pc lors de la dernière image de l'essai. Cependant, il est fortement probable que cet effet résulte de la prévisibilité de la présence (ou l'absence) de la cible pour cette dernière image. Le choix de réponses possible pour l'essai était toujours un nombre pair,

soit 0, 2, 4, ou 6. Ainsi, la réponse pouvait être déterminée à compter de la 5^e image (par exemple : si, suite à la présentation de 5^e image, le nombre des cibles présentées est 4, il est évident que la dernière image ne contiendrait pas de cible). Cette prévisibilité diminue la nécessité d'un déploiement de l'attention visuo-spatiale lors de la dernière image afin d'accomplir la tâche requise.

Les résultats démontrent ainsi que la présentation séquentielle d'images au cours d'un même essai n'empêche pas la présence de diverses composantes PREs associées à chaque présentation de stimuli et que, hormis une atténuation de la réponse sensorielle à la présentation visuelle, l'utilisation de ce paradigme n'entraîne pas une contamination du signal EEG et des composantes extraites. De plus, un aspect intéressant des résultats obtenus en fonction de ce paradigme est la différence de profil pour la variance de la N1 postérieure et celui de la N2pc. Spécifiquement, on remarque que l'amplitude de la N1 postérieure diminue de façon graduelle avec chaque présentation de l'essai tandis qu'une augmentation de la latence d'apparition de la N2pc n'est présente que lors de la première image de l'essai. Ces résultats appuient ainsi une dissociation fonctionnelle de ces deux composantes PREs.

Rôle des filtres précoces et tardifs et de la distance sur la sélection attentionnelle

L'interaction entre les champs réceptifs des aires corticales extrastriées et les processus de sélection attentionnelle furent le sujet principal de ce mémoire. Indirectement, cette interaction fut examinée par l'entremise de l'amplitude et de la latence de la N2pc générée par la manipulation de la similarité physique et sémantique du

distracteur à la cible, la distance séparant les items saillants dans le champ visuel, et la similarité entre ces items saillants. La figure 7 illustre le rôle de la similarité sémantique et physique du distracteur à la cible, et l'interaction de ceux-ci avec la distance séparant les items saillants dans le champ visuel sur la composante N2pc. Les résultats obtenus démontrent une forte atténuation de l'amplitude de la N2pc lorsque le distracteur est fortement dissimilaire à la cible, au niveau de sa forme, et ce, seulement lorsque les deux items saillants sont séparés par une courte distance dans le champ visuel. De plus, un effet de distance, dans lequel l'amplitude de la N2pc est réduite lorsque les items saillants sont présentés dans des positions adjacentes dans l'ensemble de stimuli formant l'image, fut également observé lorsque les items saillants sont physiquement similaires à la cible, mais différent de celle-ci au niveau catégoriel.

