



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

**Archive ouverte UNIGE**

<https://archive-ouverte.unige.ch>

Thèse

2017

Open Access

This version of the publication is provided by the author(s) and made available in accordance with the copyright holder(s).

---

## Approche électrophysiologique de la suppression des distracteurs

---

Barras, Caroline

### How to cite

BARRAS, Caroline. Approche électrophysiologique de la suppression des distracteurs. Doctoral Thesis, 2017. doi: [10.13097/archive-ouverte/unige:95046](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:95046)

This publication URL: <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:95046>

Publication DOI: [10.13097/archive-ouverte/unige:95046](https://doi.org/10.13097/archive-ouverte/unige:95046)

© This document is protected by copyright. Please refer to copyright holder(s) for terms of use.



**UNIVERSITÉ  
DE GENÈVE**

**FACULTÉ DE PSYCHOLOGIE  
ET DES SCIENCES DE L'ÉDUCATION**

Section de Psychologie

Sous la direction du Professeur Dirk Kerzel

---

# **Approche électrophysiologique de la suppression des distracteurs**

**THESE**

Présentée à la  
Faculté de psychologie et des sciences de l'éducation  
de l'Université de Genève  
pour obtenir le grade de Docteur en Psychologie

par

**Caroline BARRAS**

de

Suisse

Thèse No 670  
N° d'étudiant: 07-505-084

GENEVE

Mai 2017



## *MEMBRES DU JURY*

Prof. Roberto Caldara (*Université de Fribourg, Suisse*)

Prof. Daphné Bavelier (*Université de Genève, Suisse*)

Dr. Alan Pegna (*Université de Queensland, Australie*)

Prof. Dirk Kerzel (*Université de Genève, Suisse*)



## REMERCIEMENTS

Je tiens à commencer ces remerciements par Dirk Kerzel, mon directeur de thèse. Merci de m'avoir accueillie au sein de ton équipe pour le master déjà, puis pour la thèse. Je te remercie pour tes conseils, ton aide ta compréhension et ta confiance, sans quoi je n'aurais pas pu mener ma thèse à son terme. Merci également pour ta disponibilité et tes précieux feedbacks pour aller toujours plus loin dans ma réflexion. Mes remerciements s'adressent ensuite à Nicolas Burra qui m'a fait découvrir le monde de la recherche scientifique en master, et avec qui j'ai continué de collaborer durant mes années de thèse. Merci pour tes conseils, tes idées, et ton soutien. Je remercie également les membres du jury : Daphné Bavelier, Roberto Caldara, ainsi que Alan Pegna.

Je souhaite également remercier mes collègues de travail avec qui j'ai collaboré de près ou de loin. Merci également à tous mes ami(e)s, également en thèse à l'Université de Genève. Merci pour tous les bons moments passés à se changer les idées pour mieux reprendre le travail par la suite. Une pensée particulière à Lucie et Fanny pour nos (nombreuses) pauses au Bubble Tea pour nous remonter le moral.

Je remercie également les moniteurs et monitrices avec qui j'ai collaboré durant cette thèse, et sans qui je n'aurais pas pu réaliser tous ces projets. Merci pour votre disponibilité, votre flexibilité, et les nombreuses heures passées dans le laboratoire du quatrième étage loin de la lumière du jour. Mes pensées vont également à tous les étudiants de première année de psychologie de l'Université de Genève qui ont participé à mes expériences. Sans eux, ces projets n'auraient pas vu le jour. Ils ont toujours été collaboratifs, bien que la motivation ne soit pas toujours au rendez-vous.

Un merci tout particulier à ma famille qui m'a toujours soutenue et poussée à aller plus loin. Pour terminer ces remerciements, j'adresse une mention spéciale à Christophe Carlei, compagnon et collègue. Je tiens à te remercier pour toute l'aide (informatique et statistique) que tu m'as apportée durant ma thèse, ainsi que pour la relecture de ce travail. Je tiens également à te remercier pour le soutien moral durant les moments de crises que tout bon thésard traverse un jour ou l'autre.

Merci à tous !



## RÉSUMÉ

Le but de ce travail est l'étude des distracteurs visuels. En effet, nos capacités attentionnelles étant limitées, il est important de pouvoir sélectionner directement l'information qui nous sera utile. Nous avons donc analysé différentes situations dans lesquelles un distracteur visuel saillant est présenté alors qu'il est totalement non-pertinent pour la tâche du participant. Notre but est donc d'isoler les conditions dans lesquelles nous sommes capables d'ignorer un élément non-pertinent, par opposition aux conditions dans lesquelles nous n'en sommes pas capables. Pour ce faire, nous avons donc mené une série d'expériences sur la base de deux paradigmes connus, à savoir le paradigme d'indication spatial modifié, ainsi que *l'additional singleton paradigm*. Des modifications ont été apportées à ces paradigmes selon nos questions expérimentales. Afin d'aller plus loin dans la compréhension des résultats, nous avons mené ces expériences en électrophysiologie afin de comprendre plus précisément les mécanismes de traitement visuel en jeu dans la suppression du distracteur. Nous nous sommes focalisés sur deux composantes latéralisées, la N2pc reflétant une capture attentionnelle, et la P<sub>D</sub> reflétant une suppression du distracteur. Nos résultats montrent que les distracteurs saillants peuvent être supprimés lorsque la tâche est facile, notamment en cas de grande différence entre la cible et les non-cibles. De plus, nous avons vu que, suite à une phase d'entraînement, une P<sub>D</sub> est observée en direction du distracteur dans une recherche d'élément unique. À l'inverse, nous sommes incapables d'ignorer un distracteur saillant dans une recherche difficile, c'est-à-dire lorsque la différence entre la cible et le distracteur est très faible.



## LISTE DES PUBLICATIONS

Barras, C., & Kerzel, D. (soumis). Target-nontarget similarity decreases search efficiency and increases stimulus-driven control in visual search.

Barras, C., & Kerzel, D. (accepted pending minor revisions). Salient-but-irrelevant stimuli cause attentional capture in difficult, but attentional suppression in easy visual search. *Psychophysiology*.

Burra, N., Coll, S. Y., Barras, C., & Kerzel, D. (2016). Electrophysiological evidence for attentional capture by irrelevant angry facial expressions: Naturalistic faces. *Neuroscience Letters*. doi: 10.1016/j.neulet.2016.11.055

Barras, C., & Kerzel, D. (2016). Active suppression of salient-but-irrelevant stimuli does not underlie resistance to visual interference. *Biological Psychology*. doi: 10.1016/j.biopsycho.2016.10.004

Burra, N., Barras, C., Coll, S. Y., & Kerzel, D. (2016). Electrophysiological evidence for attentional capture by irrelevant angry facial expressions. *Biological Psychology*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.08.008>

Barras, C., & Kerzel, D. (2016). Nogo stimuli do not receive more attentional suppression or response inhibition than neutral stimuli: Evidence from the N2pc, P<sub>D</sub> and N2 components in a spatial cueing paradigm. *Frontiers in Psychology*, 7:630. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00630

Kerzel, D. & Barras, C. (2016). Distractor rejection in visual search breaks down with more than a single distractor feature. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(5), 648-657. doi: 10.1037/xhp0000180.

## LISTE DES PRÉSENTATIONS

Barras, C., & Kerzel, D. (2016, May). Interference from salient-but-irrelevant stimuli is stronger with perceptual ambiguity: Evidence for biased competition. Poster presented at Vision Science Society (VSS), Florida, USA.

Barras, C., & Kerzel, D. (2015, May). ERP correlates of contingent attentional capture and suppression. Poster presented at Vision Science Society (VSS), Florida, USA.

Barras, C., Gogniat, E., Burra, N., & Kerzel, D. (2015, January). Olfaction and attentional capture. Poster presented at the Apling Brain Imaging Meeting (ABIM), Champéry, Switzerland.

Barras, C., & Kerzel, D. (2014, May). Categorical capture of attention. Poster presented at Vision Science Society (VSS), Florida, USA.

Burra, N., Barras, C., Coll, S. Y., & Kerzel, D. (2013, February). Attentional capture by schematic angry faces: an electrophysiological investigation. Poster presented at the Swiss Society for Neuroscience Meeting (SSN), Geneva, Switzerland.



# TABLE DES MATIERES

<b>I. INTRODUCTION.....</b>	<b>14</b>
<b>1. Qu'est-ce que l'Attention.....</b>	<b>15</b>
<b>2. La Capture Attentionnelle.....</b>	<b>19</b>
a. L'Attention Sélective.....	19
i. L'Additional Singleton Paradigm .....	24
<b>3. La Recherche Visuelle .....</b>	<b>27</b>
<b>4. L'Electroencéphalographie.....</b>	<b>35</b>
a. Historique et Fonctionnement de l'Electroencéphalogramme .....	35
b. La Composante N2.....	36
c. Les Composantes Latéralisées .....	37
i. La Composante N2pc .....	37
ii. La N2pc Précoce et Tardive.....	40
iii. La Somme de P <sub>D</sub> et N2pc (N <sub>T</sub> ).....	41
iv. Distractor Positivity (P <sub>D</sub> ) .....	41
<b>5. Le Coût de Filtrage non spatial .....</b>	<b>48</b>
<b>6. La Séquence de Traitement Visuel.....</b>	<b>51</b>
<b>II. LES EXPÉRIENCES.....</b>	<b>54</b>
<b>1. Suppression lors d'une Tâche d'Indiçage Spatial Modifié .....</b>	<b>56</b>
a. But de l'Etude .....	56
b. Expérience 1 .....	56
i. Résultats.....	58
ii. Discussion.....	64
c. Expérience 2 .....	65
i. Résultats.....	65
ii. Discussion.....	66
d. Expérience 3 .....	66
i. Résultats.....	67
ii. Discussion.....	69
e. Discussion Générale .....	69
i. Suppression attentionnelle vs mise à jour de l'objet.....	70
ii. Inhibition de la réponse vs activation de la réponse .....	71

<b>2. Suppression et Mode de Recherche .....</b>	<b>74</b>
a. But de l'Etude .....	74
b. Expérience 4 .....	75
i. Résultats.....	77
ii. Discussion.....	83
c. Expérience 5 .....	84
i. Résultats.....	84
ii. Discussion.....	88
d. Discussion Générale .....	89
i. Somme de $P_D$ et $N2pc$ ( $N_T$ ) .....	90
ii. Effet de la distance entre cible et distracteur .....	91
iii. La Composante Ppc.....	92
<b>3. L'Effet de Similarité .....</b>	<b>94</b>
a. But de l'Etude .....	94
b. Expérience 6 .....	95
i. Résultats.....	96
ii. Discussion.....	100
c. Expérience 7 .....	101
i. Résultats.....	102
d. Conclusion .....	104
e. Discussion Générale .....	105
i. La Ppc reflète un déséquilibre de saillance du distracteur pour la recherche efficace.....	106
ii. Effet de saillance de la cible et chevauchement des caractéristiques .....	107
iii. Contradictions constatées.....	108
<b>III. CONCLUSION.....</b>	<b>110</b>
<b>1. Synthèse des Résultats .....</b>	<b>110</b>
a. Le Paradigme d'Indiçage Modifié .....	111
b. Les Modes de Recherche.....	112
c. L'Effet de Similarité.....	114
d. Les Trois Etudes .....	115
<b>2. L'Impact de l'Inhibition dans les Mécanismes de Recherche.....</b>	<b>116</b>
a. La Composante Ppc .....	117
b. La Séquence de Traitement Visuel .....	118
c. Lien avec le Modèle de la Capture .....	119
d. La $P_D$ vs Coût de Filtrage Non Spatial.....	119

<b>3. Suppression d'un Distracteur en Mémoire.....</b>	<b>120</b>
<b>4. L'Impact de l'Environnement sur le Traitement Visuel .....</b>	<b>124</b>
a. L'Evolution de la Société.....	124
b. L'Influence de l'Information Inconsciente.....	125
c. L'Influence de la Population Etudiée .....	125
d. Les Points Forts et les Points Faibles .....	127
<b>5. La Suppression des Stimuli Emotionnels.....</b>	<b>128</b>
a. Les Visages de Colère .....	129
b. Les Araignées.....	132
c. Conclusion sur la Suppression des Stimuli Menaçants.....	135
<b>6. Ouvertures.....</b>	<b>136</b>
<b>7. Conclusion Générale.....</b>	<b>138</b>
<b><i>IV. BIBLIOGRAPHIE.....</i></b>	<b><i>140</i></b>
<b><i>V. ANNEXES .....</i></b>	<b><i>154</i></b>



## I. INTRODUCTION

La vision est sans doute le sens le plus développé chez l'être humain. Il se distingue des autres sens par la qualité et la quantité d'informations qu'il nous fournit sur le monde. D'un simple coup d'œil nous arrivons à distinguer la taille, la forme, la couleur, la texture et la position des objets qui nous entourent, même s'ils sont en mouvement. Voir n'est pas comme on pourrait le penser un acte instantané qui ne nécessite aucun effort. Inconsciemment, notre cerveau fournit un effort considérable pour « construire » les représentations visuelles que nous percevons comme conscientes. Ainsi, contrairement aux systèmes les plus avancés d'intelligence artificielle, nous sommes capables de reconnaître, presque instantanément, des objets dont l'intensité lumineuse peut varier considérablement (d'un faible scintillement de bougie à une lumière du soleil éclatante) et cela même s'ils sont partiellement cachés ou entremêlés. Ce processus de construction visuelle implique de nombreuses aires corticales et sous corticales. Notre cerveau procède donc à un assemblage des différents aspects de la vision pour enfin nous fournir une vision consciente. Bien que nous commencions à mieux comprendre le fonctionnement de notre système visuel et le rôle de chaque aire cérébrale impliquée dans le processus, nous ignorons toujours comment la vision devient consciente. Sur la quantité extraordinaire d'images formées par la lumière reçue par nos yeux puis transmises aux aires visuelles primaires (cortex occipital) et enfin interprétées par les voies visuelles (ventrale et dorsale), quelle sera in fine notre perception visuelle consciente ? Comme nous allons le voir dans le présent travail, certains éléments visuels, de par leurs caractéristiques, sont susceptibles d'attirer davantage notre attention et par conséquent d'être plus facilement portés à notre conscience. Lorsque notre perception consciente est ainsi influencée par les premiers niveaux de traitement perceptif des stimuli nous parlons de traitement ascendant (ou *bottom-up*). Notre perception peut également être influencée par des traitements de haut niveau comme nos attentes, nos connaissances ou nos buts, nous parlons alors de traitement descendant (ou *top-down*). Par exemple, si lors d'une ballade en ville vous vous apprêtez à traverser une route, votre système visuel va, par traitement descendant, être particulièrement attentif aux passages cloutés (pouvant être peu visibles et cachés par des véhicules) qui deviennent une information pertinente par rapport à votre but de traverser la route. Une fois engagé sur le passage piéton votre système visuel va, par traitement ascendant, vous permettre d'identifier parmi la foule une personne distraite qui, si vous ne changez pas votre trajectoire va vous percuter. L'information

devient alors pertinente dans le contexte où vous vous trouvez. Votre attention visuelle se focalise sur cette personne en particulier et vous permet d'estimer sa trajectoire et sa vitesse afin de vous décaler à temps.

Ci-dessus, nous avons abordé un phénomène que nous appelons « la capture attentionnelle ». Il s'agit du fait qu'un élément de notre champ visuel va attirer notre attention volontairement ou involontairement, afin que nous puissions le traiter plus en détail. Le cas de la capture involontaire de notre attention (suite à un traitement ascendant) est bien connu des publicitaires qui vont redoubler d'ingéniosité lors de leurs campagnes d'affichages pour créer des affiches qui vont attirer notre regard. Ainsi, que notre activité en cours nous demande plus ou moins d'attention consciente (marcher, faire du vélo, conduire un véhicule), notre attention visuelle peut se trouver facilement happée par ces publicités. Dans des conditions de laboratoire, nous avons cherché à mieux comprendre ce phénomène de capture attentionnelle, autrement dit pourquoi certains objets sont-ils plus susceptibles que d'autres de « remporter la compétition visuelle » pour être conscientisés. Nous avons investigué notre capacité à résister à cette capture attentionnelle, à savoir rester concentré sur un type d'objet donné (pertinent pour la tâche) en inhibant la tendance naturelle de notre système visuel à nous orienter sur un objet plus saillant (mais non pertinent).

## 1. Qu'est-ce que l'Attention

Précédemment, nous avons parlé d'attention visuelle et de capture attentionnelle. Penchons-nous un instant sur ce que l'on entend par attention. Ce concept, comme celui de la vision peut paraître assez simple et être décrit à tort comme un phénomène volontaire, sous notre contrôle, qui consiste à sélectionner des éléments pertinents à porter à notre conscience. Cependant, comme nous allons le voir, les mécanismes impliqués sont plus complexes et le concept est beaucoup plus vaste. Parmi les nombreuses formes que peut revêtir l'attention, nous allons, dans le présent travail, nous focaliser sur l'attention visuelle et mentionner dans une moindre mesure l'attention auditive.

Avant d'être un concept psychologique, l'attention a tout d'abord été définie comme concept philosophique. Étant donné la nature empirique de ce travail, nous avons choisi de nous centrer sur le côté psychologique. L'un des premiers auteurs à se référer à l'attention en

psychologie est William James, au début du 19<sup>ème</sup> siècle (James, 1918). Il définit l'attention comme suit :

“Every one knows what attention is. It is the taking possession by the mind, in clear and vivid form, of one out of what seem several simultaneously possible objects or trains of thought. Localization, concentration, of consciousness are of its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others, and is a condition which has a real opposite in the confused, dazed, scatter brained state which in French is called distraction, and Zerstretheit in German.” (pp. 403-404)

William James suggère que le contraire de l'attention serait l'inhibition, et que pour quitter cet état, il faut retrouver un état dans lequel nous portons attention sur quelque chose :

“This curious state of inhibition can for a few moments be produced at will by fixing the eyes on vacancy. [...] The abolition of this condition is what we call the awakening of the attention. One principal object comes then into the focus of consciousness, others are temporarily suppressed. The awakening may come about either by reason of a stimulus from without, or in consequence of some unknown inner alteration ; and the change it brings with it amounts to a concentration upon one single object with exclusion of aught besides, or to a condition anywhere between this and the completely dispersed state.” (pp. 404-405)

Dès les années 50, l'attention est devenue un sujet de recherche important en psychologie, notamment grâce au développement technologique des moyens de recherche. L'un des premiers phénomènes attentionnels à avoir été observé a été découvert par Cherry (1953). Ce phénomène est connu sous le nom de « *cocktail party effect* ». Lorsque nous sommes entourés par un grand nombre de personnes, nous devons nous concentrer sur la conversation de la personne avec qui nous parlons, tout en ignorant les conversations alentour. Afin de comprendre les mécanismes impliqués dans ce phénomène, Cherry a recréé cette situation en laboratoire. Durant cette expérience, les participants entendent une information différente dans chaque oreille, et doivent se focaliser sur l'un des deux messages. Afin de s'assurer qu'ils se

focalisent bien sur le message demandé, ils doivent le répéter. Les résultats montrent qu'il est en effet possible de se focaliser sur un message spécifique tout en ignorant l'autre. Concernant le message non-focalisé, les participants sont incapables de s'en souvenir au point de ne plus se rappeler s'il s'agissait d'une voix féminine ou masculine. Ces résultats suggèrent donc que les informations sensorielles sont stockées dans un registre temporaire (*buffer*), mais seules les informations pertinentes seront identifiées et mémorisées.

Sur la base de ces découvertes, Broadbent (1958) a développé le « *filter model of attention* » aussi connu sous le nom de « *bottleneck model* » (Figure 1A). Ce modèle, basé sur l'attention sélective, permet d'expliquer comment il est possible de se focaliser sur un message, tout en ignorant d'autres informations. Selon ce modèle, l'attention est définie comme une ressource cognitive limitée. En effet, toutes les informations sensorielles qui nous parviennent ne peuvent pas être traitées. L'information serait donc stockée en mémoire sensorielle durant moins de 1 seconde, puis filtrée si elle n'est pas pertinente. La sélection de l'information pouvant passer ce filtre dépend généralement de caractéristiques physiques, comme le volume, la voix ou l'intonation. Une fois que l'information a été sélectionnée, elle pourra donc être traitée sur la base de caractéristiques de haut niveau, comme la signification du message entendu. Ce modèle est donc un modèle de sélection précoce, car le filtre précède l'analyse sémantique. Cependant, ce modèle a été controversé, car il a été mis en évidence que le filtre pouvait laisser passer certaines informations du message non-focalisé. Il a par exemple été montré que le prénom du sujet attirait son attention, et cela même s'il est présenté dans le message non-focalisé (Moray, 1959). Treisman (1969) propose donc un modèle alternatif, le « *attenuation model of attention* » ou « *leaky filter* » (Figure 1B). Elle suggère que la sélection se fait en deux étapes, et remplace le filtre par un atténuateur. Selon ce modèle, les deux messages passeraient par l'atténuateur, puis le message non-focalisé serait atténué, alors que le message focalisé ne le serait pas. En d'autres termes, les deux messages sont présents, mais pas à la même puissance. Dans la deuxième étape, le message serait analysé par l'unité du dictionnaire contenant les mots stockés en mémoire. Elle suggère que les mots communs ou particulièrement importants seraient activés plus facilement, même avec un faible signal. Ceci expliquerait pourquoi la personne qui entend son prénom en écoute non-focalisé y est tout de même attentif.

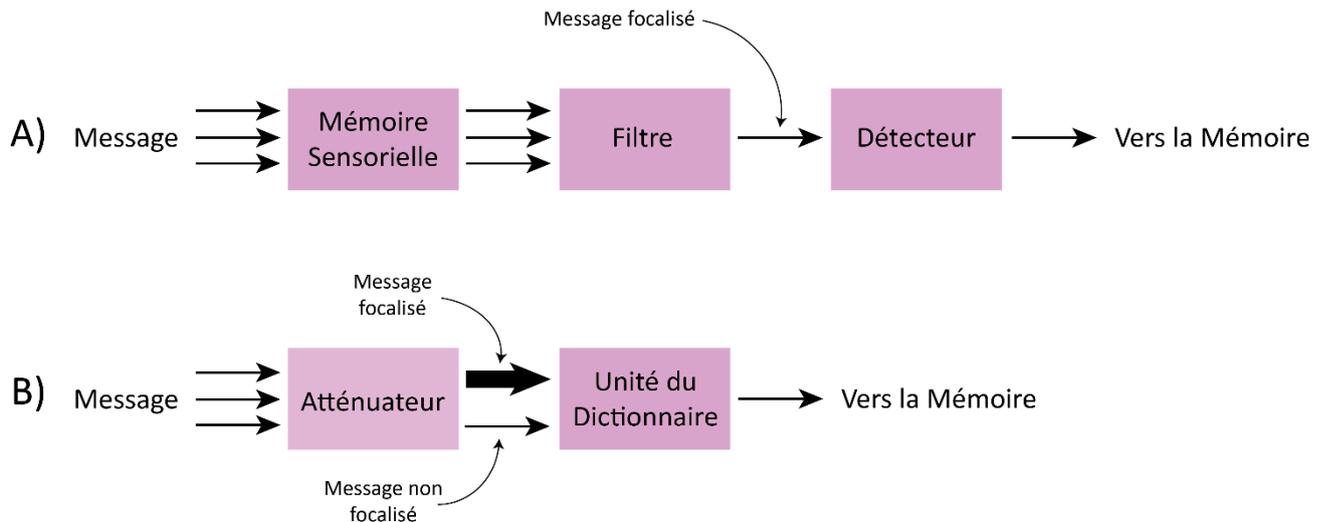


Figure 1 en A, illustration du modèle de Broadbent (1958) et en B, illustration du modèle de Treisman (1969)

Comme nous venons de le présenter, notre attention va pouvoir sélectionner les éléments pertinents et non-pertinents dans notre environnement en fonction de ce que nous sommes en train d'accomplir. Ce mécanisme de sélection est très important et diffère selon chaque tâche et environnement. En effet, selon le contexte, ces interférences peuvent être très dérangeantes car nos capacités cognitives ne nous permettent de traiter qu'un nombre limité d'informations en même temps (Desimone & Duncan, 1995). Par conséquent, il va falloir allouer notre attention de manière sélective en direction de stimuli spécifiques utiles pour nous. Ce processus de sélection va être possible grâce à un mécanisme appelé l'attention sélective (Broadbent, 1982).

Pour revenir à l'attention visuelle, les mécanismes de contrôle attentionnel sont d'autant plus complexes qu'ils sont composés de différents mécanismes nous permettant un contrôle quasi optimal de notre attention. Si nous devons, par exemple, trouver une carte spécifique (l'as de cœur) qui est présente dans la Figure 2, il va nous falloir un mécanisme capable d'intensifier le traitement des éléments correspondants à notre recherche. Cependant, il sera également nécessaire d'avoir un mécanisme nous permettant de prévenir une capture attentionnelle par un autre élément que notre cible, mais non-pertinent. Si notre attention va tout de même en direction de cet élément saillant non-pertinent (le 7 rouge du jeu de UNO dans notre exemple), il sera donc nécessaire d'avoir un mécanisme nous permettant de retirer notre attention de cet objet afin de pouvoir continuer la recherche de notre cible. Ceci est en effet possible grâce à un

mécanisme qui nous permet de désengager notre attention de la cible une fois qu'elle a été localisée, afin de pouvoir nous concentrer sur notre prochain objectif (Sawaki & Luck, 2014). Ces principaux mécanismes ont déjà fait l'objet de recherche. Nous allons tenter d'en faire la synthèse ci-dessous en nous focalisant cette fois-ci uniquement sur l'attention visuelle.



Figure 2 Exemple d'une scène de la vie quotidienne dans laquelle il faut supprimer le distracteur (le 7 rouge du jeu de UNO), afin de pouvoir identifier la cible (l'as de cœur).

## 2. La Capture Attentionnelle

### *a. L'Attention Sélective*

Depuis de nombreuses années, l'attention visuelle est au cœur des débats scientifiques. La question principale est de savoir de quelle manière se produit le déplacement de l'attention. Le déplacement attentionnel peut être volontaire ou non. Dans les deux cas, ce changement d'allocation peut être dû à un mouvement des yeux ou de la tête ou à des mécanismes centraux. Si le déplacement de l'attention se fait sans aucun déplacement visible, nous parlons d'attention couverte, alors que dans l'autre cas, il s'agit d'attention ouverte. Un déplacement attentionnel effectué selon la modalité dite couverte ne sera donc pas observable directement, d'autant plus qu'il est très rapide. L'attention sera donc allouée à un autre endroit que le point de fixation des yeux. L'attention ouverte est quant à elle facilement observable, car associée à un mouvement de la tête ou des yeux donnant lieu à des séquences de fixations et des saccades. Ce deuxième

type d'attention est donc plus volontaire que le premier, bien que les deux soient possibles (Bisley, 2011; Deubel & Schneider, 1996).

Actuellement, il existe deux mécanismes de déplacement de l'attention : les mécanismes descendants et ascendants (*top-down* et *bottom-up*). L'attention dite *top-down* va dépendre des consignes de la tâche, mais aussi des attentes de la personne contrairement à l'attention dite *bottom-up*. Cette dernière ne peut pas être stoppée ou contrôlée par les attentes de la personne, car elle est automatique et involontaire. Ces deux processus sont donc dépendants de mécanismes neuraux différents (Corbetta & Shulman, 2002). Au niveau temporel, ces deux processus vont également différer. Tout d'abord, nous avons l'orientation *bottom-up* qui va analyser les informations visuelles durant environ 100 ms, à la suite de quoi le traitement *top-down* va commencer vers 200-300 ms. Ces prédictions temporelles ont été vérifiées en reprenant un paradigme très connu dans les sciences cognitives, le paradigme d'indication spatiale (Posner, 1980). En effet, ce dernier a montré que lorsque la personne sait où la cible va apparaître grâce à un indice, elle va mettre moins de temps à répondre que si aucun signe n'est préalablement présenté. Un effet identique est obtenu lorsque l'indice présenté est erroné. Posner va donc créer un paradigme avec des situations dites congruentes (l'indice est à l'endroit de la cible) et des situations incongruentes (l'endroit de l'indice ne correspond pas à celui de la cible). La différence des temps de réaction obtenue entre ces deux conditions est due au fait que le focus attentionnel se déplace avant que la saccade n'ait lieu. Ainsi, dans la situation incongruente, le focus attentionnel est dirigé vers un endroit, alors que la cible apparaît à un autre endroit. La personne doit donc réorienter son attention avant de pouvoir répondre. Le paradigme de Posner nous permet également l'étude des types d'indices, à savoir les indices endogènes et exogènes. Lorsque nous sommes en présence d'un indice dit endogène, nous pouvons diriger volontairement notre attention en direction de l'endroit indiqué. Il s'agira par exemple d'une flèche indiquant l'endroit où apparaîtra la cible. À l'inverse, nous aurons une allocation automatique et non volontaire de notre attention en présence d'un indice exogène (Peelen, Heslenfeld, & Theeuwes, 2004). Ce type d'indice peut être par exemple un flash lumineux avant l'apparition de la cible. Sur la base de ces indices, nous avons donc la possibilité de déplacer volontairement notre attention dans une direction donnée, mais ce déplacement peut également se faire de manière automatique et non volontaire. Ces deux types d'orientation sont

donc en lien avec les deux types de contrôles que nous avons abordés ci-dessus : le contrôle *top-down* et *bottom-up*.

Par la suite, d'autres paradigmes d'indication se sont basés sur ce principe, mais ont légèrement été modifiés afin d'aller plus loin dans la compréhension. Ainsi, Folk, Remington, and Johnston (1992) ont voulu voir si les déplacements attentionnels involontaires sont influencés par un lien entre la tâche en cours et les propriétés des stimuli présentés à l'écran. Le participant va voir apparaître tout au long de l'expérience cinq carrés à l'écran (écran de fixation) avec une succession de modifications. Après le premier écran de fixation, quatre cercles vont apparaître autour de l'un des quatre carrés, il s'agit de l'écran indice (Figure 3A). Par la suite, l'écran de fixation est à nouveau brièvement affiché (100 ms) pour laisser place à l'écran réponse. Cet écran est composé des cinq carrés de base dans lesquels apparaissent soit des « X », soit des « = ». Deux conditions sont alors possibles pour l'écran réponse : soit la condition cible unique, soit la condition cible de couleur. Dans la première condition, seul un carré est rempli avec l'un des symboles. Dans la deuxième condition, les quatre carrés externes sont remplis avec l'un des deux symboles, mais seul un symbole est de couleur différente, la cible. Ce paradigme contient encore quatre conditions expérimentales concernant les écrans indice et réponse : la condition où il n'y a pas d'indice, la condition valide, la condition avec l'indice central et la condition non-valide. Dans la condition valide, l'indice et la cible apparaissent au niveau du même carré, alors que dans la condition non-valide, l'indice et la cible apparaissent dans des carrés différents. Dans une deuxième étude, ils ont modifié la nature de l'indice. L'écran indice est donc composé des cinq carrés tous entourés par quatre cercles. Seuls les cercles d'un carré sont de couleur différente représentant ainsi l'indice (Figure 3B). La tâche et les conditions restent identiques. Les temps de réaction sont plus rapides lorsque la cible apparaît au même endroit que l'indice, uniquement lorsque l'indice unique apparaît avant l'écran avec cible unique, et lorsque l'indice de couleur apparaît avant l'écran avec cible de couleur (Figure 3C). Ils obtiennent donc un effet d'indication suggérant qu'un distracteur saillant capture l'attention uniquement quand il correspond aux dimensions attentionnelles requises dans la tâche en cours.

