

Université de Montréal

**Asymétries cérébrales lors du traitement de  
l'information visuelle rapide: investigations chez une  
population clinique et neurologiquement saine**

par

Alexia Ptito

Département de psychologie

Faculté des arts et sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de Maîtrise

en Psychologie option Sciences Cognitives - Neuropsychologie

Août, 2009

© Alexia Ptito, 2009

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Assymétries cérébrales lors de traitement de l'information visuelle rapide: investigations  
chez une population clinique et neurologiquement saine

présenté par :  
Alexia Ptito

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Isabelle Peretz , président-rapporteur  
Pierre Jolicoeur, directeur de recherche  
Sarah Lippé, membre du jury

## Abstract

The Attentional Blink (AB) refers to a transient impairment in the accurate report of a second target (T2) if it closely follows the presentation of a first target (T1) in a rapid serial visual presentation (RSVP), when both targets must be reported. This study investigated both the possibility of hemispheric asymmetries of attentional processes as well as the possibility that presenting targets to different hemispheres could diminish the AB in neurologically intact participants and abolish it in the case of a split-brain patient. To do so, a modified AB paradigm was used in which targets could appear in any of four simultaneous RSVP streams, one in each quadrant of the visual field, so as to have trials in which both targets were presented to the same hemispheres and trials in which targets were presented to different hemispheres. Although no evidence of a diminished AB was observed by presenting targets to separate hemispheres, in both neurologically intact individuals and the split-brain patient, overall accuracy was higher when targets were presented to separate hemispheres. A left hemisphere advantage was only observed in the split-brain patient.

**Keywords** : Cognitive neuroscience, visual-spatial attention, Split-Brain, Attentional Blink, hemispheric asymmetries

## Résumé

Le phénomène de Clignement Attentionnel (Attentional Blink, AB), fait référence à une diminution transitoire du rapport exact d'une deuxième cible (C2) si celle-ci est présentée trop tôt après une première cible (C1) lors d'une présentation visuelle sérielle rapide (rapid serial visual presentation, RSVP), et ce, quand les deux cibles doivent être rapportées. Cette étude a examiné l'existence possible d'asymétries hémisphériques dans le traitement attentionnel ainsi que l'éventualité que la présentation de cibles à deux hémisphères différents puisse diminuer le AB chez des participants neurologiquement sains et l'abolir dans le cas d'un patient callosotomisé. Pour ce faire, nous avons employé un paradigme modifié du AB dans lequel les cibles pouvaient apparaître dans n'importe quelle de quatre RSVP, une dans chaque quadrant du champ visuel, pour permettre des essais dans lesquels les deux cibles puissent être présentées au même hémisphère et d'autres où chaque cible était présentée à un hémisphère différent. Bien que nous n'ayons trouvé aucune diminution de l'effet AB lors de présentation inter-hémisphérique, dans les deux populations à l'étude, le taux de bonnes réponses globales à la deuxième cible était plus élevé quand les cibles étaient présentées à des hémisphères différents. Nous avons également trouvé un avantage de l'hémisphère gauche chez le patient callosotomisé.

**Mots clés :** Neurosciences cognitives, Attention visuo-spatiale, Callosotomie, Clignement attentionnel, Asymétries hémisphériques

## Table des matières

<b>Abstract.....</b>	<b>iii</b>
<b>Résumé.....</b>	<b>iv</b>
<b>Table des matières.....</b>	<b>v</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>vi</b>
<b>Remerciements.....</b>	<b>vii</b>
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
Vue d'ensemble.....	2
Le Clignement Attentionnel (Attentional Blink : AB).....	3
Le traitement intra- et interhémisphérique de l'effet AB.....	9
Buts de la recherche et hypothèses.....	12
<b>Article.....</b>	<b>14</b>
Article 1: The attentional blink within and across the hemispheres: Evidence from a patient with a complete section of the corpus callosum	
<b>Discussion Générale.....</b>	<b>42</b>
Est-ce que partager le traitement de l'information entre les hemispheres comporte des avantages?.....	43
Asymétries cérébrales .....	46
<b>Conclusions.....</b>	<b>47</b>
<b>Références pour l'Introduction et la Conclusion Générale .....</b>	<b>49</b>

## Liste des figures

Figure 1. Illustration of the timecourse and spatial layout of the stimuli in each trial..	38
Figure 2. A: Neurologically intact participants.....	39
B: M.L.....	39
Figure 3. M.L.'s performance in intra-hemispheric trials	
A : Different-stream trials.....	40
B : Same-stream trials.....	40
Figure 4. Magnitude of the AB effect for both neurologically intact participants and M.L. ....	41

## Remerciements

Je tiens d'abord et avant tout à remercier Pierre Jolicoeur, superviseur extraordinairement patient, extraordinairement généreux, extraordinairement motivant et tout simplement extraordinaire!

Je dois aussi beaucoup à toute ma famille : ma mère qui s'est toujours fait si aidante, mon père qui m'a toujours encouragée, mes enfants, qui m'ont parfois laissé travailler, mes beaux-parents pour leurs précieux appuis et conseils et surtout mon mari, qui ne cesse de me rappeler ma valeur, pour peut-être m'y faire croire un jour.

Merci aussi à mes chers amis du labo, Émi, Cath et Nic, qui ont réussi à m'apprendre tant de choses sur la vie et sur les sciences.

Je veux aussi souligner l'apport de mes meilleures amies Judith et Ethel. Judith, qui m'a appuyée dans toutes mes frasques. J'adore depuis plus de quinze ans entendre qu'elle est fière de moi! Ethel, qui fait de plus en plus partie de ma famille, toujours là pour moi et mes enfants, parfois (mais jamais assez) avec sa caméra!

Ce mémoire est dédié à mon mari, Benoit Brisson, sans qui rien ne serait possible.

## **Introduction Générale**



## **Vue d'ensemble**

L'attention est le processus cognitif par lequel nous pouvons nous concentrer sur un aspect de notre environnement et en ignorer d'autres, améliorant ainsi notre perception d'informations pertinentes au coût de celle à laquelle nous ne portons pas attention. Un exemple classique est celui de la scène du gorille, où l'on demande au participant de compter le nombre de passes de ballon entre joueurs d'une même équipe (Simons & Chabris, 1999). Les participants qui se concentrent sur la tâche ne remarque pas un gorille apparaître en plein milieu du jeu!

Malgré son impressionnante complexité et ses puissantes capacités de traitement, le cerveau comporte bien entendu des limites, d'où l'importance des mécanismes attentionnels pour les pallier. Dans le cas du traitement de l'information visuelle, la recherche comportementale a identifié trois goulots attentionnels majeurs nuisant significativement à notre habileté de percevoir consciemment, retenir, et agir sur notre environnement visuel. Ces goulots sont illustrés respectivement par le Clignement Attentionnel (Attentional Blink, AB : consolidation en mémoire visuelle à court-terme, ou MVCT), la détection du changement (change detection : rétention en MVCT) et la Période Réfractaire Psychologique (Psychological Refractory Period, PRP : sélection de la réponse). Au cours des dernières années, la recherche en attention s'est surtout penchée sur les structures cérébrales précises qui sous-tendent ces processus attentionnels.

Pour ce faire, deux types de populations peuvent être étudiées : les populations neurologiquement saines et les populations ayant certaines lésions cérébrales spécifiques.

Dans le premier cas, l'étude de populations saines en neuro-imagerie nous informe sur les mécanismes impliqués dans le traitement de l'information et de ses déficits. Il en est de même pour les études avec les populations dites « cliniques ». En effet, une lésion particulière et bien documentée nous informe aussi sur le fonctionnement normal du cerveau de par ses réponses différentes de celles du cerveau sain.

Dans la présente étude, il est question de la spécialisation hémisphérique dans le traitement de stimuli visuels présentés rapidement et de façon latéralisée. De plus, nous investiguons la possibilité que diviser le traitement entre les hémisphères cérébraux pourrait augmenter la capacité attentionnelle. Pour ce faire, nous avons utilisé une version modifiée du paradigme du AB.

### **Le Clignement Attentionnel (Attentional Blink, AB)**

Le phénomène du AB est observé lors d'une présentation visuelle sérielle rapide (Rapid Serial Visual Presentation, RSVP). En effet, lorsqu'on présente une séquence rapide de stimuli visuels, au même emplacement spatial d'un écran, on observe une diminution du taux de bonnes réponses quant à l'identité d'une deuxième cible (C2), lorsque deux cibles (C1 et C2) doivent être rapportées et qu'elles sont présentées entre 200 ms et 500 ms (*lag court*) l'une de l'autre. Quand, cependant, on peut ignorer C1 et rapporter uniquement l'identité de C2, il n'y a plus de déficits observés. Dans les paradigmes les plus courants du AB, les réponses aux cibles sont faites à la fin de l'essai, sans contraintes de temps. Donc, pour pouvoir être rapportées, les cibles doivent être consolidées en mémoire à court terme (MCT), où leur représentation doit demeurer

jusqu'à ce que la réponse soit effectuée. Étant donné que la MCT ne peut contenir plus de 3 ou 4 représentations simultanées (Alvarez & Cavanagh, 2004; Awh, Barton, & Vogel, 2007; Cowan, 2000; Luck & Vogel, 1997), il devient crucial pour la réussite de la tâche que seulement les items pertinents (i.e., les cibles), soient sélectionnés pour entrer en MCT, alors que les items non-pertinents (i.e., les distracteurs) sont rejetés de tout traitement subséquent.

Les premières théories du AB, tel le modèle à deux étapes (Chun & Potter, 1995) et la théorie de l'interférence centrale (Jolicoeur, 1998, 1999a, 1999b), proposaient que lorsque les mécanismes attentionnels sont occupés au traitement de C1 les ressources attentionnelles soient trop limitées pour traiter les cibles subséquentes (e.g., Chun & Potter, 1995; Jolicoeur, 1998). Conséquemment, les représentations perceptuelles de C1 et C2 ne peuvent être consolidées de façon aussi efficace simultanément qu'elles ne pourraient l'être lors de traitement indépendant. En effet, pendant qu'une représentation de C1 se consolide en MCT pour un rapport futur, la consolidation de C2 doit attendre, ou elle subit un traitement plus lent (e.g., Jolicoeur, 1998; Tombu & Jolicoeur, 2003). Pendant cette période d'attente (ou de consolidation plus lente), la représentation de C2 se désagrège et devient plus susceptible d'être supplantée par un distracteur subséquent avant d'avoir pu être recodée en un format plus stable, menant au rapport conscient de son identité.

