

Université de Montréal

L'influence d'un masque rétrograde sur le déploiement et l'engagement de l'attention.

par

Talia Losier

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 des science  
en psychologie

Août 2016

© Talia Losier, 2016



## Résumé

Le clignement attentionnel (CA) est une difficulté à rapporter une deuxième cible rapprochée de la première lorsque celles-ci sont présentées rapidement l'une après l'autre parmi des distracteurs. En l'absence d'un masque suivant la dernière cible, la dernière cible peut facilement être rapportée. Le masque joue ainsi un rôle important pour empêcher l'accès conscient à l'information contenu dans la cible. Dans cette étude électrophysiologique, nous avons étudié l'impact d'un masque sur le déploiement de l'attention, l'engagement de l'attention ainsi que l'encodage en mémoire de travail durant le CA en mesurant respectivement les composantes N2pc, P3a ainsi que P3b. Nous observons que la présence d'un masque réduit l'amplitude des composantes N2pc, P3a et P3b. Le masque semble donc réduire l'encodage en mémoire de travail ainsi que réduire l'efficacité du déploiement de l'attention visuospatiale et de l'engagement de l'attention. Nous discutons de la place que prennent ces résultats dans le contexte des différents modèles de masquage et de CA.

**Mots-clés :** Masque rétrograde, P3b, P3a, N2pc, PRE, déploiement de l'attention, engagement de l'attention, encodage en mémoire de travail

**Abstract :**

The attentional blink (AB) is a difficulty in correctly processing a target when it follows one or more other targets after a short delay. When no backward mask is presented after the critical target, there is no or little behavioral AB deficit. The mask plays an important role in limiting conscious access to target information. In this electrophysiological study, we tested the impact of masking on the deployment and engagement of attention by measuring the N2pc and P3a components in an RSVP paradigm. We also attempted to replicate previous studies that found a smaller P3b amplitude for masked targets. We found that the presence of a mask in an AB paradigm reduced the amplitude of the N2pc, P3a, and P3b components. In addition to reducing encoding in memory, masking also seems to make the deployment and engagement of attention on the last target less effective. We discuss the role of these findings in the context of current masking, consciousness, and AB models.

**Keywords :** backward masking, attentional blink, P3b, P3a, N2pc, ERP, deployment of attention, engagement of attention, encoding in working memory

## Table des matières

Résumé .....	1
Abstract .....	2
Liste des figures .....	4
Liste des abréviations .....	5
Remerciements .....	6
Chapitre I : Introduction	
Contexte théorique .....	8
Objectifs particuliers et hypothèses .....	18
Contribution à l'article .....	18
Chapitre II : L'article	
The influence of backward masking on the deployment and engagement of attention .....	21
Abstract .....	22
Introduction .....	23
Methods .....	30
Results .....	35
Discussion .....	44
References .....	49
Chapitre III : Discussion et conclusion	
Discussion des résultats de l'article .....	56
Références .....	61

## Liste des figures et tableaux

<b>Figure 1</b> : Illustration du paradigme à présentation d'images multiple .....	32
<b>Figure 2</b> : Illustration de la composante P3b .....	39
<b>Figure 3</b> : Illustration de la composante P3a .....	41
<b>Figure 4</b> : Illustration de la composante N2pc .....	44
<b>Table 1</b> : Taux moyen de bonne réponses par cible .....	36
<b>Table 2</b> : Amplitudes moyennes de la composante P3b .....	39
<b>Table 3</b> : Latences moyennes de la composante P3b .....	40
<b>Table 4</b> : Amplitudes moyennes de la composante P3a .....	41
<b>Table 5</b> : Amplitudes moyennes de la composante N2pc .....	43
<b>Table 6</b> : Latences moyennes de la composante N2pc .....	43

## Liste des abréviations

ms Milliseconde

N2pc Negative-2-posterior-contralateral

$\mu\text{V}$  Microvolt

RSVP Rapid serial visual presentation

AB Attentional blink

CA Clignement attentionnel

T1 Première position potentielle d'une cible

T2 Deuxième position potentielle d'une cible

T3 Troisième position potentielle d'une cible

$\text{cd/m}^2$  candela per square metre

ERP Event-related potential

PRE Potentiel relié aux événements

## **Remerciements**

Je tiens tout d'abord à remercier mon directeur de recherche Pierre Jolicoeur qui m'a guidé et qui m'a appris à me dépasser. Merci aussi aux membres de mon lab de m'avoir supporté, aidé et d'avoir créé avec moi de si beaux souvenirs. Un merci particulier pour Émilie qui a cru en moi quand je n'y arrivais pas et merci pour ta patience, tes encouragements et ton aide dans les moments les plus occupés, ça a fait toute la différence! Finalement un grand merci à Jessica. Je n'aurais pas survécu mentalement sans toi avec qui partager les hauts et les bas de la maîtrise. I wouldn't have chosen anybody else to do this with. You made the bad times easier and the happy times happier.

Merci à tous ces gens d'avoir été là pour moi.



## Chapitre I : Introduction

## **Contexte théorique:**

Chaque jour, nous sommes bombardés par une large quantité d'information visuelle. La façon dont nous traitons cette information a été étudiée extensivement au cours des dernières décennies. Plusieurs paradigmes ont été mis au point afin de mieux comprendre nos mécanismes de perception et de traitement de ce déluge quotidien de stimuli. Une technique intéressante est de pousser les systèmes étudiés à leurs limites. Lorsque cette limite est atteinte, les erreurs commises fournissent de l'information sur le fonctionnement des mécanismes sous-jacents. Afin de tester les limites temporelles d'un processus de traitement, un paradigme de présentation rapide (p. ex. 100 ms) et sérielle de stimuli visuels est souvent utilisé (nommé Rapid Serial Visual Presentation dans la littérature anglaise; RSVP : Potter et Levy, 1969; voir la figure 1 pour un exemple). En 1987 (Broadbent & Broadbent, 1987; Weichselgartner & Sperling, 1987), des chercheurs ont découvert que lorsque des participants devaient rapporter deux cibles (T1 et T2) séparées par un intervalle de 200 à 500 ms parmi un flux de distracteur sous forme RSVP, le taux de bonnes réponses pour la deuxième cible était significativement plus bas que lorsqu'elle était présentée plus tard relativement à la première cible. La raison et le processus derrière ce déficit baptisé le clignement attentionnel (CA; attentional blink dans la littérature anglophone) ne sont pas encore complètement compris malgré de nombreuses publications sur le sujet et un nombre toujours croissant de propositions de modèles tentants d'expliquer le phénomène (voir Dux et Marois, 2009; Martens et Wyble, 2010 pour des revues de la littérature sur le sujet).

Selon Martens et Wyble (2010), il y a trois raisons principales expliquant pourquoi le CA a été autant étudié : Premièrement, le CA est un déficit attentionnel d'une durée

remarquablement longue. Deuxièmement, ce phénomène est très robuste et peut être répliqué avec une grande variété de conditions. Ce phénomène semble donc représenté une propriété fondamentale de la perception consciente humaine, nous permettant de l'étudier avec plus de facilité. Finalement le CA nous fournit un outil nous permettant d'étudier un sujet très intéressant; la conscience humaine. En effet, lors du CA l'information visuelle est perçue et partiellement traitée alors qu'un rappel conscient de cette information nous échappe (Vogel, Luck et Shapiro 2002). Pour ces raisons, nous utiliserons le CA pour mieux comprendre l'attention humaine, c'est-à-dire le processus permettant de prioriser les stimuli saillants afin qu'ils soient traités plus en profondeur et de laisser de côté ceux qui ne sont pas pertinents au comportement (Broadbent, 1958; Bundesen, 1990; Desimone & Duncan, 1995; Duncan, 1980; Kahneman, 1973; Pashler, 1998; Shiffrin & Schneider, 1977). La compréhension des processus attentionnels est pertinente dans plusieurs domaines tels que la santé mentale, les troubles empêchant un accès conscient à l'information comme l'héminégligence, la sécurité routière, l'intelligence artificielle etc. Il n'est donc pas surprenant que comprendre les mécanismes régissant l'attention a été un but important des neurosciences et sciences cognitives pour les dernières 50 années (Martens et Wyble, 2010).

Le phénomène de masquage rétrograde causé par le distracteur suivant la dernière cible est un des nombreux facteurs influençant le CA. Le phénomène de masquage se définit comme la réduction de la visibilité d'un stimulus par un deuxième stimulus (le masque) temporellement ou spatialement près du premier (Bachmann, 1984; Breitmeyer & Ogmen, 2006). Giesbrecht et Di Lollo ont découvert en 1998 que lorsque la suite RSVP d'un paradigme de CA se terminait par la dernière cible et non un distracteur (un masque), il n'y avait pas de déficit de type CA ; le taux de bonnes réponses pour T2 était presque parfait. Quatre types de masques sont

traditionnellement distingués : masque à quatre points, métacontraste, masque par patron et masque par bruit. Le masquage à l'aide de quatre points consiste à entourer la cible de quatre points sans toutefois qu'ils ne touchent spatialement à la cible. Le métacontraste quant à lui consiste à entourer la cible d'une forme différente (p. ex. un contour de carré entourant un plus petit triangle cible), mais encore une fois sans connexion physique à la cible. Ces deux types de masques sont typiquement présentés au même moment que la cible et disparaissent plus tard que celle-ci. Ensuite, pour le masquage par patron, un stimulus qui partage des caractéristiques avec la cible est présenté après la cible (p. ex. un chiffre suivant une lettre cible). Finalement il y a le masquage par bruit qui consiste à présenter un stimulus qui ne partage pas de caractéristiques avec la cible à la suite ou au même moment que celle-ci (p. ex. un grillage de petits carrés à la suite d'une lettre cible). Ces quatre types de masques sont souvent séparés en deux types de processus de masquage soit un masquage par intégration pour les masques présentés simultanément puis un masquage par interruption pour les masques présentés après la cible (Breitmeyer et Ogmen 2000). Cette distinction provient de théories tentant d'expliquer le processus de masquage. Certains auteurs croient que le masquage simultané se produit puisque le masque diminue la qualité de la représentation de la cible en ajoutant de l'information superflue au signal. Les masques suivant la cible quant à eux interrompraient le traitement de la cible en utilisant les mêmes ressources que celles nécessaires au traitement de la cible. Ce n'est par contre qu'une théorie parmi plusieurs qui parfois même se contredisent.

Il a également été question à travers les années de comprendre à quel moment le masque interfère avec le traitement de la cible. Les études d'amorçage masqué permettent d'explorer en partie la question. Lors d'études classiques d'amorçage, un mot cible est brièvement précédé par un mot relié sémantiquement à la cible lequel servirait d'amorçage. Des études démontrent que

le mot d'amorçage permet un traitement plus efficace de la cible (Cheesman et Merikle, 1986). Dans une situation d'amorçage masqué, le mot d'amorçage est suivi d'un masque avant la présentation du mot cible. Ce type d'expérience révèle que même lorsque le mot d'amorçage est masqué, il facilite le traitement de la cible (Debner et Jacoby, 1994; Cheesman et Merikle, 1986). La conclusion tirée par les auteurs est que la signification contextuelle du mot d'amorçage a réussi à être dégagée malgré le masque puisqu'il améliore le traitement de la cible. Ils suggèrent ainsi que le masque n'interrompt pas le traitement précoce de la cible, mais empêcherait plutôt son accès conscient (Debner et Jacoby, 1994; Cheesman et Merikle, 1986). Il s'agit par contre d'expériences avec un seul type de masque (un masquage par patron) présenté après la cible, ce qui en limite les conclusions. Le modèle populaire de masquage par substitution cadre bien avec ces résultats. Ce modèle suggère que lorsque la cible attend d'être traitée, elle serait susceptible à de l'interférence par un stimulus (un masque) subséquent qui se substituerait à la représentation en mémoire de travail de la cible. Cette hypothèse a été attribuée un rôle important implémentée dans plusieurs modèles tentant d'expliquer le CA pour des raisons théoriques et empirique (Giesbrecht, Bischof et Kingstone, 2003).

Le modèle proposé par Giesbrecht et Di Lollo (1998) est l'un des rares modèles qui fusionne une théorie de masquage avec un modèle de clignement attentionnel. Ils démontrent dans leur article que T1 peut être masqué à la fois par un masque de type intégration (simultané) et de type interruption (délai entre la cible et le masque), mais que T2 doit être suivi d'un masque de type interruption afin d'obtenir un taux de bonnes réponses plus faible et que celui-ci interagisse avec la longueur de l'intervalle entre les cibles comme pour les expériences en CA. Donc seulement un masque suivant la cible peut engendrer une diminution de la performance plus marquée pour un intervalle court que pour un intervalle long entre les cibles. Ces auteurs ont inclus l'hypothèse

de masquage par substitution et le résultat de leur expérience dans une version révisée du modèle à deux niveaux expliquant le CA (originellement proposé par Chun et Potter, 1995). Il y aurait ainsi deux niveaux de traitement de stimuli. Dans le premier niveau, une détection rapide des cibles est effectuée puis dans le deuxième niveau, les cibles sont traitées plus en profondeur de façon sérielle. Le deuxième niveau, ayant une capacité limitée, si la première cible y est encore, la deuxième doit attendre que les ressources se libèrent dans un espace tampon. Si la deuxième cible est présentée au même moment que le masque, les deux seront traités simultanément. Il n'y aurait ainsi aucune relation entre l'effet du masque et la longueur de l'intervalle entre les cibles. Par contre, si la cible suit temporellement la deuxième cible, l'intervalle entre les cibles devient crucial. Si T2 est présenté plus tard par rapport à T1, le deuxième niveau est libéré et T2 peut entrer directement dans celui-ci, empêchant ainsi le masque qui suit d'interférer. Si l'intervalle entre les cibles est court par contre, pendant que T2 stagne dans l'espace tampon, le masque substitue la cible et affecte ainsi l'accès conscient à l'identité de T2. Une étude plus récente démontre qu'un masque de type quatre points peut également produire une diminution du taux de bonnes réponses de type CA (interagissant avec la longueur de l'intervalle) si le masque (les quatre points) et la cible ne sont pas présentés simultanément (Dell'Acqua, Pascali, Jolicoeur, Sessa 2003). La clé semble donc être dans le moment de présentation du masque. Nous utiliserons ainsi un masque par bruit présenté plus tard que la cible. Celui-ci consistera d'un damier bleu et vert afin de masquer l'identité et la couleur de la cible (bleu ou vert).