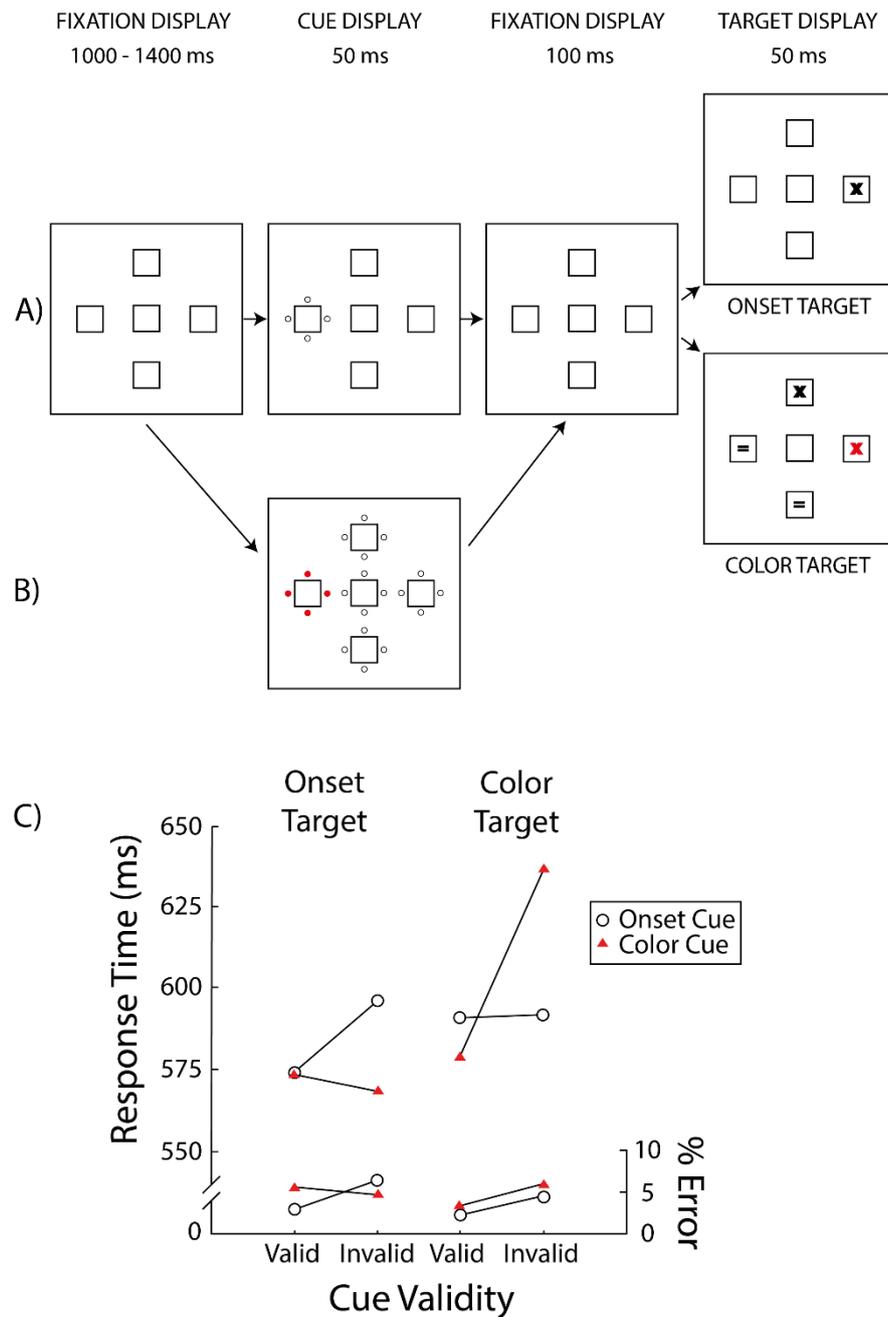


Figure 3 Illustration du paradigme utilisé par Folk, Remington & Johnston (1992). En A, illustration de la première expérience avec un seul indice, suivi par l'écran réponse qui est composé soit d'une cible unique, soit de quatre symboles dont l'un est de couleur différente (la cible). En B, illustration de la deuxième expérience avec l'indice de couleur. En C, illustration des résultats obtenus dans les deux conditions.

Plus récemment, il a été montré que la capture attentionnelle n'est pas exclusivement déterminée par la correspondance entre les caractéristiques de la cible et celles de l'indice, mais plutôt par la relation perceptuelle entre la cible ou l'indice et les autres éléments présentés à

l'écran. Cependant, l'absence d'un effet de congruence avec un indice qui ne correspond pas ne signifie pas qu'il n'y a pas de capture attentionnelle. En effet, Theeuwes, Atchley, and Kramer (2000) suggèrent que l'attention serait capturée de manière identique par un indice correspondant et non-correspondant, mais que l'attention serait désengagée plus rapidement lorsque l'indice ne correspond pas à la cible. En d'autres termes, la capture attentionnelle est également présente avec des indices ne correspondant pas, mais cela n'influencerait pas les temps de réaction, car l'attention a déjà été désengagée de l'indice lors de l'apparition de la cible.

Afin d'étudier le déploiement temporel de l'attention, des chercheurs ont manipulé l'intervalle temporel entre la présentation de l'indice et de la cible. Sur la base du déploiement automatique de l'attention, la cible est traitée plus rapidement et plus précisément lorsque la fréquence d'apparition du stimulus (*Stimulus onset asynchrony (SOA)*) est de 100 ms. Les performances de détection de la cible sont meilleures durant les 200 premières millisecondes après l'apparition du stimulus, alors que les performances chutent après. Cet effet est appelé « *inhibition of return* » (IOR), il empêche l'attention de retourner à l'endroit qui vient d'être inhibé (Folk & Remington, 2008; Posner, Rafal, Choate, & Vaughan, 1985).

Ce paradigme d'indication a été modifié par Anderson and Folk (2012) en l'associant à une tâche go-nogo. Les participants devaient chercher une cible de couleur connue, et répondre uniquement lorsque la cible est de la couleur voulue. Par exemple, les participants doivent indiquer la nature du symbole rouge, et ne pas répondre lorsqu'il est bleu. Concernant le principe de l'indice, il est identique à l'expérience ci-dessus. Quatre carrés sont présentés autour d'une croix de fixation. Un deuxième écran apparaît avec quatre cercles autour des carrés (les indices). Ces cercles sont gris autour de trois carrés, et peuvent être rouges, bleus ou verts autour du dernier. Enfin, l'écran réponse est présenté et le participant ne doit répondre que si le symbole est dans la couleur demandée, à savoir la couleur go (Figure 4). À travers une série d'expériences, ils retrouvent les effets classiques de l'indication, à savoir des temps de réaction plus courts pour les indices go que nogo dans les essais valides, et plus longs pour les indices go que nogo dans les essais invalides.

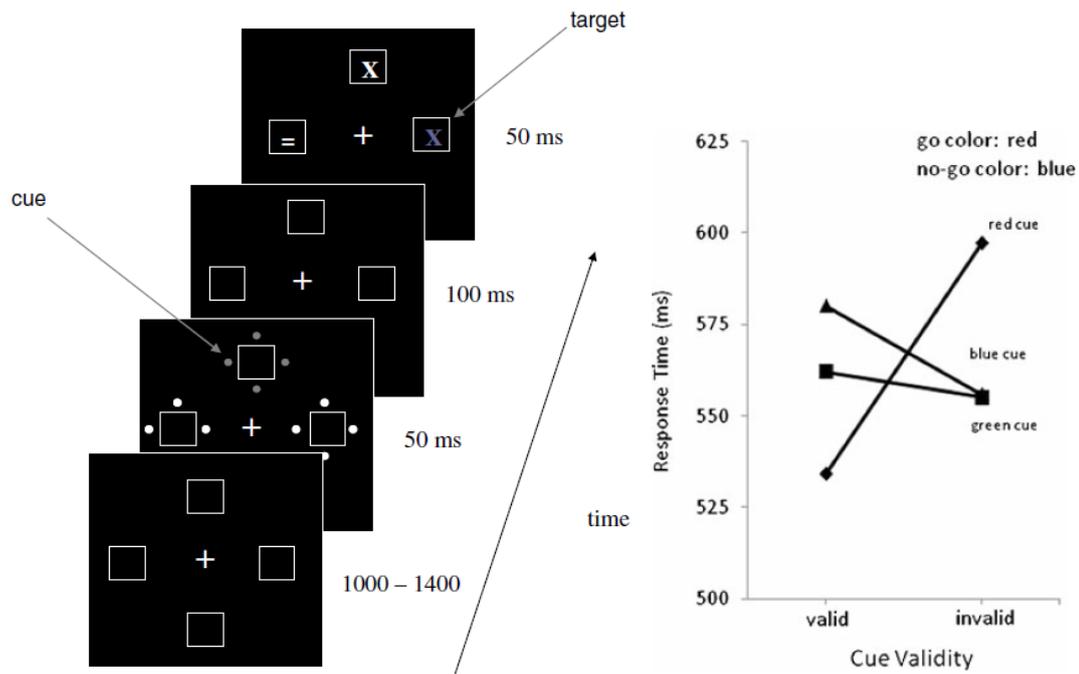


Figure 4 A gauche, illustration du paradigme d'indication modifié (Anderson & Folk, 2012) avec un écran contenant les indices pouvant être congruents ou non, suivis par l'écran avec la cible qui peut être de couleur go (impliquant une réponse) ou de couleur nogo (impliquant une inhibition de la réponse). A droite, illustration des temps de réaction selon la validité de l'indice et sa couleur.

i. L'Additional Singleton Paradigm

L'*additional singleton paradigm* a été développé afin de mesurer l'allocation des ressources attentionnelles automatiques et volontaires dans une tâche de recherche visuelle. Il nous permet ainsi de voir si un élément saillant capture toujours l'attention malgré la présence d'un traitement descendant (*top-down*). Nous parlons de saillance dans la situation où un objet diffère d'un autre dans une ou plusieurs dimensions physiques comme sa couleur, sa forme, son orientation ou encore son contraste (Itti & Koch, 2000; Wolfe, 1994). La notion de saillance sera abordée plus en détail ci-dessous. Pour revenir à l'*additional singleton paradigm*, il a été développé dans le but de voir comment la sélection attentionnelle se déroule en présence de deux éléments saillants : la cible, ainsi qu'un élément de couleur différente (Theeuwes, 1991b, 1992). Ainsi, le participant va voir apparaître à l'écran des formes, dont une sera différente des autres, la cible. Il verra par exemple des cercles, avec un losange comme cible. Sa tâche va être d'indiquer l'orientation de la barre à l'intérieur de la cible en pressant sur une touche pour une barre verticale ou sur une autre pour une barre horizontale (Figure 5). Dans la condition contrôle,

toutes les formes sont de la même couleur. Dans la condition avec distracteur, l'une des formes sera de couleur différente afin de voir si la sélection visuelle va être influencée par sa présence. Ce type de tâche permet une recherche parallèle étant donné la particularité de la forme cible et du fait que les temps de réaction ne dépendent pas du nombre de formes présentées. Les principaux résultats montrent que les participants sont plus rapides à répondre dans la condition contrôle, que dans la condition avec distracteur. Cependant, cette différence est observée uniquement lorsque le distracteur de couleur est plus saillant que la cible. Cette différence observée au niveau des temps de réaction semble indiquer que l'ordre de sélection va être influencé de manière automatique par la saillance des éléments. Les conclusions sont donc en faveur du mécanisme ascendant (*bottom-up*), malgré la présence d'attention descendante (*top-down*) (Theeuwes, 1991a, 1992, 1994, 2010). En résumé, lors d'une compétition entre deux objets saillants, la résolution du conflit se ferait donc de manière ascendante (*bottom-up*).

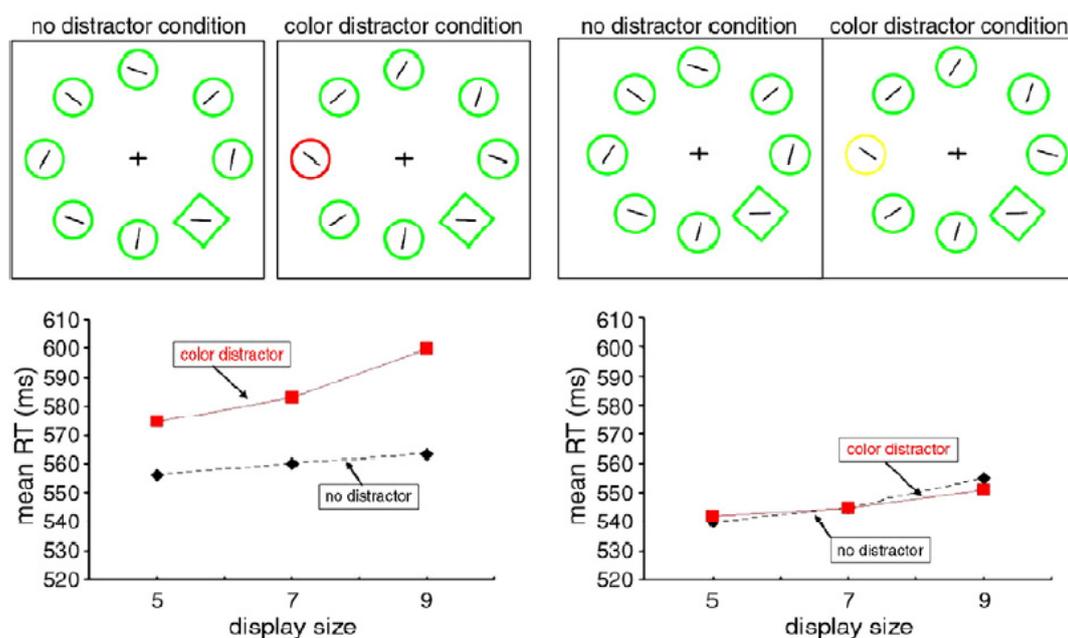


Figure 5 En haut, illustration de l'*additional singleton paradigm* de Theeuwes (1992) (tiré de (Theeuwes, 2010)). La cible est la forme différente des autres (le losange dans l'exemple). Dans certains essais, un distracteur de couleur peut être présent (le rond rouge dans l'exemple). Ce distracteur de couleur (rouge) est plus saillant sur la gauche, alors qu'il est moins saillant (jaune) sur la droite. En bas, les graphiques présentent les temps de réaction. Les résultats montrent une différence au niveau des temps de réaction avec un distracteur saillant. À l'inverse, le distracteur ne parvient pas à influencer la sélection visuelle lorsqu'il est moins saillant.

Les résultats de l'*additional singleton paradigm* suggèrent donc que le distracteur saillant, mais non-pertinent va capturer notre attention de manière exogène et automatique. Malgré les efforts dépendants de la consigne de la tâche, des processus automatiques peuvent donc interférer avec notre capture attentionnelle. Il arrive que cette capture soit accompagnée d'une capture oculomotrice (Born, Kerzel, & Theeuwes, 2011; Godijn & Theeuwes, 2002; Mulckhuysen, van Zoest, & Theeuwes, 2008; Theeuwes, De Vries, & Godijn, 2003) ou d'un mouvement de la main (Hunt, von Muhlenen, & Kingstone, 2007).

Dans la version qui est présentée ci-dessus, les couleurs étaient fixes, c'est-à-dire que le distracteur était toujours rouge, et la cible toujours verte. De plus, la cible était également définie au début de l'expérience, à savoir un losange. Des résultats identiques avaient préalablement été obtenus en changeant de manière aléatoire les formes et les couleurs. Ainsi d'essai en essai, le distracteur pouvait être soit vert, soit rouge, alors que la cible pouvait être soit un losange, soit un cercle (Theeuwes, 1991b). Un aspect important de ce paradigme est le fait de devoir répondre à une caractéristique à l'intérieur de la forme (l'orientation de la barre). En effet, le participant va rechercher une caractéristique pour identifier la cible, mais il va répondre à une autre caractéristique. Ce type de tâche est appelé « *compound search task* » (Duncan, 1985) et a l'avantage de réellement mesurer l'interférence causée par la présence du distracteur de couleur, et non l'interférence liée à la réponse.

Comme nous venons de le voir, les temps de réaction sont ralentis par la présence d'un distracteur de couleur. Cependant, lorsque la différence des couleurs est réduite, mais que la différence des formes augmente, nous observons un pattern opposé. La recherche d'une forme unique plus saillante n'est pas affectée par un distracteur de couleur moins saillante, et la recherche d'une couleur moins saillante est davantage affectée par une forme unique plus saillante. La distraction par un stimulus non pertinent est donc limitée aux situations où le distracteur est plus saillant que la cible de notre recherche (mais voir Zehetleitner, Koch, Goschy, & Muller, 2013).

### 3. La Recherche Visuelle

Comme nous l'avons vu ci-dessus par les quelques études présentées, le principe d'une tâche de recherche visuelle est de trouver un élément spécifique dans un environnement visuel (Wolfe, 1994). De plus, dans certaines conditions, il va falloir ignorer les éléments non-pertinents, généralement appelés distracteurs. Les tâches peuvent être très différentes et permettent ainsi l'étude de différents éléments liés à l'attention. Nous pouvons par exemple changer la consigne de la tâche, ou encore le nombre d'éléments présentés. Concernant la nature de la tâche, il peut s'agir d'une tâche de détection (est-ce qu'un objet est présent ou absent), ou une tâche de discrimination (est-ce que la flèche est orientée vers la gauche ou la droite). Quant au nombre d'éléments présentés à l'écran, que nous appelons taille de l'affichage (*display*), il peut être de deux éléments, comme de cinquante. Cette augmentation du nombre d'éléments est généralement accompagnée d'un ralentissement du temps de réaction. Ainsi, nous pouvons calculer la pente de recherche (*search slope*) en millisecondes par items.

Les théories de recherche visuelle suggèrent que le traitement attentionnel est divisé en deux niveaux : le niveau pré-attentif, et le niveau attentif (Treisman & Gelade, 1980; Wolfe, 1994). Afin d'expliquer la manière dont l'attention est guidée entre ces deux niveaux, Treisman and Gelade (1980) proposent un modèle, la « *Feature Integration Theory* » (Figure 6). Ce modèle explique comment l'attention est dirigée vers certaines caractéristiques et certains endroits. Selon cette théorie, nous commencerions au niveau pré-attentif, par le traitement sensoriel des différentes caractéristiques, comme la couleur, la forme, l'orientation, etc. Ces caractéristiques sont ensuite organisées dans une carte, la carte de caractéristiques. Cette carte contient toutes les informations concernant les caractéristiques présentes, et l'endroit où elles se trouvent. Par la suite, cette carte est activée selon un principe de tout ou rien. Dans le deuxième niveau, nous allons associer les différentes caractéristiques, jusque-là traitées séparément. Ceci sera possible grâce à notre attention focale (ou focus attentionnel). Lorsque toutes les caractéristiques sont associées, un dossier objet est créé, et nous comparons cet objet ainsi sélectionné à l'objet que nous recherchons. Grâce à l'attention, nous pouvons donc sélectionner l'objet favori afin de le traiter plus en détail. Ceci est particulièrement utile, car nos capacités au niveau attentif sont limitées. Il n'est donc pas nécessaire de traiter tous les objets de la même manière, certains sont directement exclus du traitement, économisant ainsi nos ressources.

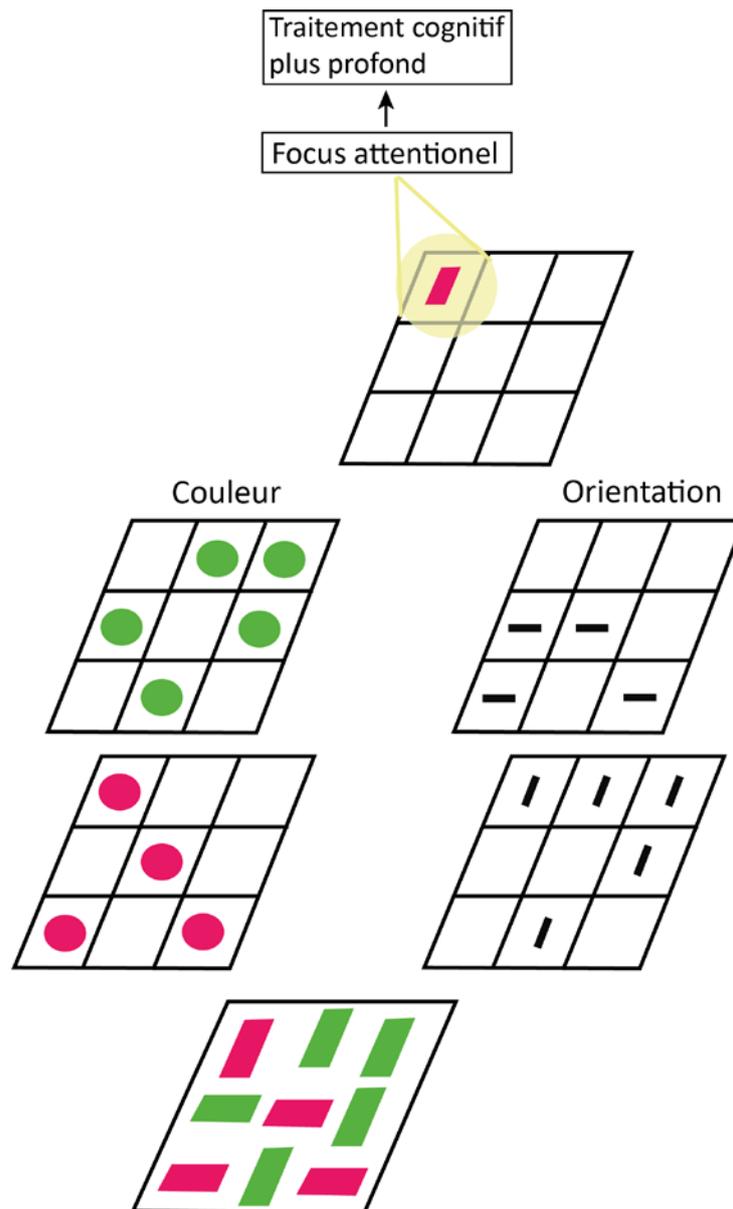


Figure 6 Le modèle « *Feature Integration* » (Treisman & Gelade, 1980). Les caractéristiques sont traitées séparément au premier niveau, puis elles sont associées à un deuxième niveau afin d'identifier la cible de notre recherche.

Sur la base de ce modèle, nous pouvons décrire deux types de stratégies utilisées dans les tâches de recherche visuelle : une recherche parallèle, et une recherche sérielle. Dans le cas de la recherche parallèle, la cible et le distracteur sont traités en même temps au niveau pré-attentif grâce au traitement *bottom-up*. Dans le cas où la cible est très facilement identifiable, nous aurons une détection de type *pop-out*. Dans cette situation, le participant va tenir compte du contraste entre la cible et le distracteur pour localiser la cible. Dans ce type de recherche, le temps de réaction n'est pas influencé par le nombre d'éléments présentés à l'écran. À l'inverse,

dans la recherche sérielle, le participant va se baser sur un traitement *top-down*. Son focus attentionnel va se déplacer sur chaque item afin de voir s'il s'agit de la cible. En cas de traitement sériel, les temps de réaction vont augmenter avec le nombre d'objets, contrairement à ce que nous avons vu ci-dessus.

Par la suite, Wolfe (1994) a développé un modèle, le « *Guided Search Model* » (GSM) (Figure 7) afin de prédire vers quel élément sera guidé notre attention dans une tâche de recherche visuelle. La principale différence entre ce modèle et celui de Treisman and Gelade (1980) est que dans le GSM, le signal de saillance va être affecté par les informations *top-down*. Dans ce modèle, il suggère que lors d'une recherche parallèle, nous allons établir à quel endroit se trouve l'élément qui a le plus de chance d'être la cible selon les critères que nous connaissons. Nous allons donc traiter les caractéristiques visuelles basiques, et créer une carte de caractéristique (*feature maps*). Ce modèle suggère qu'il y aurait une carte différente par type de caractéristique (une pour la couleur, une pour l'orientation, etc.) (Wolfe et al., 1990). Selon ce modèle, nous allons donc sélectionner l'élément le plus saillant pour chaque dimension. Lorsqu'un objet diffère d'un autre dans une ou plusieurs dimensions physiques, ce point est saillant comparé aux autres. Dans ce cas, nous parlons alors de saillance physique. Ainsi, une carte de saillance est créée sur la base des caractéristiques de l'objet comme sa couleur, sa forme, son orientation ou encore son contraste. La carte de saillance ainsi établie va donc nous permettre de voir si un élément se détache des autres stimuli environnants. Sur la base de cette carte de saillance, l'attention va donc pouvoir être dirigée en direction de l'élément différent des autres. S'il se trouve qu'après analyse de l'objet, qu'il ne s'agisse pas de l'objet recherché, le processus va recommencer. Nous allons donc refaire une nouvelle carte de saillance en excluant l'élément préalablement sélectionné pour sélectionner le deuxième élément le plus saillant. Ce processus sera répété jusqu'à la sélection de l'objet voulu. Sur la base de cette carte de saillance, il est donc possible que le premier élément sélectionné ne corresponde pas à notre but (Itti & Koch, 2001).

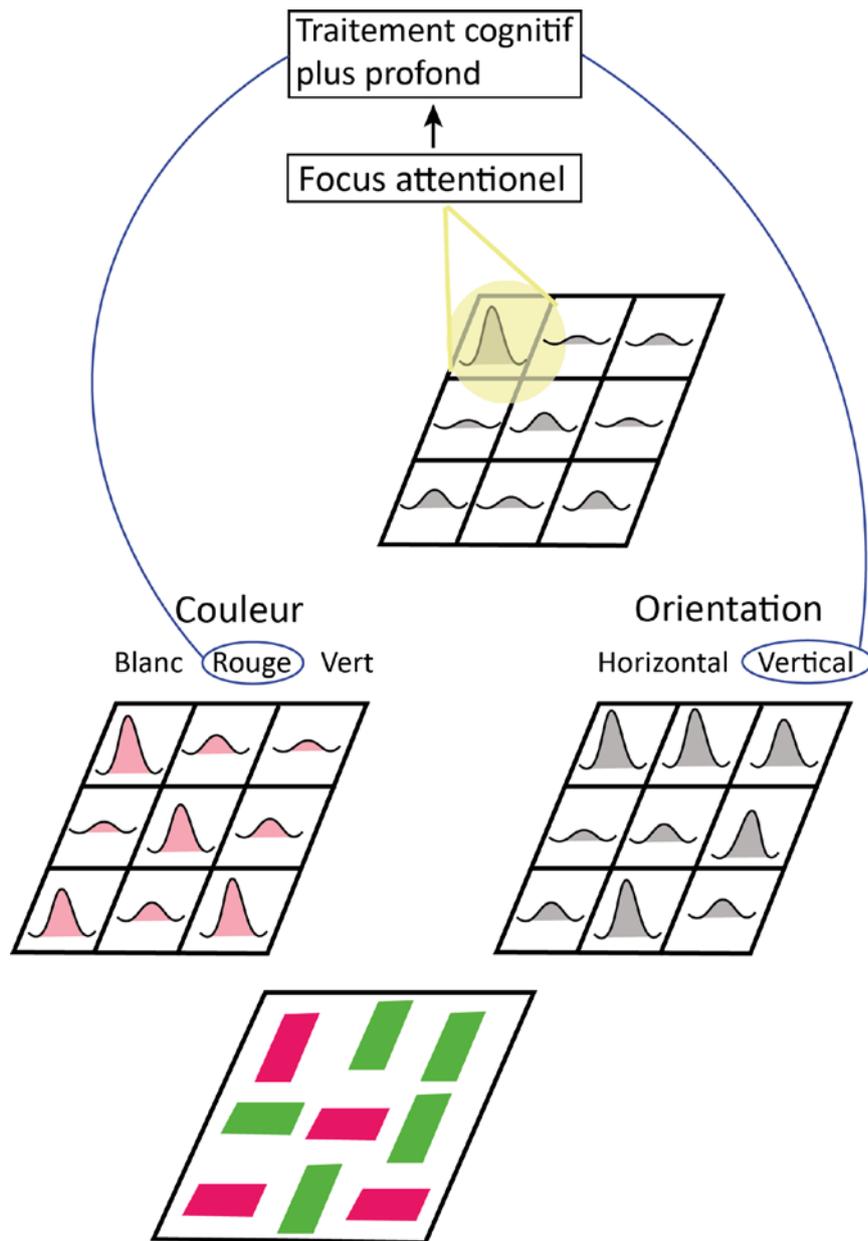


Figure 7 Illustration du « *Guided search model* » (Wolfe, 1994). Les caractéristiques sont traitées dans des cartes de caractéristiques en fonction des informations *top-down*, puis l'élément le plus saillant est sélectionné comme cible de la recherche.

Sur la base du GSM, Muller, Heller, and Ziegler (1995) ont développé le « *Dimension Weighting Account* » (DWA) (Figure 8) (voir aussi Krummenacher, Muller, & Heller, 2001, 2003; Zehetleitner, Goschy, & Muller, 2012; Zehetleitner, Krummenacher, Geyer, Hegenloh, & Muller, 2011). Dans le modèle de Wolf que nous venons de présenter, certaines caractéristiques spécifiques sont privilégiées. À l'inverse, dans le DWA, la saillance est activement pondérée avant ou durant son intégration dans la carte de priorité (*priority map*). La force de chaque dimension

peut donc augmenter ou diminuer selon sa pertinence. Cette capacité de pondération n'est cependant pas illimitée. En effet, plus une dimension devient importante, moins les autres dimensions le seront. De plus, ce pattern de pondération va persister d'un essai à l'autre, raison pour laquelle nous observons un effet de facilitation lorsqu'une dimension se répète d'essai en essai. À l'inverse, si la dimension de la cible change par rapport à l'essai précédent, tout le processus de pondération des dimensions devra être reconfiguré, raison pour laquelle les temps de réaction seront plus longs. En résumé, la saillance de chaque dimension est donc pondérée avant d'être intégrée dans la carte principale (*master map*), avant que l'on puisse sélectionner la cible. Muller et al. (1995) suggèrent que ce processus de pondération se ferait déjà dans la phase pré-attentive de traitement. Cependant, d'autres recherches contredisent ce point de vue, ce traitement se ferait à un niveau plus tardif, à savoir lors de la préparation de la réponse et/ou de la sélection de la réponse (Cohen & Magen, 1999; Cohen & Shoup, 1997). En effet, Theeuwes (1992) propose que cette pondération ait lieu après le déploiement de l'attention, alors que le traitement pré-attentif de la saillance serait un processus automatique, basé sur la saillance visuelle.

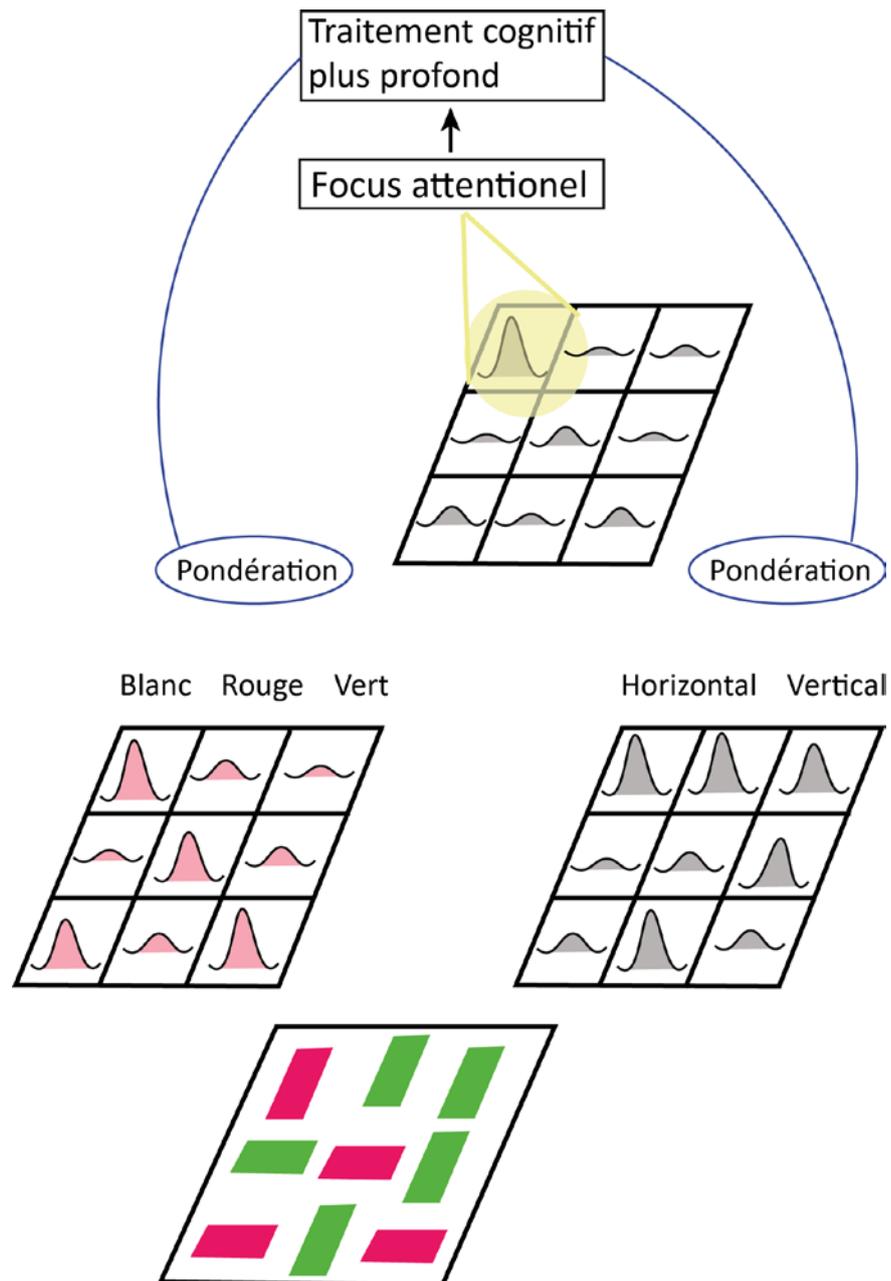


Figure 8 Illustration du modèle « *dimension weighting account* » de Mueller et al. (1995). Chaque dimension peut être pondérée selon sa pertinence pour l'essai en cours. La saillance de l'élément et son intégration dans la carte de priorité est donc influencé par cette pondération.