Au cours des vingt dernières années, on a essayé de reproduire le AB en utilisant des paradigmes différant du RSVP au point de fixation. Ainsi, on a entre autres réussi à

éliciter un AB en ne présentant que les deux cibles et leur masque respectif, en variant le *lag* entre les cibles (e.g., Ward, Duncan & Shapiro, 1997). On a aussi essayé de varier la position des cibles (les cibles pouvaient apparaître dans un même RSVP ou dans des RSVP différents). On a ainsi trouvé que lorsque les deux cibles sont présentées à la même place et que le participant ne sait pas d'avance où sera présentée la deuxième cible, on obtient un effet AB inversé, c'est-à-dire une meilleure identification de C2 au *lag* court par rapport à C1 (Dell'Acqua, Pascali, Jolicœur, & Sessa, 2003). Par ailleurs, quand les deux cibles sont présentées dans des endroits/RSVP différents, un effet AB standard est observé (Dell'Acqua et al., 2003).

Dernièrement, on s'est beaucoup penché sur le rôle du masque dans le phénomène du AB. Il est bien établi à présent que lorsque le distracteur suivant immédiatement C1 (i.e., C1 + 1 distracteur, ou le masque de C1) est supprimé, non seulement ceci aide la performance à C1, mais réduit aussi significativement l'effet AB (Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992; Chun & Potter, 1995; Seiffert & Di Lollo, 1997; Visser, 2007). De plus, plus un masque à C1 est efficace, plus l'effet AB tend à être important (Seiffert & Di Lollo, 1997). En d'autres termes, un masque qui affecte beaucoup la performance à C1 va aussi avoir un plus grand impact négatif sur le rapport correct de C2 qu'un masque qui affecte moins la performance à C1. Étant donné la relation entre l'effet du masque à C1 sur son rapport correct et l'amplitude de l'effet AB, on a proposé que le masque à C1 augmentait indirectement l'effet AB en rendant le traitement de C1 plus exigeant (e.g., Seiffert & Di Lollo, 1997), ce qui crée, à son tour une période d'attente plus longue pour la consolidation de C2. Cette interprétation concorde avec les observations que

d'augmenter la difficulté du traitement mnémonique dans la première tâche (Akyürek, Hommel, & Jolicoeur, 2007; Ouimet & Jolicoeur, 2007) ou d'augmenter la difficulté de la sélection de la réponse immédiate à C1 (voir Jolicoeur, Dell'Acqua, & Crebolder, 2001, pour une revue de cette littérature) sont tous deux associés avec un effet AB plus prononcé.

Lorsqu'on élimine le masque entre les deux cibles en présentant deux cibles l'une à la suite de l'autre, un phénomène connu sous le nom de «lag-1 sparing » survient. En effet, on observe que le AB est ainsi aboli (Visser, Bischof, & DiLollo, 1999).

Plus récemment, Di Lollo, Kawahara, Shahab Ghorashi, & Enns (2005) ont élaboré un paradigme dans lequel on présentait trois cibles séquentiellement, et leurs résultats sont venus remettre en question la théorie longtemps acceptée que les limites de capacité dans le traitement de l'information étaient responsables de l'effet AB. En effet, ils ont démontré que le troisième de trois items successifs était mieux rapporté si ces trois items étaient tous des cibles (conditions à trois cibles) que si le second item était remplacé par un distracteur (condition à deux cibles). Qui plus est, le taux de bonnes réponses à la dernière cible était aussi élevé que pour la première cible dans la condition à trois cibles (dénnotant donc une absence d'un effet AB), mais était plus bas que pour la première cible dans la condition à deux cibles (dénnotant ici la présence d'un effet AB). Ces résultats, qui ont été souvent répliqués par la suite (e.g., Kawahara, Enns, & Di Lollo, 2006, Kawahara, Kumada, & Di Lollo, 2006; Nieuwenstein & Potter, 2006; Olivers, Van der Stigchel, & Hulleman, 2007) ont sérieusement mis en doute les modèle de limites de

capacité du AB. Effectivement, ces modèles prédiraient que de présenter trois cibles successives devrait entraîner un déclin important dans le taux de réussite à la troisième cible, car la représentation perceptuelle de ladite cible devrait attendre plus longtemps, plus le nombre de cibles précédentes augmente.

Bien qu'ils soient loin de faire l'unanimité (voir Dell'Acqua, Jolicoeur, Luria, & Pluchino, 2009 et Dux, Asplund, & Marois, 2009) ces résultats ont donc donné naissance à une nouvelle théorie du AB, qui ne postule pas de limites de capacité dans le processus de consolidation, appelé Perte Temporaire de Contrôle (Temporary Loss of Control, TLC : Di Lollo et al., 2005; Kawahara, Enns, & Di Lollo, 2006; Kawahara, Kumada, & Di Lollo, 2006). Selon ce modèle, la sélection des cibles (et le rejet des distracteurs) est entreprise par un filtre attentionnel, qui est établi de manière endogène au début de chaque essai, selon les instructions de la tâche. Ce filtre attentionnel est activement maintenu par l'exécutif central, qui est aussi nécessaire pour la consolidation en MCT. Une supposition clé du modèle TLC est que l'exécutif central ne peut maintenir le filtre attentionnel pendant qu'il consolide un item en MCT. Par conséquent, pendant la consolidation de C1, le filtre est rendu temporairement vulnérable à la stimulation exogène. Si un distracteur qui ne correspond pas aux réglages du filtre est présenté pendant la période de TLC (i.e., pendant la consolidation de C1), le filtre est perturbé et ne peut être rétabli qu'après que l'exécutif central ait fini la consolidation de C1. Si C2 est présenté après que le filtre ait été perturbé et avant qu'il n'ait pu être rétabli, alors on verra une baisse du taux de bonnes réponses. Contrairement aux distracteurs, les cibles ne perturbent pas le filtre, car ils correspondent parfaitement aux réglages de ce dernier. Tant

que le filtre est maintenu, on n'observera pas d'effet AB, car la consolidation en MCT n'a pas de limites de capacité. Notons par contre que le modèle de TLC n'écarte pas complètement l'idée de limites dans le traitement de l'information, mais voit plutôt celles-ci comme provenant de l'exécutif central, qui est limité dans le nombre d'opérations différentes qu'il peut contrôler en même temps (i.e., maintenir le filtre attentionnel et consolider une cible en MCT). Il existe une autre théorie similaire qui présume que la cause principale du AB est due aux distracteurs et non aux limites de capacité dans le traitement de l'information, le « Boost and Bounce » (BB : Olivers & Meeter, 2008). Cette théorie va plus loin en postulant qu'il n'y a aucune limite de capacité dans la consolidation outre le nombre d'items pouvant être retenus en MCT et le fait qu'un seul filtre attentionnel à la fois peut être implémenté. Pour leur part, Taatgen, Juvina, Schipper, Borst, & Martens (2009), postulent que l'effet AB est causé non pas par une perturbation du contrôle cognitif, comme c'est le cas dans les théories de TLC et BB, mais plutôt par un sur-taxage du contrôle cognitif en présence de distracteurs.

Les avancées en imagerie cérébrale ont entre autres amené les chercheurs vers une nouvelle avenue pour résoudre le débat quant au lieu de l'interférence dans l'effet AB. Qu'elles soient en électrophysiologie (Ptito, Arnell, Jolicoeur, & MacLeod, 2008; Vogel, Luck, & Shapiro 1998; Vogel, & Luck 2002), en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (Marois, Chun, & Gore, 2000) ou en magnétoencéphalographie (Kessler, Schmitz, Gross, Hommel et al., 2005), ces recherches s'entendent sur un lieu d'interférence tardif (post-perceptuel), en condition classique de présentation au point de fixation.

Quant à eux, Nieuwenhuis, Gilzenrat, Holmes, et Cohen (2005) proposent un mécanisme neurobiologique pour expliquer l'effet AB. Ce modèle suggère que le AB se produit lors d'une période réfractaire dans l'activité du locus coeruleus, qui survient suivant une réponse phasique initiale (i.e., une décharge de norépinéphrine) élicité par les stimuli cibles.

Donc, selon ce modèle, à cause de ladite inaccessibilité de la potentiation noradrénergique, les cibles subséquentes présentées durant la période réfractaire ne reçoivent pas les prétendus bénéfices de facilitation associés à la décharge de norépinéphrine enclenchée par le locus coeruleus, et souffrent donc du déficit dans le traitement de C2 observé dans le AB.

### **Le traitement intra- et interhémisphérique de l'effet AB**

Depuis les travaux pionniers de Sperry portant sur les fonctions de chaque hémisphère suite à la section du corps calleux ou callosotomie (e.g., Sperry, 1968), il est maintenant reconnu que les hémisphères gauche et droit ont des compétences qui leur sont spécifiques. La callosotomie est une chirurgie dans laquelle les fibres calleuses reliant les deux hémisphères cérébraux sont sectionnées pour soulager l'épilepsie autrement intraitable. Cette chirurgie a pour conséquence l'élimination pratiquement complète de tout transfert d'information entre les deux hémisphères. Les effets dramatiques de cette déconnexion des hémisphères, observés pour la première fois par Myers, Sperry, et Gazzaniga dans les années 1960, sur la perception et la cognition ont



porté certain à spéculer que chaque hémisphère possède ses propres ressources attentionnelles. En d'autres termes, les opérations cognitives d'un hémisphère, indépendamment de leur degré de difficulté, n'influenceraient peu ou pas les activités cognitives de l'autre hémisphère (Banich, 1998). Le point de vue opposé veut que ces processus soient gérés par des ressources limitées, ce qui ferait en sorte que plus un hémisphère travaille fort sur une tâche, plus la performance de l'hémisphère opposé sera mauvaise pour accomplir une tâche d'égale et constante complexité. Cette deuxième hypothèse de ressources attentionnelles partagées a été confirmée par quelques recherches (Holtzman & Gazzaniga, 1982). Cependant, une certaine controverse règne encore en ce qui a trait à cette question, car des études plus récentes montrent que les systèmes d'attention visuo-spatiale sont en fait divisés et qu'il n'y a pas d'interférence inter-hémisphérique en l'absence du corps-calleux lors de tâches d'attention divisée (e.g., Arguin et al., 1999).

Une certaine controverse existe également quant au rôle distinct de chaque hémisphère dans le traitement de l'effet AB. En effet, Hussain, Shapiro, Martin, et Kennard (1997) ont utilisé un paradigme classique du AB, soit un seul RSVP au point de fixation, pour tester des patients souffrant d'hémi-négligence. Leurs résultats démontrent que l'effet AB semble plus prononcé chez les patients avec lésions de l'hémisphère droit, mais ils n'ont pu comparer ce groupe qu'à des contrôles neurologiquement intacts, n'ayant pas de patients avec lésions de l'hémisphère gauche dans leur échantillon. Ceci rend donc les conclusions sur les capacités relatives de chaque hémisphère plutôt difficilement interprétables. De plus, en utilisant le paradigme classique du AB, soit un

seul RSVP au point de fixation, il est impossible de savoir s'il y a une différence dans le traitement de l'information entre les hémisphères et si une présentation latéralisée des cibles pourrait soulager le goulot et réduire l'effet du AB.