Plusieurs théories existent donc pour expliquer l'impact d'un masque lors du CA. Son rôle lors du déploiement de l'attention visuo-spatiale et de l'engagement attentionnel sur une cible lors du CA reste pourtant encore à déterminer. Plus d'information sur ce lien potentiel nous

permettrait de mieux comprendre comment et à qu'elle moment le masque affecte négativement le traitement de la cible.

Pour ce projet de maîtrise, nous avons enregistré des électroencéphalogrammes (EEG) et nous nous sommes servis des potentiels reliés aux événements (PRE) afin d'approfondir notre compréhension de l'impact d'un masque sur le traitement de la dernière cible dans une expérience en CA et les mécanismes attentionnels qui y sont dédiés. Le but était d'isoler des composantes PRE associées à des processus cognitifs spécifiques afin de comprendre de façon compartimentalisée le processus complexe qui médie la performance lors de tâche en CA. Nous avons mesuré des PRE associés à la dernière cible dans un paradigme de CA et avons comparé les mesures prises lors d'essais avec un intervalle de 3 stimuli (nombre de stimuli entre l'avant-dernière et la dernière cible incluant cette dernière) et un intervalle de 8 ainsi qu'entre des essais où la dernière cible était masquée ou ne l'était pas.

Vogel et Luck (2002) sont parmi les premiers à avoir étudié l'impact d'un masque sur des composantes PRE dans le CA. La composante P3b a produit d'intéressants résultats. Cette composante est typiquement mesurée aux électrodes pariétales et on estime présentement qu'elle reflète l'encodage en mémoire de travail (Fabiani & Donchin, 1995; Polich, 2007). Comme dans le cadre d'études précédentes, ils ont observé une P3b presque inexistante lors d'essai en CA avec cours délai, où la dernière cible était masquée (voir aussi; Vogel, Luck & Shapiro, 1998). Lorsque la dernière cible n'était pas masquée par contre, la composante P3b était de nouveau observable, mais elle débutait plus tard pour les essais avec un intervalle court en comparaison à un intervalle long et cela, malgré un taux de bonnes réponses ne suggérant aucun déficit de type CA. Ce résultat est important puisqu'il indique que malgré un taux de bonnes réponses ne présentant aucun déficit de type CA, nous ne pouvons affirmer que le traitement d'une cible n'est

pas affecté par le paradigme de CA. Le délai de cette composante suggère que le traitement de T2 a soit été arrêté ou ralenti en raison du traitement de T1 (voir Jolicoeur et Dell'Acqua 1998). Ce résultat important a également été observé dans le cadre d'autres études (Dell'Acqua et al., 2015; Ptito, Arnell, Jolicoeur et MacLeod, 2008). Les auteurs posent l'hypothèse qu'une représentation perceptuelle de T2 peut être maintenue pour une période de temps relativement longue si cette cible n'est pas suivie par un autre stimulus (voir aussi Jolicoeur, 1999). Cette représentation serait donc toujours disponible lorsque le traitement de la première cible serait achevé, permettant, après un délai, à la dernière cible d'être traitée à son tour. Si un masque (un distracteur) suivait la dernière cible par contre, la représentation de celle-ci était perdue ou remplacée par celle du masque (modèle de masquage par substitution) avant que les mécanismes de consolidation aient terminé de traiter la première cible et soit disponible pour gérer la deuxième. Ce serait ce processus qui serait responsable du fait que la dernière cible n'est plus accessible pour être rapporté consciemment. Il est également intéressant de noter que pour plusieurs expériences menées par Jolicoeur et Dell'Acqua (1998) où une première cible ne devait être rapportée qu'à la fin de l'essai et la deuxième cible devait être rapporté le plus rapidement possible; plus l'intervalle était court entre les cibles, plus le temps de réponse était long. Ces résultats concordent avec l'idée qu'encoder la première cible impose un délai avant le traitement de la dernière cible ainsi qu'avec le début plus tardif de la composante P3b lorsqu'il y a un court intervalle entre les cibles (voir aussi Jolicoeur, Dell'Acqua, & Crebolder, 2001).

Si nous supposons que la P3b reflète un processus d'encodage d'information en mémoire de travail, les résultats décrits ci-haut suggèrent qu'encoder T1 lors d'une tâche de type AB ralenti ou impose un délai à un ou plusieurs processus avant ou au moment du passage en mémoire de travail. Vogel et ses collègues (1998) n'ont trouvé aucun effet du CA sur la



composante visuelle P1 ce qui suggère que l'interférence causée par le CA se situe après le traitement sensoriel précoce. Jolicoeur et ses collègues (2001) ont également observé que changer le contraste de T2 ne changeait pas le taux de bonnes réponses de façon à interagir avec l'intervalle entre les cibles comme lors d'un déficit CA. Ce résultat appuie l'idée que l'interférence causée par le CA se situe entre le traitement sensoriel précoce et le processus d'encodage en mémoire de travail. Pour ce projet de maîtrise, un des objectifs sera de déterminer si des composantes se situant entre la P1 et la P3b sont affectées par le CA. Si une composante entre la P1 et la P3b est affectée par le CA, cela indiquerait que l'interférence induite par le CA se produit avant l'encodage en mémoire de travail. Si, par contre, seulement la P3b est affectée, il y aurait plus de support pour l'idée que l'interférence se produit au niveau de l'encodage en mémoire de travail.

Une composante intéressante est la P3a. Cette composante frontale précédant la P3b et atteignant un maximum d'amplitude autour de 300 ms reflète supposément un engagement attentionnel frontal sur le stimulus (Polich, 2007). Plusieurs modèles tentent d'expliquer le CA, mais ils ne s'entendent pas tous sur le rôle que l'engagement attentionnel joue dans le déficit. Il est difficile de déterminer dans un modèle tel que celui à deux niveaux (Chun et Potter, 1995) ainsi que ses nombreuses variations, si et comment l'engagement de l'attention jouerait un rôle. Dell'Acqua et ses collègues (2015) ont par contre trouvé un effet significatif de l'intervalle entre les cibles (dans un paradigme CA) sur l'amplitude de la p3a en absence de masque. Ceci suggère que l'engagement de l'attention joue un rôle dans le déficit de type CA. De façon compatible avec ce résultat, la majorité des modèles de CA donne un rôle primordial à l'engagement attentionnel. Le modèle de boost and bounce (Olivers et Meeter, 2008) décrit le CA comme suit : un filtre attentionnel éliciterait une activité excitatrice transitoire (un «boost») en réaction à une

cible, permettant à celle-ci d'entrer en mémoire de travail. Lorsqu'un distracteur survient par contre, le filtre est accidentellement excité (un «boost»), ce qui engendre par la suite une forte inhibition (un «bounce») qui fermerait le filtre attentionnel, empêchant ainsi l'accès à la mémoire de travail pour une cible subséquente. C'est ce mécanisme qui causerait le déficit de type CA. Ensuite, certains modèles décrivent le CA comme un phénomène résultant de perturbations engendrées par un mélange de mécanismes reliés et non reliés à l'attention (p. ex. le corollary discharge of attention movement, modèle CODAM; par Fragopanagos, Kockelkoren et Taylor, 2005). Les modèles incluant des effets reliés à l'attention ne s'entendent par contre pas tous sur la cause derrière la perturbation attentionnelle. Seulement une partie des modèles inclut une perturbation attentionnelle reliée aux distracteurs ou à un masque. Pour ce qui est des modèles de masquage, très peu abordent le rôle de l'attention. Le modèle de Enns et Di Lollo (2000) mentionne qu'accorder moins de ressources attentionnelles augmentera l'effet de masquage mais ne mentionne pas un rôle possible du masque comme tel sur l'attention. L'article par Enns et Di Lollo (1997) qui aborde le masquage à 4 points mentionne également que celui-ci fonctionne bien si l'attention est divisée entre plusieurs cibles mais n'aborde pas l'impact possible du masque sur l'attention. Il est ainsi difficile de faire des prédictions basées sur un modèle concernant le rôle du masque dans l'engagement attentionnel durant le CA.

De l'information additionnelle pourrait être obtenue en étudiant l'activité électrique latéralisée comme c'est le cas pour la composante N2pc. La N2pc est une activité électrique plus négative dans l'hémisphère controlatéral au stimulus atteignant son maximum souvent entre 180 et 280 ms après la présentation d'un stimulus facilement discernable (Eimer, 1996; Kiss, van Velzen, et Eimer, 2008; Luck et Hillyard, 1994). La N2pc peut être utilisée comme outil afin de suivre le déploiement de l'attention visuospatiale (Woodman et Luck, 2003). Cette composante

est de plus faible amplitude (Akyürek, Leszczynski et Schubo, 2010; Dell'Acqua, Sessa, Jolicœur, et Robitaille, 2006; Jolicœur, Sessa, Dell'Acqua, et Robitaille, 2006) ou atteint son maximum plus tard (Pomerleau et al., 2014) pour un intervalle court lors de tâche en CA. Ces expériences contenaient par contre toutes un masque à la suite de T2. La façon dont l'attention se déploie dans un paradigme CA en absence d'un masque ainsi que la différence entre son déploiement en présence et en absence d'un masque reste à établir. Seulement Robitaille et Jolicoeur (2006) ont comparé l'effet de la présence ou l'absence d'un masque sur la N2pc, mais dans un paradigme autre que le CA. L'expérience résulte en une absence d'effet du masque lorsqu'un masque de type patron est utilisé. Au-delà de cette expérience, le déploiement de l'attention visuo-spatiale est rarement abordé dans les modèles de CA et de masquage.

Afin d'obtenir plus d'informations sur l'impact d'un masque dans le contexte d'un paradigme de CA, nous avons analysé la possibilité qu'une plus grande difficulté de la tâche accentuerait les effets trouvés. Pour ce faire, nous avons manipulé le nombre de cible(s) précédant la dernière cible. Deux cibles consécutives peuvent facilement être perçues et rapportées (Lag-one sparing; voir Potter, Chun, Banks, et Muckenhoupt, 1998) tout en rendant plus difficile le traitement d'une troisième cible présenté après quelques distracteurs (Dell'Acqua et al., 2016; Dell'Acqua et al., 2015; Dux et al., 2014). Chaque essais contenaient trois positions critiques où pouvait se trouver une cible, S1 et S2 l'un après l'autre, puis S3 à un délai de 3 ou 8 stimuli suivant S2. S2 était toujours une cible (T2) alors que S1 pouvait être une cible (T1) ou un distracteur (D1) et S3 pouvait également être une cible (T3) ou un distracteur (D3). La difficulté de la tâche était ainsi manipulée en incluant une cible à rapporter à la position S1 (T1), augmentant ainsi la quantité d'information à traiter, où un distracteur (D1), réduisant la quantité

d'information à traiter. Ces manipulations seront nommées T1-present et T1-absent respectivement.

En résumé, ce projet de mémoire consiste à déterminer l'impact d'un masque sur l'encodage en mémoire de travail d'une cible ainsi que sur le déploiement et l'engagement de l'attention sur celle-ci dans le cadre d'un paradigme de CA. Nous avons ainsi manipulé le délai entre la dernière cible et celle précédant la dernière cible (délai de 3 stimuli et délai de 8 stimuli). Nous avons également modifié le nombre de cibles présentées afin de contrôler la difficulté de la tâche (T1-Absent, T1-present). Nous avons finalement présenté la séquence de stimuli avec un masque suivant S3 (masque-présent) pour certains participants et sans masque pour d'autres. Nous avons prédit que l'encodage en mémoire de travail sera moins efficace (la p3b aura une amplitude plus faible) pour les essais avec un délai plus court, avec un masque et avec un plus grand nombre de cibles (T1-present). Nous nous attendions également à voir des effets semblables sur le moment où la composante atteint son maximum : Une P3b plus tardive pour un délai plus court, en présence d'un masque ainsi que lorsqu'il y a plus de cibles. Pour ce qui est de l'engagement attentionnel, soit la P3a, nous nous attendions à voir une plus faible efficacité (amplitude plus faible) pour les essais avec un délai court et ceux avec un plus grand nombre de cibles sans savoir l'effet qu'aurait un masque suivant S3. Le déploiement attentionnel visuospatial représenté par la N2pc devrait également être moins efficace et donc présenter une plus faible amplitude pour les essais avec un délai court et nous explorerons pour la première fois l'impact d'un plus grand nombre de cibles et de la présence d'un masque.

L'article *Backward masking interrupts spatial attention, and limits and slows downstream processing* qui sera soumis au journal *Consciousness and Cognition* est inclu dans ce mémoire.

Les auteurs de cet article sont; Talia Losier, Christine Lefebvre, Mattia Doro Roberto

Dell'Acqua et Pierre Jolicoeur. L'idée originale du projet a été élaborée par Pierre Jolicoeur ainsi que Roberto Dell'Acqua. Le programme expérimental a été programmé par Pia Amping. La passation des participants a été effectuée par Talia Losier avec l'aide d'assistants de laboratoire. Le traitement des données et les analyses statistiques ont été accomplies par Talia Losier; les résultats ont été interprétés par Talia Losier et Pierre Jolicoeur; la recension de la littérature et l'écriture du manuscrit ont été accomplies par en majeure partie par Talia Losier avec l'aide des autres auteurs.