Comme nous l'avons vu ci-dessus avec le *additional singleton paradigm* (Theeuwes, 1991b), l'attention est capturée par un distracteur de couleur lorsqu'il est présent. Cependant, cette capture attentionnelle disparaît lorsque le participant recherche, non pas une forme unique, mais une forme spécifique connue d'avance (Bacon & Egeth, 1994; Pashler, 1988). Ces données contredisent la théorie selon laquelle la capture automatique par le distracteur de couleur serait due à un traitement *bottom-up*. En effet, seule la cible change entre ces deux

tâches, le distracteur reste identique, à savoir une forme de couleur différente. L'explication de cette différence serait, d'après Bacon and Egeth (1994) une différence de stratégie utilisée pour identifier la cible. En effet, ils suggèrent que lors de la recherche d'une forme unique, les participants ne chercheraient pas une forme cible, mais n'importe quel élément unique. Étant donné que le distracteur représente un élément unique, à cause de sa couleur, il capture l'attention bien qu'il soit non-pertinent pour la tâche. De par cette stratégie, il est donc possible que le participant sélectionne le faux élément unique, impliquant ainsi un temps de réaction plus important. En effet, le participant sera obligé de rechercher l'autre élément unique avant de pouvoir répondre. Ces auteurs font référence à une stratégie de recherche basée sur un mode de recherche de l'élément unique, par opposition au mode de recherche basé sur une caractéristique. Dans ce deuxième mode, le participant connaît à l'avance la forme qu'il va devoir identifier. Afin d'induire ce deuxième mode de recherche, il est nécessaire qu'il y ait différentes formes présentées à l'écran (Figure 9). Ainsi, le participant ne peut pas se focaliser sur une recherche d'élément unique, mais sur la forme connue d'avance.

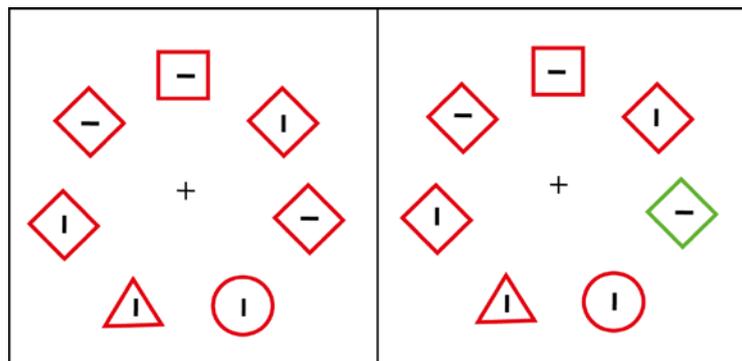


Figure 9 Illustration du paradigme utilisé par Bacon and Egeth (1994) afin d'induire un mode de recherche basé sur des caractéristiques. Les participants doivent trouver le cercle et indiquer l'orientation de la barre à l'intérieur de celui-ci. A gauche nous avons la condition sans distracteur de couleur, à droite, nous avons la condition avec distracteur de couleur.

Leber and Egeth (2006b) ont montré qu'un transfert de stratégie est possible lorsque les deux modes de recherche sont possibles. Dans leur article, ils ont comparé, au sein de deux groupes, l'interférence d'un distracteur de couleur saillante. Dans le premier groupe, le groupe élément unique, les participants recherchent une forme unique parmi des carrés. Cette forme unique peut changer d'essai en essai de manière aléatoire et peut être un cercle, un carré ou un triangle. Dans le deuxième groupe, le groupe caractéristique, les participants recherchent une

forme connue, un cercle, parmi différentes formes comprenant un triangle, un losange et des carrés. Leur expérience est divisée en deux parties. Dans la première partie, la tâche effectuée va dépendre du groupe du participant, la tâche sera donc soit une recherche de forme unique, soit une recherche de cercle. Dans la deuxième partie, tous les participants vont effectuer la même tâche, à savoir la recherche d'une forme unique connue. De par cette manipulation, les deux stratégies utilisées dans la première partie pourront être appliquées, étant donné que la forme est unique et qu'elle a une caractéristique connue. Cette manipulation va donc permettre de voir si un transfert de stratégie est possible. Les résultats de la première partie montrent une absence d'interférence par le distracteur de couleur dans le deuxième groupe (recherche de caractéristique), alors que cette interférence est présente dans le premier groupe (recherche d'élément unique) (voir aussi Leber & Egeth, 2006a). Concernant les résultats de la deuxième partie, l'interférence par le distracteur de couleur est influencée par la stratégie de recherche. Les participants qui ont fait la première partie avec une stratégie de recherche de l'élément unique continuent de montrer une interférence par le distracteur de couleur, alors que les participants du groupe caractéristique continuent de résister à l'interférence du distracteur de couleur.

Afin d'expliquer la résistance à cette interférence, Bacon and Egeth (1994) proposent la théorie suivante. Dans le cas de la recherche de caractéristique, les participants vont vraisemblablement diriger leur attention vers l'élément qui génère le plus d'activation sur la carte rétinotopique des caractéristiques étant donné qu'ils connaissent la nature de la cible. Dans le cas de la recherche de l'élément unique, la stratégie repose sur la recherche de l'élément qui diffère des autres éléments qui l'entourent. Il se peut que lors du premier traitement des différences, chaque élément soit brièvement traité au niveau de sa saillance. Une fois l'élément le plus saillant détecté, il serait alors possible de déterminer la dimension qui diffère sur cette forme. L'attention peut donc être capturée par l'un des deux éléments saillants, la cible ou le distracteur.

Les paradigmes développés jusqu'ici vont être repris avec d'autres méthodologies afin de mieux comprendre ce qu'il y a derrière les résultats comportementaux. En effet, les différences de temps de réaction nous indiquent une différence de traitement entre les deux conditions, or ils ne nous indiquent pas précisément quels sont les processus en jeu. L'association entre ce

paradigme et l'électrophysiologie va donc nous permettre d'aller plus loin et de comprendre les mécanismes sous-jacents. Les études à ce sujet seront développées ci-dessous.

#### 4. L'Electroencéphalographie

Comme nous venons de le voir jusqu'ici, les recherches comportementales sont relativement limitées dans la recherche sur la capture attentionnelle. En effet, elles trouvent des différences au niveau des temps de réaction, mais n'indiquent pas s'il s'agit d'une capture attentionnelle ou d'une inhibition du distracteur. L'électroencéphalographie va nous permettre d'aller plus loin en mesurant des distinctions plus subtiles dans les niveaux de traitement entre l'apparition du stimulus et la réponse.

##### *a. Historique et Fonctionnement de l'Electroencéphalogramme*

L'électroencéphalogramme, aussi appelé EEG, a été inventé par Hans Berger en 1929 (Luck & Hillyard, 1994a). Il a découvert que l'activité électrique du cerveau pouvait être mesurée à l'aide d'électrodes placées sur le scalp d'une personne. Durant plusieurs années, les résultats qu'il a obtenus ont été critiqués. On pensait qu'il s'agissait uniquement d'artefacts que l'on pouvait répliquer en plaçant les électrodes dans de la gelée que l'on remue. Cependant, leurs résultats ont été répliqués et confirmés quelques années plus tard par Jasper et Carmichael en 1935, prouvant ainsi qu'il s'agit d'un phénomène réel lié à l'activation cérébrale.

Actuellement, l'EEG est utilisé dans divers domaines : pour la recherche scientifique, la pratique clinique, mais aussi dans l'ingénierie (Jackson & Bolger, 2014; Luck & Hillyard, 1994a). Les données ainsi obtenues peuvent refléter une réponse neurale motrice, cognitive, ou encore sensorielle. Cependant, la résolution spatiale est relativement faible, rendant très difficile l'identification des processus neurocognitifs en jeu chez une personne. À l'inverse, la résolution temporelle est très élevée, nous permettant ainsi une analyse précise du moment où se produit un traitement cognitif.

Lors d'un enregistrement EEG, les électrodes placées sur le scalp vont enregistrer l'activité post-synaptique des neurones pyramidaux (en microvolt), permettant ainsi une observation très fine au niveau temporel. Cette excitation va faire que les dipôles vont être soit positifs, soit négatifs ce qui va créer des déflexions positives ou négatives à différents endroits de notre cerveau en réponse à un élément externe (Jackson & Bolger, 2014). Dans un souci de simplicité, les composantes ont été nommées en fonction de leur polarité (N = négative, P = positive), suivi

par le moment où elles sont observées (par exemple, une composante positive débutant à 100 ms sera nommée P100).

Les données recueillies par un enregistrement EEG seront analysées via des techniques de moyennage des données enregistrées en réponse à un événement précis. Les données ainsi obtenues sont appelées potentiels liés à l'événement (*event-related potentials* (ERP)). Il a fallu attendre encore 30 ans pour voir apparaître les ERPs que nous utilisons aujourd'hui. En effet, la première composante ERP observée par Walter, Cooper, Aldridge, McCallum, and Winter (1964) cité par Luck & Hillyard, 1994) est appelée *contingent negative variation*, reflétant l'activité cérébrale de la période de latence entre l'apparition d'un signal et la cible. Cette composante a été observée au niveau frontal. Ainsi, cette première découverte a donné le point de départ à la recherche sur le fonctionnement cognitif à l'aide des ERPs. Les ERPs nous permettent de comparer des différences temporelles au niveau de l'activité neuronale entre des conditions expérimentales prédéfinies. La découverte de composantes électrophysiologiques s'est donc multipliée durant les années qui ont suivi jusqu'à la découverte de la N2pc en 1996 par Eimer (Eimer, 1996).

#### *b. La Composante N2*

La composante N2 est une composante observée au niveau frontal. Cette composante est généralement observée dans des tâches telles qu'une tâche go-nogo. Pfefferbaum, Ford, Weller, and Kopell (1985) ont montré une augmentation de cette composante au niveau frontal en présence d'essais nogo, comparé aux essais go. Dans ce type de tâche, la composante nogo-N2, généralement observée entre 200-400 ms, peut être raccourcie afin d'éviter une influence du traitement de la cible lors de l'analyse de cette composante. La présence de cette composante refléterait l'inhibition de la réponse (Eimer, 1993; Kok, 1986; Pfefferbaum et al., 1985). La théorie du conflit de vérification (*conflict monitoring account*) repose sur l'observation selon laquelle la N2 augmente pour les événements rares, comparés aux événements plus fréquents, indépendamment du type d'essai (Nieuwenhuis, Yeung, Van den Wildenberg, & Ridderinkhof, 2003). La théorie de l'activation de la réponse (*response activation account*) prétend quant à elle que la N2 ne refléterait pas l'inhibition d'un essai nogo, mais l'activation de la réponse dans les essais go parce que l'augmentation de la N2 persiste même quand les participants savent qu'ils doivent inhiber la réponse au prochain essai, ce qui éliminerait le besoin d'inhiber la réponse (Bruin, Wijers, & van Staveren, 2001).

### c. Les Composantes Latéralisées

Ci-dessus, nous avons brièvement développé les ERPs classiques utilisés dans la comparaison de conditions expérimentales. Concernant l'attention spatiale, nous voulons voir, grâce à des composantes spécifiques, si un déploiement spatial est présent ou pas. Pour ce faire, nous allons avoir recours à des composantes latéralisées (IERPs) qui nous permettent de voir la différence de traitement entre les deux hémichamps. Nous allons donc présenter des éléments dans un hémichamps précis, afin de pouvoir comparer la différence du signal électrique entre les deux hémichamps. Ceci est possible grâce à notre organisation cérébrale. En effet, l'hémichamp visuel gauche est traité par le cortex visuel primaire (V1) droit, et inversement. Cette comparaison va donc nous permettre l'étude de l'allocation de l'attention. Lorsque l'on a recours à ce type de composante, il est essentiel que les caractéristiques physiques des stimuli soient contrebalancées de manière égale entre les deux hémichamps afin de tirer des conclusions liées à l'attention, et non pas en lien avec une différence de ces caractéristiques. Dans le domaine de l'attention visuelle, la composante IERP la plus communément utilisée est la N2pc.

#### i. La Composante N2pc

À l'origine, la N2pc, une composante électrophysiologique reflétant la capture attentionnelle, a été observée en direction de la cible lors d'une tâche de recherche visuelle. Celle-ci est observée au niveau pariéto-occipital entre 200 et 300 ms après l'apparition de la cible. La N2pc est une composante latéralisée, c'est-à-dire qu'elle n'est visible qu'en direction d'un élément apparaissant à droite ou à gauche d'un point central de fixation. Ainsi, lorsqu'une cible apparaît à droite de l'écran, l'électrode PO7 sera plus négative que l'électrode PO8 (au même endroit, mais sur l'hémisphère opposé). Inversement, si la cible est cette fois-ci présentée à gauche de l'écran, l'électrode PO8 sera plus négative que l'électrode PO7 (Figure 10). Étant donné que cette composante est présente uniquement lorsque l'élément est présenté à une position latérale, nous n'observons donc pas de N2pc en réponse à un stimulus central (Woodman & Luck, 2003). Enfin, il est important de noter que cette composante est appelée PCN (*posterior contralateral negativity*) par d'autres chercheurs (Gokce, Geyer, Finke, Mueller, & Tollner, 2014; Rangelov, Tollner, Muller, & Zehetleitner, 2013; Tollner, Muller, & Zehetleitner, 2012), mais qu'elle représente exactement la même chose que la N2pc.

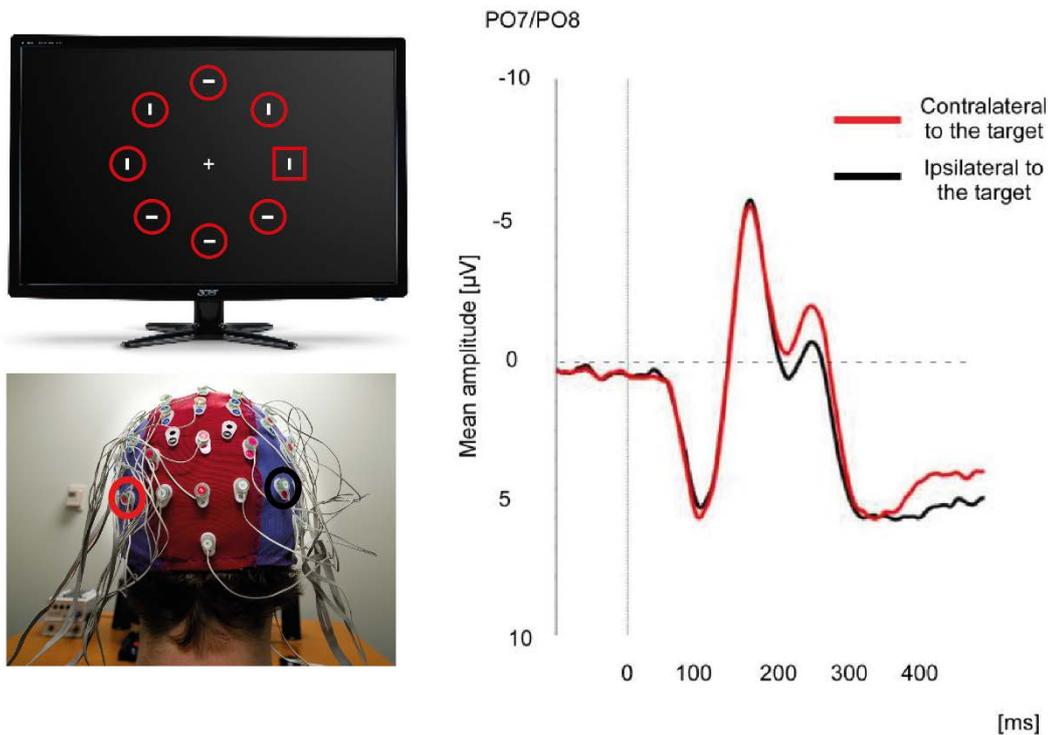


Figure 10 Illustration de la N2pc, avec sur la gauche, ce que le participant observe, à savoir une cible latérale droite (le carré). La tâche est d'indiquer l'orientation de la barre à l'intérieur de la cible. Sur la droite, nous observons la N2pc en réponse à la cible au niveau des électrodes PO7 et PO8, avec l'électrode contralatérale à la cible (en rouge) plus négative que l'électrode ipsilatérale (noir).

En 1996, Eimer a réalisé une étude afin de mieux comprendre les conditions dans lesquelles cette composante est présente. Dans cette expérience, il est demandé aux participants d'indiquer la nature de la cible en pressant l'une des deux touches correspondantes en fonction de la cible. La première partie concerne une discrimination de lettre parmi des distracteurs, alors que dans la deuxième partie, il s'agit d'une tâche de discrimination de couleur. Les résultats montrent la présence d'une N2pc en direction de la cible, indiquant une capture attentionnelle par celle-ci. Ainsi, ces données suggèrent que cette composante est présente, indépendamment du nombre de distracteur. Cependant, cette expérience repose en partie sur le phénomène *pop out*, car la cible contient des caractéristiques absentes dans les distracteurs, la rendant ainsi facilement identifiable. Eimer va donc conduire une série de nouvelles expériences en réduisant le nombre de distracteur à un, afin de supprimer cet effet de cible *pop out*. De plus, ces nouvelles expériences vont également prendre en compte le fait que la N2pc est de plus large amplitude dans la condition de discrimination de lettre, comparée à la discrimination de couleur. Ces résultats peuvent être expliqués par une différence de difficulté de tâche, mais seront également

investigués dans les prochaines expériences. Les résultats des autres expériences confirment ceux de la première, à savoir que la N2pc reflète une capture attentionnelle par la cible, et non une inhibition du distracteur.

Près de 10 ans plus tard, d'autres études se sont cette fois intéressées à la capture attentionnelle non pas par la cible, mais par un distracteur saillant latéralisé. Ainsi, Hickey, McDonald, and Theeuwes (2006) ont repris *l'additional singleton paradigm* de Theeuwes (1992) dans lequel le participant indique l'orientation de la barre dans la forme unique en ignorant le distracteur de couleur. Ils ont focalisé leurs analyses sur deux conditions particulières : la condition sans distracteur de couleur afin de voir si la cible capture bien l'attention, et la condition avec la cible verticale et le distracteur latéralisé. Cette deuxième condition va donc nous permettre de voir si le distracteur de couleur capture l'attention étant donné qu'il est latéralisé et que la cible ne l'est pas. En effet, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, la N2pc est une composante latéralisée. Elle ne peut donc pas apparaître en direction de la cible dans cette condition, mais uniquement en direction de l'élément latéral, à savoir le distracteur. Ainsi, si une N2pc est observée, ce sera forcément en direction du distracteur, indiquant une capture attentionnelle par celui-ci. Leur hypothèse de capture attentionnelle par le distracteur se base sur le fait qu'au niveau comportemental, les participants sont ralentis par la présence du distracteur de couleur (Theeuwes, 1992). Comme espéré, les résultats montrent une N2pc en direction de la cible dans la condition sans distracteur, et une N2pc en direction du distracteur dans la deuxième condition (Figure 11). Ils concluent donc qu'un distracteur non pertinent pour la tâche, mais saillant va capturer l'attention, avant que celle-ci ne soit réorientée en direction de la cible.

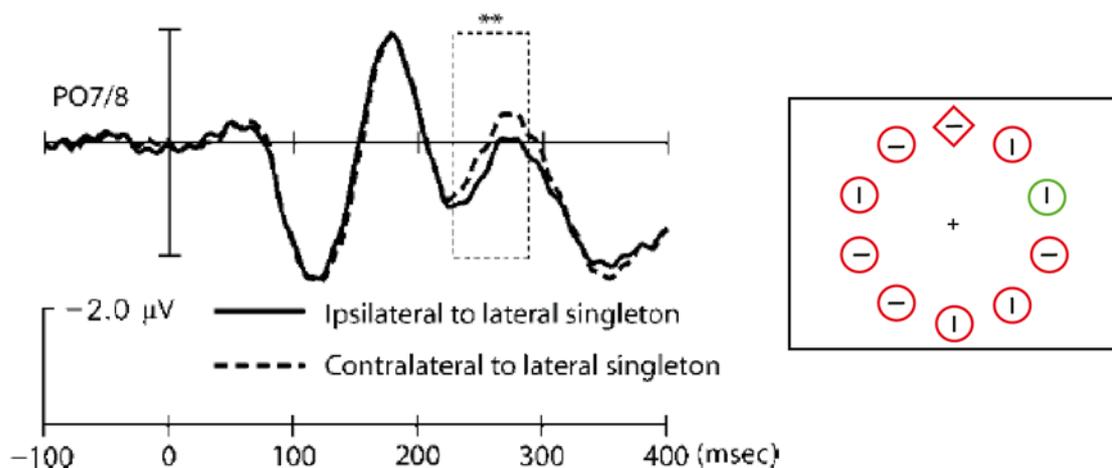


Figure 11 Illustration de la N2pc obtenue en direction du distracteur de couleur par Hickey et al. (2006) dans la condition avec la cible verticale (le losange), et le distracteur de couleur latéral.

En résumé, la composante N2pc pourrait refléter deux fonctions distinctes. Tout d'abord, elle pourrait être présente en cas de suppression des informations des distracteurs présentés autour de la cible et qui entrent en compétition avec celle-ci (Luck & Hillyard, 1994b). À l'inverse, selon Eimer (1996), cette composante refléterait la sélection des caractéristiques de la cible. Ce débat, bien qu'encore au centre des recherches actuellement, est loin d'être réglé, alors que certaines études ne montrent pas de preuve concernant la suppression du distracteur dans la N2pc (Mazza, Turatto, & Caramazza, 2009a, 2009b).

## ii. La N2pc Précoce et Tardive

Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, la N2pc apparaît généralement entre 200 et 300 ms. Cependant, il arrive qu'une N2pc précoce ou tardive soit observée. Woodman and Luck (1999) ont mené une étude dans laquelle ils voulaient voir si un déplacement attentionnel rapide se produisait. Pour ce faire, ils ont donc analysé une N2pc précoce (200-275 ms) et une N2pc tardive (350-425 ms). Leurs résultats montrent notamment que ces deux N2pc seraient générées par une même source neurale. Cependant, un résultat inverse concernant les sources neurales a été obtenu par Hopf et al. (2000). En effet, lors d'une étude utilisant la magnétoencéphalographie (MEG) permettant une localisation plus précise que l'EEG, ils ont pu observer plus en détail cette différence entre N2pc précoce et tardive. Ils suggèrent que la N2pc précoce (180-200 ms) refléterait l'activité neurale du lobe pariétal, alors que la N2pc tardive (220-

240 ms) refléterait plutôt l'activité neurale de régions plus postérieures du cortex correspondant aux aires visuelles occipitales antérieures et inféro-temporales postérieures.

iii. La Somme de  $P_D$  et  $N_{2pc}$  ( $N_T$ )

Comme nous venons de le voir, les fonctions reflétées par la  $N_{2pc}$  ne sont pas encore clairement établies. On ne sait pas encore si elle reflète uniquement la sélection de la cible, ou aussi une part de suppression des distracteurs. Afin d'éclaircir ce débat, Hickey, Di Lollo, and McDonald (2009) proposent que la  $N_{2pc}$  refléterait en fait la somme de deux sous-composantes afin de donner la  $N_{2pc}$ . En effet, ils suggèrent que le traitement de la cible attendue donnerait une négativité contralatérale, appelé  $N_T$  (Target Negativity). S'ajouterait à cela une positivité contralatérale reflétant la suppression du distracteur non-attendu, la distractor positivity ( $P_D$ ). Cette composante sera développée dans le point suivant. Dans la situation où la cible et le distracteur sont présentés dans un hémichamp opposé, ces deux sous-composantes, la  $N_T$  et la  $P_D$  s'additionneraient pour donner la  $N_{2pc}$ . Gaspar and McDonald (2014) montrent la somme de la  $P_D$  et de la  $N_T$  en utilisant des displays avec une cible de couleur et un distracteur de couleur différente. La  $N_{2pc}$  est mesurée dans une configuration avec une cible latérale et un distracteur contralatéral, ce qui associe le traitement de la cible et celui du distracteur. La taille de la  $N_{2pc}$  correspond à la somme de la  $N_T$ , mesurée en réponse à la cible latérale, et la  $P_D$  mesurée en réponse au distracteur latéral.

iv. Distractor Positivity ( $P_D$ )

Cette composante a été observée pour la première fois il y a moins de 10 ans par Hickey et al. (2009). La distractor positivity ou  $P_D$  est une composante latéralisée apparaissant dans la même fenêtre temporelle que la  $N_{2pc}$  (200-300 ms). Tout comme la  $N_{2pc}$ , elle est observée au niveau postérieur contralatéral, plus précisément au niveau des électrodes PO7/PO8. Contrairement à la  $N_{2pc}$ , il s'agit d'une déflexion positive (Figure 12). De plus, elle est latéralisée par rapport au distracteur, et non à la cible. Cette composante est donc observée dans les conditions où le distracteur est activement supprimé. Notons toutefois que cette composante peut apparaître dans la même fenêtre temporelle que la  $N_{2pc}$  (Burra & Kerzel, 2013; Hickey et al., 2009; Kiss, Grubert, Petersen, & Eimer, 2012), mais également dans une fenêtre temporelle suivant la  $N_{2pc}$  (Feldmann-Wüstefeld & Schubö, 2013; Hilimire, Mounts, Parks, & Corballis, 2011; Sawaki & Luck, 2013). Lorsque cette composante apparaît dans la même fenêtre temporelle que

la N2pc, elle refléterait une suppression du stimulus saillant mais non-pertinent, alors que lorsqu'elle apparaît plus tard, elle refléterait la suppression active d'un déplacement de l'attention. En résumé, la N2pc et la Pd apparaissent généralement dans la même fenêtre temporelle et dans la même région (Figure 12). Leur différence principale est qu'elles sont de polarité différente. Ainsi, il est possible qu'elles s'annulent l'une et l'autre si elles sont de force identique et à un même moment. Ceci pourrait donc expliquer pourquoi dans certaines conditions aucun résultat n'est obtenu.

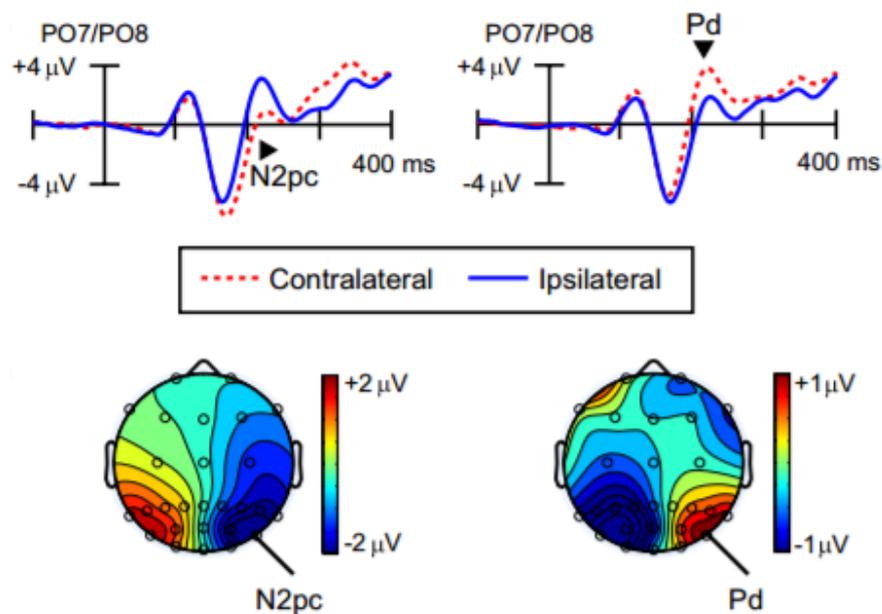


Figure 12 Comparaison entre la N2pc et la Pd. Sur le haut de l'image, nous voyons les ERPs latéralisés ipsilatéral et contralatéral sur PO7/PO8. Sur le bas, nous avons la topographie en lien avec chacune des composantes (tiré de Sawaki & Luck, 2014)

Après de nombreuses études se focalisant sur la capture attentionnelle par les cibles, l'intérêt a été porté sur le distracteur (Hickey et al., 2009). Pour ce faire, ils ont présenté deux éléments à l'écran, une cible qui sera une forme (carré ou losange) et un distracteur qui est une barre. L'un était présenté horizontalement par rapport à la croix de fixation, l'autre verticalement. Ainsi, seul l'élément présenté latéralement peut induire un ERP latéralisé. Le participant devait indiquer la nature de la forme en pressant la touche correspondante. Les résultats montrent que lorsque le distracteur est présenté horizontalement, l'ERP observé est plus positif du côté contralatéral que ipsilatéral (Figure 13). Cette positivité semble refléter un traitement lié au distracteur plutôt qu'à la cible étant donné que celle-ci est centrale. Ce sont

donc les premiers à observer une composante positive dans la même fenêtre temporelle que la N2pc. Ils ont nommé cette composante distractor positivity ( $P_D$ ). Afin de tester si cette composante reflète bien un traitement attentionnel, ils ont réalisé une deuxième expérience avec une tâche moins couteuse. Ils reprennent le même paradigme, mais les participants doivent répondre uniquement lorsque la cible est présente. Si les résultats sont différents de la première expérience, cela suggère que cette composante reflète un traitement attentionnel. En effet, étant donné que la tâche est moins compliquée, elle devrait être absente ou réduite. Au contraire, si la composante reflète une activité sensorielle, les résultats devraient être les mêmes que pour la première expérience. Dans cette deuxième expérience, la  $P_D$  est absente, suggérant ainsi que cette composante reflète bien un traitement attentionnel. Des résultats similaires ont été obtenus par Eimer and Kiss (2008). Ils ne sont toutefois pas parvenus à la même conclusion concernant la relation entre la  $P_D$  et la suppression du distracteur, car cette relation n'était pas encore connue à ce moment.

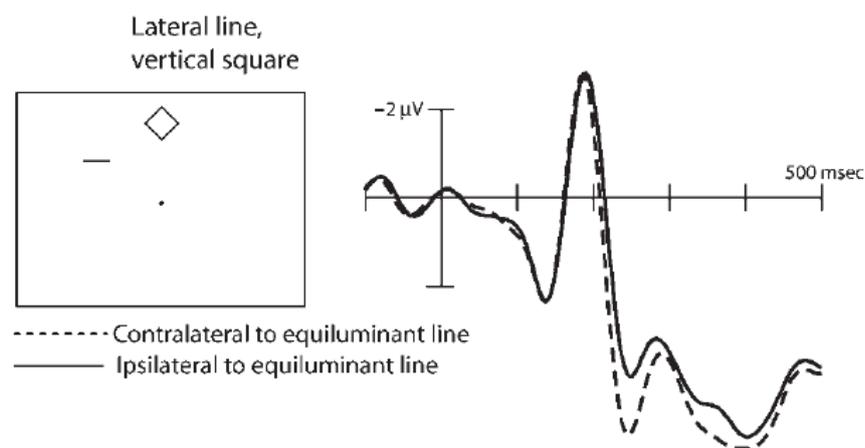


Figure 13 A gauche, illustration du paradigme utilisé par Hickey et al. (2009) avec la cible verticale (le losange) et le distracteur (la barre) horizontale. A droite, illustration de la  $P_D$  en direction du distracteur.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, la N2pc reflète la capture attentionnelle par une cible, mais aussi par un distracteur sous certaines conditions. Cependant, la N2pc en direction du distracteur peut être suppléée par une  $P_D$ . En effet, la prédictibilité de la cible a été manipulée dans un *additional singleton paradigm* dans certaines études (Burra & Kerzel, 2013, 2014). Les résultats montrent une N2pc en direction du distracteur lorsque la cible n'est pas prédictible. Cependant, dans la condition où la cible est connue d'avance, ils obtiennent une  $P_D$  en direction du distracteur de couleur. Ces résultats sont expliqués par le fait que lorsque la cible est connue

d'avance, la tâche est plus facile. Les participants peuvent ainsi modifier leur stratégie de recherche la rendant ainsi plus efficace. Des résultats similaires ont été obtenus par Sawaki and Luck (2010) dans une tâche où il fallait indiquer la présence ou non d'une lettre connue d'avance. Ces données suggèrent donc, selon l'hypothèse *bottom-up*, qu'un distracteur saillant va être traité différemment que les autres éléments. Cependant, cette différence de traitement n'implique pas seulement une possible capture attentionnelle par celui-ci, mais aussi une suppression active. Cette suppression serait possible grâce au mécanisme *top-down* généré par la connaissance de la cible. Basé sur ces résultats, Sawaki and Luck (2010) suggèrent donc que les mécanismes *bottom-up* impliqués dans le traitement d'un distracteur saillant ne reposent pas uniquement sur un effet sensoriel. L'attention basée sur les informations *top-down* jouerait également un rôle. Ils suggèrent donc que l'élément différent présent dans le display générerait un « *attend-to-me signal* » ce qui le rendrait par la suite, candidat à une suppression afin d'éviter une capture attentionnelle. Ce mécanisme sera expliqué plus en détail ci-dessous.