Plus récemment, Giesbrecht et Kingstone (2004) ont utilisé un paradigme latéralisé du AB avec un patient à cerveau dédoublé, lequel paradigme consistait en la présentation de cibles masquées présentées séquentiellement et séparées par un bref intervalle temporel. Ces chercheurs ont trouvé que le AB était plus prononcé lorsque la deuxième cible était présentée à l'hémisphère droit. Inversement, Holländer, Corballis, and Hamm (2005) ont observé dans une étude de population saine, que l'effet AB était atténué quand les deux cibles étaient présentées à l'hémisphère droit, de même que lorsque seulement la deuxième cible était présentée à l'hémisphère droit dans un RSVP latéralisé. Cependant, ces études n'employaient que deux RSVP, ce qui pose certains problèmes méthodologiques. En effet, dans les essais intra-hémisphériques, les deux cibles étaient présentées au même emplacement spatial alors que dans les essais inter-hémisphériques, les cibles apparaissaient forcément dans des emplacements différents. Or, nous savons que l'effet AB diffère de manière assez importante selon que les deux cibles soient présentées ou non au même endroit, lorsque les participants doivent porter attention à plus d'un RSVP en même temps, donnant même lieu, tel que mentionné plus haut, à un phénomène de AB inversé.

## **But de la recherche et hypothèses**

Notre recherche s'est tout d'abord penchée sur la possibilité que la division du traitement de deux cibles par des hémisphères différents pourrait diminuer, voire même abolir l'effet du AB.

Pour ce faire, nous avons élaboré un paradigme dans lequel les cibles pouvaient être présentées soit au même hémisphère ou au deux hémisphères. Plus précisément, nous avons employé quatre RSVP simultanés, un dans chaque quadrant du champ visuel. Les cibles pouvaient donc apparaître dans n'importe quel RSVP au hasard, d'essai en essai. Ainsi, les deux cibles pouvaient apparaître dans le même héli-champ visuel (essais intra-hémisphériques) ou dans des héli-champs opposés (essais inter-hémisphériques). Ce dessin expérimental nous a permis de résoudre le problème des déplacements de l'attention (attentional shifts), rendant ceux-ci équiprobables dans les essais inter- et intra- hémisphériques. En effet, il semble que le traitement de C2 (plus précisément le *Lag-1 sparing*) est affecté lorsqu'un déplacement spatial entre C1 et C2 est requis (Visser, Zuvic, Bischof, & DiLollo, 1999). Qui plus est, tel que mentionné ci-haut, l'utilisation de seulement deux RSVP (un dans chaque héli-champ) aurait créé d'autres problèmes spécifiques dans la comparaison des essais inter- et intra-hémisphériques

Notre paradigme nous permettait donc d'investiguer la question de spécialisation hémisphérique ainsi que les possibles avantages de diviser le traitement de l'information entre les hémisphères en étudiant une population saine, ainsi qu'un patient callosotomisé.

Ainsi, si le corps calleux joue en effet un rôle médiateur dans les processus attentionnels des hémisphères cérébraux, une présentation latéralisée de cibles devrait réduire, ou même abolir, le AB chez un patient callotomisé, mais ne devrait pas au contraire avoir d'impact sur le AB chez les patients neurologiquement intacts. De plus, une quelconque asymétrie dans le traitement d'information temporelle rapide devrait être plus prononcées dans un cerveau dédoublé, car aucune ressource attentionnelle de l'hémisphère spécialisé ne pourrait être recruté pour améliorer la performance de l'hémisphère opposé via les connexions calleuses.

## **Article**

The attentional blink within and across the hemispheres:  
Evidence from a patient with a complete section of the corpus callosum.

Alexia Ptito<sup>1</sup>, Benoit Brisson<sup>1</sup>, Roberto Dell'Acqua<sup>2,3</sup>, Maryse Lassonde<sup>1</sup>  
and Pierre Jolicœur<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Centre de Recherche en Neuropsychologie et Cognition, Université de Montréal,  
Montréal, Québec, Canada*

<sup>2</sup> *Department of Developmental Psychology, University of Padova, Padova, Italy*

<sup>3</sup> *Center for Cognitive Science, University of Padova, Padova, Italy*

Article publié dans *Biological Psychology* (2009), 82, 64-69.

## ABSTRACT

The attentional blink (AB) refers to an impairment in the report of a second target (T2) if it closely follows the presentation of a first target (T1) in a rapid serial visual presentation (RSVP), when both targets must be reported. In the present study, a modified AB paradigm was used in which targets could appear in any of four simultaneous RSVP streams, one in each quadrant of the visual field. In half of the trials, T1 and T2 were displayed in the same visual hemifield (either left or right) and, in the other half, T1 and T2 were displayed in different visual hemifields. Using this paradigm with both neurologically intact individuals and a split-brain patient, we sought to investigate 1) possible hemispheric asymmetries in attentional processes, and 2) whether the AB would be reduced when targets are displayed in different visual hemifields. A comparable AB was found for both neurologically intact individuals and the split-brain patient, with no significant variations due to whether targets were displayed in the same or in different hemifields. A left hemisphere advantage in the processing of same and different hemifield targets was observed only in the split-brain patient.

DESCRIPTORS: Attentional blink; Attentional resources; Split-brain; Hemispheric asymmetries

## INTRODUCTION

Attention enables us to select relevant information to be processed at the cost of a decreased awareness of unattended stimuli. Of interest in this study are the issues of hemispheric specialization in the processing of sequential visual targets and the effects of separating the processing of sequential targets between cerebral hemispheres by using a modified version of the attentional blink (AB) paradigm. In the most common AB paradigm, two targets are embedded in a rapid serial visual presentation (RSVP) stream of distractors presented at fixation (e.g., Raymond, Shapiro, & Arnell, 1992). Accurate report of a second target (T2) is typically impaired when presented within a stimulus onset asynchrony (SOA) between 200 ms and 500 ms of a first target (T1). Although there is still an ongoing debate about the level of processing at which the AB occurs and the exact causes of the AB, most models suggest that the AB occurs either as a result of an overload of post-perceptual mechanisms that consolidate targets in visual short-term memory, for problems in target selection at a post-perceptual processing level, or for distractor-induced suppression of trailing targets processing (Chun & Potter, 1995; Dell'Acqua, Jolicœur, Luria, & Pluchino, 2009; Jolicœur, 1998, 1999; Jolicœur & Dell'Acqua, 1998; Di Lollo, Kawahara, Ghorashi & Enns, 2005; Olivers & Meeter, 2008; Nieuwenstein, 2006).

AB paradigms have been used with both neurologically intact individuals and patients to investigate whether well-known functional inter-hemispheric differences (e.g., spatial, configural, stimulus category processing) could also extend to a different ability of the two hemispheres to process sequential targets. The picture emerging from these studies is somewhat mixed. Several studies provided evidence suggesting a selective



advantage of the right hemisphere over the left hemisphere in processing sequential stimuli (Holländer, Corballis, & Hamm, 2005; Kessler, Schmitz, Gross, Hommel, Shapiro, & Schnitzler, 2005). However, using a lateralized version of the AB paradigm similar to the one used in Holländer et al. (2005), in which T1 and T2 were displayed left or right of fixation, Giesbrecht and Kingstone (2004) found that the AB in a split-brain patient was more pronounced when T2 was displayed to the right hemisphere relative to when T2 was displayed to the left hemisphere, suggesting a selective advantage of the left hemisphere over the right hemisphere in processing sequential stimuli. Given that this is the only study reporting a left hemisphere superiority, one interesting question is that pertaining to the validity of those findings. Would a different split-brain patient, tested under similar conditions, behave like that described by Giesbrecht and Kingstone (2004), thereby replicating some form of selective disadvantage of the right hemisphere (or, viceversa, a left hemisphere advantage) in the processing of sequential targets? To answer this question, we examined a different split-brain patient using an AB paradigm with targets displayed in either the same or opposite hemifields.

In split-brain patients, the callosal fibers connecting the hemispheres are surgically sectioned to relieve intractable epilepsy, in essence eliminating virtually all cortical transfer of information from one hemisphere to the other. Earlier studies suggested that even in the absence of a corpus callosum, attentional resources were shared between hemispheres (i.e, the harder a hemisphere works on a task, the worse the other hemisphere will do on a task of constant complexity; Holtzman & Gazzaniga, 1982). However, there is still some controversy pertaining to this issue as more recent work has found that visual-spatial attention systems are in fact divided, and there is no

inter-hemispheric interference in the absence of the corpus callosum in divided-attention tasks (e.g., Arguin et al., 1999). Thus, if in fact the corpus callosum plays a role in mediating attentional processing of the hemispheres, bilateral presentation of targets should abolish the AB in the split brain patient, but not in healthy participants. Moreover, any hemispheric asymmetries in the processing of rapid temporal information should be more pronounced in the split-brain, because no attentional resources could be recruited from a specialized hemisphere to aid task performance in the opposing hemisphere via callosal connections.

A second motivation underlying the present study is related to a methodological issue that arises in the presentation of lateralized stimuli in the AB paradigm. In the Holländer et al. (2005) and Griesbrecht and Kingstone (2004) studies, only one RSVP stream was presented on each side of fixation. Consequently, T1 and T2 were always presented in the same RSVP stream in intra-hemispheric trials, whereas, T1 and T2 were always presented in different RSVP streams in inter-hemispheric trials. This complicates the comparison between intra- and inter-hemispheric processing of T1 and T2 because visual-spatial attention need not be shifted from one RSVP stream to the other RSVP stream in intra-hemispheric trials, whereas this is likely to occur in inter-hemispheric trials. The confound between same-stream/different-stream presentation and within-hemisphere/between-hemisphere presentation compromises the interpretation of results in terms of hemispheric differences, particularly because of documented differences in the AB when T1 and T2 are presented in the same stream versus in different streams (see Dell'Acqua, Pascali, Jolicœur, & Sessa, 2003). To overcome this methodological problem, we used four simultaneous RSVP streams, one in each quadrant of the visual

field. Targets were displayed in any of the streams with equal probability. In this way, two targets could appear either in the same visual field (intra-hemispheric condition, in the same or in different streams) or in opposite visual fields (inter-hemispheric condition, necessarily in different streams). This experimental design enabled us to compare within-hemisphere and between-hemisphere AB effects under equivalent T1-T2 between-stream presentation conditions.

## EXPERIMENT

### Method

#### Neurologically intact participants

Twenty-two participants (14 women; 13 right handed), aged from 19 to 39 years (mean of 22 years), participated in the experiment for financial compensation. Given that two previous studies have reported no correlation between general intelligence and the magnitude of the AB (Colzato, Spapé, Pannebakker, & Hommel, 2007; Martens & Johnson, 2008), we did not match the neurologically intact group to the split-brain patient in terms of IQ.

#### Split-brain participant (M.L.)

M.L. is a 28 years old, left-handed man who underwent complete callosotomy for alleviation of intractable epilepsy at the age of 22. At the time of surgery, he had on average one generalized seizure and numerous absences per week. His seizures were characterized by a sudden fall followed by post-ictal confusion. At present, he has one or two absences per week. M.L. has retained complete independence of the responses

signaled by his left and right hands. On standard cognitive assessments, M.L. has always functioned in the borderline range without a discernible discrepancy between his verbal and nonverbal skills. On the Wechsler Adult Intelligence Scale-Revised (WAIS-R), M.L. obtains a global IQ of 76. Presently, he lives with his father and is unemployed. His medication includes Dilantin, Lamictal, and Epival. A more detailed case history for M.L. can be found in Keenan, Wheeler, Platek, Lardi, and Lassonde (2005).