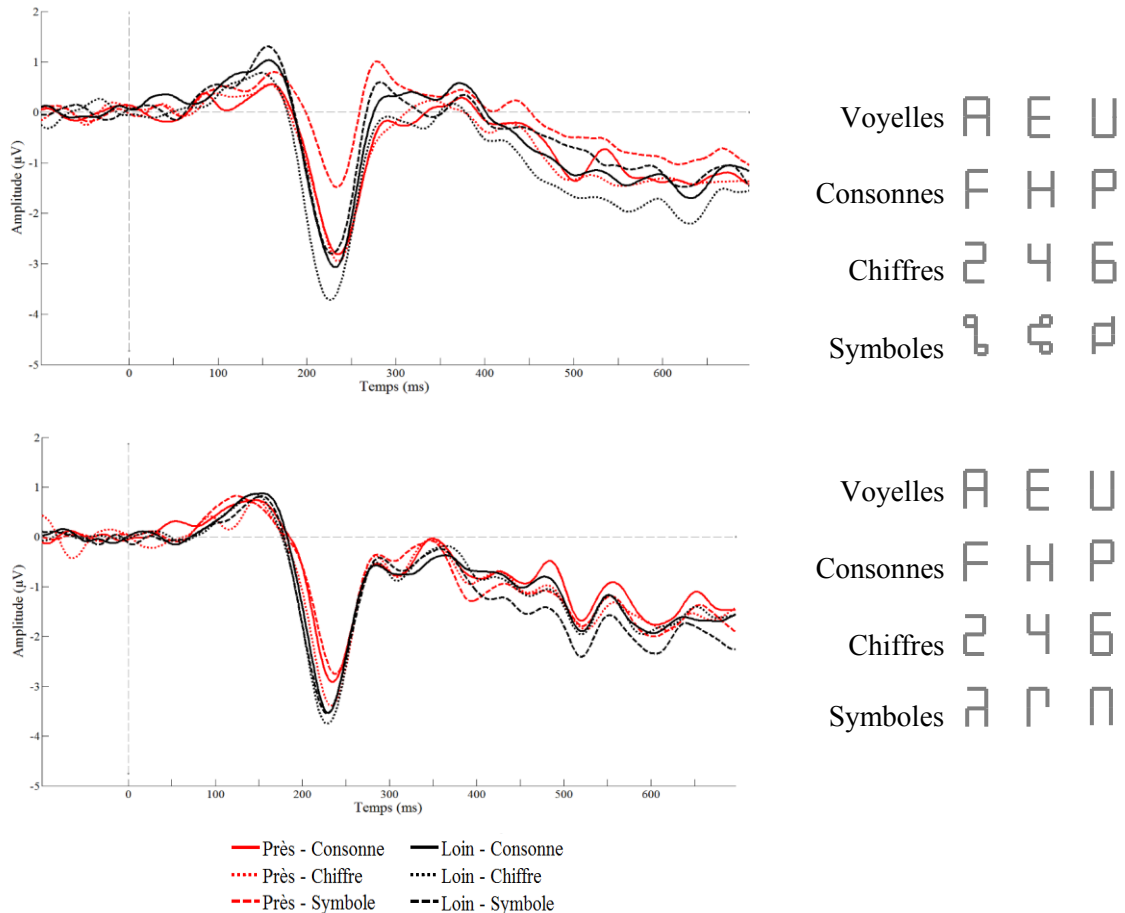


Figure 7. Illustration de l'interaction entre la similarité distracteur-cible et la distance séparant les items saillants dans l'ensemble de stimuli formant l'image. La figure du haut illustre les résultats obtenus lors de l'Expérience 1 et la figure du ceux de l'Expérience 2.

Les résultats obtenus pour les Expériences 1 et 2 de la présente étude ne peuvent être expliqués, dans leur entièreté, par les présentes hypothèses établies sur les processus de l'attention visuo-spatiale et de la N2pc (en particulier, celle de Luck et Hillyard 1994b, celle de Hilimire et al., 2009, 2010, et celle de Mazza et Caramazza, 2011). En conséquence, nous proposons ici une nouvelle hypothèse de la N2pc, selon laquelle cette composante reflèterait la probabilité de sélection attentionnelle des items dans le champ visuel. Cette hypothèse propose que des processus de haut niveau, principalement l'application de filtres de sélection selon un modèle-cible, constituent le facteur principal

de sélection attentionnelle. Suite à l'application de ces filtres, l'attention ne serait déployée qu'envers les items qui satisfont les critères du modèle-cible. L'amplitude de la N2pc correspondrait, donc, à la probabilité de sélection attentionnelle des items, où les items qui satisfont les critères de la cible auront une forte probabilité de sélection, tandis qu'une faible probabilité de sélection serait présente pour les items ne possédant que quelques critères du modèle-cible.

Dans un premier temps, les filtres précoces permettront de désélectionner les items qui diffèrent du modèle-cible par des caractéristiques de base, telle une forte dissemblance de la forme. Une illustration de l'influence d'un tel filtre sur l'amplitude peut être observée pour les symboles non-alphanumériques de l'Expérience 1 (voir le panneau du haut de la figure 7). L'attention étant plus facilement désélectionnée de ces items, ceci résulte en une réduction de probabilité de sélection. Cette réduction de la probabilité de sélection serait reflétée par une atténuation de l'amplitude de la N2pc. Cependant, une telle diminution de l'amplitude de la N2pc est absente lorsque les items saillants sont séparés par une grande distance. Ceci suggère que les processus de sélection attentionnelle sont limités à une région spatiale. Ainsi, lorsque les items sont séparés par une plus grande distance, l'efficacité de la sélection serait réduite et la probabilité de sélection ne serait plus modulée par la similarité distracteur-cible.