Des résultats allant dans le même sens ont été obtenus par Jannati, Gaspar, and McDonald (2013). En effet, dans une étude utilisant l'*additional singleton paradigm* avec un mode de recherche basé sur une caractéristique connue, ils ont observé une  $P_D$  dans les essais avec un temps de réaction court, alors qu'ils n'ont obtenu aucun résultat dans les essais avec un temps de réaction long. Ils concluent donc que la suppression active liée à la présence de la  $P_D$  rend la recherche plus efficace. Des résultats quasi similaires ont été obtenus par Sawaki, Geng, and Luck (2012) sur un autre paradigme. Ils ont répliqué la  $P_D$  pour les temps de réaction courts, à l'exception qu'ils obtiennent une  $N2pc$  dans les essais avec un temps de réaction long. Ces données suggèrent donc un lien entre les résultats comportementaux et les effets des ERPs latéralisés observés. Ceci confirme donc que la  $N2pc$  reflète une capture attentionnelle, alors que la  $P_D$  reflète une suppression attentionnelle.

Comme nous venons de le détailler, la  $P_D$  reflète une inhibition active du distracteur dans la même fenêtre temporelle que la  $N2pc$ . Cependant, le décours temporel de cette composante semble être influencé par le type d'expérience. Une  $P_D$  a été observée dans une fenêtre temporelle plus précoce dans une tâche où les participants devaient indiquer la présence d'une cible (Sawaki & Luck, 2010). Dans cette tâche, le participant pouvait être confronté à deux types de distracteur, un distracteur similaire à la cible, ou un distracteur plus saillant que la cible. Les résultats montrent une  $N2pc$  en direction du distracteur similaire, alors que le distracteur saillant

est supprimé ( $P_D$ ). Il est toutefois important de relever le fait que cette suppression apparaît environ 100 ms avant la fenêtre temporelle de la  $P_D$  observée jusqu'à lors. Afin de la différencier, ils l'ont appelé « *early P<sub>D</sub>* ». Cette différence de latence observée selon les études refléterait une différence de traitement de notre système visuel. En effet, selon les stimuli, notre système visuel aurait besoin de plus ou moins de temps pour déterminer si un item doit être supprimé ou non en fonction de sa pertinence pour la tâche. Ils apportent deux explications potentielles à cette  $P_D$  précoce : (1) cette précocité serait due au fait que le distracteur est hautement saillant comparé à la cible, le rendant ainsi plus facilement supprimable ; (2) cette  $P_D$  refléterait la suppression d'un « *attend-to-me signal* ».

#### LE « ATTEND-TO-ME SIGNAL »

Le stimulus saillant déclencherait toujours un signal attentionnel de capture (« *attend-to-me signal* »), mais les mécanismes de suppression attentionnels pourraient, par le biais d'une suppression active de ce stimulus, éviter qu'une capture attentionnelle ne se produise. Lorsque le « *attend-to-me signal* » nécessite une suppression active, la composante  $P_D$  semble être associée à ce signal. Il ferait davantage référence à la Ppc (Barras & Kerzel, 2016a; Fortier-Gauthier, Moffat, Dell'Acqua, McDonald, & Jolicoeur, 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013). Il est toutefois important de mentionner qu'il n'y a pas un lien direct entre le « *attend-to-me signal* » et la  $P_D$ , car une  $P_D$  a été observée en direction d'un distracteur non-saillant (Hickey et al., 2009). Sur la base de ces résultats, Sawaki and Luck (2010) font donc l'hypothèse de suppression du signal. Celle-ci suggère que la détection d'un élément saillant va générer un « *attend-to-me signal* » qui est ensuite envoyé au système de contrôle attentionnel. En l'absence de contrôle *top-down*, ce système de contrôle peut entraîner un déplacement attentionnel afin de vérifier si l'élément unique correspond à la cible représentée en mémoire. A partir de là, deux solutions s'offrent à nous. La première solution est d'invoquer un mécanisme de suppression *top-down* afin d'éviter une capture attentionnelle. Ce mécanisme de suppression est généralement invoqué lorsque la cible ne correspond pas à la représentation de la cible en mémoire. Cependant, ce mécanisme de suppression n'est pas automatique. Il dépend d'un contrôle *top-down* qui sera dépendant de la disponibilité des ressources de mémoire de travail. Nous aurons recours à ce mécanisme si une différence est établie primairement (p.ex. si la personne connaît la nature exacte de la cible), les mécanismes *top-down* empêcheraient la capture attentionnelle induisant ainsi une  $P_D$ . La deuxième solution est qu'aucun mécanisme de suppression n'entre en

jeu, il y aura donc une capture attentionnelle afin de vérifier si l'élément correspond à la représentation de la cible en mémoire. En résumé, l'hypothèse de suppression du signal suggère qu'un élément saillant génère un signal, mais que ce signal peut être supprimé.

#### *MÉCANISME DE SUPPRESSION ET D'ABANDON*

Comme nous venons de le développer ci-dessus, la cible de notre recherche va capturer notre attention. Cependant, que se passe-t-il une fois que nous avons détecté la cible et répondu à la tâche demandée ? Plusieurs études semblent suggérer que la N2pc est suivie par une P<sub>D</sub>, afin de désengager son attention pour qu'elle soit disponible pour l'essai ou la situation suivante (Brisson & Jolicoeur, 2007; Lien, Ruthruff, Goodin, & Remington, 2008; Luck & Hillyard, 1994b). Cependant aucune analyse concrète ne confirme cette supposition. Une étude a été menée par Sawaki et al. (2012) afin de mener des analyses sur les composantes suivant la N2pc. Ils ont donc présenté trois cercles de couleur, la cible est l'un des cercles latéraux de couleur prédéfinie (par exemple rouge). Chaque cercle latéral a une encoche en haut ou en bas. La tâche des participants est donc d'indiquer l'endroit de l'encoche sur le cercle cible (Figure 14). Ils ont observé une N2pc en direction de la cible suivie par une P<sub>D</sub>. Cette analyse a pu être réalisée grâce différents tests de permutation que nous ne développerons pas dans cette introduction. Sur la base de leurs analyses, ils concluent que la séquence N2pc-P<sub>D</sub> débiterait par le déploiement de l'attention vers la cible (N2pc), et se terminerait par la suppression active du déploiement attentionnel (P<sub>D</sub>). Cette deuxième étape permettrait donc de se préparer à l'arrivée de la nouvelle information. De plus, ils suggèrent que nous utiliserions le même mécanisme pour éviter une capture initiale par un distracteur saillant ou correspondant au contenu en mémoire (Sawaki & Luck, 2011) que pour terminer une action qui n'est plus pertinente pour la suite de notre tâche. Cependant, il est nécessaire de préciser que la P<sub>D</sub> n'est pas la conséquence immédiate et automatique d'un déplacement attentionnel. Cette composante serait plutôt en lien avec un traitement contrôlé qui est mis en place lorsque l'attention n'est plus utile.

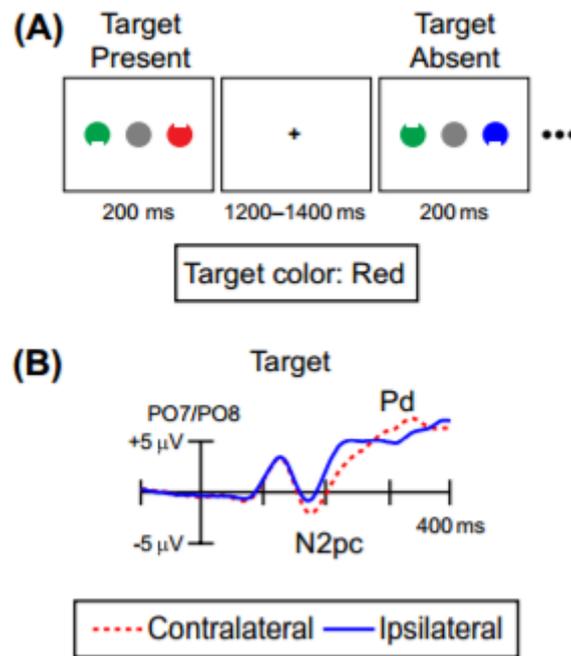


Figure 14 En A, illustration de l’affichage utilisé par Sawaki et al. (2012). Le cercle central est toujours de couleur grise, alors que la couleur des cercles latéraux varie (vert, bleu ou rouge), tout comme la position de l’encoche (en haut ou en bas). En B, nous avons les résultats ERPs pour la cible ipsilatérale vs contralatérale. La cible élicite une N2pc suivi par une P<sub>D</sub>.

Ci-dessus, nous avons analysé la situation où l’attention est allouée en direction d’une cible, puis supprimée afin de pouvoir continuer la suite de notre recherche. Cependant, il est possible que l’endroit où nous avons alloué notre attention ne soit pas celui de la cible. Dans une telle situation, ce déplacement attentionnel doit être annulé afin de pouvoir réorienter notre attention en direction d’une autre cible potentielle. Afin d’étudier ce phénomène, les paradigmes de capture contingente sont généralement utilisés. Sur la base de ces paradigmes, plusieurs études mettent en évidence une P<sub>D</sub> dans les analyses post-indice (Eimer & Kiss, 2008, 2010; Eimer, Kiss, Press, & Sauter, 2009; Leblanc, Prime, & Jolicoeur, 2008; Lien et al., 2008; Sawaki & Luck, 2013), bien qu’elle ne soit pleinement exploitée que dans l’expérience de Sawaki and Luck (2013). En effet, pour toutes les autres études susmentionnées, la P<sub>D</sub> n’avait pas encore été identifiée comme mécanisme reflétant la suppression, raison pour laquelle elle a été observée, mais pas exploitée. En résumé, Sawaki and Luck (2013) concluent que, après la N2pc, une P<sub>D</sub> est présente afin de désengager l’attention de l’endroit de l’indice (considéré comme distracteur) et pouvoir la diriger en direction de la cible. Ces résultats sont renforcés par le fait que dans leur condition où les indices sont de couleur neutre, aucune P<sub>D</sub> n’est observée. Nous pouvons donc

conclure que lorsque l'attention est capturée involontairement par un distracteur, notre système est capable de supprimer activement cet endroit afin de poursuivre la tâche.

## 5. Le Coût de Filtrage non spatial

Selon la théorie du coup de filtrage non spatial, la présence d'un distracteur saillant va ralentir le temps nécessaire pour trouver la cible. En effet, il va falloir définir lequel des deux éléments saillants sélectionner, avant de déplacer son attention. Ainsi, cette compétition va impliquer un délai pour le déploiement de l'attention vers la cible. Selon l'hypothèse du coût de filtrage non spatial, le distracteur de couleur serait rejeté par notre système avant que la capture attentionnelle ne se produise, afin de pouvoir diriger notre attention directement vers la cible (Folk & Remington, 1998, 2006; Jannati et al., 2013; Wykowska & Schubo, 2011). Cette hypothèse pourrait donc aussi expliquer pourquoi les temps de réaction sont ralentis en présence du distracteur. Le coût de filtrage non spatial refléterait donc un délai dans l'allocation de l'attention en direction de la cible en raison du traitement parallèle des deux éléments à cause de leur identité (Koch, Muller, & Zehetleitner, 2013). Différentes études comportementales portant sur deux paradigmes différents, *l'additional singleton paradigm* et une tâche d'indigage spatial montrent que le distracteur est traité différemment s'il partage des caractéristiques avec la cible que s'il n'en partage pas. En effet, lorsqu'ils partagent des caractéristiques, la présence du distracteur influence le temps de réaction. À l'inverse, si aucune caractéristique n'est commune, une telle influence ne se retrouve pas, suggérant que le distracteur ne capture pas l'attention (Folk & Remington, 2006). Le problème principal des études comportementales est qu'elles se basent uniquement sur des temps de réaction, ne permettant pas de voir plus précisément les mécanismes sous-jacents impliqués. Ceci est notamment possible grâce à la technique de l'EEG et la principale composante permettant de voir le déploiement attentionnel, la N2pc, ainsi que l'inhibition avec la P<sub>D</sub>.

Comme nous venons de le démontrer, les conditions expérimentales influenceraient le traitement du distracteur. Cependant, nous observons une différence de temps de réaction, sans savoir ce qui se passe réellement. Afin de déterminer s'il y a capture attentionnelle ou filtrage non spatial du distracteur, Wykowska and Schubo (2011) ont mené une expérience combinant deux tâches : une tâche de recherche visuelle suivi d'une « *probe task* ». Les participants voient tout d'abord apparaître un écran composé d'une vingtaine de formes avec quatre conditions différentes : avec une cible (cercle) ; avec un distracteur de couleur ; avec une cible et un

distracteur de couleur (condition d'intérêt) ; sans cible ni distracteur. Cet écran ne nécessite pas de réponse de la part du participant, il doit simplement mémoriser si la cible est présente ou absente. Dans un deuxième écran va apparaître une barre en diagonale (*probe task*) et les participants doivent indiquer son orientation (gauche ou droite). Elle peut apparaître à trois endroits : au même endroit que la cible ; au même endroit que le distracteur ; à un endroit aléatoire. Enfin, ils doivent indiquer si la cible était présente dans le premier écran (Figure 15). Les résultats montrent que les performances à la « *probe task* » sont meilleures si la barre apparaît au même endroit que la cible (un cercle) du premier écran. De plus, ils observent un délai dans la condition avec distracteur comparé à la condition sans distracteur. Ils attribuent cette différence au coût de filtrage non spatial. Au niveau électrophysiologique, ils observent une N2pc en direction de la cible, mais pas du distracteur. Ces résultats suggèrent donc que l'attention est capturée par la cible, mais pas par le distracteur. Dans la condition avec la cible et le distracteur, ils observent un début de N2pc plus tardif lorsque la cible et le distracteur sont dans un hémichamp différent que lorsqu'ils sont dans le même hémichamp. Ceci suggère que le distracteur entre en compétition avec la cible avant que l'allocation spatiale n'ait lieu, impliquant ainsi un coût de filtrage. Étant donné que cette compétition est de nature non spatiale, elle n'implique aucun déplacement attentionnel ni de réorientation de l'attention en direction de la cible. Leurs résultats sont en grande partie expliqués par le fait que leur tâche implique un contrôle *top-down* pouvant prendre le dessus sur la sélection basée sur la saillance. Afin de confirmer leurs résultats, ils analysent également la composante P1. Ils observent que, quel que soit le SOA entre les deux écrans (un SOA court (80 ms) et un SOA long (180 ms)), cette composante ne diffère pas lorsque la barre apparaît au même endroit que le distracteur. À l'inverse, la P1 est d'amplitude plus large pour le SOA long lorsque la barre apparaît à l'endroit de la cible. Ceci soutient l'idée d'un renforcement de l'attention à l'endroit où se trouvait la cible. Ils supposent que, si l'attention était allouée en direction du distracteur, ils auraient obtenu un renforcement de la P1 pour la probe avec un SOA court, comparé à la condition où l'attention est allouée à un autre endroit.

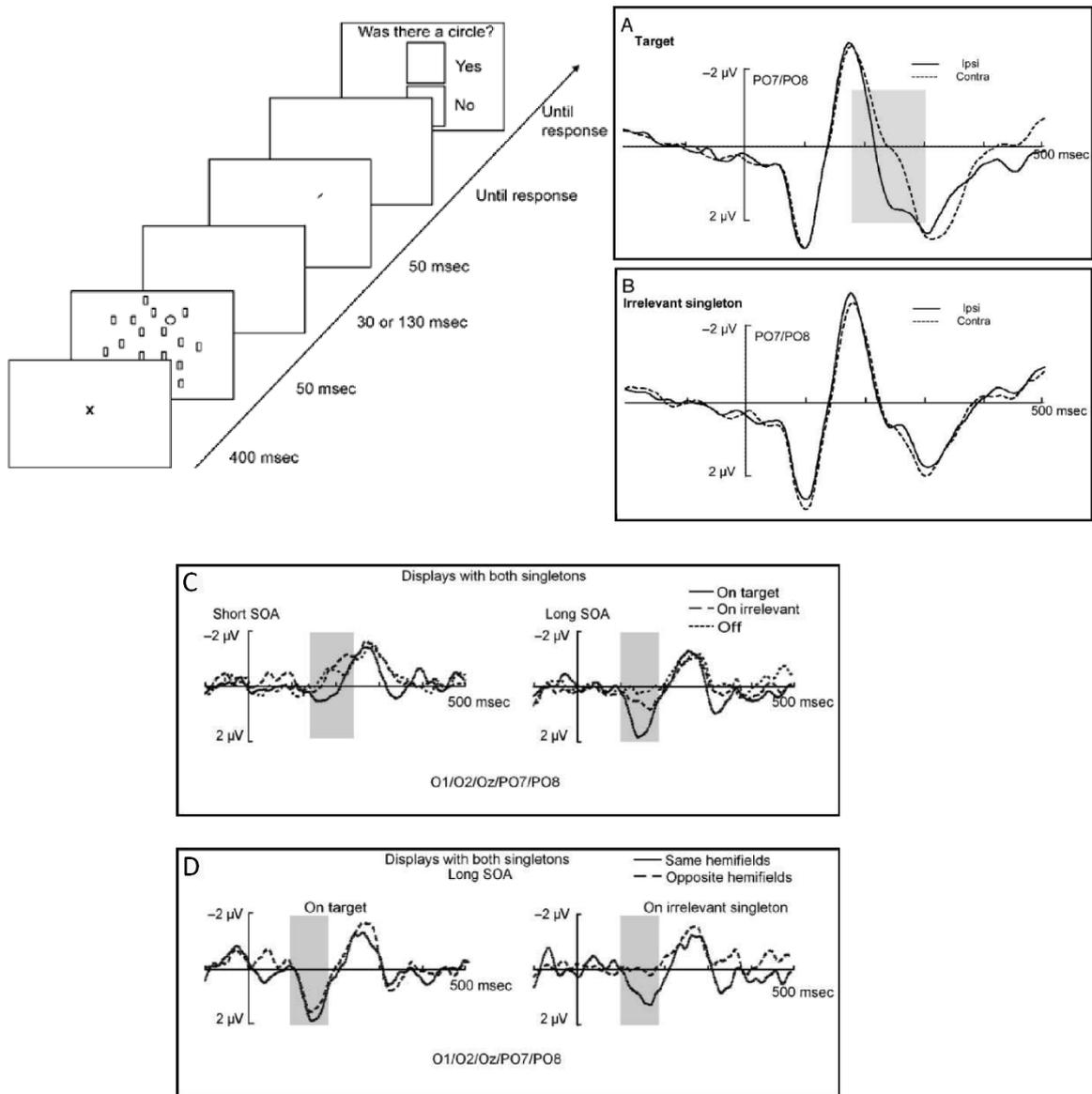


Figure 15 Illustration du paradigme utilisé par Wykowska and Schubo (2011), en haut à gauche. La séquence commence par une croix de fixation, suivie par l'écran de recherche visuelle. Après un écran blanc apparaît la « *probe task* », puis la tâche concernant l'écran de recherche visuelle. En haut à droite, en A, illustration de la N2pc obtenue en direction de la cible, mais pas du distracteur (en B). En C, la P1 est modulée par la position de la barre pour les SOA courts, et est plus positive lorsque la barre apparaît au même endroit que la cible. Lorsque le SOA est long, la P1 n'est pas influencée par la présence du distracteur quand la barre et la cible sont au même endroit. Cependant, quand la barre est au même endroit que le distracteur, la P1 est d'amplitude plus large quand la barre et la cible sont dans le même hémichamp (voir encart D).

En résumé, lorsqu'un distracteur est présent dans une tâche de recherche visuelle, la recherche de la cible sera affectée par le deuxième élément saillant. Dans certaines situations, le distracteur va capturer notre attention, alors que dans d'autres, ce ne sera pas le cas. Quelle que soit la situation, la présence du distracteur implique un coût supplémentaire comparé à la condition où il n'est pas présent (Folk & Remington, 1998, 2006).

## 6. La Séquence de Traitement Visuel

Dans le point 4, nous avons présenté les deux composantes sur lesquelles nous allons nous focaliser dans ce travail, à savoir la N2pc et la P<sub>D</sub>. Cependant, il est important de prendre en compte que le traitement visuel ne s'arrête pas à ces deux seules composantes. En effet, afin de refléter la complexité du traitement visuel et attentionnel, Jannati et al. (2013) ont proposé une séquence de traitement reflétant le processus attentionnel (Figure 16). Celui-ci débiterait par un niveau pré-attentif suivi par un niveau attentif.

Le premier niveau permet un traitement sensoriel des caractéristiques de bas niveau, comme le traitement de la luminance. Ce processus induit une positivité involontaire apparaissant entre 75 et 125 ms après l'apparition du stimulus. Ce processus est appelé P1. Par la suite, le traitement va se poursuivre par le traitement des cartes de saillances. Il va s'agir d'une étape intermédiaire représentant la première étape de la sélection spatiale du stimulus. La composante reflétant ce traitement s'appelle Ppc (Positivity, posterior contralateral). Elle apparaît entre 140 et 190 ms. Dans cette étape intermédiaire, tous les éléments qui diffèrent, donc saillants, seraient représentés. À la fin de ces deux étapes, une carte de saillance serait ainsi réalisée comme le suggère Wolfe (1994). Sur la base de cette carte de saillance, notre attention serait ensuite guidée à l'endroit le plus probable de la cible, donnant ainsi lieu à un traitement attentif.

Suite à ces premiers traitements involontaires, nous voilà arrivés à l'étape où nous allons enfin pouvoir déplacer notre attention. Cependant, ce n'est pas si simple que cela. En effet, le niveau attentif est relativement complexe, car deux possibilités de traitement s'offrent à nous, et il est en grande partie dépendant des traitements effectués au niveau pré-attentif. En effet, dans notre étape intermédiaire, nous avons établi une carte de saillance sur laquelle nous allons nous baser pour notre sélection. Ainsi, nous allons avoir une sélection spatiale de l'élément le plus saillant dans le but d'identifier si cet élément est la cible ou pas. Cette sélection spatiale sera

accompagnée d'une N2pc nous permettant d'identifier s'il s'agit de la cible ou non. Si tel est le cas, nous allons pouvoir répondre, sinon l'élément sélectionné sera inhibé, et le processus recommencera au point de la sélection spatiale. Dans l'autre situation, nous allons pouvoir inhiber cet élément afin de gagner du temps dans notre recherche. Ainsi, nous pourrions sélectionner plus rapidement le deuxième élément saillant afin de vérifier s'il s'agit cette fois-ci de la cible. Ceci sera possible notamment lorsque nous avons connaissance de la cible que nous cherchons. Ainsi, lors de l'analyse de la carte de saillance, nous pourrions directement rejeter une saillance physique, par exemple la couleur, car nous avons connaissance d'une autre caractéristique, par exemple la forme. Ainsi, l'ambiguïté entre la cible et le distracteur est réduite, nous permettant ainsi de supprimer le distracteur.

En résumé, nous commençons par traiter la saillance des éléments que nous voyons. Sur la base de ces informations, nous sélectionnons l'élément le plus saillant afin de vérifier s'il s'agit de la cible. Ceci est généralement accompagné d'une capture attentionnelle, reflétée par une N2pc. Dans certaines situations, comme en cas de faible ambiguïté entre la cible et le distracteur, nous serons capables d'inhiber l'élément le plus saillant, afin d'identifier uniquement la cible de notre recherche. Cette inhibition sera accompagnée d'une  $P_D$ .

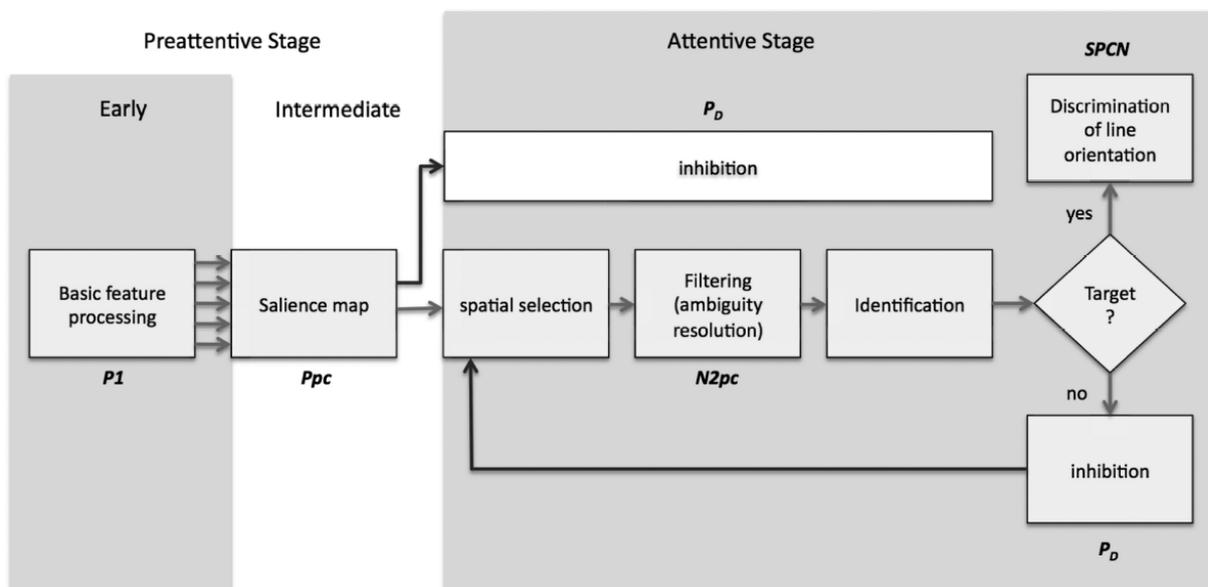


Figure 16 Séquence de traitement visuel proposé par Jannati et al. (2013) dans une tâche d'*additional singleton paradigm* dans laquelle les participants recherchent une forme connue d'avance. Sur la gauche, nous avons le stade préattentif dont les composantes sont la  $P1$  et la  $Ppc$ , puis sur la partie de droite, nous avons le stade attentif. Celui-ci est caractérisé par la présence de la  $N2pc$  ou de la  $P_D$  selon les situations, puis une composante reflétant la réponse.

Dans cette introduction, nous avons développé les principaux paradigmes et modèles de l'attention. Cependant, tous ces modèles concernent la capture attentionnelle, et pas le rejet du distracteur. En effet, la littérature actuelle ne propose pas de modèle concernant la suppression du distracteur. Seule la séquence de traitement développée ci-dessus nous donne des informations plus précises concernant le traitement visuel des informations saillantes, mais non-pertinentes, notamment en exposant les conditions qui impliqueraient un rejet plutôt qu'une capture attentionnelle. Comme nous avons pu le voir, la découverte de la composante liée à la suppression du distracteur a été découverte il y a moins de 10 ans. C'est sans doute pour cela qu'un modèle n'a pas encore été élaboré. Dans cette thèse, nous allons tenter de mieux comprendre les conditions impliquant une inhibition de l'attention en direction d'un élément distracteur. Pour ce faire, nous allons reprendre différents paradigmes développés dans l'introduction que nous adapterons pour nous focaliser sur la suppression du distracteur.

## II. LES EXPÉRIENCES

Dans ce point figurent les articles publiés ou en cours de publication. Nous nous sommes focalisés sur les éléments principaux de la méthode et des résultats. Pour ces parties, nous faisons donc à chaque fois référence à l'annexe contenant les détails méthodologiques, ainsi que les résultats détaillés.

La première série d'expériences publiée (Barras & Kerzel, 2016b) s'est focalisée sur le traitement d'un indice qui peut être pertinent pour la tâche en cours, ou non. Cette étude a été réalisée en EEG afin de voir d'éventuelles composantes liées à l'inhibition de l'indice non-pertinent.

Dans la deuxième série d'expérience, également publiée (Barras & Kerzel, 2016a), nous nous sommes intéressés aux différents modes de recherche : recherche d'élément unique versus recherche d'une caractéristique. Cette étude a également été réalisée en EEG. En effet, des résultats comportementaux existaient déjà, mais ils ne nous permettaient pas de voir s'il y avait des différences de traitement entre les conditions. Nous allons donc tenter de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux différences de temps de réaction.

Enfin, dans la troisième série d'expériences (Barras & Kerzel, accepted pending minor revisions), nous avons voulu voir si la ressemblance de la forme cible et celle des formes distrayantes avaient un effet sur la recherche. À nouveau, nous avons réalisé cette étude en EEG afin de comprendre les mécanismes sous-jacents aux différences au niveau des temps de réaction.



## 1. Suppression lors d'une Tâche d'Indiçage Spatial Modifié

### *a. But de l'Étude*

Dans cette première étude, nous avons repris le paradigme d'indiçage modifié de Anderson and Folk (2012) développé dans l'introduction. Un grand nombre de recherches s'est intéressé à la sélection attentionnelle en se focalisant plus précisément sur les approches *top-down* et *bottom-up* (Fellrath, Manuel, & Ptak, 2014; Folk et al., 1992; Theeuwes, 1991b). Cependant un faible nombre de chercheurs se sont intéressés à la manière dont une information distractive est ignorée. Dans cette étude, nous allons donc nous focaliser sur la suppression d'un stimulus requérant l'inhibition d'une réponse. La question principale de notre étude est donc de savoir si un indice nogo, donc avec des caractéristiques non-pertinentes pour la tâche, sera supprimé au niveau attentionnel. Si tel est le cas, nous devrions obtenir une  $P_D$  dans sa direction. Plus précisément, nous nous attendons donc à une  $P_D$  de plus large amplitude en direction des distracteurs associés à un stimulus nogo, comparé aux stimuli neutres, totalement non-pertinents pour la tâche.

### *b. Expérience 1*

Nous avons fait une réplique du paradigme d'indiçage modifié avec des stimuli nogo de Anderson and Folk (2012) à laquelle nous avons ajouté des mesures d'ERPs. Les participants devaient répondre à une couleur (la couleur go) et inhiber leur réponse à une autre couleur (la couleur nogo). L'écran présentant les indices non-pertinents pour la tâche précède l'écran réponse de 200 ms. L'indice peut être de trois couleurs : soit de la couleur de la cible à laquelle il faut répondre (couleur go), soit de la couleur de la cible à laquelle il ne faut pas répondre (couleur nogo) ou encore d'une couleur non-pertinente pour laquelle le participant n'a aucune information (couleur neutre) (Figure 17). Les informations détaillées du paradigme sont présentées dans l'Annexe I. Sur la base de précédentes recherches, nous prédisons que les indices go capturent l'attention, induisant une N2pc liée à l'indice. Afin de nous assurer que cet ERP reflète bien un traitement lié à l'indice, nous avons analysé uniquement 300 ms après l'apparition de celui-ci (Eimer & Kiss, 2008; Lien et al., 2008). En effet, passé ce moment, le traitement de la cible peut interférer avec celui de l'indice, il nous est donc impossible d'évaluer la présence d'une suppression attentionnelle tardive apparaissant après cet intervalle de N2pc (Hilimire & Corballis, 2014; Hilimire et al., 2011; Sawaki et al., 2012).

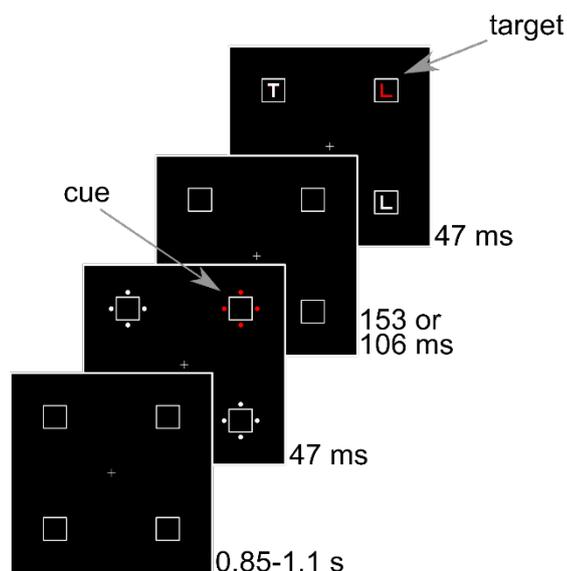


Figure 17 Illustration du paradigme de l'indication modifiée avec des stimuli nogo utilisés dans l'expérience 1 avec les temps de présentation des différents écrans. Dans cet exemple, l'indice et la cible apparaissent au même endroit (condition congruente).