### Stimuli

Stimuli comprised four simultaneous RSVP streams of 14 randomly generated uppercase letter distractors (excluding B, I, and O) in which two digit targets were embedded. The RSVP streams were  $2.2^\circ$  (center to center) from fixation and equidistant from each other, one in each quadrant, as shown in Figure 1. All characters were white on a black background and subtended an angle of  $2^\circ \times 2^\circ$ . Stimuli were presented using a 15-inch cathode-ray tube driven by a Pentium IV computer running MEL 2.0 software.

### Design

Given that T1 and T2 could be presented unpredictably in any of the 4 RSVP streams, T1 and T2 sometimes appeared in the same RSVP stream ( $\frac{1}{4}$  of the trials), and sometimes appeared in different RSVP streams ( $\frac{3}{4}$  of the trials). When targets were presented in different streams, they could be presented in the same left-right visual hemifield (intra-hemispheric presentation) or in different hemifields (inter-hemispheric presentation). We anticipated that results from the same-stream trials would be different from the remainder of the trials because of previous work showing that these trials

sometimes produce no AB effect, or even a reversed AB effect (Dell'Acqua et al., 2003). For present purposes, we focused mainly on two subconditions: a) an intra-hemispheric condition in which T1 and T2 appeared in different streams, and b) an inter-hemispheric condition in which T1 and T2 appeared in different hemifields.

A robust AB effect is observed whether subjects are required to count or identify the targets embedded in a central RSVP stream (Dell'Acqua, Jolicœur, Pascali, & Pluchino, 2007). Therefore, to accommodate both M.L.'s limited manual dexterity with either hand (rendering typing responses on a numeric keypad difficult) and the fact that verbal responses could only be given for stimuli presented in the right visual field, we asked M.L., and control participants, to report how many digits they had seen (zero, one, or two digits) instead of the identity of the digits presented.

M.L. responded by lifting zero, one, or two fingers with the hand ipsilateral to the hemifield in which target(s) were seen (for example, M.L. would lift zero right-hand fingers and one left hand finger to report having seen zero digits in the right hemifield and one digit in the left hemifield), and the experimenter recorded M.L.'s responses into the computer at the end of each trial. Control participants reported how many digits they saw on the left side of the visual display by pressing the "Z," "X," or "C" keys with fingers of the left hand for 0, 1, or 2 digits respectively, and how many digits they saw on the right side of the visual display by pressing the "N," "M," or "," keys with fingers of the right hand for 0, 1, or 2 digits, respectively.

Although two targets were always presented on every trial, this was never mentioned explicitly to the participants, ensuring that a priori odds did not influence subjects' guesses, and thus subjective chance level was about 11% (1/9: three possible

responses with the right hand and three with the left hand). In addition to varying the spatial position of T1 and T2, the time interval between T1 and T2 was also varied in order to measure an AB. Two T1–T2 lags were used: a short lag, lag 2, in which there was one intervening frame between T1 and T2, and a long lag, lag 8. Each participant performed one practice block of 36 trials followed by four experimental blocks of 96 trials. Each condition was presented equally often in each block.

Procedure: Neurologically intact participants

Participants were seated comfortably in a darkened room, 57 cm from the screen, with eyes level with the fixation point. Participants were instructed to maintain their eyes on the fixation point throughout each trial, and report whether they had seen zero, one, or two digits on either side of fixation. The SOA between RSVP items was 150 ms, with no inter-stimulus interval (ISI). Responses were entered using the keyboard without speed pressure, as described in the Design section. Eye movements were recorded from a sample of five different participants in a pilot experiment. Results from these pilot participants did not differ from the results reported below.

Procedure: M.L.

The procedure was the same as with neurologically intact participants, except for the following details. The experimenter was seated beside the participant. M.L.'s eye movements were monitored using a digital camera focused on one of his eyes. Trials in which eye movements were detected by the experimenter were rejected (less than 2%). M.L. was instructed to report whether he had seen zero, one or two numbers on either side

of fixation, without speeded pressure, as described in the Design section. The experimenter entered M.L.'s responses using the keyboard of the computer at the end of each trial, and initiated the next trial. In order to bring M.L.'s performance to a level comparable with neurologically intact participants, the practice phase included 10 blocks of 36 trials each, and the SOA between RSVP items was extended to 233 ms.

#### Results: Neurologically intact participants

A first series of analyses yielded no significant effects of handedness, so data was collapsed across left-handed and right-handed participants. Accuracy was calculated as a function of correct report of both targets, as our paradigm did not allow us to differentiate between report of T1 and T2 in intra-hemispheric trials. To avoid possible confounds, that is, a reversed AB effect for same-stream trials, analyses in intra-hemispheric conditions were conducted separately for trials in which targets were presented in different streams and those where targets were presented in the same stream.

#### AB effect

A summary of the results is illustrated in Figure 2A. In the inter-hemispheric condition, mean accuracy was 42% at lag 2 condition and 57% at lag 8. In the intra-hemispheric condition, mean overall accuracy was 33% at lag 2 condition and 42% at lag 8. As expected, accuracy was generally higher at lag 8 than at lag 2,  $F(1, 21) = 28.37, p < .001$ . Mean accuracy was also higher in the inter-hemispheric condition than in the intra-hemispheric condition,  $F(1, 21) = 35.00, p < .001$ . The interaction between lag and the inter-/intra-hemispheric condition was not significant,  $F(1, 21) = 2.34, p > 0.14$ . Hence,

although performance in general was higher in the inter-hemispheric condition, there was no reduction in the magnitude of the AB effect in the inter-hemisphere condition relative to the intra-hemisphere conditions.

Interestingly, on intra-hemispheric trials in which both targets appeared in the same RSVP stream, we found a tendency towards a reversed AB (Dell'Acqua et al., 2003). Mean accuracy in reporting the number of perceived targets was slightly higher at lag 2 (51%) than at lag 8 (47%), although this difference did not reach significance,  $F(1, 21) = 1.97, p > .18$  (see Figure 2A). Importantly, when including all intra-hemispheric trials in a single ANOVA with stream presentation (same-stream vs. different-stream) and lag (lag 2 vs. lag 8) as within-subject factors, a significant interaction was obtained,  $F(1, 21) = 14.08, p < .001$ , indicating that the lag effect differed when targets were presented in the same RSVP stream than when they were presented in different RSVP streams.

#### Comparison of AB in the different hemispheres

Our experimental design limited the type of analyses that could be performed in intra-hemispheric conditions. Indeed, as participants were asked only to report the number of digits they had seen on each side of fixation, disentangling single target accuracy was impossible. For example, when both targets were presented to the right hemisphere and only one was reported, it was impossible to tell if T1 or T2 was the detected target in the trial. However analyses of T2|T1 accuracy were performed in inter-hemispheric trials to evaluate whether the AB differed when T2 was presented to the left or to the right hemisphere. These analyses revealed no significant difference in the



magnitude of the AB,  $F(1, 21) = 0.015$ ,  $p > .9$ , or the reverse AB,  $F(1, 21) = 0.011$ ,  $p > .9$ , between hemisphere. Furthermore, contrary to the findings of Holländer et al (2005), we found no differences in T1 accuracy when T1 was displayed to either hemisphere,  $F(1, 21) = 1.7$ ,  $p > .2$ , or T2 accuracy,  $F(1, 21) = 2.5$ ,  $p > .13$ .

Results: M.L.

AB effect

A summary of the results is shown in Figure 2B. On trials in which T1 and T2 were displayed in different RSVP streams, in the intra-hemispheric condition, mean accuracy was 12% at lag 2 condition and 29% at lag 8. In the inter-hemispheric condition, mean accuracy was 27% at lag 2 and 39% at lag 8. As for the neurologically intact group, accuracy was higher in the inter-hemispheric condition (mean accuracy = 33%) than in the intra-hemispheric condition (mean accuracy = 20.5%). Although overall accuracy was lower for M.L. than for college students, mean difference across lags was within the 95% confidence interval of the neurologically intact group, suggesting that M.L. exhibited a typical AB effect (the mean difference across inter- and intra-hemispheric conditions was also within the 95% confidence interval of the neurologically intact group; see Figure 3).

As is evident in Figure 2B, on trials in which T1 and T2 were displayed in the same RSVP stream, no evidence of a reversed AB effect was observed. Mean accuracy was 20% at lag 2, and 29% at lag 8.

Comparison of AB in the different hemispheres

On intra-hemispheric trials where T1 and T2 appeared in different RSVP streams, M.L.'s mean performance was basically at chance with targets displayed to the right hemisphere (8% and 12%, at lag 2 and lag 8, respectively). With targets displayed to the left hemisphere, mean accuracy was just above chance at lag 2 (16%), and substantially higher at lag 8 (46%; see Figure 4A). On intra-hemispheric trials where T1 and T2 appeared in the same RSVP stream (see Figure 4B), we found no evidence of an AB for targets displayed to the left hemisphere, mean accuracy was 30% at lag 2 and 36% at lag 8. For targets displayed to the right hemisphere, mean performance was at chance at lag 2 (8%) and still very low at lag 8 (23%). On inter-hemispheric trials, mean T1 accuracy was higher when T1 was displayed to the left hemisphere (61% and 69%, at lag 2 and lag 8, respectively) than to the right hemisphere (46% and 58%, at lag 2 and lag 8, respectively). Mean T2 accuracy was also better when T2 was displayed to the left hemisphere (20% and 38%, at lag 2 and lag 8, respectively) than to the right hemisphere (14% and 37%, at lag 2 and lag 8, respectively). These results suggest a left hemisphere superiority in processing rapidly presented sequential stimulation.

## DISCUSSION

Our results indicate that dividing processing across the hemispheres does not abolish or even diminish the AB effect, neither in normal control subjects nor in a split-brain patient. Although report accuracy was lower for intra-hemispheric targets than for inter-hemispheric targets, the magnitude of the AB was of comparable magnitude within and across the hemispheres. This result was expected for normal participants, given their intact corpus callosum and the consequent efficient transfer of information across the

hemispheres. More surprisingly was the absence of any reduction in the magnitude of the AB effect for M.L. in the inter-hemispheric condition relative to the intra-hemispheric condition, a result that bears a close resemblance to that observed by Giesbrecht and Kingstone (2004) with their split-brain patient. These authors interpreted their findings as evidence that the sub-cortical connections that are preserved in split-brain patients may be sufficient to transfer rapidly presented visual items from one hemisphere to the other (see also Dell'Acqua, Jolicoeur, Lassonde, et al., 2005 for a similar interpretation with callosal agenesis patients). This possibility seems somewhat remote for M.L., however, given the clear inter-hemispheric dissociations found during his neurological testing. It is very unlikely that detailed visual form information capable of enabling accurate letter-digit discriminations could be transferred via sub-cortical pathways. On the other hand, it is possible that, once a digit was identified as a target by one hemisphere, information about the successful detection of a target could be transferred to the other hemisphere.