## Chapitre II : L'article

**Backward masking interrupts spatial attention, and limits and slows downstream processing.**

Talia Losier<sup>123</sup>, Christine Lefebvre<sup>1234</sup>, Mattia Doro<sup>5</sup>, Roberto Dell'Acqua<sup>5</sup>, Pierre Jolicœur

1234

<sup>1</sup> Université de Montréal

<sup>2</sup> Centre de recherche en neuropsychologie et cognition (CERNEC)

<sup>3</sup> International Laboratory for Brain, Music, and Sound Research (BRAMS)

<sup>4</sup> Centre de recherche de l'Institut universitaire de gériatrie de Montréal (CRIUGM)

<sup>5</sup> Université de Padova

**Abstract:**

The attentional blink (AB) is a difficulty in correctly processing a target when it follows one or more other targets after a short delay. When no backward mask is presented after the critical target, there is no or little behavioral AB deficit. The mask plays an important role in limiting conscious access to target information. In this electrophysiological study, we tested the impact of masking on the deployment and engagement of attention by measuring the N2pc and P3a components in an RSVP paradigm. We also attempted to replicate previous studies that found a smaller P3b amplitude for masked targets. We found that the presence of a mask in an AB paradigm reduced the amplitude of the N2pc, P3a, and P3b components. In addition to reducing encoding in memory, masking also seems to make the deployment and engagement of attention on the last target less effective. We discuss the role of these findings in the context of current masking, consciousness, and AB models.



## **1. Introduction:**

Visual information processing has been studied extensively over several decades by pushing the systems implicated in this processing to their limits. The rapid serial visual presentation (RSVP) paradigm has proven useful to determine the temporal limits of visual processing (Potter & Levy, 1969). RSVP involves a sequence of stimuli usually presented at the same spatial location one after the other, each one for a brief period of time (e.g. 100 ms). It was discovered in 1987 (Broadbent & Broadbent, 1987; Weichselgartner & Sperling, 1987) that when subjects are asked to report two targets (T1 and T2) among distractors, separated by a 200 to 500 ms lag, the accuracy of report for the second target is lower compared to when it is presented later relative to the first target. This phenomenon gathered a lot of interest through the years from scientists seeking to understand capacity limitations in the information processing system and the correlates of consciousness. The cause of this deficit, called the Attentional Blink (AB), has yet to be fully understood, despite a wide range of empirical papers on the subject and a growing number of proposed models (see Dux & Marois, 2009; Martens & Wyble, 2010, for reviews).

A number of factors have been found to influence the AB, one of which is the backward masking caused by the stimulus following T2 (T2+1). Masking is defined as the reduction in visibility of a stimulus (target) by a spatially or temporally close second stimulus (mask) (Bachmann, 1984; Breitmeyer & Ogmen, 2006). Giesbrecht and Di Lollo (1998) found that when the RSVP in an AB paradigm ended with the last target instead of an additional distractor (a mask), no behavioral AB occurred; accuracy for the last target was at ceiling. In the present work, we will use a backward noise type mask designed to make it more difficult to process both the shape of the target to be reported, as well as the selection cue (color) used to determine which

of two stimuli is the target. Although manipulations of masking have been used a number of times in the AB paradigm to study how processing unfolds over time, less is known about how masking affects the deployment of visual spatial attention in this paradigm. Masking is often assumed to erase the visual information from the target or to interrupt processing of the target although theories seeking to explain masking however are more complex and more nuanced (Breitmeyer and Ogmen 2000). In general, a better understanding of the role of masking on the deployment of attention in AB would be desirable.

Here we recorded the electroencephalogram (EEG) and used the event-related potential method (ERP) to deepen our understanding of how masking T2 affects the temporal dynamics of attention and other mechanisms involved in the processing of T2 from stimulus input to representations that are amenable to conscious access. We measured ERPs to the last target in an AB paradigm and compared the measures between lag 3 (short delay between T1 and T2) and lag 8 (long delay between T1 and T2) trials as well as across trials in which T2 was either masked or not masked.

Vogel and Luck (2002) were among the first to study the impact of masking on ERP components in the attentional blink. The P3b component yielded interesting results. This component is typically observed at mid-parietal electrode sites and is thought to reflect working memory encoding (Fabiani & Donchin, 1995; Polich, 2007). As in previous studies, they found an almost completely suppressed P3b during the AB for masked trials at short lags (see also; Vogel, Luck & Shapiro, 1998). When T2 was not-masked however, the P3b component was not suppressed in terms of amplitude, but the onset of the P3b was delayed at lag 3 compared to lag 8 despite accuracy levels suggesting no AB. This finding was particularly important because it suggested that the absence of an AB effect on accuracy of report of T2 could not be interpreted

as an absence of AB interference with the processing of T2. The delay of the P3b provided strong evidence for either an interruption or a slowing of encoding of T2 resulting from concurrent processing of T1 (see Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998). This important finding was replicated in other studies (e.g., Dell'Acqua et al., 2015; Ptito, Arnell, Jolicoeur, & MacLeod, 2008). Vogel and colleagues (1998) argued that the perceptual representation of T2 could be sustained for a relatively long period of time if it was not followed by another item (see also; Jolicoeur, 1999a). This representation was therefore still available when the consolidation of T1 was completed, allowing subsequent delayed processing of T2. If a mask (a distractor) followed T2 however, its perceptual representation was lost and/or overwritten by the subsequent stimulus before consolidation processes devoted to T1 were available for T2. This made the last target unavailable for conscious report. Interestingly, Jolicoeur and Dell'Acqua (1998) reported several experiments in which visual stimuli that had to be encoded for later report (at the end of each trial) were followed by a second stimulus that required an immediate speeded response. Response times increased as the delay between these two stimuli was reduced. These suggested that encoding visual stimuli for later report was sufficient to delay or slow the processing of trailing stimuli (see also Jolicoeur, Dell'Acqua, & Crebolder, 2001). The delay of P3b onset at short lag in the AB is consistent with the increases in response time reported by Jolicoeur and Dell'Acqua (1998) or Jolicoeur et al. (2001; see also Dell'Acqua, Jolicoeur, Vespignani, & Toffanin, 2005; Jolicoeur 1999b).

If we assume that the P3b component reflects the process of encoding information into a general working memory system, then the results described briefly in the foregoing passages suggest that encoding T1 in the AB paradigm slows or postpones one or more operations prior to, or at, the passage into working memory. According to locus-of-slack logic, results reported in

Jolicoeur et al. (2001) suggested that effects of the contrast of T2 on response times were underadditive with decreasing SOA between T1 and T2, suggesting in turn that very early sensory effects are before the capacity limitation in the AB (see Jolicoeur et al., 2001, for a discussion of the locus-of-slack logic on the context of the AB). Furthermore, Vogel et al. (1998) found no effects of AB on the visual P1 component, also suggesting a locus of interference somewhere after early sensory encoding and at or before encoding into working memory. In the present study we will examine effects of masking to determine if components after the P1 but before the P3b might be affected. Finding such effects would suggest a locus prior to the one reflected by the P3b (possibly in addition to a locus at the P3b), while finding no other component would provide some support that the primary locus of AB interference would be at encoding in working memory.

One component of interest is the P3a. This frontal component preceding the P3b and peaking at about 300 ms is hypothesized to reflect stimulus-driven frontal attentional engagement on targets (Polich, 2007). There are several models of AB interference but they do not all agree on the role attentional engagement plays in the deficit. Chun and Potter's (1995) two-stage model for example, proposes that only one target at a time can be consolidated in memory. Any subsequent target therefore has to wait until the first target is fully consolidated before having access to the consolidation stage. Meanwhile, if a second target is too close in time to the previous target, the perceptual trace of the second one fades before it can be encoded. It is not clear, in this model, what role attention might play. Dell'Acqua and colleagues (2015) however, did find a lag effect on P3a amplitude to T2 when T2 was not masked, suggesting a link between attentional engagement and the AB deficit. Consistent with this finding, many models put attentional mechanisms at the forefront of their model. For example, the boost and

bounce theory (Olivers & Meeter, 2008) holds that an attentional filter elicits a transient excitatory feedback activity (a “boost”) when a target is detected, opening a gate and allowing it to move on to working memory. When faced with a distractor, the filter accidentally “boosts” processing resulting in a following strong inhibition (a “bounce”) that closes off the gate for processing of following targets which leads to the AB. Finally, some models describe the AB phenomenon as a mix of attention related and non-related disruptions (e.g., the corollary discharge of attention movement, CODAM model; by Fragopanagos, Kockelkoren & Taylor, 2005). Models including attention-related explanations do not all agree on the cause of the attentional disruption, however. Only a small subset include distractor or masking related impacts on attention. As for models of masking on the other hand, none appear to address possible links between the impacts of a mask on attention. One exception to this general statement pertains to the role of attention in the 4-dot masking phenomenon where this type of mask is effective if attention is distributed among several targets (Enns & Di Lollo 1997). Although the link in this case may be more one of spatial attention influencing masking than masking influencing attention. It is therefore difficult to make clear, model based, predictions concerning the impact of masking the last target on attentional engagement. Our experiment will therefore clarify if such a link could explain part of the AB deficit and if it should be incorporated in models of the AB, models of masking, and models of cognition in which consciousness is considered.

Additional information might be uncovered by studying lateralized activity such as the N2pc component in the context of the AB and masking. The N2pc is a negative-going deflection contralateral to the visual field of the attended stimulus at posterior electrode sites, often from about 180 to 280 ms post-stimulus, for pop-out stimuli (Eimer, 1996; Kiss, van Velzen, & Eimer,

2008; Luck & Hillyard, 1994). The N2pc can be used as a way to monitor the deployment of visual spatial attention (Woodman & Luck, 2003). This component was previously studied and found to have a smaller amplitude (Akyürek, Leszczynski & Schubo, 2010; Dell'Acqua, Sessa, Jolicoeur, & Robitaille, 2006; Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua, & Robitaille, 2006) for shorter lags compared to that at longer lags during AB tasks. Previous experiments examining the N2pc in AB paradigms, however, all contained a post-T2 mask. In tasks other than the AB, masked targets seemed to elicit an N2pc. This was the case for four dot masking (Prime, Pluchino, Eimer, Dell'Acqua & Jolicoeur, 2011; Woodman & Luck, 2003), metacontrast under certain conditions (Ansorge & Heumann, 2006; Ansorge, Horstmann, Worschech, 2010; Jáskowski, van der Lubbe, Schlotterbeck, & Verleger, 2002) and for pattern masking (Robitaille & Jolicoeur, 2006). These experiments nonetheless did not compare masking to conditions where no mask was present. Only Robitaille and Jolicoeur (2006) compared trials where a pattern mask was presented to when no mask was presented and found no masking effect on the N2pc. Despite that, a myriad of masking theories exist but little place is given to attention in these proposed mechanisms. The re-entrant perceptual hypothesis (Enns & Di Lollo, 2000) suggests that less attention will accentuate masking but does not broach the impact the mask in itself could have on attention.

To gather additional information on masking effects, we also tested the possibility that masking has a larger effect with increasing task difficulty. To do this, we modulated the magnitude of the AB by manipulating the number of targets preceding the last one. Two consecutive targets in AB paradigms are usually both well reported (lag-one sparing; Potter, Chun, Banks, & Muckenhoupt, 1998) while making it harder to report a third target separated from the others by a few distractors (Dux et al., 2014). The trials had three critical stimulus

positions, S1, S2, which were contiguous, and S3 at lag 3 or 8 from S2. S2 was always a target (T2). S1 could be a distractor (D1) or a target (T1). And, S3 could be a distractor (D3) or a target (T3). For each level of T2-S3 lag, task difficulty was manipulated by including a target to be reported in the S1 position (T1), which created a higher processing load, or a distractor (D1), which created a lower processing load. We will refer to this manipulation as T1-absent versus T1-present trials.

In summary, we will try to determine the impact masking has on working memory encoding, engagement of attention and attentional deployment on a target during the AB. To do so, we manipulated the lag (lag 3 or lag 8) between the last and penultimate targets. We also had two different trial types: We manipulated the RSVP stream structure by changing the number of targets that were presented prior to S3 (i.e., T1-absent or T1-present) in order to control the difficulty of the task. Importantly, we presented the stimuli sequence with a mask after the last target for some participants and without one for others. We predict that encoding in working memory would be least effective (i.e. smaller P3b amplitude) for trials in which the lag is short, S1 was a target (T1-present), and a mask followed S3 (mask-present). We also expected a similar impact on the onset of memory encoding: a delayed P3b for short lags, more targets and in the presence of a mask. We also expected short lag trials and trials with more targets (three targets vs. two targets) to reduce the effectiveness of engagement of attention (i.e., smaller P3a amplitude) while not knowing what impact masking would have on P3a. Finally, there should also be a lag effect for the deployment of attention reducing its efficiency for short lags (smaller N2pc amplitude); and the experiment allowed us to examine potential effects of trial type (T1-absent or T1-present) and masking, which have not been studied previously.

## **2. Methods:**

### ***2.1 Participants.***

The participants were eighty-five undergraduate students at Université de Montréal. Fifty-one were originally assigned to the no-mask group and eleven were excluded from analysis (see the Electrophysiological Recording and Data Analysis section for more details). Forty participants (30 females) between the ages of 19 and 33 ( $m = 21.71$ ) were therefore kept for further analysis. Thirty-nine participants were assigned to the mask present group. Thirty-four participants were kept for analyses (see the Electrophysiological Recording and Data Analysis section for more details) (25 females) and they were between the ages of 18 and 26 ( $m = 21.45$ ). All reported normal or corrected to normal vision, no history of neurological disorders and all showed normal performance on the Ishihara color test. They received 20\$Can for their voluntary participation in the study after providing written informed consent.