La question principale de cette expérience est de savoir s'il y a une suppression attentionnelle d'un indice nogo, comme le montre la présence de la  $P_D$ . Des études antérieures sur le sujet ont suggéré que l'intention de ne pas traiter un stimulus de couleur nogo résulterait en un désengagement rapide, laissant plus de temps pour la suppression (Anderson & Folk, 2012; Belopolsky, Schreij, & Theeuwes, 2010). Ceci est soutenu par le coût d'indication observé au niveau des temps de réaction. Nous nous attendons donc à observer une  $P_D$  en direction de nos indices nogo. Nous allons donc nous focaliser sur la comparaison des indices nogo et neutres. S'il y a une inhibition de l'endroit où apparaît l'indice à cause de l'association faite avec l'inhibition de la réponse, nous nous attendons à une différence entre les indices nogo et les indices neutres.

Une autre question à laquelle nous essaierons de répondre par notre étude est de savoir si une augmentation de la N2 sera observée en direction des indices go. Comme développé dans l'introduction, la N2 serait liée à l'inhibition de la réponse. Nous prédisons une augmentation de la N2 pour les indices neutres et nogo étant donné que ces deux couleurs ne correspondent pas à la couleur à laquelle il faut répondre. En effet, Eimer et al. (2009) ont observé une augmentation de cette composante en réponse à des indices de couleur ne correspondant pas aux cibles. Cependant, basé sur la théorie de l'inhibition de la réponse (*response inhibition account*), nous devrions avoir une augmentation de la N2 pour les indices nogo, comparés aux indices neutres et aux indices go.

## i. Résultats

### *DONNÉES COMPORTEMENTALES*

Les essais dont les temps de réaction sont plus longs que 2,5 fois la déviation standard comparée à leur condition sont considérés comme extrêmes. Dans les essais go, il y a 3.5% d'erreurs de choix, 1.6% de réponses tardives en fonction de notre critère durant l'expérience de 1.5 seconde et 2.3% de réponses tardives en fonction de notre critère après l'expérience de déviation standard de 2,5. Dans les essais nogo, il y a 3.2% de réponses alors qu'il ne fallait pas répondre. Les erreurs de choix figurent dans le Tableau 1 et les moyennes des temps de réaction sont présentées dans la Figure 18. Nous avons soustrait les essais de la condition de congruence spatiale aux essais spatialement incongruents. Les valeurs positives font référence à un bénéfice d'indiciage, étant donné que la performance est meilleure à l'endroit indicé. Les valeurs négatives font référence à un coût d'indiciage. La correction Greenhouse-Geisser est appliquée lorsque c'est approprié.

Tableau 1 Pourcentage d'erreurs de choix pour les expériences 1 à 3 en fonction de la couleur de l'indice et de la congruence spatiale entre l'indice et la cible.

	Go		Neutral		Nogo	
	Congruent %	Incongruent %	Congruent %	Incongruent %	Congruent %	Incongruent %
Experiment 1	1.4	5.5	4.4	3.0	3.1	3.6
Experiment 2	5.9	8.5	4.4	4.1	3.7	3.2
Experiment 3	3.8	4.4	3.8	4.4	3.8	4.3

### *Temps de réaction*

Les temps de réaction ont été analysés uniquement pour les essais go. Nous avons fait une ANOVA à mesures répétées 3 (*couleur de l'indice* : go, neutre, nogo) x 2 (*congruence spatiale entre l'indice et la cible* : congruent, incongruent). Les données montrent une tendance à avoir des temps de réaction plus longs avec les indices nogo (599 ms) qu'avec des indices neutres (591 ms) ou encore les indices go (589 ms),  $F(2,24) = 2.84, p = .078$ . Les temps de réaction sont plus courts lorsque l'indice et la cible apparaissent à une position congruente (587 vs 600 ms),  $F(1,12) = 14.12, p = .003$ . L'interaction entre la couleur de l'indice et la congruence,  $F(2,24) = 49.57, p = .001$  montre que l'effet de congruence spatial est plus important lorsque l'indice est de couleur go (59 ms) que lorsqu'il est de couleur neutre (-8 ms) ou de couleur nogo (-13 ms). Le bénéfice d'indiciage est confirmé avec les cibles go (59 ms, 560 vs 619 ms),  $t(12) = 7.81, p < .001$ , mais nous

observons un coût d'indigage avec les cibles neutres (-8 ms, 595 vs 587 ms),  $t(12) = 2.88$ ,  $p = .014$  et une tendance au coût d'indigage avec les cibles nogo (-13 ms, 606 vs 593 ms),  $t(12) = 2.15$ ,  $p = .053$ . Cependant, la différence du coût d'indigage entre les indices neutres et nogo n'est pas significative (-8 ms vs -13 ms),  $p = .407$ . Ces résultats indiquent que la suppression attentionnelle des indices nogo ne diffère pas de la suppression des indices neutres.

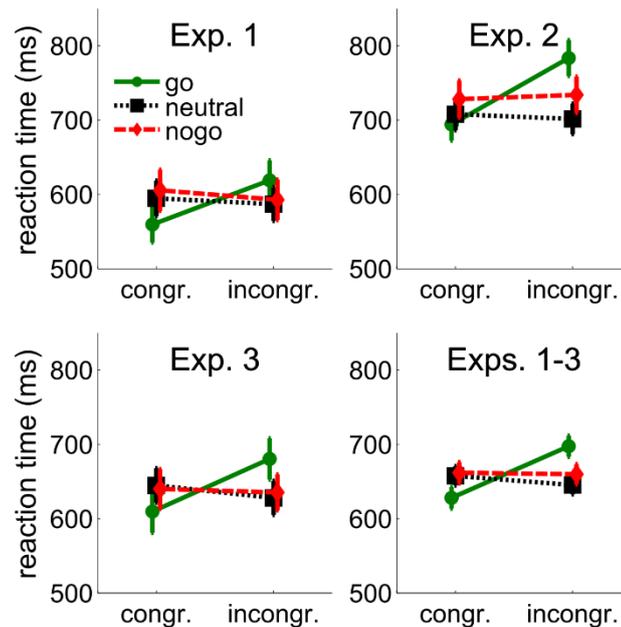


Figure 18 Résultats comportementaux des expériences 1 à 3 et la moyenne à travers les trois expériences. Les temps de réaction moyens sont présentés en fonction de la congruence entre la position de l'indice et de la cible et la couleur de l'indice (go, neutre et nogo). La couleur de l'indice correspond à la couleur go ou nogo de la cible ou est différente de la couleur de la cible (neutre). Les barres d'erreurs montrent l'erreur standard de la moyenne entre les sujets.

### *Erreurs de choix*

Nous avons mené la même ANOVA que ci-dessus avec le pourcentage d'erreur de choix. Nous confirmons l'interaction significative entre la couleur de l'indice et la congruence,  $F(2,24) = 7.68$ ,  $p = .003$ . Les erreurs de choix sont moins fréquentes dans les essais go congruents comparés aux essais incongruents (1.4% vs 5.5%),  $t(12) = 3.05$ ,  $p = .01$ , alors qu'il n'y a pas de différences avec les indices neutres (3.1% vs 3.6%),  $p = .528$  ou avec les indices nogo (4.4% vs 3%),  $p = .103$ .

Basé sur les critères détaillés dans l'article (Annexe I), nous avons supprimé 10% des essais. Après la suppression des essais durant l'expérience (réponses trop rapides, trop lentes ou fausses), et les critères électrophysiologiques, nous avons mené nos analyses sur les 86.6% des essais restants.

Nous avons analysé la N2pc et la P<sub>D</sub> en réponse à l'écran indice et la N2pc liée à l'écran réponse en calculant le voltage moyen sur un intervalle de 50 ms. Afin de déterminer la fenêtre temporelle de ces intervalles, nous avons tout d'abord calculé la moyenne (50 ms de largeur) de la différence de l'onde pour chaque condition. Ensuite, cette fenêtre temporelle est placée dans la région de l'intervalle allant de 200 à 300 ms pour la N2pc liée à l'indice, et dans la région allant de 400 à 500 ms pour la N2pc liée à la cible. Nous avons utilisé ces pics d'amplitude pour ces conditions, car ils étaient évidents, alors que dans les autres conditions, les pics étaient soit absents, soit moins évidents.

La Figure 19 présente les ondes ERPs mesurées pour les électrodes PO7/PO8. La colonne de gauche montre la différence d'onde ipsi et contra-latérale par rapport à l'endroit de l'indice, alors que la colonne de droite montre les ondes par rapport à l'endroit de la cible. Les trois premières lignes représentent les ERPs pour les couleurs go, neutre et nogo. La quatrième ligne montre la différence d'onde. Les analyses statistiques ont été menées sur la différence d'onde ipsi et contralatérale pour la fenêtre temporelle grisée de la dernière ligne du graphique.

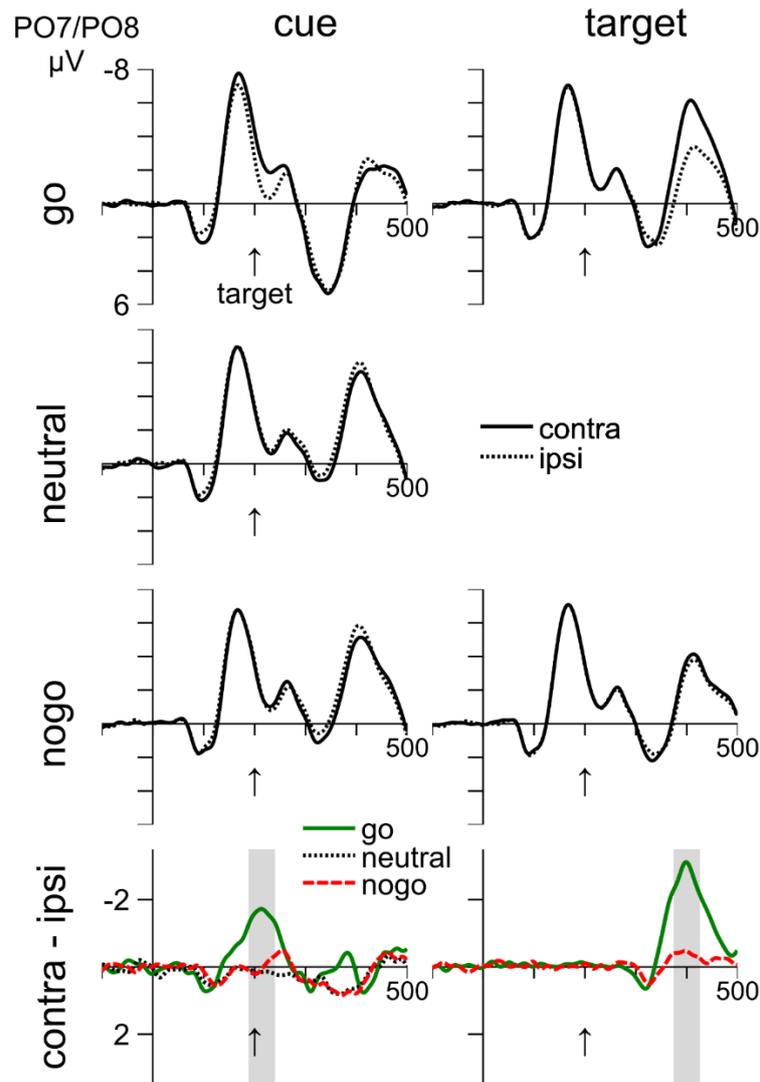


Figure 19 Illustration des ondes liées à l'indice et à la cible mesurées au niveau des électrodes PO7/PO8 pour l'expérience 1. Les colonnes 1 et 2 représentent respectivement les événements en réponse à l'indice et à la cible. Les lignes 1 à 3 représentent les réponses aux couleurs go, neutre et nogo. La dernière ligne montre la différence d'onde (contra-ipsi). En bas à gauche, nous voyons la fenêtre temporelle utilisée pour l'intervalle N2pc de l'indice (région grisée). En bas à droite, nous voyons la fenêtre temporelle utilisée pour l'intervalle N2pc lié à la cible (région grisée). Le point de départ (0 ms) correspond à la présentation de l'indice et la flèche verticale indique le moment de présentation de la cible (200 ms).

#### *ERPs liés à l'indice dans l'intervalle de la N2pc*

Nous avons analysé l'intervalle allant de 189 à 239 ms. Dans la colonne de gauche de la Figure 19, nous voyons une N2pc en réponse à l'indice go ( $-1.56 \mu\text{V}$ ),  $t(13) = 1.56$ ,  $p = .001$ . À l'inverse, il n'y a pas de N2pc ni de P<sub>D</sub> en réponse aux indices neutres ( $0.15 \mu\text{V}$ ),  $p = .368$ , ou nogo ( $0.01 \mu\text{V}$ ),  $p = .969$ . La négativité observée avec les indices go est confirmée par une ANOVA à un

facteur (*couleur de l'indice* : go, neutre, nogo),  $F(2,24) = 20.82, p < .001$  et par des comparaisons significatives entre les indices go et neutre (-1.56 vs 0.15  $\mu\text{V}$ ),  $t(12) = 4.66, p = .002$  et entre les indices go et nogo (-1.56 vs 0.01  $\mu\text{V}$ ),  $t(12) = 4.94, p < .001$ .

Une analyse détaillée de la Figure 19 suggère que vers la fin de la déflexion négative avec l'indice go, il y a également une petite N2pc en direction de l'indice nogo. Nous avons donc placé un intervalle moyen sur le pic de cette déflexion négative pour les indices nogo et nous avons analysé l'intervalle de 222 à 272 ms. Nous avons ainsi confirmé un effet de la couleur de l'indice,  $F(2,24) = 9.86, p = .001$ , indiquant que la négativité est plus large pour les indices go (-0.93  $\mu\text{V}$ ) que pour les indices nogo (-0.32  $\mu\text{V}$ ) ou que pour les indices neutres (0.21  $\mu\text{V}$ ). Cependant, cette négativité n'est significative que pour les indices go,  $t(12) = 3.42, p = .005$ , mais pas pour les autres conditions  $ps > .155$ .

En résumé, nous n'avons pas trouvé de  $P_D$  en direction de l'indice nogo contrairement à ce que nous avons prédit. Il y a tout de même une petite N2pc en direction des indices nogo, mais elle n'est pas significative.

#### *ERPs liés à la cible dans l'intervalle de la N2pc*

L'onde de la colonne de droite de la Figure 19 montre une N2pc en réponse à la cible entre 375 et 425 ms après l'apparition de l'indice, à savoir 175 à 225 ms après l'apparition de la cible. La N2pc est significative pour les cibles go (-2.72  $\mu\text{V}$ ),  $t(13) = 6.5, p < .001$ , et pour les cibles nogo (-0.4  $\mu\text{V}$ ),  $t(12) = 2.65, p = .021$ . La différence entre les cibles go et nogo est significative (-2.72 vs -0.4  $\mu\text{V}$ ),  $t(13) = 6.69, p < .001$ . Ainsi, nous observons une preuve en faveur d'une sélection attentionnelle des cibles go, alors que les cibles nogo sont ignorées.

#### *RÉSULTATS ERPs INDICANT UNE INHIBITION DE LA RÉPONSE*

La Figure 20 montre que les ERPs aux alentours de 200 ms après l'apparition du stimulus pour les électrodes Fz sont extrêmement similaires en réponse aux indices et aux cibles. Le pic de l'augmentation de la négativité pour les stimuli nogo relative au stimulus go apparaît vers 200 ms après l'apparition du stimulus et est suivie par une positivité. La négativité correspond à la N2-nogo. La positivité liée à l'indice s'étend sur environ 200 ms, mais il est possible que ce soit dû à l'effet combiné du traitement lié à la cible et à l'indice. La négativité à 200 ms après l'apparition de l'indice coïncide avec l'apparition de la cible et peut donc être considérée comme indépendante du traitement lié à la cible. En outre, la Figure 20 montre que les ondes sont

identiques pour les indices nogo et neutres. Nous reprenons la même méthode que ci-dessus pour trouver les voltages moyens liés aux indices et cibles sur une fenêtre temporelle de 50 ms entre 150 et 250 ms après l'apparition du stimulus. Nous nous focalisons sur l'électrode Fz, mais des résultats similaires sont obtenus pour les électrodes Pz. Cz n'est pas enregistré.

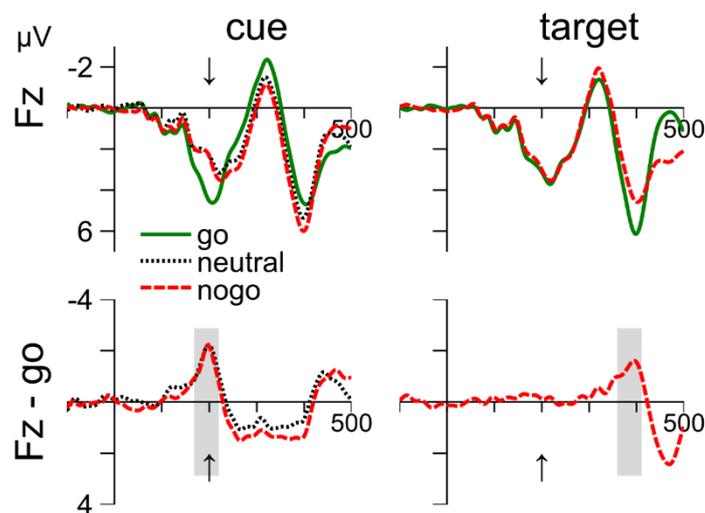


Figure 20 Potentiels évoqués pour l'indice et la cible de l'expérience 1 au niveau de l'électrode Fz. La première colonne montre les ERPs pour l'indice, la deuxième colonne pour la cible. La première ligne montre l'onde pour les couleurs go, neutre et nogo. La deuxième ligne pour la différence d'onde après la soustraction des ERPs de l'indice go (gauche) et des cibles go (droite). Les analyses ont été effectuées sur la fenêtre grisée. La flèche indique le moment où apparaît la cible.

#### *ERPs liés à l'indice pour Fz*

Les ondes sont présentées dans la colonne de gauche de la Figure 20. La négativité a été mesurée entre 169 et 219 ms (voir l'aire grisée). Une ANOVA à un facteur (*couleur de l'indice* : go, neutre, nogo) indique un effet principal du voltage moyen,  $F(2,24) = 6.46, p = .006$ . Des t-tests montrent que la différence entre les couleurs go et nogo ( $-1.56 \mu\text{V}$ ),  $t(12) = 2.37, p = .036$ , et entre les couleurs neutres et go ( $-1.69 \mu\text{V}$ ),  $t(12) = 3.44, p = .005$  est significative. À l'inverse, la moyenne de voltage entre les couleurs nogo et neutres ne diffère pas ( $0.12 \mu\text{V}$ ),  $p = .753$ .

#### *ERPs liés à la cible pour Fz*

Les ondes sont présentées dans la colonne de droite de la Figure 20. Nous avons mené nos analyses entre 360 et 410 ms. Le voltage moyen est plus négatif pour les cibles nogo comparée aux cibles go ( $-1.2 \mu\text{V}$ ),  $t(12) = 5.92, p < .001$

## ii. Discussion

Au niveau comportemental, l'effet d'indication dépend de la couleur de l'indice. Nous avons obtenu un important bénéfice d'indication avec les indices go, alors qu'une tendance inverse est observée avec les indices nogo. De plus, l'effet d'indication ne diffère pas entre les indices nogo et neutres, suggérant un traitement similaire de ces deux types d'indices. À l'inverse, Anderson and Folk (2012) rapportent une différence significative du coût d'indication d'environ -25-40 ms avec les indices nogo (ces valeurs sont estimées sur la base de leurs Figures 1 et 2) qui est plus importante qu'avec les indices neutres. Dans cette étude, nous ne savons pas exactement pourquoi le coût d'indication avec les indices nogo est plus petit (-13 ms) et pourquoi cela ne diffère pas avec les indices neutres. Dans une étude similaire à celle-ci où ils présentent uniquement des indices go et nogo, Folk and Remington (2008) obtiennent un coût d'indication avec les indices nogo similaire à ceux obtenus dans cette expérience (-9 ms dans l'expérience 1).

L'analyse des ERPs montre une N2pc en direction de l'indice de la couleur pertinente pour la tâche, ce qui est consistant avec les études antérieures (Eimer & Kiss, 2008; Lien et al., 2008). Cependant, rien n'indique la présence d'une suppression des indices nogo. L'analyse des ERPs ne montre ni de P<sub>D</sub>, ni de N2pc en direction des indices nogo. De plus, les ERPs ne diffèrent pas entre les indices nogo et neutres. Les temps de réaction et les ERPs confirment que la tâche en cours va impliquer une sélection de l'indice correspondant à la couleur de la cible, alors que l'indice ne correspondant pas à la tâche ne sera ni sélectionné ni supprimé.

Les analyses de la composante N2 confirment la conclusion selon laquelle il n'y a pas de différence de traitement entre les cibles nogo et neutres. La N2 en direction des indices montre une augmentation de la négativité pour les indices nogo et neutres comparé aux indices go. Ces résultats sont cohérents avec l'idée que la N2-nogo reflète une activation des réponses-go et non une inhibition des réponses nogo (Bruin et al., 2001). En effet, les ERPs de l'indice go diffèrent des indices nogo et neutres, mais les indices nogo et neutres ne diffèrent pas. Nos résultats sont donc cohérents avec la suggestion selon laquelle l'augmentation de la N2 reflète une inhibition *top-down* des caractéristiques qui ne correspondent pas à la tâche en cours (Eimer et al., 2009). De plus, l'indice de couleur neutre est rarement comparé aux autres couleurs, mais la N2 n'est pas plus large pour les indices neutres. L'explication du conflit de vérification (*conflict monitoring account*) prévoyait une augmentation de la N2 pour les événements rares (Nieuwenhuis et al., 2003), mais ce n'est pas ce que nous observons.

### c. *Expérience 2*

Dans l'expérience 1, nous n'avons pas répliqué le coût d'indigage avec les indices nogo. Cependant, il y a une différence potentiellement importante entre notre expérience 1 et l'étude d'Anderson and Folk (2012). En effet, dans leur étude, le SOA entre l'écran indice et l'écran cible est de 150 ms, alors que dans notre première expérience il est de 200 ms. Nous avons choisi un SOA plus long afin de réduire le chevauchement entre les ERPs liés à l'indice et ceux liés à la cible. Étant donné que la capture contingente dépend du temps entre l'écran indice et l'écran cible (Lamy & Egeth, 2003), le changement que nous avons fait au niveau du SOA peut masquer la suppression des indices nogo. Nous allons donc répliquer l'expérience 1 avec un SOA de 150 ms comme Anderson and Folk (2012).

#### i. Résultats

##### *DONNÉES COMPORTEMENTALES*

Dans les essais go, il y a 5% d'erreurs de choix, 5.6% de réponses tardives en fonction de notre critère durant l'expérience de 1.5 seconde, et 1.8% de participants extrêmes selon notre critère de déviation standard de 2,5. Dans les essais nogo, il y a 10.6% de réponses alors qu'il ne fallait pas répondre. Les temps de réaction moyens sont présentés dans la Figure 18 qui nous suggère que les temps de réaction sont plus longs dans cette expérience comparée à la précédente. La comparaison de performance sera présentée dans les résultats de l'expérience 3.

##### *Temps de réaction*

Les moyennes individuelles pour les conditions avec les cibles go ont été entrées dans une ANOVA à mesures répétées 3 (*couleur de l'indice* : go, neutre, nogo) x 2 (*congruence spatiale entre l'indice et la cible* : incongruent, congruent). Les temps de réaction sont plus courts avec les indices neutres (702 ms) comparés aux indices go (734 ms) et aux indices nogo (727 ms),  $F(2,32) = 3.98, p = .029$ . Les temps de réaction sont plus courts quand l'indice et la cible apparaissent à un endroit congruent (706 ms vs 736 ms),  $F(1,16) = 16.73, p = .001$ , mais l'interaction entre la couleur de l'indice et la congruence,  $F(2,32) = 13.83, p < .001$ , montre que l'effet de congruence est plus large quand l'indice est de couleur go (90 ms) que lorsqu'il est de couleur neutre (-9 ms) ou de couleur nogo (10 ms). Des t-tests confirment un bénéfice de l'indigage avec les indices de couleur go (90 ms, 689 ms vs 779 ms),  $t(16) = 5.05, p < .001$ . L'effet d'indigage avec les indices neutres (-9 ms, 707 ms vs 698 ms),  $t(12) = -0.87, p = .398$ , et les indices nogo (10 ms, 722 ms vs

732 ms),  $t(12) = 0.88$ ,  $p = .394$  n'est pas significatif. Comme dans l'expérience 1, il n'y a pas de différences significatives entre l'effet d'indiçage avec les indices neutres et nogo (-9 vs 10 ms),  $p = .268$ . Ceci confirme qu'il n'y a pas de suppression attentionnelle des indices associés avec les stimuli nogo au-delà de la suppression attentionnelle des indices neutres.

#### *Erreurs de choix*

Les erreurs de choix sont présentées dans le Tableau 1. La même ANOVA que ci-dessus a été menée sur le pourcentage d'erreur de choix. Nous observons un effet principal de la couleur de l'indice,  $F(2,32) = 9.84$ ,  $p < .001$ . Le pourcentage d'erreur est plus important pour les indices go (7.2%) que pour les indices neutres (4.2%) et les indices nogo (3.4%).

#### ii. Discussion

Cette deuxième étude nous a permis de confirmer l'absence du coût d'indiçage avec les indices nogo, malgré le changement du SOA à 150 ms afin de répliquer Anderson and Folk (2012). Notre deuxième étude contredit donc les résultats qu'ils ont obtenus.

#### *d. Expérience 3*

Dans l'expérience 1, nous avons utilisé des couleurs isoluminantes afin d'éviter des asymétries au niveau des ERPs. En utilisant des couleurs isoluminantes, nous créons à nouveau une différence dans la réplication de l'étude d'Anderson and Folk (2012), car ils n'ont pas utilisé des couleurs isoluminantes. Par conséquent, le fait que nous ne parvenions pas à répliquer leurs résultats peut être dû à cette différence de luminance. Notons que Anderson and Folk (2012) ne mentionnent pas les valeurs qu'ils ont utilisées pour la luminance de leurs couleurs, et qu'ils changent de dispositif entre leur expérience 1 et 2. Dans leur expérience 2, les valeurs RVB (Rouge, Vert, Bleu) sont au maximum pour chaque couleur, résultant en une différence de luminance prononcée entre les couleurs. En d'autres termes, les différences de tonalité sont associées aux différences de luminance, ce qui rend les couleurs plus discriminables. Dans cette expérience 3, nous allons donc répliquer les valeurs RVB utilisées par Anderson and Folk (2012). Ainsi, nous allons tester si des couleurs fortement discriminables produisent un coût d'indiçage avec des indices nogo, contrairement à ce que nous avons observé dans nos expériences 1 et 2.

## i. Résultats

### *DONNÉES COMPORTEMENTALES*

Dans les essais go, il y a 4.2% d'erreurs de choix, 2.1% de réponses tardives en fonction de notre critère durant l'expérience de 1.5 seconde, et 1.9% de participants extrêmes selon notre critère de déviation standard de 2,5. Dans les essais nogo, il y a 5.7% de réponses alors qu'il ne fallait pas répondre.

#### *Temps de réaction*

Les temps de réaction sont présentés dans la Figure 18. Les moyennes individuelles pour les conditions avec les cibles go ont été entrées dans une ANOVA à mesures répétées 3 (*couleur de l'indice* : go, neutre, nogo) x 2 (*congruence spatiale entre l'indice et la cible* : incongruent, congruent). Les temps de réaction sont plus courts quand l'indice et la cible apparaissent à un endroit congruent (632 vs 648 ms),  $F(1,17) = 13.57, p = .002$ , mais l'interaction entre la couleur de l'indice et la congruence,  $F(2,34) = 17.93, p < .001$  montre que l'effet de congruence est plus important lorsque l'indice est de couleur go (71 ms) que lorsqu'il est de couleur neutre (-17 ms) ou de couleur nogo (-5 ms). Des t-tests confirment un bénéfice d'indication avec les indices go (71 ms, 610 vs 681 ms),  $t(17) = 6.01, p < .001$ . Le coût d'indication n'est pas significatif avec les indices neutres (-17 ms, 645 vs 628 ms),  $t(17) = -1.65, p = .118$ , ni avec les indices nogo (-5 ms, 640 vs 635 ms),  $t(17) = -0.58, p = .571$ . La différence entre les indices neutres et nogo n'est pas significative,  $p = .361$ .

#### *Erreurs de choix*

Les erreurs de choix sont présentées dans le Tableau 1. La même ANOVA que ci-dessus a été menée, mais ne montre aucun effet significatif,  $ps > .33$ .

### *COMPARAISON ENTRE LES EXPÉRIENCES 1-3*

Afin d'évaluer la différence entre les expériences, et en particulier la performance apparemment plus faible de l'expérience 2, nous avons mené la même ANOVA que ci-dessus, mais nous avons inclus la variable expérience en inter-sujets.

#### *Temps de réaction*

Une ANOVA 3 (*expérience* : 1, 2 et 3) x 3 (*couleur de l'indice* : go, neutre, et nogo) x 2 (*congruence spatiale entre l'indice et la cible* : incongruent, congruent) met en évidence un effet

principal de l'expérience,  $F(2,19) = 6.03, p = .005$  montrant des temps de réaction plus longs dans l'expérience 2 (721 ms) que dans l'expérience 1 (615 ms) et dans l'expérience 3 (640 ms). De plus, nous observons une tendance à un effet de la couleur de l'indice,  $F(2,98) = 2.78, p = .067$ , et une interaction significative entre la couleur de l'indice et l'expérience,  $F(4,98) = 2.56, p = .043$ , un effet significatif de la congruence,  $F(1,49) = 24.15, p < .001$  et une tendance à une interaction significative entre la congruence et l'expérience,  $F(2,49) = 2.85, p = .068$ . De plus, l'interaction entre la couleur de l'indice et la congruence est confirmée,  $F(1.77, 86.49) = 47.26, p < .001$ . Cet effet n'est pas influencée par l'expérience,  $p = .481$ . Des t-tests sur l'échantillon complet de 52 participants confirment un bénéfice d'indication des indices go (69 ms, 628 vs 697 ms),  $t(51) = 7.99, p < .001$ . Le coût d'indication est significatif avec les indices neutres (-12 ms, 657 vs 645 ms),  $t(51) = -2.41, p = .019$ , mais pas avec les indices nogo (-2 ms, 661 vs 659 ms),  $p = .696$ . De plus, le coût d'indication n'est pas significativement plus important avec les indices nogo que neutres (-2 ms vs -12 ms),  $t(51) = 1.43, p = .158$ .

#### *Erreurs de choix*

La même ANOVA que ci-dessus montre une tendance à un effet de la couleur de l'indice,  $F(1.67, 82) = 2.96, p = .067$ , une interaction significative entre la couleur de l'indice et l'expérience,  $F(4,98) = 3.55, p = .001$ , une tendance à un effet de congruence,  $F(1,49) = 3.84, p = .056$ , et une interaction significative entre la couleur de l'indice et la congruence,  $F(2,96) = 3.16, p = .047$ , ceci n'est pas modulé par l'expérience,  $p = .822$ .

#### *Effet d'âge*

Afin d'expliquer les temps de réaction plus lents dans l'expérience 2 par comparaison aux autres expériences, nous avons analysé l'âge des participants. Une ANOVA à un facteur inter-sujets montre un effet d'âge,  $F(2,49) = 4.36, p = .018$ , avec des participants plus âgés dans l'expérience 2 (27 ans) que dans l'expérience 1 (22.1 ans) et dans l'expérience 3 (20.9 ans). De même, l'âge corrèle avec les temps de réaction moyens,  $r(52) = 0.53, p < .001$ . Par conséquent, la différence d'âge peut avoir contribué aux performances globales de l'expérience 2 (Ratcliff, Thapar, & McKoon, 2001; Zeef & Kok, 1993). Afin de tester cette possibilité, nous avons intégré les âges normalisés en tant que covarié dans l'ANOVA à facteurs mixtes. L'effet de l'âge normalisé est significatif,  $F(1,48) = 12.25, p = .001$ , alors que l'effet de l'expérience n'est plus significatif,  $F(2,48) = 2.98, p = .06$ . À l'inverse, l'interaction entre la couleur de l'indice et la congruence spatiale n'est pas affectée par les âges normalisés,  $p = .73$ .

## ii. Discussion

Conformément aux expériences 1 et 2, l'expérience 3 ne montre aucun effet de suppression attentionnelle des indices nogo. Autrement dit, il n'y a pas de coût d'indiçage pour les indices nogo. L'analyse combinée des trois études avec un total de 52 participants confirme cette conclusion : les indices nogo et neutres ne sont pas traités différemment. Par conséquent, des couleurs uniformes confondant tonalité et luminance ne nous permettent pas de répliquer le pattern de résultat obtenu par Anderson and Folk (2012).