One viable account for the AB effect observed in inter- and intra-hemispheric conditions in M.L. derives from the recent AB model of Nieuwenhuis, Gilzenrat, Holmes, and Cohen (2005). The AB in this model takes place during the refractory period in locus coeruleus activity that occurs following an initial phasic response (i.e., norepinephrine discharge) elicited by a target stimulus detection. According to this model, because of the temporary unavailability of norepinephrine potentiation following detection of the first target, trailing targets presented during the refractory period do not receive the purported benefit of facilitation associated with the norepinephrine discharge triggered by the locus coeruleus, and therefore suffer the deficit in T2 processing observed as the AB. Our results could be explained in the context of this model if we suppose that each

hemisphere can separately identify targets and trigger a burst of activity in the locus coeruleus independently of each other. The refractory period in the locus coeruleus, where the retinotopic organization of the visual field is not retained, would then impact the processing of subsequently-presented targets appearing in either hemisphere.

Another interesting result concerns the higher overall accuracy in the inter-hemispheric condition than in the intra-hemispheric condition, both for control subjects and for M.L. These results suggest that each hemisphere possesses its own capacity-limited attentional resources, and that these resources cannot be shared rapidly across hemispheres. The overall superior performance in the inter-hemispheric condition over the intra-hemispheric condition suggests that it is more taxing to process two targets in a given hemisphere than a single target. Crucially for the present argument is that this difference in hemispheric processing efficiency does not seem to exert any modulatory role on AB magnitude (which is indexed by the lag effect).

As expected, we found that, at the shorter lag, when T2 and T1 were presented at the same location, performance on T2 was better than when T2 and T1 were presented in a different location, without any sign of a trade-off between T1 and T2 (see Dell'Acqua et al., 2003). Dell'Acqua et al. (2003) raised several possibilities as to the cause of this reduced or reversed AB effect for same-stream trials, including T1 induced spatial cueing. Interestingly, although a tendency towards a reversed AB effect (i.e., higher accuracy of report of T2 at lag 2 than at lag 8) was found for our neurologically intact individuals, this pattern was not observed in our split-brain patient. This difference between the patient results and the control results suggests that T1 may have been an effective spatial cue for neurologically intact participants and a much less effective

spatial cue for our split-brain patient. Furthermore, contrary to controls, M.L.'s performance in the RSVP task was characterized by a trade-off between T1 and T2, suggesting strongly that M.L. may have been slower than normals in moving attention from one position to another in absolute terms, or generally slower than controls in processing target information.

Although there were no hemispheric asymmetries in the magnitude of the AB observed in the left and right hemisphere in intra-hemispheric conditions, in inter-hemispheric conditions there seems to be evidence of left hemisphere superiority in T2 processing in our split-brain patient. These results are consistent with previous findings by Giesbrecht and Kingstone (2004), who observed a similar pattern in their split-brain patient, but not in neurologically intact controls. The most direct interpretation of our results lies in the often proposed theories that the right hemisphere is more involved in global aspects of visual form and spatial processing, whereas the left hemisphere is better able to attend to local aspects and is more specialized in temporal processing (Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2001; Nicholls, 1996). Given the strong spatial component inherent to our design, however, it could be argued that the results observed in our split-brain participant may partially reflect more efficient guided search (the ability to locate targets by narrowing search only to items containing relevant target features: Wolf, Cave & Franzel, 1989). Indeed, Kingstone, Enns, Mangun, and Gazzaniga (1995) found, in a study of split-brain patients, that it is in fact the left hemisphere that seems superior in guided search. Furthermore, the possibility remains that, as the left hemisphere is more specialized for language and reading, the use of alpha-numeric stimuli in both the present and the Giesbrecht and Kingstone (2004) studies may have given this hemisphere an

advantage in target processing that was independent of the AB per se. This interpretation is also in line with the findings of an absolute left hemisphere language lateralization in our split-brain patient.

Despite our efforts to bring M.L.'s performance level up to a level equivalent with that of neurologically intact subjects (i.e., several pilot studies, adjustment of presentation duration of the stimuli, and a greater number of practice blocks), M.L.'s performance remained quite low. Nonetheless, M.L.'s results were similar in many ways to that of the control subjects, in that his accuracy showed a clear-cut lag effect and an overall advantage for inter-hemispheric target presentations over intra-hemispheric presentations, both of which were about of the same magnitude as that found with neurologically-intact subjects. The fact that M.L. shows patterns of results that are similar to those observed for the controls, and most particularly, that M.L. had a robust AB effect in the inter-hemispheric condition shows, surprisingly perhaps, that the corpus callosum plays only a minimal role in the AB phenomenon.

M.L. has a lower IQ than our control subjects. However, previous work has not found a strong relationship between the AB and IQ (Colzato et al., 2007). The absence of a strong relationship between the magnitude of the AB and IQ found in previous work suggests that M.L.'s low IQ is not a reason to doubt the validity of inferences based on his results. Indeed, the fact that M.L. had an average AB effect that was numerically very similar to the mean of the control subjects provides further evidence that the AB is not strongly related to IQ (Colzato et al., 2007).

Nonetheless, interpretations for normal brain function and for split-brain function based on M.L.'s performance must be made with caution for other reasons. The

first is that M.L. has suffered from years of severe epilepsy, which may have altered his brain in ways that could make his results non-representative of normal function. The second is that M.L. represents a single case, which makes it difficult to determine how representative he is relative to other callosotomized individuals and limits statistical evaluation of some results.

Importantly, our paradigm enabled a comparison across within-hemisphere and between-hemisphere AB effects in which the requirement for a shift of spatial attention from the location of T1 to the location of T2 was equated. It was critical to do so because there are several studies that show that the AB interacts with visual spatial attention. For example, it has been shown that a correct representation of the spatial position of visual marking elements is difficult to attain during the AB (Olivers, 2004). Furthermore, horizontal shifts of attention are impaired by the AB effect (Dell'Acqua, Sessa, Jolicoeur, & Robitaille, 2006; Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua, & Robitaille, 2006a, 2006b; Robitaille, Jolicoeur, Dell'Acqua, & Sessa, 2007). And it has also been shown that visual search is impaired if a search array is displayed during the AB interval (Ghorashi, Smilek, & Di Lollo, 2007). When this critical factor was controlled, we found no evidence for a reduced AB when T1 and T2 were presented to different hemispheres compared to the AB observed when T1 and T2 were presented to the same hemisphere, both in neurologically intact individuals and in a split-brain individual.

## REFERENCES

- Arguin, M., Lassonde, M., Quattrini, A., Del Pesce, M., Foschi, N., & Papo, I. (1999). Divided visuo-spatial attention systems with total and anterior callosotomy. *Neuropsychologia*, 38, 283–291.
- Banich, M. T. (1998). The missing link: The role of interhemispheric interaction in attentional processing. *Brain and Cognition*, 36, 128–157.
- 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, 109–127.
- Colzato, L. S., Spapé, M., Pannebakker, M. M., & Hommel, B. (2007). Working memory and the attentional blink: Blink size is predicted by individual differences in operation span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 1051–1057.
- Dell'Acqua, R., Jolicœur, P., Lassonde, M., Angrilli, A., De Bastiani, P., & Pascali, A. (2005). Unitary attention in callosal agenesis. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 1035–1053.
- Dell'Acqua, R., Jolicœur, P., Luria, R., & Pluchino, P. (2009). Reevaluating encoding-capacity limitations as a cause of the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, in press.
- Dell'Acqua, R., Jolicœur, P., Pascali, A., & Pluchino, P. (2007). Short-term consolidation of individual identities leads to lag-1 sparing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 593–609.
- Dell'Acqua, R., Pascali, A., Jolicœur, P., & Sessa, P. (2003). Four-dot masking produces the attentional blink. *Vision Research*, 43, 1907–1913.



- Dell'Acqua, R., Sessa, P., Jolicœur, P., & Robitaille, N. (2006). Spatial attention freezes during the attentional blink. *Psychophysiology*, 43, 394–400.
- Di Lollo, V., Kawahara, J., Ghorashi, S. M. S., & Enns, J. T. (2005). The attentional blink: Resource depletion or temporary loss of control? *Psychological Research*, 69, 191–200.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2001). *Neurosciences cognitives: la biologie de l'esprit* (Traduction de la première édition américaine). Paris: De Boeck & Larcier.
- Gazzaniga, M. S. (1995). Principles of human brain organization derived from split-brain studies. *Neuron*, 14, 217–228.
- Ghorashi, S. M. S., Smilek, D., & Di Lollo, V. (2007). Visual search is postponed during the attentional blink until the system is suitably reconfigured. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 124–136.
- Giesbrecht, B., & Kingstone, A. (2004). Right hemisphere involvement in the attentional blink: Evidence from a split-brain patient. *Brain and Cognition*, 55, 303–306.
- Holländer, A., Corballis, M. C., & Hamm, J. P. (2005). Visual-field asymmetry in dual-stream RSVP. *Neuropsychologia*, 43, 35–40.
- Holtzman, J. D., & Gazzaniga, M. S. (1982). Dual task interactions due exclusively to limits in processing resources. *Science*, 218, 1325–1327.
- Hussain, M., Shapiro, K., Martin, J., & Kennard, C. (1997). Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature*, 385, 154–156.

- Jolicœur, P. (1998). Modulation of the attentional blink by on-line response selection: Evidence from speeded and unspeeded Task 1 decisions. *Memory & Cognition*, 26, 1014–1032.
- Jolicœur, P. (1999). Concurrent response selection demands modulate the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1097–1113.
- Jolicœur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36, 138–202.
- Jolicœur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006a). On the control of visual spatial attention: Evidence from human electrophysiology. *Psychological Research*, 70, 414–424.
- Jolicœur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006b). Attentional control and capture in the attentional blink paradigm: Evidence from human electrophysiology. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18, 560–578.
- Keenan, J. P., Wheeler, M., Platek, S. M., Lardi, G., & Lassonde, M. (2003). Self-face processing in a callosotomy patient. *European Journal of Neuroscience*, 18, 2391–2395.
- Kessler, K., Schmitz, F., Gross, J., Hommel, B., Shapiro, K., & Schnitzler, A. (2005). Cortical mechanisms of attention in time: Neural correlates of the lag-1 sparing phenomenon. *European Journal of Neuroscience*, 21, 2563–2574.
- Kingstone, A., Enns, J. T., Mangun, G. R., & Gazzaniga, M. S. (1995). Guided visual search is a left-hemisphere process in split-brain patients. *Psychological Science*, 6, 118–121.