### ***2.2 Stimuli.***

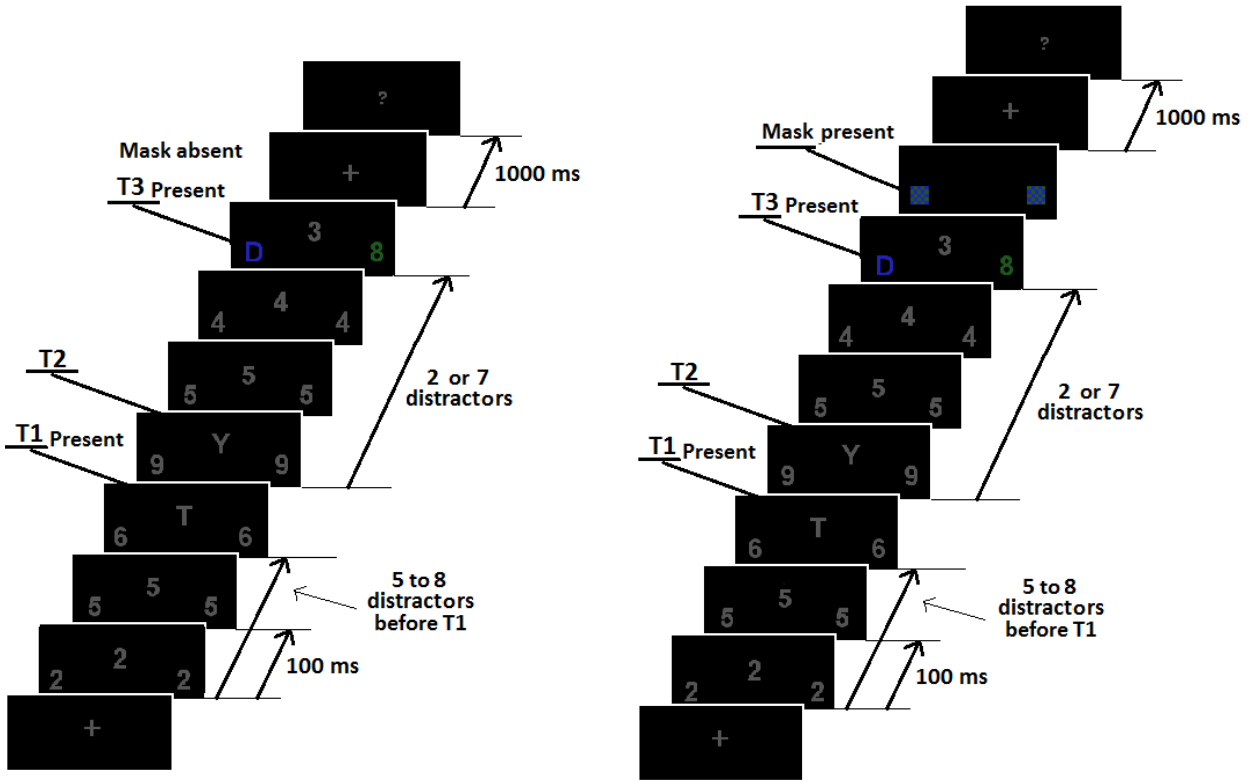
An example of the stimuli and sequence of events on each trial is illustrated in Figure 1. Filler frames in the RSVP sequence consisted of 3 identical digit distractors (between 2 and 9) in a triple RSVP stream. Trials could contain one, two or three targets that consisted of uppercase letters from the English alphabet (excluding B, I, O, Z, and Q, to avoid confusion with digits). Most characters were light grey in Courier New font on a black background. Stimuli were  $1^\circ$  of visual angle in height, at a distance of 57 cm from the screen of a cathode-ray computer monitor (maintained using a chin rest). In each frame, one stimulus was at fixation whereas the other two were displaced to the left or right by  $3^\circ$  and down by  $1^\circ$  of visual angle. Frames were presented for 100 ms with no inter-stimulus interval. There were three frames in



which the digit distractor *could* be replaced by a letter target; in the S1, S2, or S3 position. The second position, S2, always contained a target (T2) while both the S1 and S3 positions could randomly contain a target (T) or a distractor (D) (i.e., DTD, DTT, TTD or TTT). The target at the S1 position (T1, if present) as well as the target at the S2 position (T2) were always displayed at fixation while the target at the S3 position (T3, if present) was to the left or right of fixation.

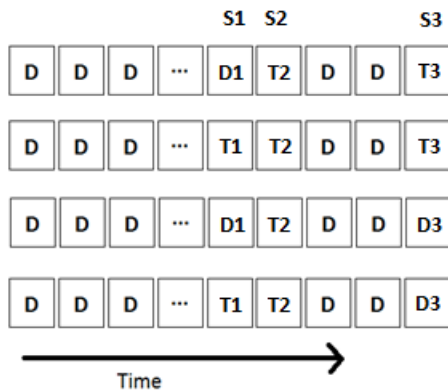
S1 was randomly in the 6<sup>th</sup>, 7<sup>th</sup>, 8<sup>th</sup>, or 9<sup>th</sup> frame. S2 position was in the frame immediately following the S1 position (frame S1+1). Finally, in order to elicit a deployment of attention that could be tracked by monitoring N2pc, the S3 position was in the right or left visual field of the final frame; 3 or 8 frames following S2 position (S2+3 or S2+8). For participants in the masking group, the S3 frame was followed by a five by five blue and green checkerboard of 1° of visual angle. Digits and letters were semi-randomly assigned during the sequence with no two same digits repeated from one frame to the next. Targets for a particular trial were always different letters from each other. For the last frame, participants were instructed to pay attention to a target color (blue or green; counterbalanced). S3, whether a distractor or target, was in the target color (e.g., blue) while the middle digit was light grey and the digit on the other side was in the distractor color (e.g., green). Thus, the last frame containing characters contained S3, in the target color, and could be a target (T3) if it was a letter, or a distractor (D3) if it was a digit. The stimulus on the other side of fixation was always a distractor (digit). This manipulation allowed participants to know when and where to deploy attention when the last frame consisted only of distractors. The luminance of the three colours used (blue, green, and light gray) was adjusted to be approximately equiluminant using a Minolta CS100 chromameter (3.30 cd/m<sup>2</sup>).

**Figure 1.** Stimulus sequence in each trial. Panel A: mask-absent. Panel B: mask-present Panel C: RSVP structure possibilities with reference to the targets (shown here only for lag 3 and mask-absent conditions). In this notation, the number indicates the stimulus position in the overall sequence, not the position relative to presented targets.  $T_2$  for example is the target presented at  $S_2$  position but can be the second target or the first, depending on whether  $T_1$  was shown or not shown. In this experiment,  $T_2$  was always shown, whereas  $T_1$  and/or  $T_3$  were sometimes replaced by a distractor.



**Panel A**

**Panel B**



**Panel C**

### ***2.3 Procedure and apparatus.***

Participants were seated in a dimly lit electrically shielded room at a distance of 57 cm from the screen (using a chin rest). Participants initiated each trial by pressing the space bar. They were instructed to enter the letter(s) they saw on a standard keyboard after the fixation cross disappeared and a question mark appeared (1000 ms after the last item) to ensure that muscle activity and ocular artefacts from eye movements towards the keyboard did not overlap with ERPs of interest.

The experiment was divided into 21 blocks of 32 trials each, preceded by a practice block of 16 trials. There were four types of changes that were that varied within-subjects were applied to the RSVP stream, each with two levels, with the addition of the presence or absence of a mask where subjects were assigned to the mask-absent or mask-present group. The four types of within-subject changes were; lag between T2 and T3 (3 or 8), presence or absence of T1, presence or absence of T3, and side-of-presentation of T3 (left or right visual field), yielding 16 combinations (see the following section for how these variations in the RSVP stream were used and manipulated to create experimental variables suited to EEG analyses). An equal number of trials (namely 2) in each of the 16 cells of the design were randomly mixed within each block.

### ***2.4 Electrophysiological Recording and Data Analysis.***

EEG was recorded using a BioSemi Active Two system and an elastic cap with 64 Ag/Ag–Cl electrodes positioned according to the International 10/10 system. The sampling rate was 512 Hz and the signal was referenced to the average of left and right mastoids after the recording. A high-pass filter of 0.1 Hz and a low-pass filter of 30 Hz were applied offline. The horizontal electro-oculogram (HEOG) was obtained using the subtraction of activity from a pair of

electrodes situated on the left and right eye outer canthi, which we used to monitor eye movement. Vertical eye movements and blinks (VEOG) were measured by subtracting data of an electrode situated below the left eye from the data above the left eye (Fp1). VEOG and HEOG channels were filtered with a 10 Hz low-pass filter and a 0.1 Hz high-pass filter to facilitate trial-by-trial ocular artifact rejection. An Independent Component Analysis (ICA) was performed to remove blink artifacts. Components related to ocular artifacts were selected by comparing the components identified by the ICA to the signal waveforms and by examining the topography and time course of the components using the method described by Drisdelle, Aubin and Jolicoeur (2016). Any remaining fluctuation of more than 50  $\mu\text{V}$  over a 150 ms period of the VEOG signal was considered a blink that was missed by the ICA procedure. Trials containing such fluctuations were removed from the data set. Similarly, segments with an HEOG difference of more than 35  $\mu\text{V}$  over a 300 ms period were considered eye movements and were removed. Data from any channel exceeding  $\pm 100 \mu\text{V}$  during a trial segment was interpolated, up to a maximum of 7 channels in any given trial. Trials with more than 7 channels exceeding this range were rejected. Participants that had more than 40% of trials rejected based on these criteria were excluded from further analysis. This resulted in 11 participants in the mask-absent group and 2 participants in the mask-present group being excluded. Additionally, three participants in the mask-present group were rejected because they correctly reported T3 less than 2% of trials were it was present no matter the lag. It is possible in these cases that participants were not looking for a third target. The rest of the participants correctly reported T3 67% of the time. Since we are interested in T3 processing, these participants were excluded. For the remaining participants, an average of 7.65% of trials were rejected. EEG was segmented based on the onset of T3, with a 100 ms pre-stimulus baseline and a 1000 ms post-stimulus-onset period.

In order to isolate T3-locked P3a and P3b from the overlapping activity caused by the previous stimuli in the RSVP stream, we used trials where S3 was a distractor (D3). By subtracting target absent (D3) from target present conditions (T3), it is possible to isolate the P3a and P3b activity related to the processing of T3. This technique or a similar one was used in previous related work (e.g., Ptito, Arnell, Jolicoeur, & MacLeod, 2008; Vogel & Luck, 2002). The P3b was measured at electrode POz and the P3a was measured at Fz. The S3-locked N2pc was computed by subtracting electrical activity measured at an electrode ipsilateral to the attended stimulus from activity measured at a corresponding contralateral electrode, for which we used PO7 and PO8 where the N2pc had the largest amplitude. Only the last item was in a lateral location on the screen, ensuring that the stimulus of interest (T3) was the only one eliciting the N2pc component.

### **3. Results:**

#### ***3.1 Behavioral.***

ANOVAs were performed on the mean proportion of correct report for each target as a function of trial type (T1-absent vs, T1-present) and lag (3 vs. 8) as within-subject factors and presence of the mask (mask-absent trials vs. mask-present trials) as a between-subject factor. Because we were interested in the AB, only T3-present trials (last target) were considered for analyses and the mean proportion of correct report for each target was contingent of the correct report of preceding targets (see Table 1).

**Table1. Accuracy.** Mean probability of correct report of each target in T1-absent and T1-present trials as a function of lag between S2 and S3 (3 vs. 8), and mask presence (trials were a mask was present vs. trials were the mask was absent). Accuracy was conditional on correct report of the preceding target(s).

	Stimulus position		
	S1	S2	S3
Mask absent, lag 3			
<b>T1-absent</b>	---	.96	.97
<b>T1-present</b>	.82	.88	.93
Mask absent, lag 8			
<b>T1-absent</b>	---	.96	.97
<b>T1-present</b>	.83	.90	.96
Mask present, lag 3			
<b>T1-absent</b>	---	.97	.66
<b>T1-present</b>	.84	.88	.48
Mask present, lag 8			
<b>T1-absent</b>	---	.96	.78
<b>T1-present</b>	.84	.87	.75

On average, subjects were more accurate in reporting in T2 in T1-absent trials than in reporting T1 in T1-present trials  $F(1, 72) = 252.64, MSE = .005, p < .0001$ . That is, report of the first target in the stream was better when there were only two targets shown (T2-T3) than when there were three (T1-T2-T3). There was no significant difference between lags, however,  $F(1, 72) = .14, MSE = .0001, p = .709$ , or between mask-present and mask-absent trials  $F(1, 72) = .40, MSE = .017, p = .531$ . There were no significant interactions in the analysis, all  $ps > .11$ .