### *e. Discussion Générale*

Dans cette série d'étude utilisant l'indiçage modifié, nous nous sommes intéressés à l'effet de l'indiçage lors de la suppression attentionnelle. Plus précisément, nous avons voulu savoir si un indice associé à une cible nogo est supprimé plus fortement qu'un indice neutre. Belopolsky et al. (2010) ainsi que Anderson and Folk (2012) ont d'ores et déjà montré que des indices nogo impliquent un coût d'indiçage dans un paradigme d'indiçage spatial modifié. Le coût d'indiçage serait attribué à une inhibition de l'endroit où apparaît la cible après un rapide désengagement attentionnel. Nous sommes partis de l'hypothèse qu'un coût de filtrage serait reflété par un index électrophysiologique de suppression attentionnel, la  $P_D$ . Nous n'avons malheureusement pas trouvé de coût d'indiçage pour les indices nogo dans nos trois expériences, malgré un total de 52 participants. Nous avons toutefois observé un bénéfice lié à l'indiçage et une  $N2pc$  en direction des indices de couleur go. Ceci confirme que les caractéristiques pertinentes pour la réponse capturent l'attention (Eimer & Kiss, 2008; Lien et al., 2008). De manière générale, nos résultats montrent que seul un stimulus correspondant à la tâche en cours va capturer l'attention, alors que les stimuli totalement non-pertinents pour la tâche, comme les indices nogo et neutres ne capturent pas l'attention. Bien qu'ils soient associés à une inhibition de la réponse, ils ne sont pas inhibés non plus. Nos résultats ne confirment donc pas l'hypothèse selon laquelle les indices nogo induisent une inhibition, car nous n'avons pas répliqué la différence entre les indices neutres et nogo trouvée par Anderson and Folk (2012). La raison de cette non-réplication n'est pas claire, mais nous supposons qu'une erreur d'échantillonnage a causé de faux résultats dans l'étude précédente.

i. Suppression attentionnelle vs mise à jour de l'objet

La présente étude apporte un nouvel éclairage sur les stratégies utilisées pour résoudre une tâche go-nogo. Nous faisons l'hypothèse d'une suppression des caractéristiques qui sont associées à un stimulus nogo au niveau attentionnel, en raison d'une forte incitation à ne pas répondre aux cibles nogo. Cette idée est cohérente avec le coût d'indiçage reporté dans les études antérieures. Nos résultats soutiennent l'idée alternative selon laquelle les indices nogo sont particulièrement ignorés, ne nécessitant pas de suppression active. Les indices nogo n'élicitent donc ni de N2pc ni de  $P_D$ , alors que les indices go élicitent une N2pc. Par conséquent, le registre attentionnel des participants comprend des caractéristiques requérant une réponse, alors que les caractéristiques ne requérant pas de réponse ne sont ni attendues ni supprimées.

Dans l'expérience 1, nous observons un faible coût d'indiçage qui n'est pas confirmé dans les deux expériences suivantes. Il est probable que le nombre d'essais, plus important dans l'expérience 1 comparée aux deux autres expériences (1152 vs 384), amène cet effet d'indiçage au premier plan. De manière similaire, le coût d'indiçage avec les indices neutres est significatif lorsque nous prenons les 52 participants (toutes études confondues). Ce coût d'indiçage est petit et n'est pas toujours significatif rendant les résultats inconsistants. Par exemple, le coût d'indiçage apparaît dans une expérience sur deux avec des indices non-uniqes (expérience 2 vs 3 dans (Becker, Folk, & Remington, 2013)) et également avec un indice unique (expérience 1 vs 2 dans (Eimer et al., 2009)). Dans une autre étude, le coût d'indiçage avec une cible unique dépend principalement de la combinaison de la couleur de la cible et de la couleur de l'indice (Schönhammer & Kerzel, 2013). Alors que ces études sont inconsistantes, un coût d'indiçage robuste a été observé dans une recherche de caractéristique avec un indice unique non-correspondant lorsque l'indice reste affiché à l'écran jusqu'à ce que la cible apparaisse (Carmel & Lamy, 2014, 2015; Lamy, Leber, & Egeth, 2004). Nous ne nous attendons pas à un effet du temps de présentation (pas le SOA) du point de vue du désengagement et de la suppression. En accord avec ce point de vue, l'attention ne va que brièvement aller à l'endroit de l'indice non-correspondant.

Par contraste, la théorie de mise à jour de l'objet (*object-updating account*) de l'effet d'indiçage négatif offre une explication. Dans une étude novatrice, Kahneman, Treisman, and Gibbs (1992) observent qu'il est plus facile de nommer une lettre cible qui apparaît dans le même carré que durant la prévisualisation en comparaison à la situation où la cible apparaît à un autre

endroit. La lettre et le carré seraient vraisemblablement intégrés dans un fichier objet durant la prévisualisation. Quand la position de la lettre cible change comparée à la position de prévisualisation, le fichier objet doit être mis à jour, impliquant ainsi un coût supplémentaire. Cette explication a été appliquée au paradigme de pré-indiçage (Carmel & Lamy, 2014, 2015) : les indices non-correspondants apparaissant au même endroit que la cible (par exemple en cas de congruence spatiale) impliquent la présentation de deux couleurs au même endroit. À l'inverse, lorsque l'indice correspond à la cible et qu'il apparaît au même endroit, il n'y a pas de changement. En cas de changement de couleur dans les essais congruents, les indices non-correspondants peuvent impliquer la perception d'un changement dans l'objet à l'endroit indiqué requérant ainsi une mise à jour de cet objet impliquant ainsi un coût d'indiçage. Cependant, l'interruption de la continuité perçue dépend principalement du temps de présentation du stimulus. Carmel and Lamy (2015) observent un fort effet de coût d'indiçage avec des couleurs non-correspondantes lorsque le temps de présentation des indices est de 150 ms, mais ce coût disparaît avec un indice présenté 50 ms (donnant une SOA indice-cible de 150 ms). Il est probable qu'un long temps de présentation soit nécessaire pour la création de ce fichier objet. Dans la présente expérience, le temps de présentation étant toujours court (50 ms), nous pensons que la contribution de cette mise à jour de l'objet est plutôt faible. Cependant, les circonstances exactes (taille du stimulus, contraste, etc.) qui permettent la création de ce fichier objet devaient être décrites en détail.

## ii. Inhibition de la réponse vs activation de la réponse

L'absence de composante ERP liée à la suppression attentionnelle d'un stimulus privilégie une explication en termes de processus moteur de notre faible coût d'indiçage. Prinzmetal, McCool, and Park (2005) suggèrent que les temps de réaction sont influencés par une sélection de canaux faisant référence à la forte tendance à répondre à ce qui apparaît à l'endroit indiqué, comparé à l'endroit non-indiqué. Cette sélection de canaux n'est pas liée à l'augmentation du traitement perceptuel du stimulus indiqué. Les indices nogo peuvent induire la tendance inverse. En effet, ils peuvent causer une inhibition des réponses aux cibles présentées à l'endroit indiqué et augmenter la tendance à répondre aux cibles présentées aux autres endroits. Il est peu probable que ces processus aient une répercussion sur les composantes ERPs postérieures indiquant une sélection attentionnelle qui représente l'objet principal de ces études. Au contraire, une inhibition de réponse peut être une mesure plus adéquate au niveau frontal.

Cependant, nos résultats ne soutiennent pas l'idée selon laquelle l'inhibition de réponse est plus forte pour un indice nogo comparé à un indice neutre, suggérant ainsi qu'un stimulus nogo ne résulte pas en l'inversion de cette sélection de canal (comme par exemple le canal de l'inhibition).

Des études ERP sur le paradigme go-nogo se sont déjà intéressées aux composantes N2 et P3 apparaissant sur les électrodes antérieures entre 200 et 400 ms après le stimulus (Folstein & Van Petten, 2008). Il est important de mentionner que Eimer et al. (2009) ont montré une négativité au niveau des électrodes antérieures plus importantes avec des indices non-correspondants, par comparaison à des indices correspondants. Ces résultats suggèrent que l'inhibition se produit lorsque les indices ne correspondent pas aux informations *top-down*. Nous avons également observé une négativité plus importante pour les indices nogo, donc non-correspondants. Cependant, cette négativité est identique pour les indices neutres, suggérant ainsi que la N2 ne refléterait pas l'inhibition d'un stimulus nogo, mais plutôt l'activation d'un stimulus pertinent pour la tâche (voir Bruin et al., 2001). Si la N2 reflétait une inhibition de réponse, nous nous serions attendus à une négativité plus importante pour les indices nogo en comparaison aux indices go et neutres. Par conséquent, les résultats avec les électrodes frontales et postérieures confirment la conclusion selon laquelle les indices nogo n'impliquent pas plus d'inhibition que les indices neutres.

Enfin, un point important à mentionner est que les cibles go et nogo de cette expérience sont fixes, alors qu'elles varient d'essai en essai dans l'étude de Belopolsky et al. (2010). En effet, dans cette étude, ils ont observé un bénéfice d'indication uniquement lorsque la cible de l'essai présent apparaissaient au même endroit que celle de l'essai précédant. De manière identique, la congruence indice-cible de l'essai précédent peut influencer l'effet de congruence de l'essai en cours (Goller & Ansorge, 2015). Étant donné que la couleur de notre cible est fixée durant la session expérimentale, il nous est impossible d'évaluer si ce pattern de résultat se retrouve dans notre étude. Cependant, la différence entre une cible nogo aléatoire et fixe peut expliquer pourquoi Belopolsky et al. (2010) ont observé un coût d'indication plus important que dans nos études.



## 2. Suppression et Mode de Recherche

### a. But de l'Étude

Plusieurs études ont montré un effet d'interférence par un distracteur de couleur non-pertinent pour la tâche lorsque l'on recherche une forme unique. Cependant, d'autres études ont mis en évidence que cet effet était lié à la tâche. En effet, lorsque les participants recherchent une forme connue d'avance, cette interférence disparaît. Dans une première série d'études comportementales (Kerzel & Barras, 2016), nous avons tout d'abord répliqué cette différence d'effet d'interférence selon la tâche. Nous avons également ajouté une variation possible de la couleur des éléments présentés de manière aléatoire d'essai en essai afin de voir si cette variable influence également l'effet d'interférence du distracteur. Cette étude montre que l'interférence est plus forte lorsque l'attribut non-pertinent du distracteur varie aléatoirement. Un rejet efficace du distracteur est limité aux cas dans lesquels la caractéristique non-pertinente du distracteur reste la même. Un changement aléatoire de la caractéristique non-pertinente aboutit notamment en une interférence, même sous les conditions les plus favorables (recherche de caractéristique).

Dans cette étude, nous allons ajouter la composante électrophysiologique afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents aux différences de temps de réaction. Les corrélats électrophysiologiques d'une recherche de caractéristique fixe ou mixte ont largement été étudiés dans l'*additional singleton paradigm*. Cependant, les chercheurs ne se sont pas intéressés aux corrélats électrophysiologiques des deux modes de recherche : recherche d'élément unique et recherche de caractéristique. Par conséquent, les mécanismes prévenant une perturbation par un élément de couleur unique saillant, mais non-pertinent dans la recherche de caractéristique ne sont pas réellement compris (par exemple Bacon & Egeth, 1994; Kerzel & Barras, 2016; Leber & Egeth, 2006b; Zehetleitner et al., 2012). De manière générale, il y a deux moyens permettant de résister à une interférence dans une recherche de caractéristique. Les caractéristiques pertinentes pour la tâche peuvent être intensifiées (Folk et al., 1992; Wolfe, 1994), ou le signal distracteur peut être inhibé (Gaspar & McDonald, 2014; Moher, Abrams, Egeth, Yantis, & Stuphorn, 2011; Zehetleitner et al., 2012). Alors que l'intensification des caractéristiques de la tâche devrait se refléter dans un changement de la N2pc à la cible, la suppression des caractéristiques distrayantes devrait se refléter dans un changement au niveau de la P<sub>D</sub>. En partant de l'hypothèse qu'un rejet efficace du distracteur dans la recherche de

caractéristique est réalisé grâce à une forte suppression, nous prédisons une  $P_D$  de plus grande amplitude dans la recherche de caractéristique que dans la recherche d'élément unique. Dans tous les cas, nous ne nous attendons pas à une N2pc en direction du distracteur de couleur dans les deux modes de recherche, car la forme de la cible et des non-cibles ne sont pas interverties.

#### *b. Expérience 4*

Comme développé dans l'introduction, les corrélats électrophysiologiques des recherches de caractéristiques mixtes et fixes dans *l'additionnal singleton paradigm* ont été largement étudiés. Alors que la valorisation des caractéristiques de la cible peut être représentée par un changement de la N2pc en direction de la cible, la suppression des caractéristiques du distracteur peut être représentée par un changement de la  $P_D$  en direction du distracteur. En considérant que le rejet du distracteur est plus efficace lors d'une recherche de caractéristique par une suppression plus forte, nous prédisons une  $P_D$  plus forte dans la recherche de caractéristique que dans la recherche d'élément unique. Dans tous les cas, nous ne nous attendons pas à une N2pc en direction du distracteur de couleur dans les deux types de recherche, car le rôle de la forme de la cible et des non-cibles n'est pas interverti. Nous avons modélisé nos stimuli sur la base d'une étude antécédente de Leber and Egeth (2006b). Dans le mode de recherche d'élément unique, la forme de la cible varie de manière non-prédictive entre un triangle, un losange et un cercle alors que les non-cibles sont toujours des carrés. Dans le mode de recherche de caractéristique, la forme de la cible est un cercle et les non-cibles sont des carrés exceptées pour deux formes qui seront remplacées par deux formes uniques (par exemple un triangle et un losange, voir Figure 21). Les informations détaillées du paradigme sont présentées dans l'Annexe II. Bien qu'il ne soit pas conseillé d'utiliser des displays différents dans les études ERP, nous avons minimisé la différence de luminance entre les différentes formes en ajustant le nombre de pixels composant chaque forme. En effet, le nombre de pixels est identique pour chaque forme et la luminance globale est parfaitement équilibrée. Cependant, il est toujours possible que l'activité neurale varie en fonction des formes. Par exemple, un triangle a plus d'intersections qu'un cercle, mais moins qu'un rectangle et la réponse neurale des cellules du cortex visuel sensible aux intersections peu donc différer. Il n'y a aucun moyen de contrôler ce problème, mais nous pensons que le placement aléatoire des formes entre les essais va annuler ces effets. Afin de mesurer les ERPs latéralisés en direction du distracteur, nous nous sommes particulièrement intéressés à la configuration spatiale dans laquelle la cible est présentée sur la ligne verticale, et

le distracteur sur la gauche ou la droite (voir colonne 5 dans la Figure 21). Cependant, afin de rendre les displays non-prédictibles, la cible et le distracteur sont positionnés aléatoirement selon la configuration spatiale illustrée dans la Figure 21. Nous analyserons uniquement les configurations avec un distracteur ipsi ou contralatéral (voir colonne 3 et 4) où les réponses électrophysiologiques à la cible et les réponses électrophysiologiques au distracteur sont partiellement annulées ou additionnées (Gaspar & McDonald, 2014). Plus précisément, la positivité contralatérale attendue en direction du distracteur et la négativité contralatérale attendue en direction de la cible vont s'additionner quand la cible et le distracteur sont placés sur les côtés opposés, mais vont partiellement s'annuler quand ils sont placés du même côté. De plus, la configuration spatiale représentant la cible latérale sans distracteur ou avec un distracteur sur la ligne verticale (voir colonne 1 et 2) est moins intéressante pour notre objectif actuel, mais nous donne une condition de base très utile. Comme index de signal précoce de saillance, nous évaluons aussi les ERPs latéralisés avant l'intervalle de la N2pc. De plus, nous nous intéresserons à la positivité postérieure entre 140 et 190 ms (Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013). Celle-ci est connue sous le nom de Ppc et reflète un traitement initial basé sur la discontinuité des caractéristiques des stimuli. Ceci peut par la suite guider la sélection attentionnelle ou la suppression indexée par la N2pc et la P<sub>D</sub>. Après une inspection visuelle des données, nous nous sommes focalisés sur un intervalle légèrement plus tardif pour le pic N1, de 160 à 210 ms, mais nous pensons que les mêmes processus sont mesurés.

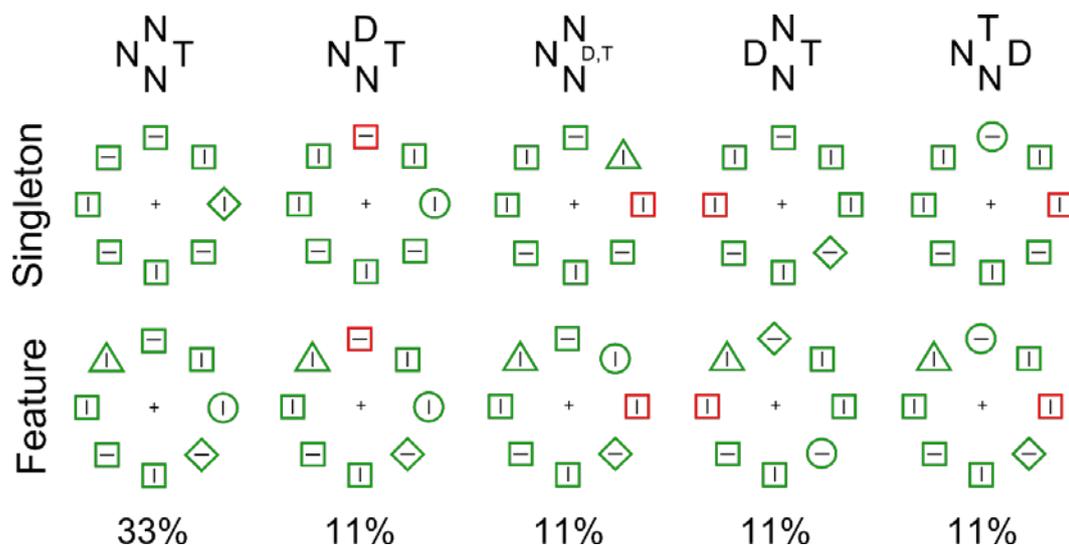


Figure 21 Exemples des stimuli expérimentaux dans les modes de recherche d'élément unique et de caractéristique. La première ligne représente schématiquement les positions des cibles (T), distracteurs (D) et non-cibles (N). Dans la recherche d'élément unique, les participants cherchent une forme pouvant changer aléatoirement (soit un rond, un losange ou un triangle, voir ligne 1) qui est unique parmi des non-cibles uniformes. Dans la recherche de caractéristique, les participants recherchent un cercle parmi différentes formes non-cibles (voir ligne 2). Ici, nous avons toujours présenté la cible et le distracteur en haut et sur la droite, mais la position des stimuli varie aléatoirement dans l'expérience. La prévalence de chaque configuration en pourcentage en fonction du nombre total d'essais est présentée en bas.

## i. Résultats

### *DONNÉES COMPORTEMENTALES*

Seules les conditions avec une cible latérale ou un distracteur latéral sont analysées (78% des essais), étant donné que seuls ces essais peuvent être analysés dans les ERPs latéralisés. Les essais ne correspondant pas au critère en ligne de 2 secondes (0.3%) et les rares anticipations (moins de 0.01%) sont exclus de l'analyse. Par la suite, nous avons supprimé les essais plus lents que 2.5 fois la déviation standard de la moyenne de la condition pour chaque participant, et chaque condition. Nous avons ainsi exclu 3.1% des essais.

### *Temps de réaction*

Les moyennes individuelles ont été entrées dans une ANOVA à facteurs mixtes 2 (*mode de recherche* : élément unique, caractéristique) x 2 (*distracteur* : présent, absent). Comme présenté dans le graphique de gauche de la Figure 22. Nous observons une tendance à avoir des

temps de réaction plus courts dans la recherche de caractéristique comparée à la recherche d'élément unique (673 vs. 713 ms),  $F(1,30) = 2.9, p = .099, \eta_p^2 = .088$ . Les temps de réaction sont plus courts lorsque le distracteur est absent comparé à lorsqu'il est présent (685 vs. 701 ms),  $F(1,30) = 46.71, p < .001, \eta_p^2 = .609$ . L'effet du distracteur est modulé par le mode de recherche,  $F(1,30) = 26.34, p < .001, \eta_p^2 = .468$ , montrant que l'effet du distracteur est plus important dans la détection d'élément unique (698 vs. 728 ms) que dans la recherche de caractéristique (671 vs. 675 ms). Les t-tests montrent que l'effet du distracteur est significatif dans la détection d'élément unique (30 ms),  $t(16) = 6.85, p < .001$  et dans la recherche de caractéristique (4 ms),  $t(14) = 2.19, p = .046$ .

Il a été montré que l'interférence du distracteur est plus forte lorsque la cible et le distracteur sont proches que lorsqu'ils sont éloignés (Gaspar & McDonald, 2014; Mathot, Hickey, & Theeuwes, 2010; Mounts, 2000). Afin d'évaluer l'effet de distance, nous avons mené une ANOVA à facteurs mixtes 2 (*mode de recherche* : élément unique, caractéristique) x 4 (*distance* : 1, 2, 3 ou 4 items) sur les essais où le distracteur est présent. Nous observons des temps de réaction plus courts dans la recherche de caractéristique que dans la recherche d'élément unique,  $F(1,30) = 4.89, p = .035, \eta_p^2 = .14$  et plus courts en augmentant la distance,  $F(3,90) = 24.13, p < .001, \eta_p^2 = .446$ . L'interaction,  $F(3,90) = 7.59, p < .001, \eta_p^2 = .202$ , montre que l'effet de distance est plus important dans la détection d'élément unique que dans la recherche de caractéristique. Une ANOVA à un facteur a été menée pour chaque groupe et montre que les temps de réaction diminuent en augmentant la distance dans la recherche d'élément unique (757, 729, 712 et 711 ms),  $F(3,48) = 22.42, p < .001, \eta_p^2 = .584$  et également dans la recherche de caractéristique (682, 675, 672 et 666 ms),  $F(3,42) = 4.58, p = .007, \eta_p^2 = .246$ .

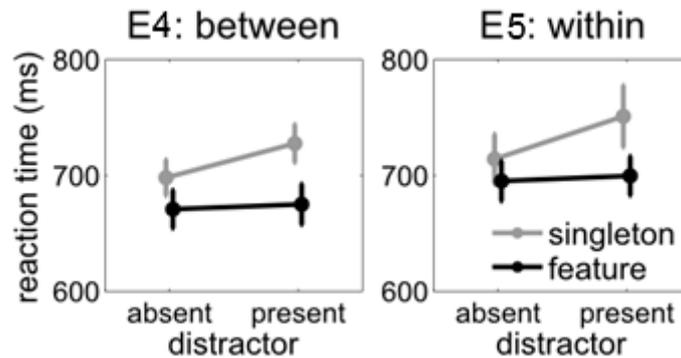


Figure 22 Résultats comportementaux des Expériences 4 et 5. Les temps de réaction moyens sont présentés en fonction de la présence du distracteur, du mode de recherche et de l'expérience. L'expérience 4 a été réalisée en inter-sujets, alors que l'expérience 5 en intra-sujets.

#### *Erreurs de choix*

La même ANOVA que ci-dessus a été menée sur le pourcentage d'erreurs de choix. Les erreurs sont plus fréquentes quand le distracteur est présent que lorsqu'il est absent (4,8% vs. 5.5%),  $F(1,30) = 8.30$ ,  $p = .007$ ,  $\eta_p^2 = .217$ . L'interaction,  $F(1,30) = 5.18$ ,  $p = .03$ ,  $\eta_p^2 = .147$  montre que l'effet du distracteur est plus important dans la détection d'élément unique (5.6% vs. 6.9%) que dans la recherche de caractéristique (4.0% vs. 4.1%).

#### *RÉSULTATS ELECTROPHYSIOLOGIQUES*

Les potentiels ipsi- et contralatéraux des électrodes PO7/PO8 ainsi que les différences d'ondes sont présentées dans la Figure 23. Notez que ipsi et contralatérale ont été déterminés selon la latéralité de la cible à l'exception de la dernière colonne de la Figure 23 où ipsi- et contralatéral sont déterminés selon la latéralité du distracteur.

#### *Aperçu des résultats*

Une différence positive apparaît en direction du distracteur latéral lorsque la cible est verticale dans l'intervalle de N2 (voir colonne 5 de la Figure 23), ce qui correspond à la composante  $P_D$ . Alors que la  $P_D$  apparaît dans la recherche d'élément unique, elle est absente dans la recherche de caractéristique. L'examen des colonnes 1 à 4 de la Figure 23 montre une N2pc robuste en direction des cibles latérales. Au niveau de l'intervalle N1, nous observons une positivité en direction du distracteur. Cette positivité représente la composante  $P_{pc}$ . La positivité

apparaît en direction des distracteurs ipsilatéraux à la cible (voir colonne 3) et des distracteurs latéraux avec une cible verticale (voir colonne 5). Avec les distracteurs contralatéraux (voir colonne 4), la différence positive se transforme en différence négative étant donné que le côté ipsi et contralatéral par rapport au distracteur est inversé. Notez que la cible est toujours utilisée comme référence.

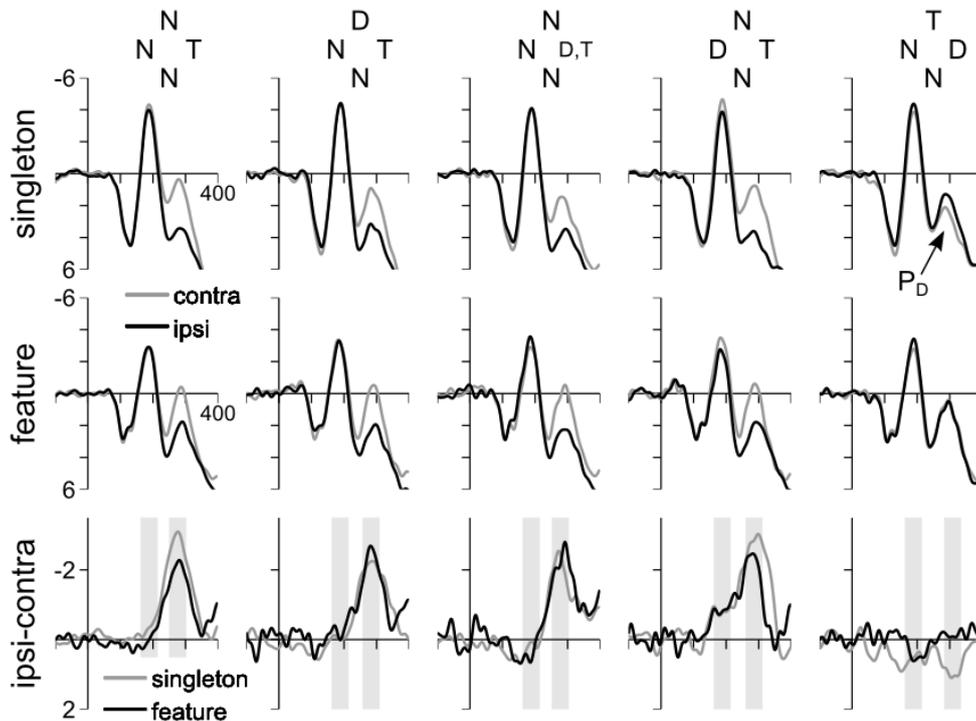


Figure 23 Résultats électrophysiologiques de l'Expérience 4 avec un plan expérimental inter-sujets. Les microvolts sont tracés sur l'axe des y et les millisecondes sur l'axe des x. Les lignes 1 et 2 montrent les ondes contra- et ipsilatérales pour les groupes recherche d'éléments unique et recherche de caractéristique. La ligne 3 montre la différence entre les ondes contra- et ipsilatérales pour les deux groupes. Une représentation schématique indique les positions de la cible (T), du distracteur (D) et des non-cibles (N). Les rectangles gris indiquent les fenêtres temporelles analysées.

#### Intervalle N1

Nous avons réalisé une ANOVA à facteurs mixtes 2 (*mode de recherche* : élément unique, caractéristique) x 5 (*configuration du stimulus* : voir ci-dessus) sur la différence de voltage moyen entre contra et ipsilatéral pour l'intervalle de 163 à 213 ms. L'ANOVA montre que la configuration du stimulus a un effet,  $F(4,120) = 16.99$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .362$ , mais nous n'avons ni un effet du

mode de recherche,  $p = .830$ , ni un effet de l'interaction,  $p = .543$ . L'analyse du graphique en haut à gauche de la Figure 24 montre que l'effet de la configuration est principalement dû à la différence positive avec le distracteur ipsilatéral ( $0.27 \mu\text{V}$ ) et distracteur latéral/cible verticale ( $0.37 \mu\text{V}$ ). À l'inverse, le distracteur contralatéral produit une différence négative ( $-0.82 \mu\text{V}$ ). Ces résultats sont consistants avec la positivité contralatérale en réponse à la couleur du distracteur apparaissant dans l'intervalle N1, similaire à la Ppc. Lorsque le distracteur est présenté du même côté que la cible, la positivité est exprimée par une différence négative pour des raisons techniques. Il est important de préciser que le pattern de résultats est similaire pour les deux modes de recherche. Les t-tests comparant les moyennes pour chaque configuration sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 Voltages moyens ( $\mu\text{V}$ ) pour chaque configuration spatiale dans l'intervalle N1, à travers les modes de recherche, et les résultats des t-tests contre zéro. La taille de l'échantillon est de 32 dans l'expérience 1 (à travers les deux groupes) et de 12 dans l'expérience 2.

position		Experiment 1		Experiment 2			
target	distractor	$\mu\text{V}$	t-value	p-value	$\mu\text{V}$	t-value	p-value
lateral	-	-0.19	-2.62	0.014	-0.15	-1.31	0.217
lateral	midline	-0.16	-1.38	0.167	-0.36	-3.33	0.007
lateral	ipsi	0.27	2.04	0.050	0.41	3.23	0.008
lateral	contra	-0.82	-6.15	<0.001	-0.55	-5.37	<0.001
midline	lateral	0.47	4.07	<0.001	0.51	2.72	0.020

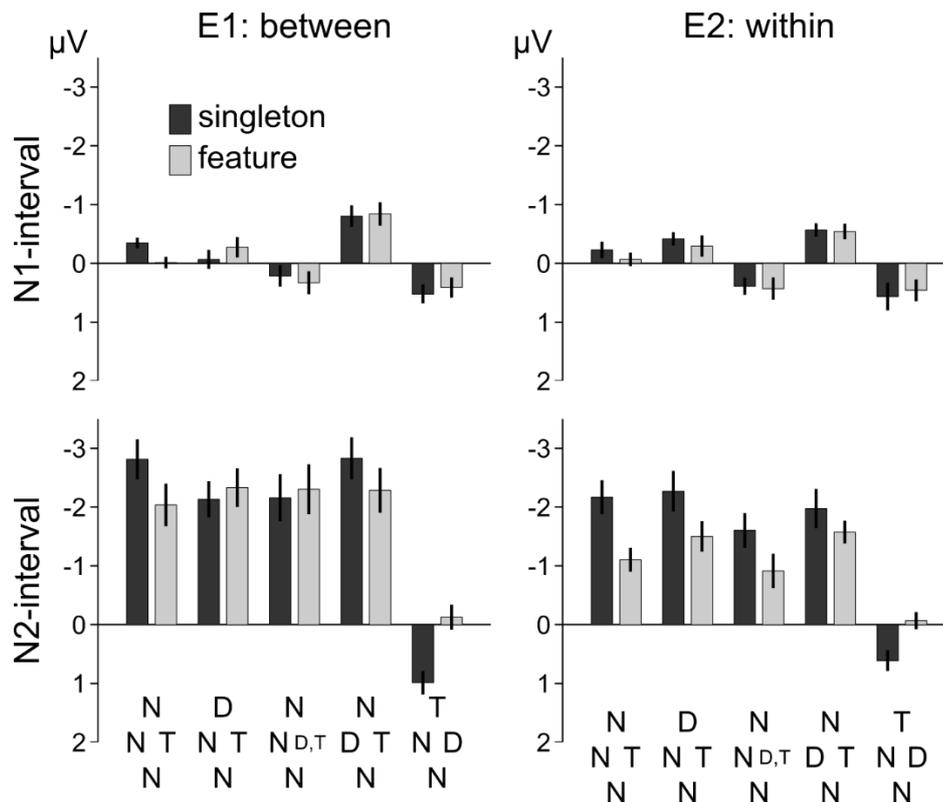


Figure 24 différences de voltage moyen entre les électrodes contra- et ipsilatérales dans l'intervalle N1 (163 à 213 ms, voir ligne 1) et l'intervalle N2pc (entre 250 et 300 ms, voir ligne 2) en fonction de la configuration du stimulus et du mode de recherche pour les Expériences 1 et 2 (colonnes de gauche et droite respectivement). Une représentation schématique indique les positions de la cible (T), du distracteur (D) et des non-cibles (N).