Les distracteurs qui ne diffèrent pas de la cible par des caractéristiques de base ne seront pas désélectionnés de la sélection attentionnelle par les filtres précoces. Néanmoins, une réduction de l'amplitude est observée pour ces items lorsque les items

saillants sont séparés par une courte distance, comparativement à l'amplitude lorsque les items sont séparés par une plus grande distance. Tel fut le cas pour les distracteurs de la catégorie consonnes et la catégorie chiffre de l'Expérience 1, et de toutes les catégories de distracteurs saillants des Expériences 2 et 3. Un exemple de cette variation est illustré dans le panneau du bas de la figure 7. Ainsi, nous suggérons que le processus de filtrage serait un processus multiphasique où des filtres ultérieurs seraient recrutés à la suite du filtre précoce, permettant de raffiner davantage la sélection attentionnelle. Cependant, la force de désélection de ce filtre, nommé filtre tardif, serait moindre que celle du filtre précoce, résultant ainsi en une réduction moins prononcée de la probabilité de sélection. Conséquemment, une diminution de l'amplitude de la N2pc serait présente, mais celle-ci serait moindre que la diminution générée par les filtres précoces.

Une dernière expérience a permis de confirmer que la modulation de l'amplitude de la N2pc par la similarité distracteur-cible, lorsque les items saillants sont séparés par une courte distance, provient d'un processus de haut niveau qui filtre la sélection attentionnelle selon un modèle-cible. Dans cette troisième expérience, les items saillants étaient plus facilement dissociables l'un de l'autre puisqu'ils étaient de couleurs différentes. Cependant, même si la dissociation entre les items fut facilitée, la similarité de ces items au modèle-cible fut maintenue, car la cible pouvait être des deux couleurs. Ainsi la cible, tel que dans les expériences précédentes, était identifiée par sa catégorie (et donc sa forme) et non par sa couleur. Les résultats obtenus ne révèlent aucune variation de l'amplitude de la N2pc lorsque les items saillants, indépendamment de leur proximité dans le champ visuel, sont de la même couleur (Expérience 2) ou de couleurs différentes

(Expérience 3). La figure 8 illustre l'amplitude de la N2pc selon la distance pour les expériences 2 et 3. Une variation de l'amplitude de la N2pc, en fonction de la présence ou non de la cible, fut cependant observée lors de l'Expérience 3, où les items saillants étaient de deux couleurs différentes. Quoique ceci puisse suggérer une modulation de la sélection attentionnelle par la facilité à discriminer des items saillants, les présents résultats ne nous permettent pas de tirer, actuellement, une telle conclusion.

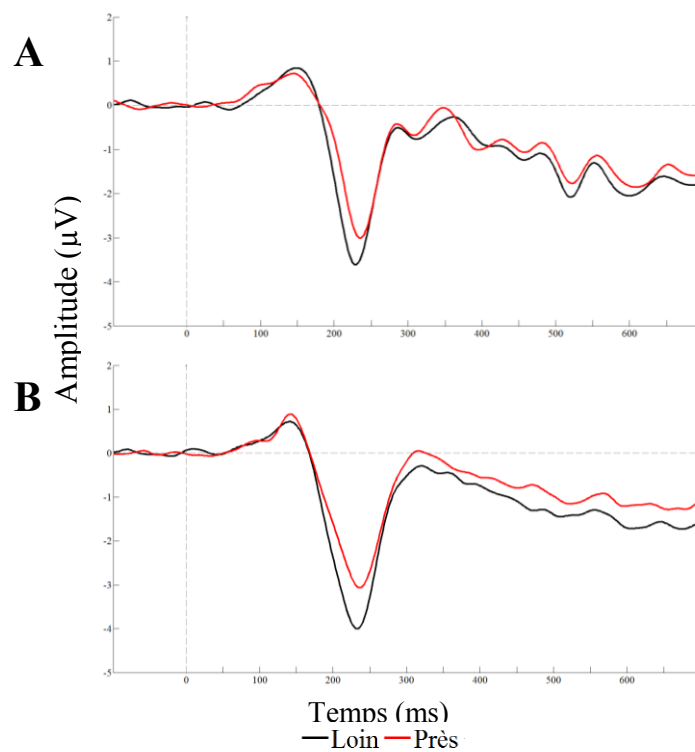


Figure 8. Illustration de l'effet de la distance séparant les items saillants sur la N2pc lorsque ces items sont d'une même couleur (A) ou de couleurs différentes (B).