An ANOVA was carried out to compare the mean proportion of correct report for T3, that is, when S3 was a target, as a function of trial type (T1- absence/presence), lag and mask presence. T3 accuracy was lower at lag 3 than at lag 8,  $F(1,72) = 113.46, MSE = .007, p < .0001$ . T3 accuracy was lower for T1-present trials than for T1-absent trials,  $F(1,72) = 108.18, MSE =$

.002,  $p < .0001$ . T3 accuracy was lower when T3 was followed by a mask compared with the mask-absent condition,  $F(1,72) = 74.99$ ,  $MSE = .083$ ,  $p < .0001$ . There was also a significant three-way interactions between these factors  $F(1,72) = 30.21$ ,  $MSE = .002$ ,  $p < .0001$ . T-tests with a Bonferroni-corrected alphas of .0125 per test (.05/4) indicated that there was no lag effect for T1-absent trials when no mask was present,  $t(39) = .73$ ,  $MSE = .004$ ,  $p = .471$  while reliable lag effects, were found for T1-absent trials when a mask was present  $t(33) = 5.89$ ,  $MSE = .021$ ,  $p < .0001$ . Lag effects, though of different magnitude, were detected both when the mask was present,  $t(33) = 10.99$ ,  $MSE = .024$ ,  $p < .0001$  and when the mask was absent,  $t(33) = 3.01$ ,  $MSE = .010$ ,  $p = .005$ . Results indicate that in the absence of a mask, an AB effect was only found for T1-present trials, converging with prior studies (Dell'Aacqua et al., 2015; Jannati et al., 2011, 2012; Sessa et al., 2007; Giesbrecht & Di Lollo, 1998). As expected, in mask-present trials the AB deficit (lower accuracy for lag 3 trials vs. lag 8) was more pronounced when more targets were presented (T1-present vs. T1-absent)  $t(33) = 7.37$ ,  $MSE = .0193$ ,  $p < .001$ .

### ***3.2 Electrophysiological results.***

#### ***3.2.1 The P3b.***

Figure 2 shows the grand average P3b difference waves (T3-present minus T3-absent) for the various trial types at POz while Table 2 lists the mean amplitudes of these waveforms. The amplitudes for each subject were submitted to an ANOVA that considered lag (3 vs. 8) and trial type (T1-absent vs. T1-present) as within-subject factors and Mask presence (mask-absent vs. mask-present) as a between-subject factor. Amplitudes were obtained by measuring the mean amplitude in a 150 ms window ( $\pm 75$  ms) centered on the peak of the waveform in mean grand averages for each condition. The mean amplitude of the P3b component was significantly

smaller for lag 3 than lag 8  $F(1, 72) = 33.98, MSE = 4.361, p < .0001$ . The P3b had a smaller amplitude for mask-present then mask-absent trials,  $F(1, 72) = 18.67, MSE = 16.163, p < .0001$ . There was no significant amplitude difference between T1-absent trials and T1-present trials  $F(1, 72) = .42, MSE = 3.148, p = .52$ . There were no significant interaction in the analysis, all  $ps > .09$ .

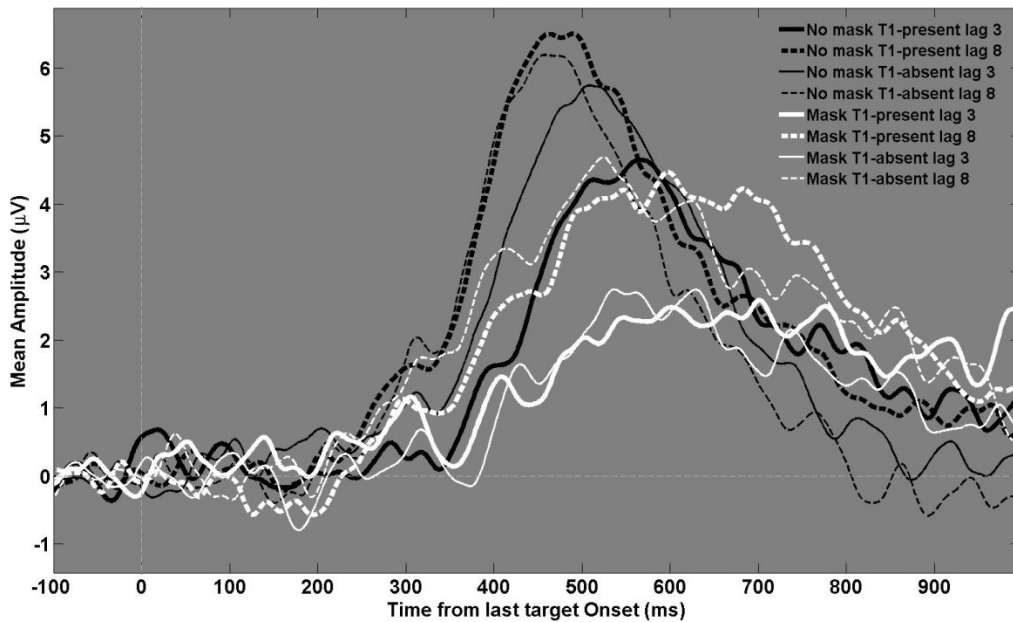
Mean P3b latencies, estimated using a jackknife approach (Kiesel, Miller, Jolicœur, & Brisson, 2008; Ulrich & Miller, 2001) with individually derived values using the solution proposed by Brisson and Jolicoeur (2008) and Smulders (2010), were also compared (see Table 3). Latency values were calculated as the time-point when individual jackknife waveforms reached 50% of the area under the curve (for values above 0  $\mu\text{v}$ ) in a 190 to 990 ms window post S3. The same ANOVA model as described above was used. P3b Latency was significantly delayed for lag 3 trials compared to lag 8 trials,  $F(1, 72) = 47.928, MSE = 4089.51, p < .0001$ . The P3b latency was also longer for T1-present trials compared to T1-absent trials,  $F(1, 72) = 28.35, MSE = 5226.7, p < .0001$ . Furthermore, P3b latency was longer for mask-present trials compared to mask-absent trials,  $F(1, 72) = 29.39, MSE = 22280.306, p < .0001$ . There was no significant interaction between these factors  $ps > .2$ . Collectively, the P3b results converge nicely with prior studies (Dell'Acqua et al., 2015) and indicate that encoding T3 in working memory is less efficient and delayed in the presence of a mask.



**Table 2. P3b amplitude.** Mean P3b amplitudes ( $\mu\text{V}$ ) (T3-present minus T3-absent trials) for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, and for mask-absent and mask-present.

<u>Mask presence</u>	<u>Trial type</u>	<u>Lag 3</u>	<u>Lag 8</u>
Absent	T1-absent	5.20	5.54
Absent	T1-present	4.21	5.96
Present	T1-absent	2.31	4.08
Present	T1-present	2.31	4.12

**Figure 2. P3b waveforms.** Grand average ERP difference waves (T3-present minus T3-absent trials) showing the P3b component at POz electrode site for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, for the mask-absent group and the mask-present group.



**Table 3. P3b latency.** Mean latency (in ms) of the P3b difference waves (T3-present minus T3-absent trials) estimated from jackknife averages using the fractional-area latency method (latency of 50% of the area under the curve; see text for further details), for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, for mask-absent and mask-present trials.

<b><u>Mask presence</u></b>	<b><u>Trial type</u></b>	<b>Lag 3</b>	<b>Lag8</b>
<b>Absent</b>	T1-absent	531	485
<b>Absent</b>	T1-present	595	521
<b>Present</b>	T1-absent	629	586
<b>Present</b>	T1-present	669	626

### 3.2.2 The P3a.

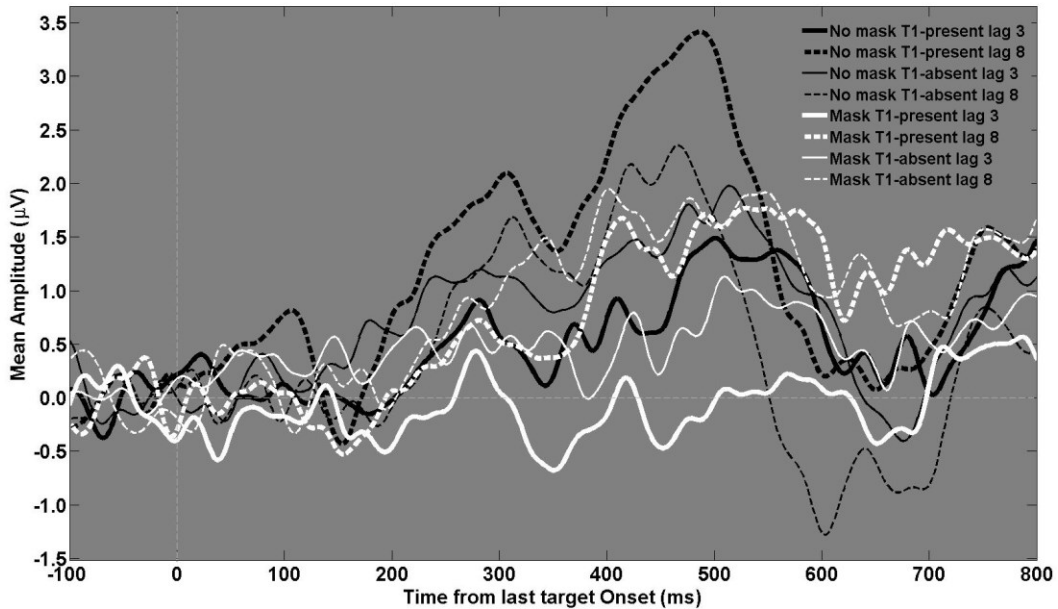
Figure 3 shows the grand average P3a difference waves (T3-present minus T3-absent) at Fz. Because there were no clear peaks for some conditions, mean amplitudes were estimated using a window between 270 and 320 ms (listed in Table 4). For this same reason, and because the offset of the component was not clear for all conditions, latency analyses were not performed. The amplitude was larger for lag 8 trials compared to lag 3 trials  $F(1, 72) = 7.65$ ,  $MSE = 3.212$ ,  $p = 0.007$  while the difference between T1-absent and T1-present trials did not quite reach significance,  $F(1, 72) = 2.66$ ,  $MSE = 2.368$ ,  $p = .108$ . There was a marginally significant crossover interaction between lag and trial type,  $F(1, 72) = 3.61$   $MSE = 1.916$   $p = .061$ . For lag 3, more targets (T1-present) meant a smaller amplitude whereas the opposite was found for lag 8. Finally, P3a amplitude was larger for mask-absent trials than for mask-present trials,  $F(1, 72) = 7.11$   $MSE = 4.016$   $p = .009$ . There were no other significant effects in the

analysis, all  $ps > .102$ . Results indicate that masking makes engagement of attention less efficient during the AB.

**Table 4. P3a amplitude.** Mean P3a amplitudes ( $\mu\text{V}$ ) (T3-present minus T3-absent trials) for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, and for mask-absent and mask-present.

<u>Mask presence</u>	<u>Trial Type</u>	<u>Lag 3</u>	<u>Lag8</u>
<b>Absent</b>	T1-absent	1.02	1.11
<b>Absent</b>	T1-present	0.49	1.65
<b>Present</b>	T1-absent	0.51	0.97
<b>Present</b>	T1-present	-0.16	0.46

**Figure 3. P3a waveforms** Grand average ERP difference waves (T3-present minus T3-absent trials) showing the P3a component at Fz electrode site for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, for the mask-absent group and the mask-present group.



### 3.2.3 The N2pc.

An ANOVA with the same model as for the P3 analyses was used to compare mean N2pc amplitudes. Figure 4 displays the grand average contralateral minus ipsilateral waveforms for T3-present trials for T1-absent and T1-present trials, for each lag, and each group (mask-absent/mask-present). The means of these means are shown in Table 5. Mean amplitudes were estimated between 200 ms and 300 ms for the mask-absent trials and between 170 ms and 270 ms for the mask-present trials. However, prior to the main analyses, we verified that the target color manipulation (recall that green was the target color for half of the participants and blue for the other half). We first analysed the data with an additional between-subjects factor of target color. There was a global effect of target color on N2pc amplitude but it did not interact with any of the other conditions of interest (lag, presence/absence of T1 or mask). We therefore did not look further into this effect.

N2pc amplitudes were not significantly different across lags,  $F(1, 72) = 1.78$ ,  $MSE = 3.192$ ,  $p = .186$ , or between T1-absent and T1-present trials,  $F(1, 72) = 1.72$ ,  $MSE = 2.031$ ,  $p = .193$ . However, and as is apparent upon inspection of Figure 4, there was a significantly larger N2pc amplitude for mask-absent trials relative to mask-present trials,  $F(1, 72) = 15.28$ ,  $MSE = 5.671$ ,  $p < .0001$ . There were no other significant effects in the analysis, all  $ps > .18$

Visual inspection of Figure 4 revealed marked differences in the offset of N2pc for mask-present and mask-absent trials. An ANOVA on jackknife latency estimates (see Table 6) confirmed this,  $F(1, 72) = 14.81$ ,  $MSE = 18697.622$ ,  $p < .0001$ . However, N2pc offset latency did not vary between lags,  $F(1, 72) = .001$ ,  $MSE = 6426.808$ ,  $p = .975$ , nor across T1-absent vs.

T1-present trials,  $F(1, 72) = .14$ ,  $MSE = 7288.793$ ,  $p = .709$ . There were no significant interactions between these factors, all  $ps > .20$ .