### Intervalle N2

La même ANOVA à facteurs mixtes que ci-dessus montre un effet de la configuration du stimulus,  $F(4,120) = 56.33$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .655$ , indiquant que la différence de voltage change de  $-2.4 \mu\text{V}$  dans les quatre configurations avec la cible latérale à  $0.4 \mu\text{V}$  dans la condition avec la cible verticale et le distracteur latéral (voir partie inférieure gauche de la Figure 24). L'effet de la configuration du stimulus est modulé par le mode de recherche,  $F(4,120) = 4.96$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .142$ , montrant qu'il y a une différence positive significative avec un distracteur latéral/cible verticale dans la recherche d'élément unique ( $1 \mu\text{V}$ ),  $t(16) = 5.56$ ,  $p < .001$ , qui est absente dans la recherche de caractéristique ( $-0.13 \mu\text{V}$ ),  $p = .569$ . Un t-test à échantillon indépendant confirme la différence entre la détection d'élément unique et la recherche de caractéristique,  $t(30) = 3.83$ ,  $p = .001$ . À l'inverse, la configuration spatiale restante ne diffère pas en fonction du mode de recherche,  $ps > .12$ . Ainsi, une  $P_D$  en direction du distracteur apparaît dans la détection d'élément

unique, mais aucun ERP latéralisé n'est trouvé dans la condition avec la recherche de caractéristique. De plus, comme nous pouvons le voir dans la Figure 24, la N2pc est significativement différente de zéro dans toutes les configurations avec une cible latérale,  $t_s > 4.8$ ,  $p_s < .001$ .

Des recherches antérieures montrent que la  $P_D$  en direction du distracteur et la N2pc en direction de la cible (plus précisément : la  $N_T$ ) s'additionnent ou s'annulent partiellement (Gaspar & McDonald, 2014). Nous avons effectué une ANOVA 2 (*mode de recherche* : élément unique, caractéristique) x 2 (*configuration* : distracteur ipsilatéral, distracteur contralatéral) et nous nous attendons à une N2pc plus importante vers la cible latérale avec un distracteur contralatéral plutôt qu'ipsilatéral. L'effet principal de la configuration ne parvient pas à atteindre la significativité (-2.6 vs. -2.2  $\mu V$  pour contra et ipsilatéral),  $F(1,30) = 2.83$ ,  $p = .103$ ,  $\eta_p^2 = .086$ . L'interaction entre le mode de recherche et la configuration approche la significativité,  $F(1,30) = 3.15$ ,  $p = .086$ ,  $\eta_p^2 = .095$ , montrant que la N2pc en direction de la cible est plus importante avec un distracteur contra qu'avec un distracteur ipsilatéral dans la recherche d'élément unique (-2.8 vs. -2.2  $\mu V$ ), mais pas dans la recherche de caractéristique (-2.3 vs -2.3  $\mu V$ ). L'interaction est cohérente avec le fait qu'il y ait une  $P_D$  en direction du distracteur latéral (avec une cible verticale) dans la recherche d'élément unique, mais pas dans la recherche de caractéristique. Par conséquent, une différence entre le distracteur contra et ipsilatéral était attendue uniquement pour la recherche d'élément unique.

## ii. Discussion

Nous avons mesuré des temps de réaction ainsi que des ERPs latéralisés dans les modes de recherche d'élément unique et de caractéristique dans différents groupes de participants. En accord avec la littérature (Bacon & Egeth, 1994; Leber & Egeth, 2006b), nous observons une augmentation des temps de réaction avec un distracteur de couleur saillant, mais non-pertinent dans le groupe recherche d'élément unique, mais cette augmentation est presque absente dans le groupe recherche de caractéristique. Ceci suggère que le distracteur est rejeté dans le groupe recherche de caractéristique. En outre, l'interférence diminue avec l'augmentation de la distance entre la cible et le distracteur dans les deux groupes. Le résultat principal découlant de l'enregistrement ERP est une  $P_D$  en direction du distracteur dans le groupe élément unique, mais pas dans le groupe caractéristique. Ceci suggère que la résistance à l'interférence dans le groupe

caractéristique n'est pas basée sur une suppression active. De plus, nous observons une positivité précoce en direction du distracteur dans l'intervalle N1 qui dépend du type de recherche. Nous considérons cette différence de positivité comme une composante Ppc qui est connue pour refléter un déséquilibre de saillance (Fortier-Gauthier et al., 2012).

### *c. Expérience 5*

Le but principal de l'expérience 5 est de confirmer les résultats de l'expérience 4 avec un plan expérimental intra-sujets. Les conditions de recherche sont appliquées au même groupe de participants durant deux sessions séparées. Dans chaque session, la recherche d'élément unique et la recherche de caractéristique sont alternées dans 4 blocs de 288 essais. Les couleurs sont interverties après deux blocs.

#### *i. Résultats*

##### *DONNÉES COMPORTEMENTALES*

Les essais ne répondant pas au critère en ligne de 2 secondes (0.4%), les rares anticipations (moins de 0.01%) et les extrêmes (3.2%) sont exclus de l'analyse.

##### *Temps de réaction*

Les temps de réaction individuels moyens ont été entrés dans une ANOVA intra-sujets 2 (*mode de recherche* : élément unique, caractéristique) x 2 (*distracteur* : présent, absent). Comme le présente la Figure 22, les temps de réaction sont plus courts pour la recherche de caractéristique que pour la recherche d'élément unique (690 vs. 726 ms),  $F(1,11) = 9.13$ ,  $p = .012$ ,  $\eta_p^2 = .454$ , et lorsque le distracteur est absent comparé aux essais où il est présent (698 vs. 718 ms),  $F(1,11) = 30.84$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .737$ . L'effet du distracteur est modulé par le mode de recherche,  $F(1,11) = 16.89$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .606$ , montrant que l'effet du distracteur est plus important dans la recherche d'élément unique (707 vs. 744 ms) que dans la recherche de caractéristique (688 vs. 692 ms). Un t-test montre que l'effet du distracteur est significatif dans la recherche d'élément unique (37 ms),  $t(11) = 5.25$ ,  $p < .001$ , mais pas dans la recherche de caractéristique (5 ms),  $t(11) = 1.46$ ,  $p = .172$ .

Afin d'évaluer l'effet de la distance entre la cible et le distracteur, nous avons mené une ANOVA intra-sujets 2 (*modes de recherche* : élément unique, caractéristique) x 4 (*distance* : 1, 2, 3 ou 4 items) sur les temps de réaction de la condition avec distracteur. Nous obtenons des temps

de réaction plus courts pour la recherche de caractéristique que pour la recherche d'élément unique,  $F(1,11) = 11.3$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .507$ , et des temps de réaction plus courts lorsque la distance augmente (739, 726, 717 et 715 ms),  $F(3,33) = 9.16$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .454$ . L'interaction n'est pas significative,  $p = .352$ , suggérant que l'effet de distance ne diffère pas entre les deux modes de recherche.

#### *Erreurs de choix*

La même ANOVA que ci-dessus a été menée sur le pourcentage d'erreurs de choix. Nous observons une tendance à avoir des erreurs moins fréquentes lorsque le distracteur est absent, comparée aux essais où il est présent (3.8% vs. 4.3%),  $F(1,11) = 3.88$ ,  $p = .074$ ,  $\eta_p^2 = .261$ . L'interaction n'est pas significative,  $p = .489$ .

### *RÉSULTATS ELECTROPHYSIOLOGIQUES*

#### *Aperçu des résultats*

Les potentiels ipsi- et contralatéraux des électrodes PO7/PO8 ainsi que les différences d'ondes sont présentés dans la Figure 25. La comparaison des Figures 23 et 25 suggère que les résultats sont similaires dans les plans expérimentaux inter et intra-sujets à une exception près. Dans le plan expérimental intra-sujets, de cette expérience, la N2pc à la cible (colonne 1 à 4 de la Figure 25) est plus large dans la recherche d'élément unique que dans la recherche de caractéristique. Cette différence n'est pas significative dans le plan expérimental inter-sujets de l'Expérience 4. Sinon, les autres résultats sont très similaires. Il y a une  $P_D$  dans l'intervalle N2 dans la recherche d'élément unique qui n'est pas présente dans la recherche de caractéristique (voir colonne 5). De plus, nous observons une positivité vers le distracteur dans l'intervalle N1 avec le distracteur ipsilatéral et avec le distracteur/cible verticale (voir colonne 3 et 5) qui se transforme en différence négative avec le distracteur contralatéral (voir colonne 4) pour des raisons techniques.

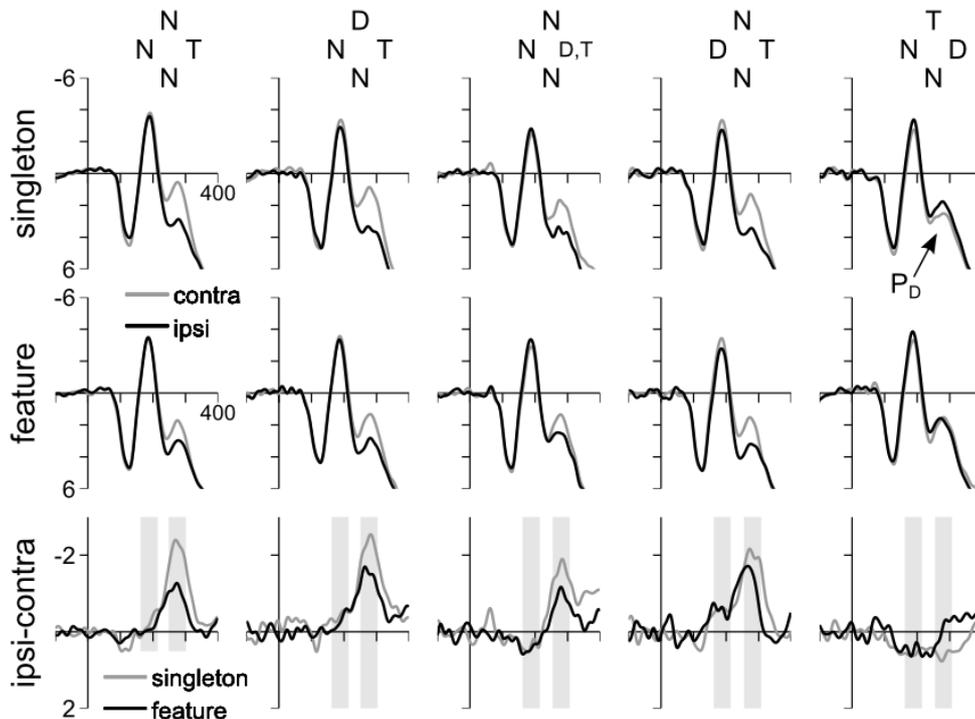


Figure 25 Résultats électrophysiologiques de l'Expérience 5 avec un plan expérimental intra-sujets. Les microvolts sont tracés sur l'axe des y et les millisecondes sur l'axe des x. Les lignes 1 et 2 montrent les ondes contra- et ipsilatérales pour les groupes recherche d'élément unique et recherche de caractéristique. La ligne 3 montre la différence entre les ondes contra- et ipsilatérales pour les deux groupes. Une représentation schématique indique les positions de la cible (T), du distracteur (D) et des non-cibles (N). Les rectangles gris indiquent les fenêtres temporelles analysées.

#### *Intervalle N1*

Nous avons mené une ANOVA intra-sujets 2 (*mode de recherche* : élément unique, caractéristique) x 5 (*configuration du stimulus* : voir ci-dessus) sur la différence de voltage moyen entre contra et ipsilatéral sur l'intervalle allant de 163 à 213 ms (voir graphique en haut à droite de la Figure 24). Les résultats montrent que la configuration du stimulus a un effet,  $F(4, 44) = 19.44$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .639$ , mais nous n'avons ni un effet du mode de recherche,  $p = .530$ , ni un effet de l'interaction,  $p = .868$ . L'analyse du graphique en haut à droite de la Figure 23 montre que l'effet principal de la configuration est principalement dû à une différence positive avec un distracteur ipsilatéral (0.41  $\mu\text{V}$ ) et un distracteur latéral/cible verticale (0.51  $\mu\text{V}$ ). À l'inverse, un distracteur contralatéral produit une différence négative (-0.55  $\mu\text{V}$ ). Ces données sont cohérentes avec une positivité contralatérale en réponse à un distracteur de couleur apparaissant dans l'intervalle N1, similaire à une Ppc. Le pattern de résultats ne change donc pas

en fonction du mode de recherche. Les t-tests comparant les moyennes pour chaque configuration sont présentés dans le Tableau 2.

#### *Intervalle N2*

La même ANOVA à facteurs mixtes que ci-dessus indique un effet de la configuration du stimulus,  $F(4,44) = 29.83$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .731$ , montrant que la différence de voltage change de  $-1.6 \mu\text{V}$  dans les quatre configurations avec la cible latérale à  $0.2 \mu\text{V}$  dans la condition avec la cible verticale et le distracteur latéral (voir le graphique en bas à droite dans la Figure 24). La différence de voltage est plus importante dans la recherche d'élément unique que dans la recherche de caractéristique ( $-1.2$  vs.  $-1.0 \mu\text{V}$ ),  $F(1,11) = 6.82$ ,  $p = .024$ ,  $\eta_p^2 = .383$ . L'interaction entre la configuration du stimulus et le mode de recherche est significative,  $F(4,44) = 10.64$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .492$ , montrant une différence positive significative avec un distracteur latéral/cible verticale dans la recherche d'élément unique ( $0.6 \mu\text{V}$ ),  $t(11) = 3.46$ ,  $p = .005$ , alors que cette différence est absente dans la recherche de caractéristique ( $-0.1 \mu\text{V}$ ),  $p = .66$ . Un t-test confirme la différence entre la recherche d'élément unique et la recherche de caractéristique,  $t(11) = 3.90$ ,  $p = .002$ . Ainsi, une  $P_D$  au distracteur apparaît dans la recherche d'élément unique et aucun ERP latéralisé n'apparaît dans la recherche de caractéristique. Ces résultats répliquent ceux de l'Expérience 4.

Ensuite, nous avons soumis les quatre configurations avec une cible latérale à une ANOVA 2 (*modes de recherche* : élément unique, caractéristique) x 4 (*configuration du stimulus* : voir ci-dessus) pour examiner séparément la N2pc à la cible latérale. L'ANOVA montre un effet principal du mode de recherche,  $F(1,11) = 11.28$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .506$ , indiquant que la N2pc à la cible est effectivement plus importante dans la recherche d'élément unique que dans la recherche de caractéristique ( $-2.0$  vs.  $-1.3 \mu\text{V}$ ). L'effet principal de la configuration spatiale,  $F(3,33) = 3.90$ ,  $p = .017$ ,  $\eta_p^2 = .262$  montre que la N2pc est plus petite avec un distracteur ipsilatéral ( $-1.3 \mu\text{V}$ ) qu'avec une cible seule ( $-1.6 \mu\text{V}$ ) qu'avec une cible verticale ( $-1.9 \mu\text{V}$ ) et qu'avec un distracteur contralatéral ( $-1.8 \mu\text{V}$ ).

Afin d'approfondir l'idée que la  $P_D$  en direction du distracteur et la N2pc à la cible s'additionnent ou s'annulent partiellement (Gaspar & McDonald, 2014), nous avons mené une ANOVA 2 (*mode de recherche* : élément unique, caractéristique) x 2 (*configuration* : distracteur ipsilatéral, distracteur contralatéral) et nous nous attendons à une N2pc plus large en direction des cibles latérales avec un distracteur contralatéral plutôt qu'ipsilatéral. L'effet principal du mode de recherche est confirmé,  $F(1,11) = 6.13$ ,  $p = .031$ ,  $\eta_p^2 = .358$ , et l'effet principal de la

configuration approche la significativité,  $F(1,11) = 4.58$ ,  $p = .056$ ,  $\eta_p^2 = .294$  montrant une N2pc plus négative pour les cibles latérales avec un distracteur contralatéral plutôt qu'ipsilatéral (-1.8 vs. -1.3  $\mu\text{V}$ ) ce qui est cohérent avec la proposition. Cependant, l'interaction n'est pas significative,  $p = .407$ .

## ii. Discussion

Nous avons répliqué le résultat le plus important de l'Expérience 4 : il y a une  $P_D$  en direction du distracteur de couleur dans la recherche d'élément unique, mais pas d'ERP latéralisé dans l'intervalle N2 pour la recherche de caractéristique. Il y a donc des preuves de suppression de stimuli saillants, mais non-pertinents lorsque le participant cherche une forme unique, mais pas lorsqu'il cherche une caractéristique précise. À nouveau, nous obtenons une positivité en direction du distracteur dans l'intervalle N1 quel que soit le mode de recherche. Cette positivité précoce peut correspondre à la composante Ppc. Il y a également des preuves que la  $P_D$  en direction du distracteur et la N2pc vers la cible s'additionnent.

Cependant, il y a une différence importante entre un plan expérimental inter et intra-sujets. Dans cette expérience, nous observons une N2pc réduite en direction des cibles dans la recherche de caractéristique comparée à la recherche d'élément unique. À l'inverse, il n'y a pas d'effet du mode de recherche sur la N2pc vers la cible dans l'Expérience 4. Il est possible que nous n'ayons pas assez de puissance pour détecter une telle différence dans le plan expérimental inter-sujets. Le changement de l'amplitude de la N2pc peut être en lien avec les exigences de la tâche. Luck, Girelli, McDermott, and Ford (1997) ont trouvé une N2pc réduite avec une tâche de détection de caractéristique facile comparée à une tâche de discrimination d'orientation difficile. Ceci suggère que l'amplitude de la N2pc reflète la difficulté d'une tâche de recherche. Par conséquent, la N2pc plus large dans la recherche d'élément unique montre qu'une recherche guidée par la saillance est moins efficace qu'une recherche de caractéristique non-saillante, mais fixe. Afin de renforcer cette conclusion, nous avons comparé les temps de réaction dans la condition où le distracteur est absent. Les temps de réaction sont 19 ms plus courts dans la recherche de caractéristique que dans la recherche d'élément unique (688 vs. 707 ms),  $t(11) = 2.18$ ,  $p = .052$  confirmant que la recherche de caractéristique est plus efficace<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Lorsque les deux participants exclus sont remis dans l'échantillon, cette différence atteint la significativité (19 ms),  $t(13) = 2.27$ ,  $p = .04$ .

#### d. Discussion Générale

Nous obtenons une  $P_D$  en direction du distracteur dans la recherche d'élément unique, mais pas d'ERP latéralisé dans la recherche de caractéristique. Nous concluons que la suppression du distracteur, indexée par la  $P_D$ , est associée avec une interférence au niveau des temps de réaction dans la recherche d'élément unique. À l'inverse, il n'y a pas d'interférence au niveau comportemental dans la recherche de caractéristique lorsque le distracteur de couleur est présent et la  $P_D$  absente. Par conséquent, notre résultat principal est que les conditions qui échappent à une interférence du distracteur saillant, mais non-pertinent ne montrent pas de preuve électrophysiologique de suppression, alors que les conditions avec cette interférence sont associées à une  $P_D$ .

En ce qui concerne les mécanismes prévenant une perturbation par le distracteur saillant, mais non-pertinent lors d'une recherche de caractéristique, les présents résultats privilégient la perspective d'une résistance à l'interférence établie par un renforcement des caractéristiques de la cible (par exemple Folk et al., 1992; Wolfe, 1994) plutôt que par une suppression du distracteur (par exemple Gaspar & McDonald, 2014; Moher et al., 2011; Zehetleitner et al., 2012). La  $N2pc$  à la cible réduite dans la recherche de caractéristique de l'Expérience 5 suggère qu'il est plus facile de localiser la cible dans la recherche de caractéristique que dans la recherche d'élément unique. Ceci est attribué à un renforcement des caractéristiques de la cible.

Les explications alternatives concernant la  $N2pc$  réduite dans la recherche de caractéristique sont moins probables. Par exemple, nous pourrions dire que le priming inter-essais explique l'avantage de la recherche de caractéristique sur la recherche d'éléments uniques (Lamy, Carmel, Egeth, & Leber, 2006; Leonard & Egeth, 2008). Dans la recherche de caractéristique, la caractéristique de la cible est sélectionnée de manière répétitive, ce qui facilite la recherche (pour une revue Lamy & Kristjansson, 2013), alors que la caractéristique de la cible n'est pas répétée aussi souvent dans la recherche d'élément unique. Cependant, le priming inter-essais ne peut pas entièrement rendre compte de la résistance à l'interférence dans la recherche de caractéristique. En effet, les caractéristiques de la cible sont aussi répétées dans la version de recherche de caractéristique fixe de *l'additional singleton paradigm*, où une interférence comportementale robuste et une  $P_D$  en direction du distracteur ont été observées (Burra & Kerzel, 2013; Jannati et al., 2013). Nous pensons plutôt que les exigences de la tâche dans la recherche de caractéristique résultent en un renforcement des caractéristiques de la cible ce qui

se reflète par une N2pc réduite en direction de la cible. Une conclusion similaire a été obtenue dans un paradigme d'indication spatiale modifiée, où l'indice non-pertinent peut être totalement ignoré au profit des stimuli pertinents pour la tâche (Folk et al., 1992; Lien et al., 2008).

De plus, l'absence de  $P_D$  dans la recherche de caractéristique et sa présence dans la recherche d'élément unique suggère que la suppression du distracteur est un processus coûteux qui entraîne un délai. Il a préalablement été constaté que la  $P_D$  au distracteur est présente dans les essais avec des temps de réaction courts, suggérant que la suppression aide les participants à localiser la cible (Gaspar & McDonald, 2014; Jannati et al., 2013; McDonald, Green, Jannati, & Di Lollo, 2013). Nous pourrions donc supposer que la  $P_D$  apparaît dans la recherche de caractéristique où le rejet du distracteur est réussi. Cependant, les données de ces études suggèrent que la  $P_D$  apparaît uniquement lorsque le traitement du distracteur est initié. Dans ce cas, une suppression active peut être nécessaire afin d'éloigner l'attention du stimulus saillant, mais non-pertinent. Ainsi, l'élimination de l'interférence du distracteur dans la recherche de caractéristique est accomplie par les paramètres *top-down* qui prévient des traitements ultérieurs du distracteur, probablement en augmentant les paramètres *top-down* pour la caractéristique de la cible.

Les présents résultats approfondissent l'hypothèse sur la suppression du signal (Sawaki et al., 2012; Sawaki & Luck, 2010, 2013) de manière importante. En accord avec cette hypothèse, des stimuli saillants génèrent un « *attend-to-me signal* » qui est supprimé s'il ne correspond pas avec la tâche *top-down*. Les résultats de la recherche d'élément unique sont pleinement cohérents avec l'hypothèse de suppression. Il y a une Ppc en direction du stimulus saillant, mais non-pertinent, reflétant le « *attend-to-me signal* », suivi par une  $P_D$  reflétant la suppression. Cependant, un élément unique de même couleur produit un « *attend-to-me signal* », mais pas de suppression lorsque le participant fait une recherche de caractéristique. Ainsi, les paramètres *top-down* sont suffisamment forts pour empêcher des signes comportementaux de capture attentionnelle et éviter des traitements de « *attend-to-me signal* ». Ceci rend donc la suppression inutile.

i. Somme de  $P_D$  et N2pc ( $N_T$ )

Comme nous l'avons développé dans l'introduction, la N2pc serait composée d'une négativité contralatérale liée à la cible attendue ( $N_T$ ) à laquelle s'ajoute une positivité

contralatérale découlant du distracteur inattendu ( $P_D$ ), donnant ainsi l'hypothèse des sommes (Gaspar & McDonald, 2014; Hickey et al., 2009). Dans cette étude, nous avons trouvée des preuves en lien avec l'amplitude de la N2pc en faveur de l'hypothèse des sommes. La N2pc tend à être plus large avec un distracteur contralatéral qu'avec un distracteur ipsilatéral. Avec des distracteurs contralatéraux, la positivité contralatérale au distracteur et la négativité contralatérale à la cible viendraient s'ajouter, alors qu'elles s'annuleraient partiellement avec un distracteur ipsilatéral.

Cependant, l'hypothèse des sommes prédit une différence entre les configurations contra et ipsilatérales seulement lorsqu'il y a une  $P_D$  en direction du distracteur. Dans la recherche de caractéristique, la  $P_D$  en direction du distracteur est absente, mais il y a seulement un faible soutien statistique pour cette réduction de différence entre les distracteurs ipsi et contralatéraux dans cette condition. C'est pourquoi l'interaction du mode de recherche et de la configuration (contra-, ipsilatéral) approche la significativité dans l'Expérience 4, mais n'est pas significative dans l'Expérience 5. Il est possible que la somme de la  $P_D$  liée au distracteur et de la N2pc liée à la cible soit masquée par la légère différence d'apparition des deux composantes qui fait que cette différence est incertaine dans notre jeu de données.

## ii. Effet de la distance entre cible et distracteur

Nous avons observé que l'interférence est plus forte avec un distracteur proche qu'avec un distracteur éloigné indépendamment du mode de recherche. D'autres études ont montré une interférence plus forte en présence d'un distracteur proche avec une compétition plus importante entre les stimuli qui sont dans le même champ récepteur (Gaspar & McDonald, 2014; Mathot et al., 2010; Mounts, 2000). Mounts (2000) suggère que la cible perd initialement la compétition avec un distracteur saillant. Étant donné que la compétition est plus forte avec un faible espace entre la cible et le distracteur qu'avec une distance plus importante, l'interférence comportementale est également plus forte. Étonnamment, l'effet de distance dans notre étude persiste dans la recherche de caractéristique où l'interférence comportementale est absente. Les temps de réaction dans la condition avec le distracteur oscillent autour de la moyenne avec la condition sans distracteur, de +11 à -5 ms dans le plan expérimental inter-sujets à +17 à -10 ms dans le plan expérimental intra-sujets. Il semble donc que la compétition entre la cible et le distracteur ne perturbe pas seulement le traitement à une faible distance, mais tend aussi à

faciliter la sélection à une plus grande distance quand les participants sont dans une recherche de caractéristique. Dans tous les cas, l'effet de distance est indépendant de la suppression du distracteur, comme la  $P_D$  est absente dans la recherche de caractéristique. Cependant, l'effet de distance persiste.

### iii. La Composante Ppc

Une positivité postérieure contralatérale dans la fenêtre temporelle 100-200 ms a été observée dans des études antérieures avec un élément unique de couleur saillante présenté à une position latérale (Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013; Leblanc et al., 2008; Sawaki & Luck, 2010). Ceci fait référence à la Ppc selon Fortier-Gauthier et al. (2012) et à la  $P_D$  selon Sawaki and Luck (2010). Nous avons décidé de nous référer à la Ppc pour éviter la confusion avec la  $P_D$  dans l'intervalle N2. Comme la couleur est isoluminante et contrebalancée pour chaque participant, la Ppc ne peut pas refléter un déséquilibre de luminance. Fortier-Gauthier et al. (2012) suggèrent que la Ppc peut refléter le traitement initial des stimuli basé sur la discontinuité des caractéristiques. Cependant, les présents résultats montrent que toutes les discontinuités ne résultent pas en une Ppc. Alors qu'un stimulus de couleur suscite une Ppc lorsqu'il est latéralisé, une seule forme unique latérale n'implique pas de Ppc (voir colonnes 1 et 2 des Figures 23 et 25). Il est probable que la Ppc soit exclusivement sensible à une discontinuité dans les couleurs, car toutes les informations antérieures sur la Ppc impliquent des couleurs. D'autres parts, il est également possible que la discontinuité des formes ne soit pas suffisamment saillante pour produire une Ppc.



### 3. L'Effet de Similarité

#### a. But de l'Étude

Dans cette troisième étude, nous avons repris l'*additional singleton paradigm* de Theeuwes développé auparavant. Il est difficile de rechercher un objet cible particulier lorsqu'il partage des caractéristiques avec des objets non-cible l'entourant. Cependant, il est très facile de trouver un objet qui est très différent (Duncan & Humphreys, 1989). Nous allons tenter de répondre à deux questions principales à l'aide de cette série d'expériences. Tout d'abord, nous voulons savoir si la distraction par un stimulus saillant, mais non-pertinent est plus forte lors d'une tâche de recherche visuelle facile ou difficile. De plus, nous voulons voir si la saillance d'un stimulus est utilisée de la même manière durant la recherche d'une cible, que lors de l'évitement d'un stimulus saillant, mais non-pertinent.

Pourquoi observons-nous, dans certaines études, une capture attentionnelle (N2pc) et dans d'autres une suppression attentionnelle ( $P_D$ ) du distracteur saillant, mais non-pertinent ? Nous avons récemment suggéré que le contexte des essais peut expliquer cette différence de résultats (Barras & Kerzel, 2016a). Une capture attentionnelle (une N2pc en direction du distracteur) est observée lorsqu'une cible et les non-cibles changent de rôle aléatoirement selon les essais, et l'interférence comportementale est plus importante (Burra & Kerzel, 2013; Hickey et al., 2006; Hilimire & Corballis, 2014; Kiss et al., 2012). À l'inverse, une suppression attentionnelle (une  $P_D$  au distracteur) apparaît lorsque la cible est fixe, et l'interférence du distracteur est faible (Barras & Kerzel, 2016a; Burra & Kerzel, 2013; Jannati et al., 2013). En effet, l'absence de cible fixe peut altérer les buts de la recherche (*attentional set*) du participant. Avec une recherche de caractéristique fixe, le poids de la carte de caractéristique peut augmenter ce qui aboutit à une meilleure activation dans la carte de saillance, et facilite la recherche. À l'inverse, lorsque les caractéristiques de la cible ne sont pas prédictibles, le poids des caractéristiques ne peut pas être ajusté avant l'apparition du stimulus, et le temps de recherche sera plus long. La raison de ces différences dans les performances de recherche se situe au niveau des attentes *top-down* en lien avec la tâche de recherche.

L'expérience 6 a pour but de résoudre la contradiction entre les prédictions provenant du modèle de carte de saillance de la recherche visuelle et une étude antérieure de Proulx and Egeth (2006). Si les prédictions théoriques du modèle de carte de saillance sont confirmées et que nous observons qu'il y a moins de distraction avec une cible saillante (faible similarité entre cible et

non-cible), nous pouvons donc toujours assurer la réduction de l'effet du distracteur lorsque la saillance du distracteur est faible. Plus précisément, la saillance perçue peut diminuer quand le contexte devient non-homogène, car la saillance de la cible est vue (Duncan & Humphreys, 1989; Feldmann-Wustefeld & Schubo, 2015; Mazza et al., 2009a). À l'inverse, une cible discrète va impliquer un contexte plus homogène et le distracteur de couleur peut être plus saillant. Afin d'exclure cette explication alternative, nous avons inversé le rôle de la cible et du distracteur dans l'expérience 7. À la place de chercher une forme cible de saillance variable avec un distracteur de couleur, les participants cherchent une cible de couleur parmi des distracteurs de saillance variable. Si les temps de réaction pour la cible de couleur ne sont pas affectés par la saillance de la forme distractrice, nous pouvons exclure que la saillance de l'élément unique de couleur diminue vers un contexte moins homogène.

#### *b. Expérience 6*

Dans cette expérience, les participants vont devoir réaliser une tâche basée sur l'*additional singleton paradigm*. Ils doivent chercher un carré, et indiquer l'orientation de la barre à l'intérieur en pressant l'une des deux touches. La similarité entre les cibles et les non-cibles est basse lorsque les non-cibles sont des cercles, alors qu'elle est haute lorsque les non-cibles sont des losanges, plus précisément des carrés avec une rotation de 45 ° (Figure 26) (Von Grünau, Dube, & Galera, 1994). Les informations détaillées du paradigme sont présentées dans l'Annexe III. Comme pour les autres études, nous avons focalisé nos analyses sur la condition sans distracteur, et la condition avec une cible verticale et un distracteur latéral.