- Martens, S., & Johnson, A. (2008). Working memory capacity, intelligence, and the magnitude of the attentional blink revisited. *Experimental Brain Research*. In press.
- Nieuwenhuis, S., Gilzenrat, M. S., Holmes, B. D., & Cohen, J. D. (2005). The role of the locus coeruleus in mediating the attentional blink: A neurocomputational theory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134, 291–307.
- Nieuwenstein, M. R. (2006). Top-down controlled, delayed selection in the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32, 973–985.
- Olivers, C. N. L., & Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological Review*, 115, 836–863.
- 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, 849–860.
- Robitaille, N., Jolicœur, P., Dell'Acqua, R., & Sessa, P. (2007). Short-term consolidation of visual patterns interferes with visuo-spatial attention: Converging evidence from human electrophysiology. *Brain Research*, 1185, 158–169.
- Visser, T. A. W., Zuvic, S. M., Bischof, W. F., & Di Lollo, V. (1999). The attentional blink with targets in different spatial locations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6, 432–436.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 419–433.

## FIGURE CAPTIONS

Figure 1. Illustration of the timecourse and spatial layout of the stimuli in each trial. Four simultaneous RSVP streams, arrayed around fixation, were used in all trials (only 1 is shown over time in the illustration to avoid clutter). Shown here is an example in which both targets were presented in the same RSVP stream, at lag 2. In general, T1 and T2 could occur in any of the 4 RSVP streams, at random, without any spatial constraint, to avoid expectations that could bias the results (see text for further details).

Figure 2. A: Neurologically intact participants. The full lines indicate the proportion of correct target report at lags 2 and 8 in inter- and intra-hemispheric conditions. Error bars represent standard errors of the mean. The dotted line indicates the proportion of correct target reports at lags 2 and 8 in same-stream trials. B: M.L. The full lines indicate the proportion of correct target report at lags 2 and 8 in inter- and intra-hemispheric conditions. The dotted line indicates the proportion of correct target reports at lags 2 and 8 in same-stream trials.

Figure 3. Proportion of correct target report at lags 2 and 8 for M.L. in intra-hemispheric trials. A: Different-stream trials. B: Same-stream trials.

Figure 4. Magnitude of the AB effect (lag 8 – lag 2) in intra- and inter-hemispheric conditions, and difference between inter-hemispheric and intra-hemispheric target presentations for both neurologically-intact participants (black symbols) and M.L. (grey symbols). Error bars represent the 95% confidence interval of the means.