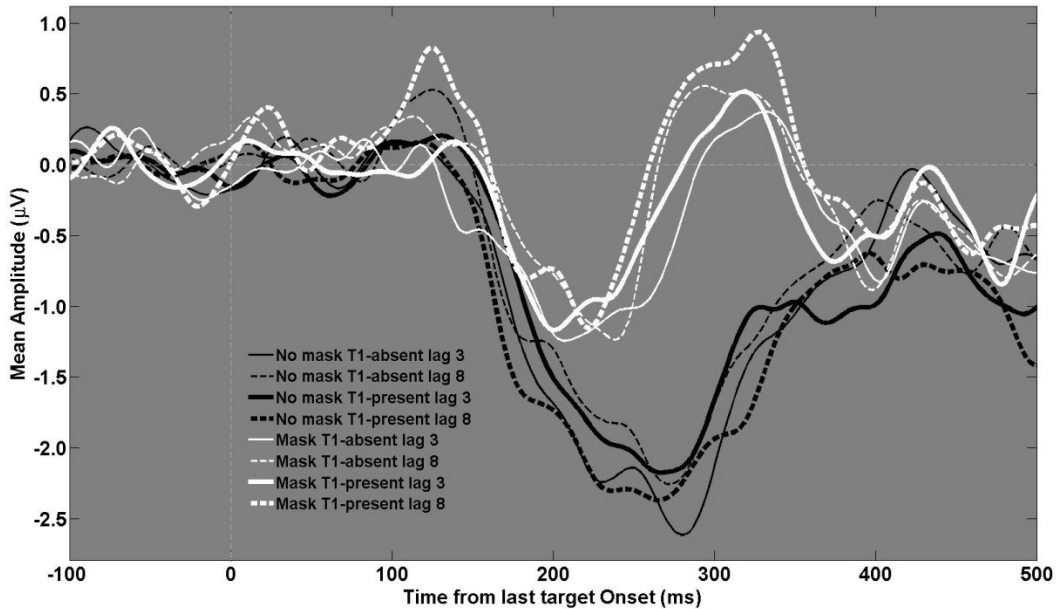
**Table 5. N2pc amplitude.** Mean N2pc lateralized amplitude ( $\mu V$ ) (contralateral minus ipsilateral) for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, as well as for trials with a mask compared to trials without a mask.

<u>Mask presence</u>	<u>Trial type</u>	<b>Lag 3</b>	<b>Lag8</b>
<b>Absent</b>	T1-absent	-2.23	-1.88
<b>Absent</b>	T1-present	-1.94	-1.58
<b>Present</b>	T1-absent	-1.01	-0.77
<b>Present</b>	T1-present	-0.83	-0.66

**Table 6. N2pc latency.** Mean N2pc latency (ms) (contralateral minus ipsilateral) for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, as well as for trials with a mask or trials without a mask.

<u>Mask presence</u>	<u>Trial type</u>	<b>Lag 3</b>	<b>Lag8</b>
<b>Absent</b>	T1-absent	307	304
<b>Absent</b>	T1-present	305	325
<b>Present</b>	T1-absent	263	252
<b>Present</b>	T1-present	243	238

**Figure 4. N2pc waveforms.** Grand average ERP difference waves (contralateral minus ipsilateral) showing the N2pc component at PO7/PO8 electrode sites for lags 3 and 8, T1-absent and T1-present trials, for the mask-absent group and the mask-present group.



#### 4. Discussion:

We investigated the role of masking in the spatial deployment of attention, attentional engagement, and encoding in working memory during the AB. To do so, we presented targets (letters) or distractors (digits) in the context of three concurrent RSVP streams consisting mainly of distractors (digits). There were three critical temporal positions in the sequences, S1, S2, and S3. S1 and S2 were always consecutive in the sequence, whereas the lag between S2 and S3 was either 3 or 8. S2 was always a target (T2), but S1 could be a target (T1) or a distractor (D1), and S3 could be a target (T3) or a distractor (D3). In one group of participants, S3 was the last stimulus (not masked), whereas in another group, S3 was followed by a mask. Together, this preparation produced a rich set of experimental conditions enabling an examination of the impact of masking and processing load on the AB, both on behaviour and on event-related potentials isolated from concurrent measurements of the EEG during the task.

The processing load prior to the presentation of S3 was varied by presenting one or two previous targets (T2, or T1+T2). Behaviorally, when the last target was masked, an AB effect (i.e., a reduction in the accuracy of report of T3 at lag 3 vs. lag 8) observed both in T1-absent and T1-present trials and this effect was larger for T1-present trials. When T3 was not masked, T1-absent trials no longer showed a behavioural AB effect while traces of an AB effect were still detected in 3T trials. Difficulty of encoding was successfully manipulated as accuracy was overall lower when there were two targets before T3, as opposed to one target before T3. These results replicated what Dell'Acqua and colleagues (2015) found in a similar experiment. Importantly, accuracy was significantly impacted by the presence of a backward mask, making it harder for participants to report targets when a mask followed the last target, and masking magnified the AB effect, as expected from previous research.

The electrophysiological measures showed a smaller P3b amplitude for short lag trials as was previously reported in other studies (Dell'Acqua et al., 2015; Vogel & Luck, 2002; Vogel, Luck & Shapiro 1998). This component was however not completely suppressed when the mask was present as was reported by Vogel and Luck (2002). This allowed us to observe a lag effect on latency of P3b in both the mask-absent and mask-present conditions (Dell'Acqua et al., 2015; Vogel & Luck, 2002).

Notably, the latency of the P3b component was later for lag 3 trials than for lag 8 trials. As Dell'Acqua and colleagues (2015) reported, increasing the number of initial targets (T1-present compared with T1-absent) also delayed the P3b. These findings complement previous research suggesting that the P3b reflects processing in a capacity-limited mechanism, which is either delayed, and/or slowed, under some conditions. Importantly for this paper, using a backward mask, we observed similar patterns as in Vogel and Luck's (2002) experiment, namely

a significant attenuation of the P3b in the short lag condition. It is possible that our attenuation was not as pronounced, as the one found by Vogel and Luck (2002) because we used a mask consisting of a small checkerboard, which perhaps approached masking by noise rather than by pattern. This result suggests that the type of backward mask (at least between pattern and noise masks, at the target-mask SOA we used) may not affect encoding in working memory differently, both of them making memory encoding a less efficient process. The backward mask also delayed the P3b latency by 70 to 100 ms (depending on experimental conditions). It is very likely that this effect could be observed for other types of masks, as long as the strength of masking did not completely suppress the P3b, as occurred in the Vogel and Luck (2002) study. The present findings help to clarify the role of masking in the AB paradigm and refine our understanding of capacity limitations underlying the AB. Masking causes a delay of the P3b, suggesting that processing masked targets is less efficient than targets that are not masked. Processing a masked stimulus, under AB load, is slowed, or perhaps even postponed, which can be observed in delayed latency of relevant ERP components, as well as increased response times when the paradigm involves speeded responses (e.g., Jolicoeur, 1998, 1999a; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998).

We also studied the impact of masking on the engagement of selective attention in the AB. We successfully replicated Dell'Acqua and colleagues' (2015) lag effect on the P3a as it had larger amplitudes for longer lag trials, indicating that attentional engagement was implicated in the AB deficit. Importantly, both for mask-present and mask-absent trials, lag effects on the P3a amplitude to T3 were more pronounced when two leading targets had to be encoded (T1-present, T2-present) compared to one (T1-absent, T2-present). When two leading targets (T1-present, T2-present) were presented in masked trials, there was a particularly large lag effect leading to a



complete suppression of the P3a at lag 3. Total encoding load, therefore, does affect selective engagement of attention on a subsequent target (here, T3) by exacerbating the lag effects during the AB. Of particular interest was the significant effect of the presence of the mask in suppressing the amplitude of the P3a response. The functional meaning behind the P3a component is still a matter of debate but the suppression by masking suggests that the functions reflected by P3a are strongly affected by masking. If, as some suggest, the P3a represents attentional engagement, or selection for engagement, our results would be consistent with models suggesting that AB reflects greater selection difficulty under some conditions. In the episodic simultaneous type, serial token model (Wyble et al., 2009) for example, during encoding of the first target, attention is inhibited so as to avoid distractor interference. This inhibition would impede the selection of the blinked target (see also; Wyble, Potter, Bowman & Nieuwenstein, 2011).

Finally, we evaluated the effect masking had on the N2pc in AB paradigms. In contrast with several earlier studies, we did not find a lag effect on N2pc amplitude. There was also no effect of the number of leading targets prior to T3 (i.e., no difference in N2pc to T3 across T1-absent and T1-present trials), despite clear effects of this manipulation on accuracy, and on P3b latency as well as a trend, that did not quite reach significance, towards a trial type effect for P3a amplitude, reproducing patterns seen in Dell'Acqua and Colleagues' work (2016). These results were unexpected, and we have no clear-cut explanation for the apparent discrepancies with previous work (e.g., Akyürek, Leszczynski, & Schubo, 2010; Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua & Robitaille, 2006; Pomerleau et al., 2014). Although many aspects of this experiment were similar to previous ones, one difference that was possibly responsible for this is the fact that the present experiment used three RSVP streams in order to mask the last lateralized target. The literature on

the AB shows that dividing attention by adding an irrelevant task could reduce the AB (Olivers & Nieuwenhuis, 2005). Perhaps the three RSVP design created a divided attention situation since the side RSVP streams required attention but were irrelevant until the very end. This possibly reduced the AB impact on attentional deployment. Perhaps the most striking results of the experiment were the impressively large effects of masking on N2pc amplitude and duration. The trailing mask appeared to limit the duration of useful processing of the target, reflected in a shorter N2pc duration and lower overall amplitudes compared to the mask-absent condition. The attenuation and early termination of the N2pc is consistent with the hypothesis that masking curtailed the attentional deployment on S3, slowing and attenuating downstream processing (reflected in poor performance and attenuated and delayed P3 responses). Considering this, processing of a masked last target would produce a representation that may be more vulnerable to interference and it is therefore not surprising that T3 accuracy is lower during the AB.

Importantly, although the early attentional component of processing was apparently shortened by the mask, later downstream processing was probably lengthened, assuming the representation of the masked target was not completely obliterated. It is thus interesting to consider our results in relation to the role the distractor following the first target plays in the AB. Raymond and colleagues (1992) found a larger AB when T1 (they only had two-target trials) was followed by an immediate distractor (T1+1), suggesting a lengthening of capacity-demanding processing of T1 (e.g., Jolicoeur, 1999b). Brisson and colleagues (2010) found that masking T1 reduced the amplitude of the P3b, as it did for masking T2 (their last target). According to these authors these findings show that masking T1 could reduce processing efficiency, leading to greater cost for the last target. Perhaps the N2pc and P3a results we obtained by masking our last target would also be similar to that for a masked first target. As

seen in the present work, masking the last target had a big impact on its processing but perhaps masking the first target also does and this effect might carry-over to the last target and accentuate downstream masking affect.

To summarize, masking affected encoding in working memory (P3b), attentional engagement (P3a) and spatial deployment of attention (N2pc). Masking cuts short spatial attention, whereas it lengthened later processing because of degraded representations, particularly under high processing load. These results demonstrate that masking affects numerous aspects of attention and encoding, and they help to clarify and refine our understanding of the impact of masking in the AB paradigm.

## References:

- Agaoglu, S., Agaoglu, M. N., Breitmeyer, B., & Ogmen, H. (2015). A statistical perspective to visual masking. *Vision Research, 115, Part A*, 23–39. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2015.07.003>
- Akyürek, E. G., Leszczyński, M., & Schubö, A. (2010). The temporal locus of the interaction between working memory consolidation and the attentional blink. *Psychophysiology, 47*(6), 1134–1141. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01033.x>
- Ansorge, U., & Heumann, M. (2006). Shifts of visuospatial attention to invisible (metacontrast-masked) singletons: Clues from reaction times and event-related potential. *Advances in Cognitive Psychology, 2*(1), 61–76. <http://doi.org/10.2478/v10053-008-0045-9>
- Ansorge, U., Horstmann, G., & Worschech, F. (2010). Attentional capture by masked colour singletons. *Vision Research, 50*(19), 2015–2027. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2010.07.015>
- Bachmann, T. (1984). The process of perceptual retouch: Nonspecific afferent activation dynamics in explaining visual masking. *Perception & Psychophysics, 35*(1), 69–84. <http://doi.org/10.3758/BF03205926>
- Breitmeyer, B. G., & Ogmen, H. (2000). Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update. *Perception & Psychophysics, 62*(8), 1572–1595. <http://doi.org/10.3758/BF03212157>

- Breitmeyer, B., & Ögmen, H. (2006). *Visual Masking: Time Slices Through Conscious and Unconscious Vision*. OUP Oxford.
- Brisson, B., & Jolicœur, P. (2008). Express Attentional Re-Engagement but Delayed Entry into Consciousness Following Invalid Spatial Cues in Visual Search. *PLOS ONE*, 3(12), e3967. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0003967>
- Broadbent, D., & Broadbent, M. (1987). From detection to identification: Response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics*, 42(2), 105–113. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3758/BF03210498>
- Cheesman, J., & Merikle, P. M. (1986). Distinguishing conscious from unconscious perceptual processes. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 40(4), 343–367. <http://doi.org/10.1037/h0080103>
- Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(1), 109–127. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.21.1.109>
- Dell'Acqua, R., Doro, M., Dux, P. E., Losier, T., & Jolicœur, P. (2016). Enhanced frontal activation underlies sparing from the attentional blink: Evidence from human electrophysiology. *Psychophysiology*, 53(5), 623–633. <http://doi.org/10.1111/psyp.12618>
- Dell'Acqua, R., Dux, P. E., Wyble, B., Doro, M., Sessa, P., Meconi, F., & Jolicœur, P. (2015). The Attentional Blink Impairs Detection and Delays Encoding of Visual Information: Evidence from Human Electrophysiology. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(4), 720–735. [http://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00752](http://doi.org/10.1162/jocn_a_00752)
- Dell'Acqua, R., Sessa, P., Jolicœur, P., & Robitaille, N. (2006). Spatial attention freezes during the attention blink. *Psychophysiology*, 43(4), 394–400. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00411.x>
- Dux, P. E., Wyble, B., Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (2014). On the costs of lag-1 sparing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 40(1), 416–428. <http://doi.org/10.1037/a0033949>
- Dux, P., & Marois, R. (2009). The attentional blink: A review of data and theory. [References]. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(8), 1683–1700. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3758/APP.71.8.1683>
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), 225–234. [http://doi.org/10.1016/0013-4694\(96\)95711-9](http://doi.org/10.1016/0013-4694(96)95711-9)

- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (1997). Object Substitution: A New Form of Masking in Unattended Visual Locations. *Psychological Science*, 8(2), 135–139. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1997.tb00696.x>
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(9), 345–352. [http://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01520-5](http://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01520-5)
- Fabiani, M., & Donchin, E. (1995). Encoding processes and memory organization: A model of the von Restorff effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(1), 224–240. <http://doi.org/10.1037/0278-7393.21.1.224>
- Fragopanagos, N., Kockelkoren, S., & Taylor, J. G. (2005). A neurodynamic model of the attentional blink. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 568–586. <http://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.03.010>
- Giesbrecht, B., & Di Lollo, V. (1998). Beyond the attentional blink: Visual masking by object substitution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(5), 1454–1466. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.24.5.1454>
- Jannati, A., Spalek, T. M., & Lollo, V. D. (2010). Neither backward masking of T2 nor task switching is necessary for the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 70–75. <http://doi.org/10.3758/s13423-010-0015-3>
- Jannati, A., Spalek, T. M., P. E., & Di Lollo, V. (2012). The attentional blink is not affected by backward masking of T2, T2-mask SOA, or level of T2 impoverishment. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(1), 161–168. <http://doi.org/10.1037/a0025985>
- Jaśkowski, P., Lubbe, R. H. J. van der, Schlotterbeck, E., & Verleger, R. (2002). Traces Left on Visual Selective Attention by Stimuli That Are Not Consciously Identified. *Psychological Science*, 13(1), 48–54. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00408>
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The Demonstration of Short-Term Consolidation. *Cognitive psychology*, 36(2), 138-202. <http://dx.doi.org/10.1006/cogp.1998.0684>
- Jolicoeur, P. (1999a). Dual-task interference and visual encoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(3), 596–616. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.25.3.596>
- Jolicoeur, P. (1999b). Concurrent response-selection demands modulate the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1097–1113. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.25.4.1097>
- Jolicoeur, P., Dell'Acqua, R., & Crebolder, J. M. (2001). The attentional blink bottleneck. In *The limits of attention: Temporal constraints in human information processing* (pp. 82–99). New York, NY, US: Oxford University Press.

- 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. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s00426-005-0008-4>
- Kiesel, A., Miller, J., Jolicoeur, P., & Brisson, B. (2008). Measurement of ERP latency differences: A comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. *Psychophysiology*, *45*(2), 250–274. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00618.x>
- Kiss, M., Van Velzen, J., & Eimer, M. (2008). The N2pc component and its links to attention shifts and spatially selective visual processing. *Psychophysiology*, *45*(2), 240–249. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00611.x>
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*(5), 1000–1014. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.20.5.1000>
- Martens, S., & Wyble, B. (2010). The attentional blink: Past, present, and future of a blind spot in perceptual awareness. [References]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *34*(6), 947–957. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.005>
- Olivers, C. N. L., & Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological Review*, *115*(4), 836–863. <http://doi.org/10.1037/a0013395>
- Olivers, C. N. L., & Nieuwenhuis, S. (2005). The Beneficial Effect of Concurrent Task-Irrelevant Mental Activity on Temporal Attention. *Psychological Science*, *16*(4), 265–269. <http://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01526.x>
- Polich, J. (2007). Updating p300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128–2148. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Pomerleau, V. J., Fortier-gauthier, U., Corriveau, I., McDonal, J. J., Dell'Acqua, R., & Jolicoeur, P. (2014). The attentional blink freezes spatial attention allocation to targets, not distractors: Evidence from human electrophysiology. *Brain Research*, *1559*, 33-45. <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2014.02.029>
- Potter, M. C., Chun, M. M., Banks, B. S., & Muckenhoupt, M. (1998). Two attentional deficits in serial target search: The visual attentional blink and an amodal task-switch deficit. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24*(4), 979–992. <http://doi.org/10.1037/0278-7393.24.4.979>
- Potter, M., & Levy, E. (1969). Recognition memory for a rapid sequence of pictures. [References]. *Journal of Experimental Psychology*, *81*(1), 10–15. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/h0027470>

- Prime, D. J., Pluchino, P., Eimer, M., Dell'acqua, R., & Jolicœur, P. (2011). Object-substitution masking modulates spatial attention deployment and the encoding of information in visual short-term memory: Insights from occipito-parietal ERP components. *Psychophysiology*, *48*(5), 687–696. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01133.x>
- Ptito, A., Arnell, K., Jolicœur, P., & Macleod, J. (2008). Intramodal and crossmodal processing delays in the attentional blink paradigm revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, *45*(5), 794–803. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00677.x>
- Raymond, J. E., Shapiro, K. L., & Arnell, K. M. (1992). Temporary suppression of visual processing in an RSVP task: An attentional blink?. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, *18*(3), 849.
- Robitaille, N., & Jolicœur, P. (2006). Fundamental properties of the N2pc as an index of spatial attention: Effects of masking. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, *60*(2), 101–111. <http://doi.org/10.1037/cjep2006011>
- Sessa, P., Luria, R., Verleger, R., & Dell'Acqua, R. (2007). P3 latency shifts in the attentional blink: Further evidence for second target processing postponement. *Brain Research*, *1137*, 131–139. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.12.066>
- Smulders, F. T. Y. (2010). Simplifying jackknifing of ERPs and getting more out of it: Retrieving estimates of participants' latencies. *Psychophysiology*, *47*(2), 387–392. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00934.x>
- Ulrich, R., & Miller, J. (2001). Using the jackknife-based scoring method for measuring LRP onset effects in factorial designs. *Psychophysiology*, *38*(5), 816–827. <http://doi.org/null>
- Vogel, E., & Luck, S. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. [References]. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*(4), 739–743. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3758/BF03196329>
- Vogel, E., Luck, S., & Shapiro, K. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. [References]. *Journal of Experimental Psychology*, *24*(6), 1656–1674. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.24.6.1656>
- Weichselgartner, E., & Sperling, G. (1987). Dynamics of automatic and controlled visual attention. *Science*, *238*(4828), 778–780. <http://doi.org/10.1126/science.3672124>
- 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. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.29.1.121>

Zuvic, S. M., Visser, T. A. W., & Lollo, V. D. (2000). Direct estimates of processing delays in the attentional blink. *Psychological Research*, 63(2), 192–198.  
<http://doi.org/10.1007/PL00008178>



## Chapitre III : Discussion et conclusion

Pour ce projet de mémoire, nous avons tenté de clarifier le rôle du masquage lors du déploiement attentionnel visuospatial, l'engagement de l'attention ainsi que lors de l'encodage en mémoire de travail. Pour ce faire, nous avons utilisé un paradigme de CA et avons varié l'intervalle entre les cibles (3 ou 8) ainsi que la présence ou l'absence d'un masque à la fin de la série de stimuli. Nous avons également tenté de contrôler la difficulté de la tâche en manipulant le nombre de cibles présentées (2 ou 3 cibles). Ces manipulations nous ont permis d'observer une grande variété de conditions expérimentales afin de déterminer l'impact d'un masque et d'une plus grande charge à encoder, à la fois comportementalement et sur les PRE.

Comportementalement, un déficit de type CA (taux de bonnes réponses plus faible pour un intervalle de 3 que pour un intervalle de 8) était présent pour les essais avec deux cibles, mais seulement en présence d'un masque et était présent pour les essais avec trois cibles à la fois en présence et absence d'un masque. Il y avait un taux de bonnes réponses à la dernière cible plus faible lorsqu'il y avait trois cibles contrairement à deux. Ceci indique que nous avons bel et bien réussi à manipuler la difficulté de la tâche. Ces résultats répliquent ceux trouvés par Dell'Acqua (2015) et ses collègues dans une expérience semblable. De plus, nous observons un effet significatif de la présence d'un masque rétrograde. Celui-ci semble augmenter la difficulté à rapporter la dernière cible.

Les mesures électrophysiologiques démontrent une plus faible amplitude de la composante P3b pour les essais avec un intervalle court tel que rapporté dans de précédentes études (Dell'Acqua et al., 2015; Vogel & Luck, 2002; Vogel, Luck & Shapiro 1998). Contrairement à Vogel et Luck (2002) par contre, la composante P3b n'était pas complètement supprimée. Ceci nous a permis d'observer un effet de latence de la P3b à la fois en l'absence et en présence d'un masque (voir aussi Dell'Acqua et al., 2015).

La P3b atteignait en effet 50% de son amplitude plus tard pour un intervalle de 3 que pour un intervalle de 8. Comme rapporté par Dell'Acqua et ses collègues (2015), nous observons qu'augmenter le nombre de cibles à identifier (T1-absent vs. T1-present) retarde la P3b. Cette découverte complète les recherches précédentes suggérant que la P3b reflète un mécanisme limité en capacité qui est soit ralenti ou subit un délai sous certaines conditions. Ensuite, l'utilisation d'un masque rétrograde nous permet de répliquer les résultats de Vogel et Luck (2002) soit l'effet d'intervalle entre les cibles. Il est possible que l'atténuation de la P3b n'était pas aussi prononcée que pour Vogel et Luck (2002) puisque le masque que nous avons utilisé se rapproche plus du masque par bruit que d'un masque par patron comme ils ont utilisé. Mis à part cette petite différence, les résultats sont similaires. Ceci suggère que le type de masque (du moins entre masque par patron et par bruit) n'affecte pas l'encodage en mémoire de travail différemment puisque les deux types de masques rendent ce processus moins efficace. Le masque a de plus engendré un délai important (70 à 100 ms) de la composante P3b. Il est probable que d'autres types de masques induisent les mêmes effets à la condition que la force du masquage ne réduise pas complètement la P3b comme dans l'étude de Vogel et Luck (2002). Traiter un stimulus masqué semble ainsi être ralenti ou peut-être même reporté à plus tard.

Nous avons également étudié l'impact d'un masque sur l'engagement attentionnel dans le cadre du CA. Nous avons répliqué les résultats de Dell'Acqua et ses collègues (2015) concernant l'effet d'intervalle sur l'amplitude de la P3a. Nous pouvons en effet observer une plus faible amplitude de la P3a lorsque l'intervalle est plus court. Ceci indique que l'engagement attentionnel est impliqué dans le mécanisme du CA. Le type d'essai (T1-absent vs. T1-present) n'était pas un effet principal, mais jouait un rôle important dans l'effet d'intervalle. À la fois pour les essais masqués et non masqués, l'effet d'intervalle était plus marqué pour les essais avec

trois cibles plutôt que deux. Lors d'essais masqués avec trois cibles, il y avait un effet d'intervalle impressionnant où la P3a était totalement supprimée pour l'intervalle de 3. Il est également intéressant pour ce mémoire d'observer un effet significatif de la présence d'un masque. Celui-ci semble réduire l'amplitude de la P3a et ainsi l'efficacité de l'engagement de l'attention. Ce résultat appuie les modèles de CA qui proposent que le déficit provienne d'une difficulté dans la l'engagement attentionnel. Dans le modèle de «Boost and Bounce» (Olivers et Meeter, 2008) par exemple, les distracteurs, qui sont comparables à des masques, augmentent accidentellement l'attention («boost») puis l'inhibent rapidement («bounce»). Cette inhibition de l'attention diminuerait la capacité à sélectionner la cible masquée. Le modèle «episodic simultaneous type, serial token» (Wyble et al., 2009), où l'attention est inhibé Durant le traitement de la première cible, concorde également avec cette idée.

Enfin, nous avons évalué l'impact d'un masque sur le déploiement attentionnel durant le CA. Contrairement à plusieurs études précédentes, nous n'avons obtenu aucun effet d'intervalle sur l'amplitude de la N2pc. Il n'y avait également aucun effet du nombre de cibles (T1-absent vs. T1-present). Ces résultats étaient inattendus et nous n'avons pas d'explication claire et nette pour cette absence d'effet divergeant avec des études précédentes (p. ex., Akyürek, Leszczynski, & Schubo, 2010; Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua & Robitaille, 2006; Pomerleau et al., 2014). Plusieurs aspects de notre expérience sont similaires aux expériences passées, mais une différence notable est possiblement responsable de cette différence. Dans notre expérience, nous avons utilisé trois séries RSVP afin de masquer la cible latéralisée. La littérature sur le CA mentionne que diviser l'attention des participants en rajoutant une tâche non pertinente réduit l'effet du CA (Olivers et Nieuwenhuis, 2005). Il se peut que la suite RSVP triple ai créé une situation d'attention divisée puisque les suites latérales attiraient l'attention, mais étaient non

pertinente sauf pour la fin de la présentation. C'est possiblement cette situation d'attention divisée qui a réduit le CA dans notre expérience. Malgré l'absence d'effet d'intervalle, il y avait un effet de masque impressionnant où l'amplitude de la N2pc est plus faible lorsque la cible est masquée. Robitaille et Jolicoeur (2006) n'ont pas observé d'effet de masque, mais pour leur expérience, ils demandaient aux participants de rapporter le premier ou le deuxième stimulus. Il se peut que dans ce cas-ci, les participants encodaient les deux stimuli et déterminaient lequel était premier et lequel était le deuxième à la fin de la présentation. Nous pourrions nous attendre à une N2pc de large amplitude dans un tel cas de masquage. Notre expérience quant à elle contrastait la présence et l'absence d'un masque. Le masque semble de plus limiter la durée du déploiement attentionnel sur la cible, ce qui est reflété dans la durée plus courte de la N2pc comparativement aux essais où il n'y a pas de masque. Il s'ensuit qu'une représentation de la cible plus vulnérable à l'interférence serait probablement créée. Ce n'est donc pas surprenant que le taux de bonnes réponses à la dernière cible soit si faible.