Conclusion

Les études qui constituent ce présent mémoire permettent un avancement des connaissances sur l'attention visuo-spatiale. En particulier, les résultats obtenus renforcent l'hypothèse que la sélection d'items sur lesquels l'attention visuo-spatiale devrait être déployée, soit la sélection attentionnelle, dépend de filtres de haut niveau. Ces filtres sont basés sur une représentation mentale de la cible, soit le modèle-cible. Le champ visuel est d'abord filtré, de façon progressive, afin d'isoler les items qui contiennent les critères de ce modèle-cible. Ainsi, ces filtres permettent de maintenir une sélection attentionnelle sur les items fortement similaires au modèle-cible et désélectionner les items non-similaires au modèle-cible. Ce processus de filtrage du champ visuel serait, cependant, un processus multiphasique où les filtres raffinement de façon graduelle la sélection attentionnelle. Les filtres précoces, ayant une influence importante sur la probabilité de sélection attentionnelle, permettent une désélection des items non-semblable au modèle-cible. Les filtres tardifs, eux, permettent une désélection des items à partir de critères plus complexes et détaillés, et ceci avec une plus faible probabilité, car la similarité entre le distracteur et la cible étant plus forte.

L'application de ce processus de filtrage, en tant que mécanisme de sélection attentionnelle, demeure, cependant, un processus restreint à une région spatiale. Ainsi, l'efficacité de ce processus diminue avec l'augmentation de la séparation spatiale entre les items auxquels l'attention serait initialement déployée.

Références

- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2007). The N2pc and stimulus duration. *Neuroreport*, 18(11), 1163-1166.
- Brisson, B., Robitaille, N., & Jolicoeur, P. (2007). Stimulus intensity affects the latency but not the amplitude of the N2pc. *Neuroreport*, 18(15), 1627-1630.
- Chelazzi, L., Duncan, J., Miller, E.K., & Desimone, R. (1998). Responses of neurons in inferior temporal cortex during memory-guided visual search. *Journal of Neurophysiology*, 80, 2918-2840.
- Chelazzi, L., Miller, E.K., Duncan, J., & Desimone, R. (2001). Responses of neurons in macaques area V4 during memory-guided visual search. *Cerebral Cortex*, 11, 761-772.
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of The Royal Society B*, 353(1373), 1245-1255.
- Desimone, R. & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.

- Deutsch, J.A., & Deutsch, D. (1966). *Psychological Psychology*. Homewood, Illinois :
Dorsey Press.
- Dowdall, J.R., Luczak, A., & Tata, M.S. (2012). Temporal variability of the N2pc during
efficient and inefficient visual search. *Neuropsychologia*, *50*(10), 2442-2453.
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity.
Electroencephalography and Clinical Neuropsychology, *99*, 225-234.
- Eriksen, C.W., & Yeh, Y.Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of
Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *11*(5), 583-597.
- Folk, C., Remington, R., & Johnston, J. (1992). Involuntary covert orienting is contingent
on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human
Perception and Performance*, *18*(4), 1030-1044.
- Girelli, M., & Luck, S.J. (1997). Are the same attentional mechanisms used to detect
visual search targets defined by color, orientation, and motion? *Journal of
Cognitive Neuroscience*, *9*(2), 238-253.
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. (2009). Electrophysiological indices of target
and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*,
21(4), 760-775.

- Hickey, C., McDonald, J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(4), 604-613.
- Hickey, C., van Zoest, W., & Theeuwes, J. (2009). The time course of exogenous and endogenous control of covert attention. *Experimental Brain Research*, *201*(4), 789-796.
- Hilimire, M.R., Mounts, J.R.W., Parks, N.A., & Corballis, P.M. (2009). Competitive interaction degrades target selection: An ERP study. *Psychophysiology*, *46*, 1080-1089.
- Hilimire, M.R., Mounts, J.R.W., 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), 1-11.
- Hilimire, M.R., Mounts, J.R.W., Parks, N.A., & Corballis, P.M. (2011). Dynamics of target and distractor processing in visual search: Evidence from event-related brain potentials. *Neuroscience Letters*, *495*(3), 196-200.
- Jonide, J., & Yantis, S. (1988). Uniqueness of abrupt visual onset in capturing attention. *Perception & Psychophysics*, *43*(4), 346-354.

- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006). On the control of visual spatial attention: Evidence from human electrophysiology. *Psychological Research*, 70(6), 414-424.
- Kastner, S., De Weerd, P., Desimone, R., & Ungerleider, L.G. (1998). Mechanisms of directed attention in the human extrastriate cortex and revealed by functional MRI. *Science*, 282, 108-111.
- Kastner, S., De Weerd, P., Pinsk, M.A., Elizondo, M.I., Desimone, R., & Ungerleider, L.G. (2001). Modulation of sensory suppression: Implications for receptive field sizes in the human visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, 86, 1398-1411.
- Kiss, M., Jolicoeur, P., Dell'Acqua, R., & Eimer, M. (2008). Attentional capture by visual singletons is mediated by top-down task set: New evidence from the N2pc component. *Psychophysiology*, 45(6), 1013-1024.
- Leblanc, E., Prime, D., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), 657-671.
- Luck, S.J. (2005). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.

- Luck, S.J., & Hillyard, S.A. (1994a). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, *31*, 291-308.
- Luck, S.J., & Hillyard, S.A. (1994b). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*(5), 1000-1014.
- 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. *Cognitive Psychology*, *33*, 64-87.
- Mazza, V., & Caramazza, A. (2011). Temporal brain dynamics of multiple object processing: The flexibility of individuation. *PLoS one*, *6*(2), 1-8.
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009a). An electrophysiological assessment of distractor suppression in visual search tasks. *Psychophysiology*, *46*, 771-775.
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009b). Attention selection, distractor suppression and N2pc. *Cortex*, *45*, 879-890.
- McKeefry, D.J., & Zeki, S. (1997). The position and topography of the human colour centre as revealed by functional magnetic resonance imaging. *Brain*, *120*(12), 2229-2242.

- Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate Cortex. *Science*, 229, 782-784.
- Posner, M.I. (1980). Orienting attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M.I. (1988). Structures and functions of selective attention. In Boll, T. & Bryant, B. (Eds.) *Master Lectures in Clinical Neuropsychology*. Washington, DC: American Psychology Association.
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R., & Davidson, B.J., (1980). Attention and the detection of signal. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160-174.
- Remington, L.A. (2012). *Clinical anatomy and physiology of the visual system*; Third edition. Maryland Heights, Missouri: Butterworth-Heinemann
- Sawaki, R., & Luck, S.J., (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: Electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(6), 1455-1470.
- Schneider, G.E. (1969). Two visual systems. *Science*, 163(3870), 895-902.

- Theeuwes, J. (1991a). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & Psychophysics*, 50(2), 184-193.
- Theeuwes, J. (1991b). Exogenous and endogenous control of attention: The effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, 49(1), 83-90.
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, 51(6), 599-606.
- Treisman, A., (1996). The binding problem. *Current Opinion in Neurobiology*, 6, 171-178.
- Treisman, A.M. & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.
- Ungerleider, L. G., & Mishkin, M. (1982). Two cortical visual systems, In D.J. Ingle, M.A. Goodale, & R.J.W., Mansfield (Eds). *Analysis of visual behavior*, London, England: The MIT Press
- Von Wright, J.M. (1968). Selection in visual immediate memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20(1), 62-68.

Watson, J.D.G., Myers, R., Frackowiak, R.S.J., Hajnal, J.V., Woods, R.P., Mazziotta, J.C., Shipp, S., & Zeki, S. (1993). Area V5 of the human brain: Evidence from a combined study using positron emission tomography and magnetic resonance imaging. *Cerebral Cortex*, 3(2), 74-94.

Woodman, G.F. & Luck, S.J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400(6747), 867-869.

Woodman, G.F., & Luck, S.J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 121-138.

Zeki, S., Watson, J.D.G., Lueck, C.J., Friston, K.J., Kennard, C., & Fracowiak, R.S.J, (1991). A direct demonstration of functional specialization in the human visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 11(3), 641-649.