Figure 1

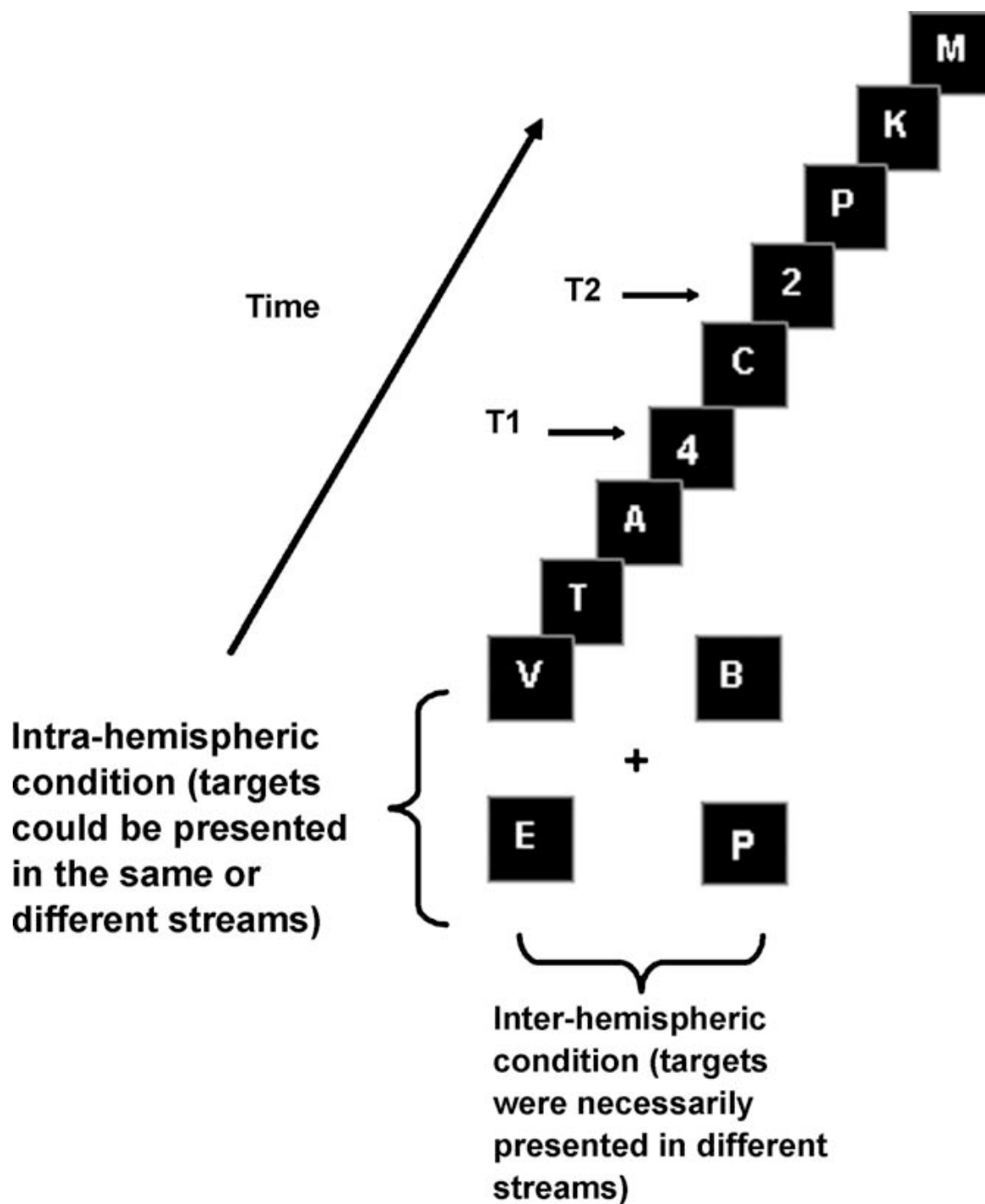


Figure 2

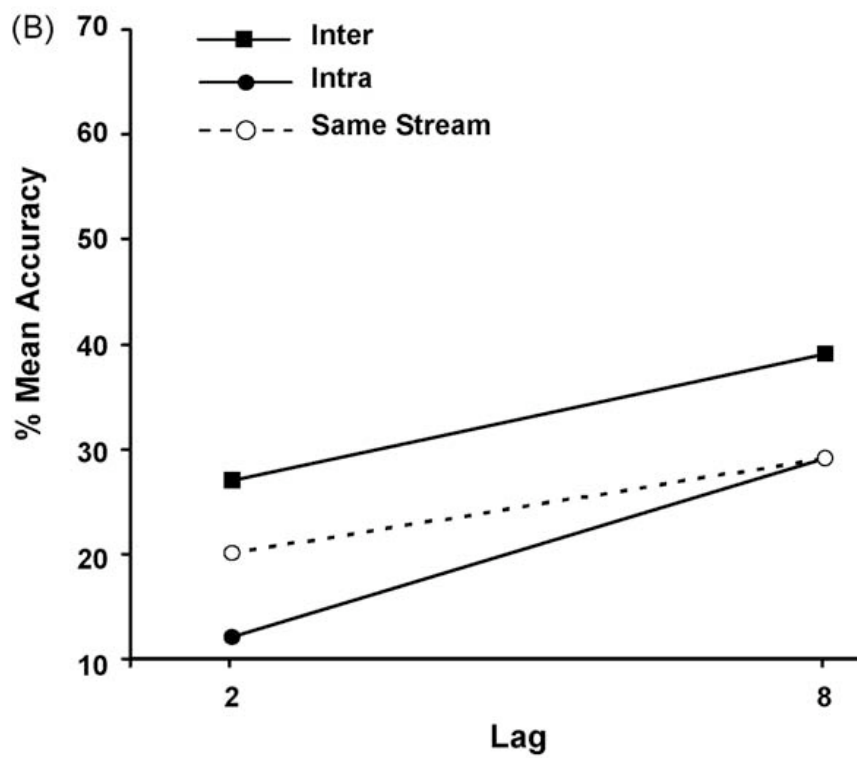
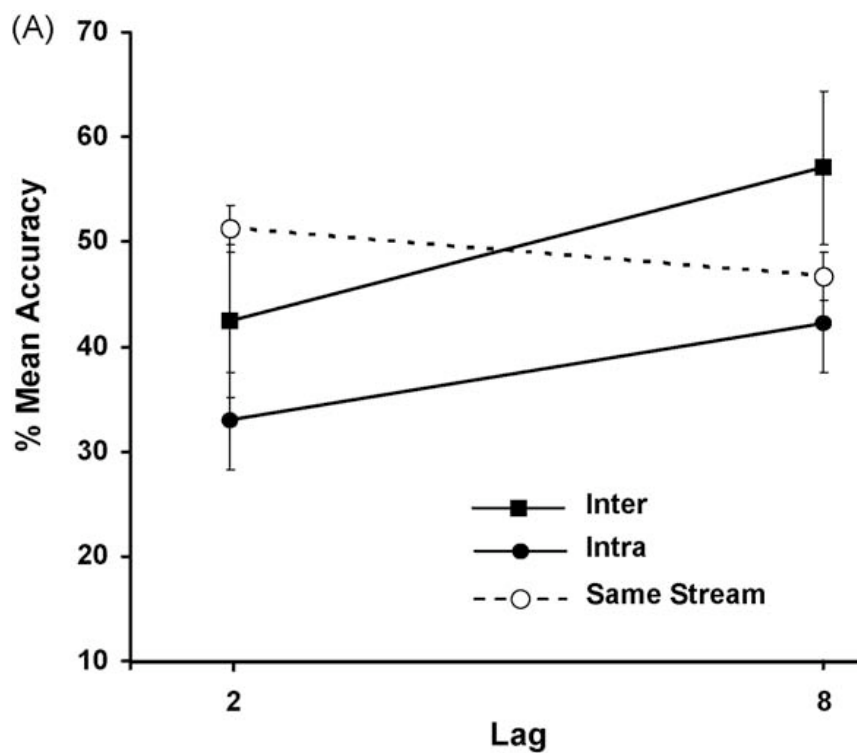
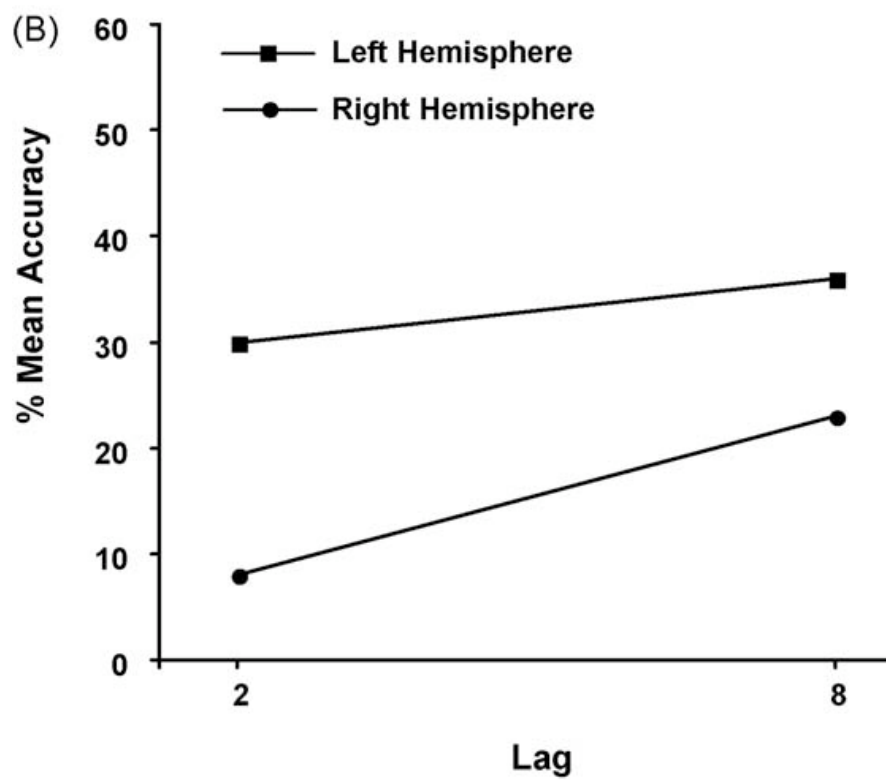
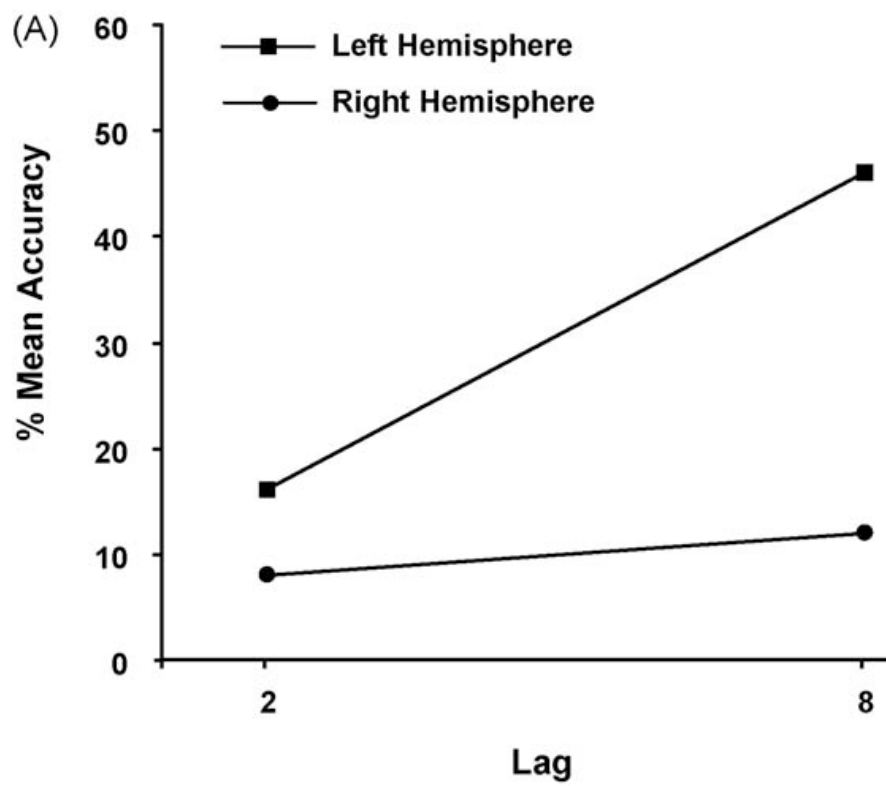
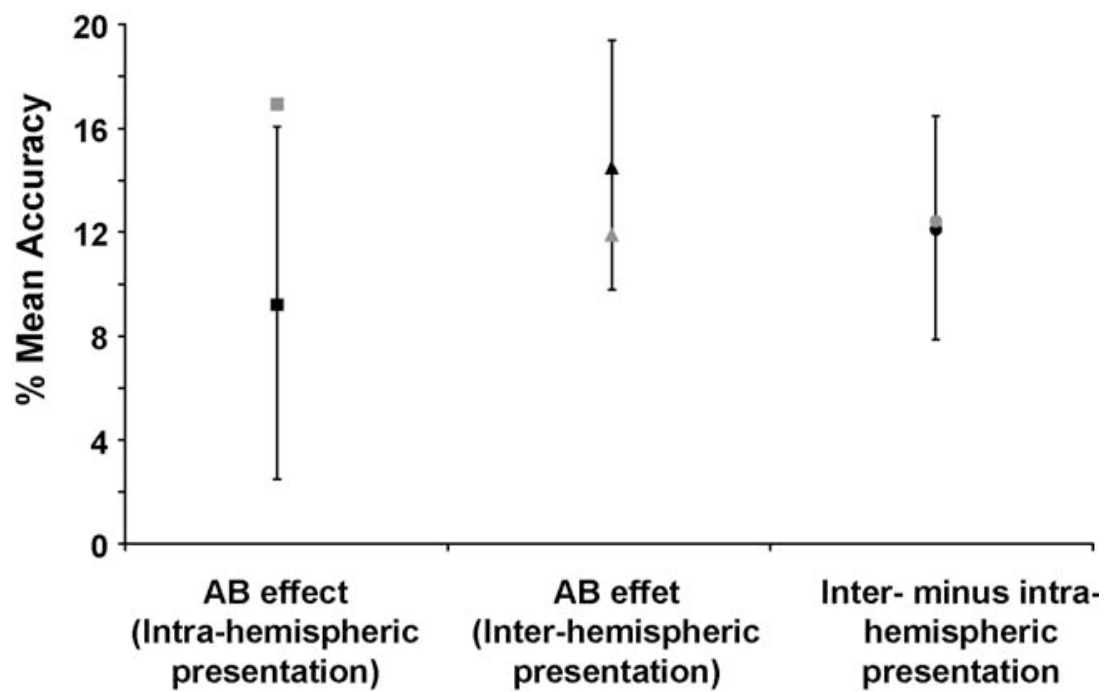


Figure 3



**Figure 4**



## **Discussion Générale**

## **Est-ce que partager le traitement de l'information entre les hémisphères comporte des avantages?**

Nos résultats indiquent que diviser le traitement de l'information entre les hémisphères n'abolit pas, ni même diminue le AB chez les participants neurologiquement sains, ni chez notre participant callosotomisé. Bien que le taux global de bonnes réponses à C2 ait été plus faible dans la condition intra-hémisphérique qu'inter-hémisphérique, l'importance de l'effet AB (soit la différence entre le taux de bonnes réponses au *lag* court et au *lag* long) était identique dans les deux conditions. Les résultats semblables quant à l'amplitude de l'effet AB dans les conditions inter- et intra- hémisphériques chez les participants normaux n'ont rien d'étonnant, compte tenu que le corps calleux assure un transfert bien efficace de l'information entre les hémisphères cérébraux. Par ailleurs, l'absence totale d'une réduction de l'effet AB dans la condition inter-hémisphérique chez le patient callosotomisé, relativement à l'effet AB observé en condition intra-hémisphérique peut sembler plus surprenante. Néanmoins, ces résultats concordent avec ceux de Giesbrecht et Kingstone (2004), qui ont eux aussi trouvé un effet AB dans les conditions inter- et intra- hémisphérique. Ces auteurs ont interprété leurs résultats en proposant que les connections sous-corticales préservées chez les patients à cerveau dédoublé soient suffisantes pour transférer des items visuels présentés rapidement d'un hémisphère à l'autre.

Cependant, cette possibilité nous semble peu probable dans le cas de notre patient étant donné la très forte dissociation inter-hémisphérique observée lors d'évaluations neuro-psychologiques. Il est très improbable que de l'information détaillée de formes

visuelles rendant possible une bonne discrimination lettre-nombre pourrait être transférée via des voies sous-corticales. D'un autre côté, il est possible qu'une fois qu'un nombre est détecté comme étant une cible par un hémisphère, l'information sur cette « détection » puisse elle être transférée d'un hémisphère à l'autre.

Une autre possibilité pour expliquer l'effet AB observé en conditions inter- et intra-hémisphérique chez le patient callosotomisé se trouve dans l'étude de Nieuwenhuis, Gilzenrat, Holmes, et Cohen (2005) sur la période réfractaire dans l'activité du locus coeruleus. Rappelons que selon ce modèle, à cause de l'inaccessibilité de la potentiation noradrénergique, les cibles présentées durant la période réfractaire ne reçoivent pas les prétendus bénéfices de facilitation associés à la décharge de norépinéphrine enclenchée par le locus coeruleus, et souffrent donc du déficit dans le traitement de C2, menant à l'effet AB. Nos propres résultats pourraient être expliqués dans le contexte de ce modèle si nous supposons que chaque hémisphère peut identifier les cibles et provoquer une décharge d'activité dans le locus coeruleus, se propageant aux deux hémisphères, conçue pour faciliter le traitement de la cible détectée par l'hémisphère ayant provoqué la décharge. Ainsi, la période réfractaire dans le locus coeruleus, qui est un noyau sous-cortical, aurait un impact sur le traitement d'items présentés subséquemment à un ou l'autre des hémisphères.

Nos résultats suggèrent aussi qu'il existe des limites dans le traitement intra-hémisphérique qui pourraient affecter la performance globale dans des tâches de AB, sans toutefois impliquer le phénomène AB en soi (indexé par l'effet de *lag*). Rappelons

que le taux de réussite globale était plus élevé quand les deux cibles étaient présentées à des hémisphères différents que lorsque les deux cibles étaient présentées au même hémisphère, et ce, pour les participants normaux ainsi que pour le patient callosotomisé. Ces résultats suggèrent que chaque hémisphère possède ses propres ressources attentionnelles à capacités limitées et que ces ressources ne peuvent être partagées rapidement d'un hémisphère à l'autre. La performance globale supérieure dans la condition inter-hémisphérique porte à croire qu'il est plus demandant de traiter deux cibles plutôt qu'une dans le même hémisphère, ce qui résulterait dans une baisse de performance (en condition intra- versus inter-hémisphérique), mais que cette baisse n'est pas reliée à l'effet AB, puisque nous n'avons pas trouvé d'interaction entre les conditions de *lag* et d'hémisphères.