Les mécanismes attentionnels précoces semblent être abrégés par le masque alors que le traitement plus tardif comme l'encodage en mémoire de travail semble être prolongé en présence d'un masque. Il est donc intéressant de considérer nos résultats dans le contexte du distracteur qui suit la première cible. Raymond et ses collègues (1992) ont mesuré un plus grand CA lorsque la première cible était suivie d'un distracteur et non d'un temps mort. Ils ont remarqué que tout comme pour une dernière cible masquée, l'amplitude de la P3b était réduite pour une première cible masquée. Ceci indiquerait que le fait de masquer la première cible réduirait l'efficacité du traitement entraînant ainsi un plus grand coût pour le traitement de la dernière cible. Il se pourrait que l'effet d'un masque sur la N2pc et la P3a pour la dernière cible soit semblable pour la première cible. Nous avons vu dans cette étude que masquer la dernière cible affecte

considérablement son traitement, mais il se pourrait également que la première cible soit autant affectée et que cette diminution d'efficacité affecte à son tour le traitement de la dernière cible.

En résumé, un masque affecte l'encodage en mémoire de travail (P3b), l'engagement attentionnel (P3a) ainsi que le déploiement de l'attention visuospatiale (N2pc). Le masquage termine le déploiement de l'attention plus tôt et prolonge le traitement en diminuant la qualité de la représentation de la cible la rendant plus susceptible à de l'interférence sous des conditions difficiles. Ces résultats démontrent qu'un masque affecte plusieurs étapes du traitement d'une cible. Ceci nous aide à mieux comprendre le rôle du masque dans le CA. Une conclusion importante pour ce mémoire est que l'interruption apparente du déploiement visuo-spatial de l'attention, reflété par la N2pc, semble correspondre directement à une réduction claire de la probabilité de créer une représentation du stimulus qui serait accessible de façon consciente. Les interactions mises en évidence dans ce mémoire démontrent comment des systèmes à capacité limitée interagissent ensemble pour permettre ou, dans certains cas, limiter la perception consciente de représentations qui sont encodées à partir d'information visuelle éphémère. Les études sur les effets du masquage et celle sur le CA cherchent toute deux à comprendre la façon dont l'humain traite l'information visuelle qui l'entoure. Ces deux littératures évoluent toutefois majoritairement parallèlement avec des modèles qui se recourent et d'autres qui se contredisent. La présente étude clarifie qu'il serait important dans le futur de considérer conjointement ces deux phénomènes afin de d'avoir une image plus complète des mécanismes derrière le traitement d'informations visuelles chez l'humain.

## Références:

- Agaoglu, S., Agaoglu, M. N., Breitmeyer, B., & Ogmen, H. (2015). A statistical perspective to visual masking. *Vision Research, 115, Part A*, 23–39. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2015.07.003>
- Akyürek, E. G., Leszczyński, M., & Schubö, A. (2010). The temporal locus of the interaction between working memory consolidation and the attentional blink. *Psychophysiology, 47*(6), 1134–1141. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01033.x>
- Ansorge, U., & Heumann, M. (2006). Shifts of visuospatial attention to invisible (metacontrast-masked) singletons: Clues from reaction times and event-related potential. *Advances in Cognitive Psychology, 2*(1), 61–76. <http://doi.org/10.2478/v10053-008-0045-9>
- Ansorge, U., Horstmann, G., & Worschech, F. (2010). Attentional capture by masked colour singletons. *Vision Research, 50*(19), 2015–2027. <http://doi.org/10.1016/j.visres.2010.07.015>
- Bachmann, T. (1984). The process of perceptual retouch: Nonspecific afferent activation dynamics in explaining visual masking. *Perception & Psychophysics, 35*(1), 69–84. <http://doi.org/10.3758/BF03205926>
- Breitmeyer, B. G., & Ogmen, H. (2000). Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update. *Perception & Psychophysics, 62*(8), 1572–1595. <http://doi.org/10.3758/BF03212157>
- Breitmeyer, B., & Ögmen, H. (2006). *Visual Masking: Time Slices Through Conscious and Unconscious Vision*. OUP Oxford.
- Brisson, B., & Jolicœur, P. (2008). Express Attentional Re-Engagement but Delayed Entry into Consciousness Following Invalid Spatial Cues in Visual Search. *PLOS ONE, 3*(12), e3967. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0003967>
- Broadbent, D. E. (1958). The effects of noise on behaviour. *Perception and communication*, 81–107.
- Broadbent, D., & Broadbent, M. (1987). From detection to identification: Response to multiple targets in rapid serial visual presentation. *Perception & Psychophysics, 42*(2), 105–113. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3758/BF03210498>
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review, 97*(4), 523–547. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.97.4.523>
- Cheesman, J., & Merikle, P. M. (1986). Distinguishing conscious from unconscious perceptual processes. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie, 40*(4), 343–367. <http://doi.org/10.1037/h0080103>

- Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(1), 109–127. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.21.1.109>
- Debner, J. A., & Jacoby, L. L. (1994). Unconscious perception: Attention, awareness, and control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *20*(2), 304–317. <http://doi.org/10.1037/0278-7393.20.2.304>
- Dell'Acqua, R., Doro, M., Dux, P. E., Losier, T., & Jolicœur, P. (2016). Enhanced frontal activation underlies sparing from the attentional blink: Evidence from human electrophysiology. *Psychophysiology*, *53*(5), 623–633. <http://doi.org/10.1111/psyp.12618>
- Dell'Acqua, R., Dux, P. E., Wyble, B., Doro, M., Sessa, P., Meconi, F., & Jolicœur, P. (2015). The Attentional Blink Impairs Detection and Delays Encoding of Visual Information: Evidence from Human Electrophysiology. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *27*(4), 720–735. [http://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00752](http://doi.org/10.1162/jocn_a_00752)
- Dell'Acqua, R., Sessa, P., Jolicœur, P., & Robitaille, N. (2006). Spatial attention freezes during the attention blink. *Psychophysiology*, *43*(4), 394–400. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00411.x>
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural Mechanisms of Selective Visual Attention. *Annual Review of Neuroscience*, *18*(1), 193–222. <http://doi.org/10.1146/annurev.ne.18.030195.001205>
- Drisdelle, B., Aubin, S., & Jolicoeur, P. (2016). Dealing with ocular artifacts on lateralized event-related potentials in studies of visual-spatial attention and memory: ICA correction versus epoch rejection. *Psychophysiology*, in press.
- Duncan, J. (1980). The locus of interference in the perception of simultaneous stimuli. *Psychological Review*, *87*(3), 272–300. <http://doi.org/10.1037/0033-295X.87.3.272>
- Dux, P. E., Wyble, B., Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (2014). On the costs of lag-1 sparing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *40*(1), 416–428. <http://doi.org/10.1037/a0033949>
- Dux, P., & Marois, R. (2009). The attentional blink: A review of data and theory. [References]. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *71*(8), 1683–1700. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3758/APP.71.8.1683>
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *99*(3), 225–234. [http://doi.org/10.1016/0013-4694\(96\)95711-9](http://doi.org/10.1016/0013-4694(96)95711-9)



- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (1997). Object Substitution: A New Form of Masking in Unattended Visual Locations. *Psychological Science*, 8(2), 135–139. <http://doi.org/10.1111/j.1467-9280.1997.tb00696.x>
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(9), 345–352. [http://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01520-5](http://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01520-5)
- Fabiani, M., & Donchin, E. (1995). Encoding processes and memory organization: A model of the von Restorff effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 21(1), 224–240. <http://doi.org/10.1037/0278-7393.21.1.224>
- Fragopanagos, N., Kockelkoren, S., & Taylor, J. G. (2005). A neurodynamic model of the attentional blink. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 568–586. <http://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.03.010>
- Giesbrecht, B., Bischof, W. F., & Kingstone, A. (2004). Seeing the light: Adapting luminance reveals low-level visual processes in the attentional blink. *Brain and cognition*, 55(2), 307-309.
- Giesbrecht, B., & Di Lollo, V. (1998). Beyond the attentional blink: Visual masking by object substitution. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24(5), 1454–1466. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.24.5.1454>
- Jannati, A., Spalek, T. M., & Lollo, V. D. (2010). Neither backward masking of T2 nor task switching is necessary for the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(1), 70–75. <http://doi.org/10.3758/s13423-010-0015-3>
- Jannati, A., Spalek, T. M., P, E., & Di Lollo, V. (2012). The attentional blink is not affected by backward masking of T2, T2-mask SOA, or level of T2 impoverishment. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(1), 161–168. <http://doi.org/10.1037/a0025985>
- Jaśkowski, P., Lubbe, R. H. J. van der, Schlotterbeck, E., & Verleger, R. (2002). Traces Left on Visual Selective Attention by Stimuli That Are Not Consciously Identified. *Psychological Science*, 13(1), 48–54. <http://doi.org/10.1111/1467-9280.00408>
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The Demonstration of Short-Term Consolidation. *Cognitive psychology*, 36(2), 138-202. <http://dx.doi.org/10.1006/cogp.1998.0684>
- Jolicoeur, P. (1999a). Dual-task interference and visual encoding. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(3), 596–616. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.25.3.596>
- Jolicoeur, P. (1999b). Concurrent response-selection demands modulate the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25(4), 1097–1113. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.25.4.1097>

- Jolicœur, P., Dell'Acqua, R., & Crebolder, J. M. (2001). The attentional blink bottleneck. In *The limits of attention: Temporal constraints in human information processing* (pp. 82–99). New York, NY, US: Oxford University Press.
- 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. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1007/s00426-005-0008-4>
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort* (p. 246). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kiesel, A., Miller, J., Jolicœur, P., & Brisson, B. (2008). Measurement of ERP latency differences: A comparison of single-participant and jackknife-based scoring methods. *Psychophysiology*, *45*(2), 250–274. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00618.x>
- Kiss, M., Van Velzen, J., & Eimer, M. (2008). The N2pc component and its links to attention shifts and spatially selective visual processing. *Psychophysiology*, *45*(2), 240–249. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2007.00611.x>
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*(5), 1000–1014. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.20.5.1000>
- Martens, S., & Wyble, B. (2010). The attentional blink: Past, present, and future of a blind spot in perceptual awareness. [References]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, *34*(6), 947–957. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.12.005>
- Olivers, C. N. L., & Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological Review*, *115*(4), 836–863. <http://doi.org/10.1037/a0013395>
- Olivers, C. N. L., & Nieuwenhuis, S. (2005). The Beneficial Effect of Concurrent Task-Irrelevant Mental Activity on Temporal Attention. *Psychological Science*, *16*(4), 265–269. <http://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01526.x>
- Pashler, H. E., & Sutherland, S. (1998). *The psychology of attention* (Vol. 15). Cambridge, MA: MIT press.
- Polich, J. (2007). Updating p300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*(10), 2128–2148. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Potter, M. C., Chun, M. M., Banks, B. S., & Muckenhoupt, M. (1998). Two attentional deficits in serial target search: The visual attentional blink and an amodal task-switch deficit. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *24*(4), 979–992. <http://doi.org/10.1037/0278-7393.24.4.979>

- Potter, M., & Levy, E. (1969). Recognition memory for a rapid sequence of pictures. [References]. *Journal of Experimental Psychology*, 81(1), 10–15. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/h0027470>
- Prime, D. J., Pluchino, P., Eimer, M., Dell'acqua, R., & Jolicoeur, P. (2011). Object-substitution masking modulates spatial attention deployment and the encoding of information in visual short-term memory: Insights from occipito-parietal ERP components. *Psychophysiology*, 48(5), 687–696. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2010.01133.x>
- Ptito, A., Arnell, K., Jolicoeur, P., & Macleod, J. (2008). Intramodal and crossmodal processing delays in the attentional blink paradigm revealed by event-related potentials. *Psychophysiology*, 45(5), 794–803. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2008.00677.x>
- Robitaille, N., & Jolicoeur, P. (2006). Fundamental properties of the N2pc as an index of spatial attention: Effects of masking. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue Canadienne de Psychologie Expérimentale*, 60(2), 101–111. <http://doi.org/10.1037/cjep2006011>
- Sessa, P., Luria, R., Verleger, R., & Dell'Acqua, R. (2007). P3 latency shifts in the attentional blink: Further evidence for second target processing postponement. *Brain Research*, 1137, 131–139. <http://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.12.066>
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological review*, 84(2), 127.
- Smulders, F. T. Y. (2010). Simplifying jackknifing of ERPs and getting more out of it: Retrieving estimates of participants' latencies. *Psychophysiology*, 47(2), 387–392. <http://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00934.x>
- Ulrich, R., & Miller, J. (2001). Using the jackknife-based scoring method for measuring LRP onset effects in factorial designs. *Psychophysiology*, 38(5), 816–827. <http://doi.org/null>
- Vogel, E., & Luck, S. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. [References]. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(4), 739–743. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.3758/BF03196329>
- Vogel, E., Luck, S., & Shapiro, K. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. [References]. *Journal of Experimental Psychology*, 24(6), 1656–1674. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.24.6.1656>
- Weichselgartner, E., & Sperling, G. (1987). Dynamics of automatic and controlled visual attention. *Science*, 238(4828), 778–780. <http://doi.org/10.1126/science.3672124>

- 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. <http://doi.org/10.1037/0096-1523.29.1.121>
- Wyble, B., Bowman, H., & Nieuwenstein, M. (2009). The attentional blink provides episodic distinctiveness: sparing at a cost. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(3), 787. <http://dx.doi.org/10.1037/a0013902>
- Zuvic, S. M., Visser, T. A. W., & Lollo, V. D. (2000). Direct estimates of processing delays in the attentional blink. *Psychological Research*, 63(2), 192–198. <http://doi.org/10.1007/PL00008178>