Tel qu'attendu, nous avons trouvé que présenter C2 au même emplacement que C1 produisait des résultats clairement différents de ceux obtenus quand C2 n'était pas au même endroit que C1 (Dell'Acqua et al., 2003). Cet effet de AB réduit ou inversé lors d'une présentation dans le même RSVP pourrait être produit par un déplacement rapide de l'attention spatiale vers l'emplacement de C1, suite à la détection de C1, et une hausse de performance pour C2 quand celui-ci était présenté à un emplacement spatial où l'attention était déjà déployée. Nous avons également trouvé une tendance vers un effet AB inversé (i.e., un meilleur taux de réponse à C2 au *lag* court, qu'au *lag* long) chez nos participants neurologiquement sains. Cependant aucune trace de ce patron inversé n'a été décelée chez notre patient callosotomisé. Cette différence entre les résultats du patient et

ceux des participants normaux suggère que la première cible était un indice spatial efficace pour ces derniers, mais non pour le patient callosotomisé.

### **Asymétries cérébrales**

Bien qu'il n'y ait pas eu d'asymétries hémisphériques quant à la magnitude de l'effet AB observé dans l'hémisphère gauche et l'hémisphère droit dans les conditions intra-hémisphériques chez les participants neurologiquement sains, nos résultats indiquent une supériorité de l'hémisphère gauche dans le traitement de C2 chez le patient callosotomisé. Ces résultats contredisent ceux de Holländer et al. (2005), qui avaient trouvé une réduction de l'effet AB quand C2 était présenté à l'hémisphère droit, indépendamment de l'hémisphère auquel on avait présenté C1. Nos résultats concordent cependant avec ceux de Giesbrecht et Kingstone (2004), qui avaient observé un patron similaire au nôtre chez leur patient callosotomisé, mais non chez leurs contrôles neurologiquement intacts.

L'interprétation la plus directe de nos résultats réside dans les théories maintes fois proposées que l'hémisphère droit est plus impliqué dans les aspects globaux de la forme visuelle et le traitement spatial, tandis que l'hémisphère gauche est meilleur dans les aspects locaux et est plus spécialisé dans le traitement temporel (Gazzaniga, Ivry, & Mangun, 2001; Nicholls, 1996). La supériorité de l'hémisphère gauche quant à l'identification de C2 observé dans ce paradigme de AB pourrait donc être due à cette spécialisation locale/temporelle, rendant le traitement d'information visuelle présentée rapidement plus efficace à des emplacements spécifiques.

Cependant, étant donné la forte composante spatiale inhérente à notre paradigme, l'argument pourrait être fait que les résultats obtenus chez le patient callosotomisé pourraient partiellement refléter une recherche guidée plus efficace (*guided search* : l'habileté de trouver les cibles en réduisant la recherche visuelle seulement qu'aux items possédant des traits cibles pertinents : Wolf, Cave & Franzel, 1989). Effectivement, dans une étude de patients callosotomisés, Kingstone, Enns, Mangun and Gazzaniga (1995) ont trouvé que c'est en fait l'hémisphère gauche qui est supérieur en recherche guidée.

De plus, il reste la possibilité qu'étant donné la spécialisation de l'hémisphère gauche pour le langage et la lecture, l'utilisation de stimuli alpha-numériques dans cette étude et celle de Giesbrecht and Kingstone (2004) pourrait donner à cet hémisphère un avantage dans le traitement de ces cibles, qui serait indépendant du AB en tant que tel.

### **Conclusions**

Certaines questions pourraient être abordées en utilisant un paradigme légèrement modifié. Tout d'abord, il y a le fait qu'en raison des limites de notre patient, le présent paradigme ne nous permettait pas de déterminer le taux de bonnes réponses absolu aux cibles, étant donné qu'on demandait aux participants de rapporter uniquement le nombre de chiffres qu'ils avaient vu, et non leur identité. Ainsi, il était impossible pour nous de déterminer si c'est en fait le rapport exact de C1 ou C2 qui était affecté dans les conditions intra-hémisphériques. En effet, pour expliquer le taux de réussite plus élevé à la deuxième cible observé dans l'effet de AB inversé, Dell'Acqua et al. (2003) ont postulé que lorsque C1 et C2 sont présentés à de *lags* courts et que l'attention est ainsi

déjà déployée, il y a une compétition entre les cibles, à savoir laquelle sera consolidée et c'est la deuxième qui l'emporte généralement. Il serait donc intéressant d'investiguer si ceci serait vrai pour les cibles apparaissant dans de différents RSVP à l'intérieur d'un même héli-champ. Si c'était le cas, la performance amoindrie à C2/C1 dans la condition intra- vs inter-hémisphérique que nous avons observée pourrait être due à un trade-off entre C1 et C2 et non l'inverse.

Aussi, malgré tous nos efforts pour remonter la performance de notre patient à un niveau équivalent à celle des participants normaux (i.e., plusieurs études pilotes, ajustement de la grandeur des stimuli, ajustement de la durée de présentation des stimuli et un plus grand nombre de blocs de pratique), sa performance demeura très basse. Néanmoins, les résultats de ce patient ressemblaient sur plusieurs aspects à ceux des participants neurologiquement intacts. En effet, ses taux de réussite montraient un clair effet de *lag*, ainsi qu'un avantage global pour les présentations de cibles inter-hémisphériques versus les présentations intra-hémisphériques. Le fait que ce patient a un patron de résultats similaire à celui observé chez les participants neurologiquement sains, et plus particulièrement qu'il présente un effet de AB robuste dans la condition inter-hémisphérique montre, étonnamment peut-être, que le corps calleux ne joue qu'un rôle minimal dans le phénomène du AB.

## Références Générales

- Arguin, M., Lassonde, M., Quattrini, A., Del Pesce, M., Foschi, N., & Papo, I. (1999). Divided visuo-spatial attention systems with total and anterior callosotomy. *Neuropsychologia*, 38, 283–291.
- Banich, M. T. (1998). The Missing link: The role of Interhemispheric interaction in attentional processing. *Brain and Cognition*, 36, 128–157.
- 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.
- Colzato, L. S., Spapé, M., Pannebakker, M. M., & Hommel, B. (2007). Working memory and the attentional blink: Blink size is predicted by individual differences in operation span. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 1051–1057.
- Dell'Acqua, R., Jolicoeur, P., Lassonde, M., Angrilli, A., De Bastiani, P., & Pascali, A. (2005). Unitary attention in callosal agenesis. *Cognitive Neuropsychology*, 22, 1035–1053.
- Dell'Acqua, R., Jolicoeur, P., Luria, R., & Pluchino, P. (2009). Reevaluating encoding capacity limitations as a cause of the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 338–351.
- Dell'Acqua, R., Jolicoeur, P., Pascali, A., & Pluchino, P. (2007). Short-term consolidation of individual identities leads to lag-1 sparing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 593–609.
- Dell'Acqua, R., Pascali, A., Jolicoeur, P., & Sessa, B. (2003). Four-dot masking produces the attentional blink. *Vision Research*, 43, 1907–1913.
- Dell'Acqua, R., Sessa, P., Jolicoeur, P., & Robitaille, N. (2006). Spatial attention freezes during the attentional blink. *Psychophysiology*, 43, 394–400.
- DiLollo, V., Kawahara, J., Ghorashi, S. M., & Enns, J. T. (2005). The Attentional Blink: Resource depletion or temporary loss of control. *Psychological Research*, 69 (3), 191–200.
- Gazzaniga, M. S. (1995). Principles of human brain organization derived from split-brain studies. *Neuron*, 14, 217–228.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2001). Neurosciences cognitives: la biologie de l'esprit (Traduction de la première édition américaine). Paris : De Boeck & Larcier.



- Ghorashi, S. M. S., Smilek, D., & Di Lollo, V. (2007). Visual search is postponed during the attentional blink until the system is suitably reconfigured. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33, 124–136.
- Giesbrecht, B., & Kingstone, A. (2004). Right hemisphere involvement in the attentional blink: Evidence from a split-brain patient. *Brain and Cognition*, 55, 303–306.
- Holländer, A., Corballis, M. C., & Hamm, J. P. (2005). Visual-field asymmetry in dual-stream RSVP. *Neuropsychologia*, 43, 35–40.
- Holtzman, J. D., & Gazzaniga, M. S. (1982). Dual task interactions due exclusively to limits in processing resources. *Science*, 218, 1325–1327.
- Hussain, M., Shapiro, K., Martin, J., & Kennard, C. (1997). Abnormal temporal dynamics of visual attention in spatial neglect patients. *Nature*, 385, 154–156.
- Jolicoeur, P. (1998). Modulation of the attentional blink by on-line response selection: Evidence from speeded and unspeeded Task 1 decisions. *Memory & Cognition*, 26, 1014–1032.
- Jolicoeur, P. (1999). Concurrent response selection demands modulate the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1097–1113.
- Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology*, 36, 138–202.
- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006a). On the control of visual spatial attention: Evidence from human electrophysiology. *Psychological Research*, 70, 414–424.
- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006b). Attentional control and capture in the attentional blink paradigm: Evidence from human electrophysiology. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18, 560–578.
- Keenan, J. P., Wheeler, M., Platek, S. M., Lardi, G., & Lassonde, M. (2003). Self-face processing in a callosotomy patient. *European Journal of Neuroscience*, 18 (8), 2391–2395.
- Kessler, K., Schmitz, F., Gross, J., Hommel, B., Shapiro, K., & Schnitzler, A. (2005). Cortical mechanisms of attention in time: Neural correlates of the lag-1 sparing phenomenon. *European Journal of Neuroscience*, 21, 2563–2574.

- Kingstone, A., Enns, J. T., Mangun, G. R., & Gazzaniga, M. S. (1995). Guided visual search is a left-hemisphere process in split-brain patients. *Psychological Science*, 6 (2), 118–121.
- Martens, S., & Johnson, A. (2008). Working memory capacity, intelligence, and the magnitude of the attentional blink revisited. *Experimental Brain Research*, 192 (1), 43–52.
- Nieuwenhuis, S., Gilzenrat, M. S., Holmes, B. D., & Cohen, J. D. (2005). The role of the locus coeruleus in mediating the attentional blink: a neurocomputational theory. *Journal of Experimental Psychology: General*, 134 (3), 291–307.
- Nieuwenstein, M. R. (2006). Top-Down Controlled, Delayed Selection in the Attentional Blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32 (4), 973–985.
- Olivers, C. N. L., & Meeter, M. (2008). A boost and bounce theory of temporal attention. *Psychological Review*, 115, 836–863.
- 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*, 32 (4), 794–803.
- 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*, 45 (5), 849–860.
- Robitaille, N., Jolicoeur, P., Dell'Acqua, R., & Sessa, P. (2007). Short-term consolidation of visual patterns interferes with visuo-spatial attention: Converging evidence from human electrophysiology. *Brain Research*, 1185, 158–169.
- Sperry, R. W. (1968). Hemisphere Deconnection and Unity in Conscious Awareness. *American Psychologist*, 23, 723–733.
- Visser, T. A. W., Zuvic, S. M., Bischof, W. F., & DiLollo, V. (1999). The attentional blink with targets in different spatial locations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 6 (3), 432–436.
- Wolfe, J. M., Cave, K. R., & Franzel, S. L. (1989). Guided search: an alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 419–433.