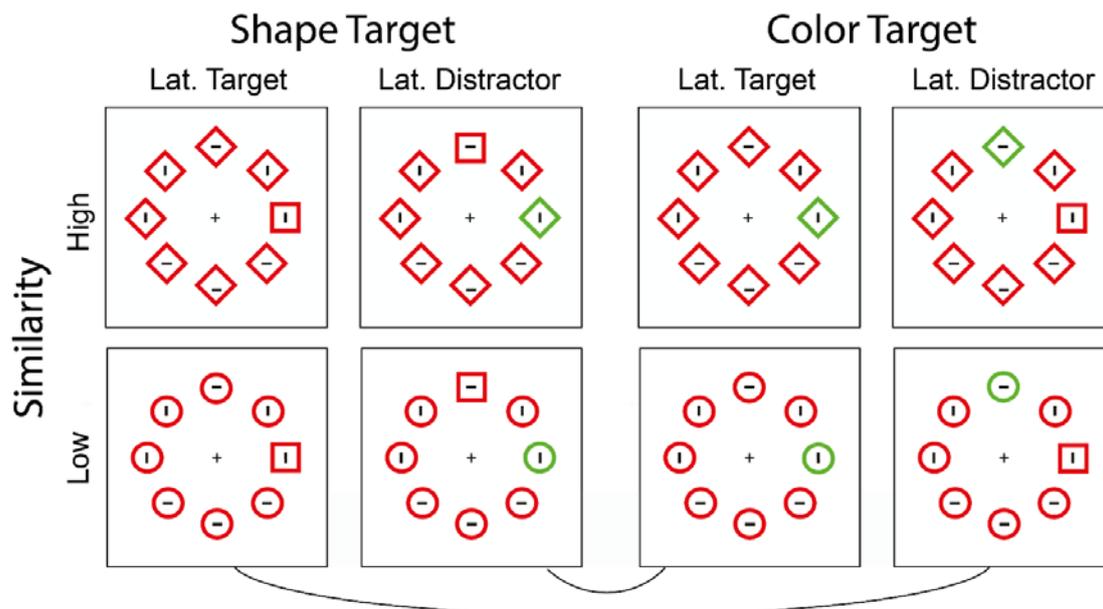


Figure 26 Illustration des conditions expérimentales. Dans l'expérience 6, la cible est la forme unique (le carré). Dans l'expérience 7, la cible est la couleur unique (vert dans l'exemple). La similarité des formes est haute lorsque les non-cibles sont des losanges (ligne du haut), et basse lorsque les non-cibles sont des cercles (ligne du bas).

i. Résultats

*RÉSULTATS COMPORTEMENTAUX*

La différence de moyenne entre les essais avec distracteur et les essais sans distracteur (effet du distracteur) est présentée dans la Figure 27. Une ANOVA à mesures répétées 2 (*similarité* : haute, basse) x 2 (*distracteur* : présent, absent) a été menée. Les résultats montrent que les temps de réaction sont plus courts en cas de basse similarité que de haute similarité (682 vs. 771 ms),  $F(1, 14) = 37.55, p < .001, \eta_p^2 = .728$ , confirmant que notre manipulation de similarité entre la cible et les non-cibles fonctionne. Les temps de réaction sont plus courts lorsque le distracteur est absent comparé à la condition où il est présent (688 vs. 725 ms),  $F(1, 14) = 31.25, p < .001, \eta_p^2 = .691$ . De plus, l'interaction,  $F(1, 14) = 20.69, p < .001, \eta_p^2 = .597$ , montre que l'effet du distracteur est plus important dans la condition de haute similarité (50 ms) que dans la condition de basse similarité (25 ms). Les deux moyennes sont significativement différentes de zéro,  $ts(14) > 4.62, ps < .001$ . Nous avons également analysé les effets de distance entre la cible et le distracteur. Des recherches antérieures suggèrent qu'un distracteur proche de la cible induirait une interférence plus importante qu'un distracteur éloigné de la cible (Mathot et al.,

2010; Mounts, 2000). Nous avons donc analysé les essais avec un distracteur dans une ANOVA 2 (*similarité* : haute, basse) x 4 (*distance* : 1-4 items). Nous avons observé un effet de similarité,  $F(1, 15) = 46.28, p < .001, \eta_p^2 = .755$ , avec des temps de réaction plus courts en cas de basse similarité que de haute similarité (690 vs. 777 ms). Les temps de réaction diminuent lorsque la distance entre la cible et le distracteur augmente,  $F(3, 45) = 24.41, p < .001, \eta_p^2 = .619$ , mais l'interaction entre la similarité et la distance,  $F(3, 45) = 4.11, p = .012, \eta_p^2 = .215$ , montre que cette diminution est plus forte en cas de haute similarité (816, 793, 758, 743 ms) qu'en cas de basse similarité (717, 688, 680, 675 ms).

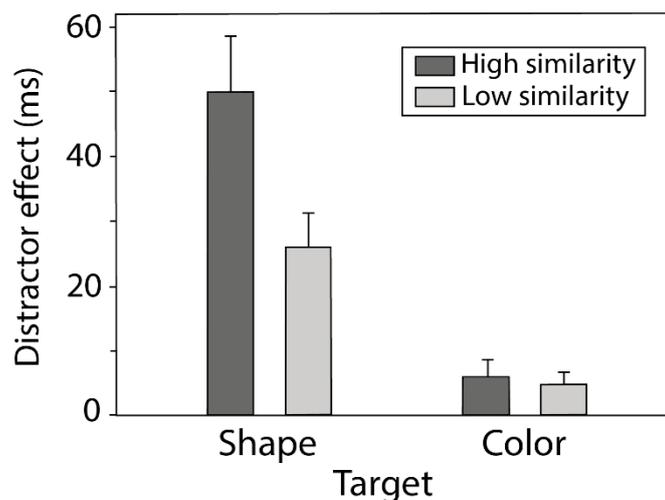


Figure 27 Effet du distracteur pour les expériences 6 (à gauche) et 7 (à droite). L'effet du distracteur diffère entre les essais avec et sans distracteur. Dans l'expérience 6, la cible est une forme unique qui est similaire ou dissimilaire par rapport aux formes non-cibles. Le distracteur est une forme de couleur différente. Dans l'expérience 7, la cible est une forme de couleur différente, et le distracteur est une forme qui est soit similaire ou dissimilaire par rapport aux autres non-cibles. Les barres d'erreurs montrent la déviation standard par rapport à la moyenne.

## RÉSULTATS ELECTROPHYSIOLOGIQUES

### L'intervalle N2

Les ERPs sont présentés dans la Figure 28 et les fenêtres temporelles analysées sont grisées. La fenêtre temporelle pour la N2pc/P<sub>D</sub> correspond à 240-280 ms (gris foncé). Cette fenêtre temporelle a été choisie, car elle est proche du pic de la N2. L'intervalle de temps a été adapté à 270-310 ms pour la condition avec distracteur latéral dans la condition de haute similarité. En effet, cette fenêtre temporelle reflète le pic plus tardif observé sur les différences

d'ondes (voir en bas à gauche sur la Figure 28 et l'analyse des latences). Une ANOVA à mesures répétées 2 (*configuration spatiale* : cible latérale, distracteur latéral) x 2 (*similarité* : haute, basse) a été menée sur la différence de voltage entre les ERPs contra et ipsilatéraux sur les électrodes PO7/PO8. La différence de voltage est plus négative avec la cible latérale qu'avec un distracteur latéral (-0.98 vs. -0.11  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 14) = 7.08$ ,  $p = .019$ ,  $\eta_p^2 = .336$ , indiquant que la N2pc apparaît pour les cibles latérales. L'interaction entre la configuration spatiale et la similarité,  $F(1, 14) = 13.87$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .498$ , montre que la différence de voltage pour les cibles latérales tend à être plus négative avec une basse similarité qu'avec une haute similarité (-1.21 vs. -0.75  $\mu\text{V}$ ),  $t(14) = 1.80$ ,  $p = .094$ , alors que pour les distracteur latéraux, la différence de voltage est plus positive avec une basse similarité qu'avec une haute similarité (0.40 vs. -0.63  $\mu\text{V}$ ),  $t(14) = -3.41$ ,  $p = .004$ . Les résultats des t-tests pour chacune des quatre conditions montrent que pour les cibles latérales, la N2pc est significative pour la basse  $t(14) = -3.47$ ,  $p = .004$ , et la haute similarité,  $t(14) = -2.28$ ,  $p = .039$ . Avec les distracteurs latéraux, il y a une N2pc significative en cas de haute similarité,  $t(14) = -2.92$ ,  $p = .011$ , et une  $P_D$  significative avec une basse similarité,  $t(14) = 3.03$ ,  $p = .009$ .

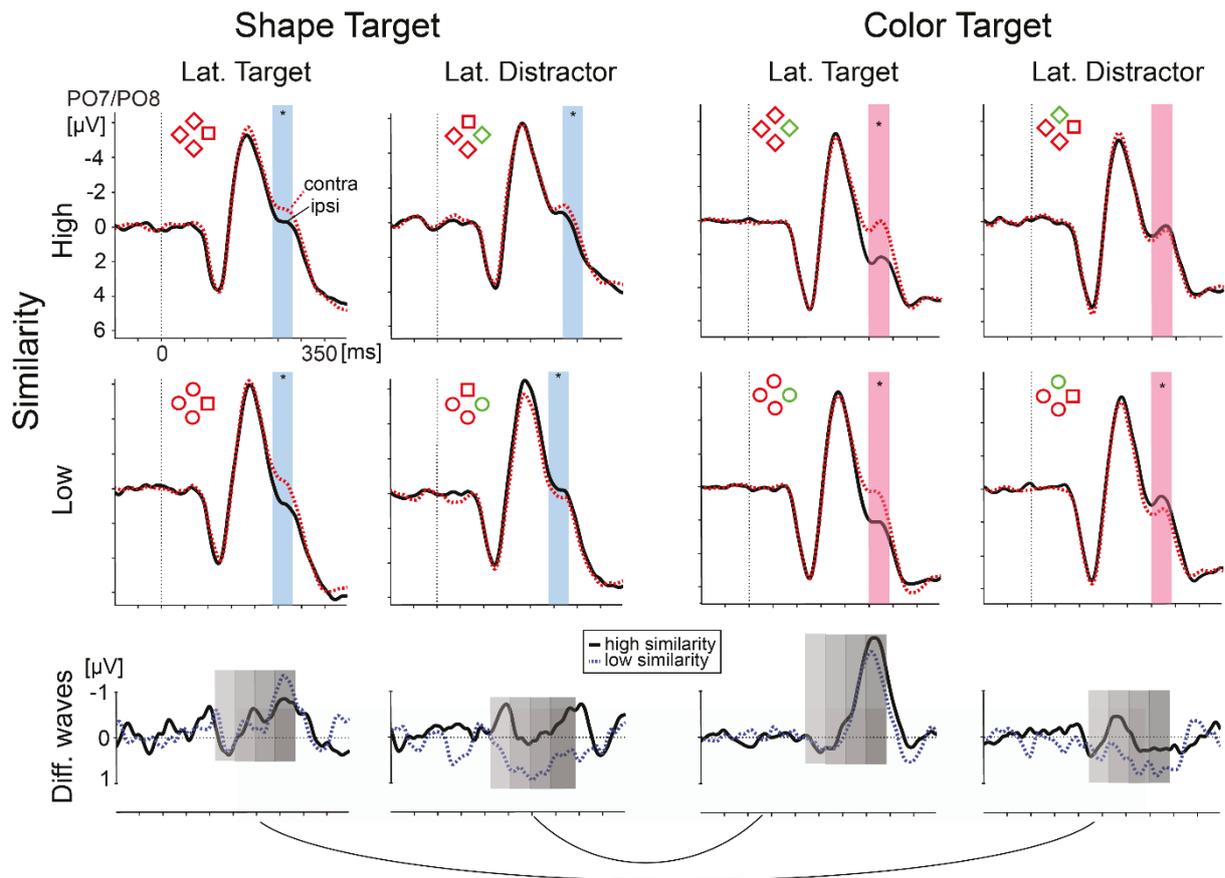


Figure 28 Résultats électrophysiologiques de l'expérience 6 avec la cible de forme (à gauche) et l'expérience 7 avec la cible couleur (droite). Les graphiques du haut montrent la moyenne générale contra et ipsilatérale pour les ERPs au niveau des électrodes PO7/PO8 en fonction de la similarité (haute, basse) et du stimulus latéral (cible, distracteur). La différence d'onde montre la différence entre les ERPs contra et ipsilatéraux pour les quatre conditions expérimentales. Les aires grisées indiquent les quatre intervalles moyens (expérience 6 : 120-160, 160-200, 200-240 et ~240-280 ms ; expérience 7 : 130-170, 170-210, 210-250, 250-290 ms).

### *La latence de la N2pc*

Nous avons comparé les latences moyennes-jackknife avec 70% des pics d'amplitude comme critère (Ulrich & Miller, 2001). Seules les conditions avec une N2pc ont été incluses dans une ANOVA à élément unique (cible latérale avec haute ou basse similarité, distracteur latéral avec haute similarité). L'effet principal de la configuration spatiale est significatif,  $F_{\text{adjusted}}(2, 28) = 5.9, p = .007$ , montrant que la N2pc apparaît plus tard pour la condition avec distracteur latéral en cas de haute similarité (272 ms) que pour les cibles latérales avec basse (240 ms) ou haute (239 ms) similarité.

### *L'intervalle N1*

Nous avons calculé la différence moyenne de voltage (contra – ipsi) dans trois fenêtres temporelles consécutives de 120 à 240 ms afin de couvrir l'intervalle N1 en comprenant la composante Ppc. Ces intervalles sont illustrés dans la Figure 28 dans des nuances de gris. Nous avons mené une ANOVA à mesures répétées 2 (*stimulus latéral* : cible, distracteur) x 2 (*similarité* : haute, basse) x 3 (*intervalle temporel* : 120-160, 160-200, 200-240 ms). La différence de voltage est plus négative avec les cibles latérales qu'avec le distracteur latéral (-0.18 vs. 0.24  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 14) = 11.77$ ,  $p = .004$ ,  $\eta_p^2 = .457$ , et avec une haute comparée à une basse similarité (-0.18 vs. 0.24  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 14) = 12.77$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .477$ . L'interaction entre le stimulus latéral et le temps,  $F(2, 28) = 14.98$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .517$ , montre que la différence de voltage devient plus négative avec le temps avec les cibles latérales (0.17, -0.31, -0.4  $\mu\text{V}$ ), indiquant le début de la N2pc, alors qu'il devient plus positif avec les distracteurs latéraux (-0.07, 0.4, 0.4  $\mu\text{V}$ ) indiquant le début de la P<sub>D</sub>. De plus, l'interaction entre le stimulus latéral et la similarité est significative,  $F(1, 14) = 5.28$ ,  $p = .038$ ,  $\eta_p^2 = .274$ , montrant que la haute ou basse similarité ne diffère pas pour les cibles latérales (-0.17 vs. -0.18  $\mu\text{V}$ ), alors que la différence est plus positive avec la haute que la basse similarité pour les distracteurs latéraux (0.66 vs. -0.18  $\mu\text{V}$ ).

Pour poursuivre les recherches sur l'interaction, nous avons mené une ANOVA 2 (*similarité* : haute, basse) x 3 (*intervalle temporel* : 120-160, 160-200, 200-240 ms) séparément pour les cibles et les distracteurs latéraux. L'ANOVA sur les différences de voltage pour les cibles latérales montre un effet principal du temps,  $F(2, 28) = 8.47$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .377$ , et confirme l'absence d'un effet de similarité,  $F(1, 14) < 0.01$ ,  $p = .973$ ,  $\eta_p^2 < .001$ . L'ANOVA pour les distracteurs latéraux montre un effet principal du temps,  $F(2, 28) = 7.54$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .35$ , et confirme l'effet de similarité,  $F(1, 14) = 11.26$ ,  $p = .005$ ,  $\eta_p^2 = .446$ .

#### ii. Discussion

Au niveau comportemental, nous observons une interférence plus importante du distracteur de couleur lorsqu'il est discret, que lorsque les formes distractrices sont saillantes. Autrement dit, une recherche peu efficace est plus fortement perturbée par un stimulus saillant, mais non-pertinent qu'une recherche efficace. Ces résultats contredisent une étude antérieure de Proulx and Egeth (2006) qui rapporte un pattern opposé. La divergence de résultats est probablement due à une différence du type de recherche. Dans des données non publiées, nous

observons que la pente de recherche avec nos stimuli est de 6.7 et 15.5 ms/item pour la basse et haute similarité respectivement, alors que les pentes de recherche de Proulx et Egeth sont plus importantes de 28 ms/item. De plus, les résultats électrophysiologiques confirment les effets prédits de la similarité entre la cible et la non-cible au niveau de l'interférence visuelle. Avec une cible discrète, l'interférence comportementale est plus importante, et nous observons une N2pc en direction du distracteur indiquant une capture attentionnelle. Avec une cible saillante, l'interférence comportementale est plus petite, et une P<sub>D</sub> en direction du distracteur apparaît, indiquant une suppression attentionnelle.

L'analyse de l'intervalle de la N1 montre que l'effet de similarité entre la cible et les non-cibles apparaît plus tôt dans le traitement du distracteur que de la cible. Les différences entre les ERPs pour les cibles discrètes et saillantes ne sont pas visibles dans l'intervalle N1. À l'inverse, il y a une positivité précoce pour le distracteur de couleur lorsque la cible est saillante, mais pas lorsqu'elle est similaire. La positivité entre 120 et 200 ms post-stimulus est cohérente avec l'intervalle temporel de la composante Ppc entre 140-190 ms (Barras & Kerzel, 2016a; Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013). Il a été estimé que la Ppc reflète le traitement initial des stimuli basés sur une discontinuité au niveau des caractéristiques (« *attend-to-me signal* »), qui peut guider ensuite la sélection attentionnelle ou la suppression comme indexée par la N2pc et la P<sub>D</sub>. Les résultats actuels suggèrent que l'apparition de la Ppc est restreinte aux recherches efficaces, car la Ppc est absente lorsque la cible est discrète et la recherche résultante est inefficace.

### c. *Expérience 7*

Dans l'expérience 7, nous allons aborder deux problèmes. D'abord, il est possible que la saillance perçue de l'élément de couleur unique soit réduite lorsque la forme cible diffère fortement des non-cibles, résultant en un contexte visuel hétérogène. Par conséquent, l'interférence comportementale peut être réduite et la capture attentionnelle, indexée par la N2pc, peut être absente. Afin d'exclure cette possibilité, nous avons demandé à nos participants de chercher la couleur unique et nous allons évaluer si le temps de recherche diffère entre une forme distractive de haute ou de basse similarité.

Deuxièmement, nous nous demandons si une Ppc ou une P<sub>D</sub> serait présente en direction d'une forme distractive. En principe, la forme saillante unique devrait éliciter un « *attend-to-me signal* » (Ppc) qui est ensuite supprimé (P<sub>D</sub>), mais une étude de Gaspar and McDonald (2014) ne

trouve pas de potentiel latéralisé significatif en direction d'un distracteur de couleur qui est moins saillant que la couleur de la cible. Dans cette étude, Gaspar and McDonald (2014) demandent à leurs participants de chercher une cible rouge saillante alors qu'un distracteur jaune moins saillant est présent. Malgré une faible augmentation des temps de réaction en présence du distracteur jaune, il n'y a pas de  $P_D$  en sa direction. Ceci suggère donc que la suppression attentionnelle n'apparaît pas avec un distracteur de couleur moins saillant que la cible. L'expérience 7 va donc nous permettre d'examiner si la séquence du « *attend-to-me signal* » ( $P_{pc}$ ) et la suppression attentionnelle ( $P_D$ ) apparaît même si le distracteur est moins saillant que la cible. Il n'est donc pas clair si ce résultat va être répliqué dans cette expérience, car le distracteur est défini par une forme et que la recherche de couleur est beaucoup plus efficace.

#### i. Résultats

##### *RÉSULTATS COMPORTEMENTAUX*

L'effet du distracteur est présenté dans la Figure 27. Une ANOVA à mesures répétées 2 (*similarité* : haute, basse) x 2 (*forme distractive* : présent, absent) montre que les temps de réaction sont plus courts quand la forme distractive est absente comparée à lorsqu'elle est présente (641 vs. 647 ms),  $F(1, 15) = 8.10$ ,  $p = .012$ ,  $\eta_p^2 = .351$ . L'effet de similarité et l'interaction ne sont pas significatifs (respectivement  $p = .413$  et  $p = .623$ ). L'effet du distracteur est significatif avec une basse (6 ms),  $t(15) = 2.17$ ,  $p = .046$ , et une haute similarité (5 ms),  $t(15) = 2.84$ ,  $p = .012$ . Ensuite, nous avons évalué l'effet de la distance dans une ANOVA 2 (*similarité* : haute, basse) x 4 (*distance* : 1-4 items) sur les essais avec distracteur, mais nous n'avons pas observé d'effets significatifs ( $ps > .213$ ).

De plus, nous avons mené une nouvelle ANOVA 2 (*similarité* : haute, basse) x 2 (*forme distractive* : présente, absente), et nous avons ajouté l'expérience (6 vs 7) comme facteur inter-sujets. Les temps de réaction sont plus courts dans l'expérience 7 que dans l'expérience 6 (644 vs. 707 ms),  $F(1,29) = 4.74$ ,  $p = .038$ ,  $\eta_p^2 = .141$ , montrant qu'il est plus facile de localiser une couleur unique plutôt qu'une forme unique. Les temps de réaction sont également plus courts lorsque le distracteur est absent comparé à lorsqu'il est présent (665 vs. 686 ms),  $F(1, 29) = 40.74$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .58$ . L'effet de similarité,  $F(1, 29) = 40.07$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .58$ , l'interaction entre l'expérience et la similarité,  $F(1,29) = 37.32$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .563$ , et entre la similarité et la

présence du distracteur,  $F(1,29) = 15.71$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .351$ , sont significatives. De plus, l'interaction entre l'expérience et la présence du distracteur atteint la significativité,  $F(1,29) = 22.40$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .436$ , montrant que l'effet du distracteur est plus faible dans l'expérience 7 que de l'expérience 6. La triple interaction est également significative,  $F(1,29) = 19.42$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .401$ , confirmant que l'effet de la présence du distracteur est modulé par la similarité dans l'expérience 6, mais pas dans l'expérience 7.

#### RÉSULTATS ELECTROPHYSIOLOGIQUE

##### L'intervalle N2

Les ERPs moyens sont présentés dans la Figure 28. Nous avons calculé les voltages moyens dans l'intervalle allant de 250-290 ms, ce qui correspond à la N2pc. Une ANOVA à mesures répétées 2 (*configuration spatiale* : cible latérale, distracteur latéral) x 2 (*similarité* : haute, basse) a été menée. La différence de voltage est plus négative avec une cible latérale plutôt qu'un distracteur latéral (-1.82 vs. 0.48  $\mu\text{V}$ ),  $F(1,15) = 52.64$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .778$ . De plus, la différence de voltage est plus négative avec une haute similarité comparée à une basse similarité (-0.89 vs -0.44  $\mu\text{V}$ ),  $F(1,15) = 10.48$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .411$ . L'interaction entre la configuration spatiale et la similarité n'atteint pas la significativité ( $p = .939$ ). Des t-tests appariés confirment que la différence entre haute et basse similarités est significative pour les cibles latérales,  $t(15) = -3.22$ ,  $p = .006$ , et approche la significativité pour les distracteurs latéraux,  $t(15) = -2.07$ ,  $p = .056$ . De plus, des t-tests indépendants contre zéro pour chacune des quatre conditions montrent qu'avec une cible de couleur latérale, la N2pc est significative pour la basse (-1.60  $\mu\text{V}$ ),  $t(15) = -5.95$ ,  $p < .001$ , et la haute similarité (-2.04  $\mu\text{V}$ ),  $t(15) = -6.64$ ,  $p < .001$ . Avec la forme distractrice latérale, il y a une  $P_D$  significative avec la basse similarité (0.71  $\mu\text{V}$ ),  $t(15) = 3.88$ ,  $p = .001$ , mais pas de différence significative avec la haute similarité (0.26  $\mu\text{V}$ ),  $p = .139$ .

##### L'intervalle N1

Nous avons calculé la différence moyenne de voltage dans trois fenêtres temporelles consécutives avant l'intervalle N2. Nous avons mené une ANOVA à mesures répétées 2 (*stimulus latéral* : cible, distracteur) x 2 (*similarité* : haute, basse) x 3 (*intervalle temporel* : 130-170, 170-210, 210-250 ms). La différence de voltage est plus négative avec les cibles latérales qu'avec les distracteurs latéraux (-0.25 vs. 0.21  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 15) = 9.82$ ,  $p = .007$ ,  $\eta_p^2 = .396$ . La différence de voltage est plus négative avec la haute que la basse similarité (-0.15 vs. 0.11  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 15) = 7.8$ ,  $p$

= .014,  $\eta_p^2 = .342$ . L'interaction entre la similarité et le temps,  $F(2, 30) = 3.97$ ,  $p = .029$ ,  $\eta_p^2 = .209$ , montre que la différence entre la haute et la basse similarité est plus importante dans le deuxième intervalle (différence de 0.12, 0.41, et 0.26  $\mu\text{V}$ ). L'effet de l'intervalle temporel,  $F(2, 30) = 11.95$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .443$ , est modulée par le stimulus latéral,  $F(2, 30) = 18.8$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .556$ , montrant que la différence de voltage devient plus négative avec le temps pour les cibles latérales (0.2, 0.05, -0.99  $\mu\text{V}$ ), indiquant un début de N2pc pour la cible de couleur, mais plus positive pour les distracteurs latéraux (0.21, 0, 0.44  $\mu\text{V}$ ), indiquant une  $P_D$  en direction de la forme distractive. De plus, l'interaction entre le stimulus latéral et la similarité,  $F(1, 15) = 6.44$ ,  $p = .023$ ,  $\eta_p^2 = .3$ , montre que la haute et la basse similarité ne diffèrent pas pour les cibles latérales (-0.27 vs. -0.22  $\mu\text{V}$ ), alors que la différence de voltage est plus positive pour la basse similarité que la haute similarité pour les distracteurs latéraux (0.45 vs. -0.02  $\mu\text{V}$ ).

Pour poursuivre les recherches sur l'interaction, nous avons mené une ANOVA 2 (similarité : haute, basse) x 3 (intervalle temporel : 130-170, 170-210, 210-250 ms) séparément pour les cibles et les distracteurs latéraux. L'ANOVA sur la différence de voltage pour les cibles latérales montre un effet principal du temps,  $F(2, 30) = 19.66$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .567$ , et confirme l'absence d'effet de similarité,  $F(1, 15) = 0.26$ ,  $p = .619$ ,  $\eta_p^2 = .017$ . L'ANOVA pour les distracteurs latéraux indique également un effet principal du temps,  $F(2, 30) = 6.88$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .315$ , et confirme l'effet de similarité,  $F(1, 15) = 10.24$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .406$ .

#### *d. Conclusion*

Dans cette expérience, nous observons que l'interférence de la forme distractive est de 5 ms, ce qui est plus faible que dans l'expérience 6, à savoir une interférence du distracteur de couleur de 25-50 ms. De plus, il n'y a pas d'effet de saillance de la forme distractive. Ces deux observations confirment que la couleur unique est plus saillante que la forme unique. Nous pouvons donc conclure que la saillance du distracteur de l'expérience 6 ne change pas en fonction de la similarité entre la cible et les non-cibles. Par ailleurs, nous nous attendions à des temps de réaction plus longs avec la cible de couleur lorsque la forme distractive est plus saillante. Ce n'est pas le cas.

Nous avons également trouvé un changement d'amplitude de la N2pc liée à la cible dépendant des formes non-cibles. Avec les losanges comme non-cibles (distracteur de forme très similaire), la N2pc est plus large qu'avec les cercles comme non-cibles (distracteur de forme faiblement similaire). Les losanges sont composés de lignes droites et partagent donc des

caractéristiques de base avec la ligne cible à l'intérieur de la forme. À l'inverse, il y a moins de chevauchements de caractéristiques entre les lignes formant les cercles et la ligne à l'intérieur de la cible. Hopf et al. (2000) suggèrent qu'une N2pc plus large en raison d'un chevauchement de caractéristique reflète une augmentation du besoin de suppression afin d'atténuer la forte interférence des non-cibles. De plus, la N2pc de plus large amplitude avec les non-cibles losanges peut refléter une amélioration de la suppression des caractéristiques similaires des non-cibles losanges (les lignes droites) comparé aux non-cibles cercles. Cependant, il est intéressant de noter que cette amélioration de suppression n'a pas de répercussion sur les temps de réaction.

Alors que l'expérience 7 sert principalement d'expérience contrôle afin d'exclure un changement de saillance du distracteur de couleur dans l'expérience 6, elle apporte toutefois un nouvel éclairage sur les corrélats électrophysiologiques du traitement du distracteur. Malgré l'absence de différences comportementales entre le distracteur saillant et discret, les ERPs latéralisés indiquent clairement une Ppc et une P<sub>D</sub> en direction de la forme distractrice saillante. Alors que cette séquence est prédite sur la base de la théorie de suppression du distracteur, il est néanmoins surprenant de ne pas observer de changements comportementaux.

#### *e. Discussion Générale*

Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à l'interférence d'un distracteur de couleur saillante dans une recherche difficile et facile. La difficulté de la recherche est manipulée par la similarité entre la cible et les non-cibles. La recherche facile résulte d'une faible similarité entre la cible et les non-cibles (cible de faible similarité), et la recherche difficile découle d'une haute similarité entre la cible et les non-cibles (cible de basse similarité). Nous observons que la saillance relative de la cible détermine le traitement du distracteur. Le distracteur peut être supprimé lorsque la recherche est facile, comme l'indique la présence de la P<sub>D</sub> en direction du distracteur, alors que le distracteur capture l'attention lorsque la recherche est difficile, comme l'indique la N2pc au distracteur. Alors que cette recherche montre que les facteurs *bottom-up* liés au stimulus déterminent si une capture attentionnelle ou une suppression attentionnelle aura lieu, d'autres recherches ont démontré la même chose concernant la prévisibilité de l'identité de la cible (revue dans Barras and Kerzel (2016a)). Les résultats déterminés par le stimulus (*stimulus-driven*) et déterminés par les attentes (*expectancy-driven*) convergent vers la notion que la difficulté de la recherche implique une capture attentionnelle par le distracteur saillant alors qu'une recherche permet une suppression attentionnelle du distracteur saillant. En

termes de modèle de carte de saillance (Navalpakkam & Itti, 2007), une capture attentionnelle est plus probable en cas de faible ratio de signal au bruit (*signal-to-noise ratio*), alors qu'une suppression attentionnelle est plus probable en cas de haut ratio de signal au bruit. La raison peut être que la saillance relative du même distracteur est plus forte lorsque la cible est discrète (faible ratio de signal au bruit), et haut lorsque la cible est saillante (fort ratio de signal au bruit).

Les résultats montrent donc que la suppression attentionnelle est limitée à la recherche efficace. Les résultats actuels suggèrent étonnamment que le signal de saillance précoce (« *attend-to-me signal* », (Sawaki & Luck, 2010)) entre 100 et 200 ms apparaît uniquement durant une recherche efficace, suggérant qu'une évaluation précoce de la saillance ne se fait pas de manière strictement *bottom-up*.

i. La Ppc reflète un déséquilibre de saillance du distracteur pour la recherche efficace

Les traits sur le bas de la Figure 26 montrent les conditions avec le même élément latéral, mais dans différents rôles, une fois comme cible, une fois comme distracteur. Lorsque l'élément latéral sert de cible, les différences d'ondes sont plus négatives, représentant une N2pc, mais lorsqu'il s'agit du distracteur, la différence est plus positive, représentant une P<sub>D</sub>. La caractéristique la plus intéressante de ce graphique est la différence précoce pour l'intervalle de la N1, visible pour les distracteurs latéraux, mais pas pour les cibles latérales malgré le fait que les stimuli soient identiques. Pour les formes latérales, il n'y a pas de différences précoces entre la forme cible saillante ou discrète (colonne 1 de la Figure 28), mais une différence précoce apparaît entre la forme distractrice saillante ou discrète (colonne 4). Pourquoi est-ce que la sélection de la cible ne profite pas de la saillance plus forte précocement comme la suppression du distracteur le fait ? Une étude antérieure montre que la sélection de la cible est susceptible à la saillance. Tollner, Zehetleitner, Gramann, and Muller (2011) rapportent que la N2pc en direction d'un élément de couleur et d'orientation unique avec une haute saillance à une latence plus courte et une amplitude plus large. Alors que ce résultat est cohérent avec la tendance à une N2pc plus large pour la forme cible saillante que discrète dans l'expérience 6, l'effet de latence obtenu par Tollner et al. (2011) est seulement de l'ordre de 20-30 ms et ne peut pas expliquer pourquoi la différence entre la forme saillante et discrète apparaît 150 ms plus tôt lorsqu'il est distracteur comparé à lorsqu'il est cible. La question est plutôt de savoir pourquoi cette positivité apparaît entre 100 et 200 ms, ce qui fait référence à la Ppc (Barras & Kerzel,

2016a; Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013) apparaissant dans certaines conditions, mais pas d'autres.

Nous pensons que les résultats peuvent être résumés en disant que la Ppc apparaît pour les stimuli saillants, mais uniquement lorsqu'il est peu probable qu'ils soient sélectionnés. La Ppc n'apparaît donc pas pour les formes cibles saillantes (colonne 1 de la Figure 28), car il s'agit de la cible et il est donc très probable qu'elle soit sélectionnée. À l'inverse, la Ppc apparaît pour la forme distractive saillante (colonne 4), car il est peu probable qu'elle soit sélectionnée étant donné que la cible de couleur est plus saillante et que la recherche est hautement efficace. Dans le même contexte, il n'y a pas de Ppc en direction de la forme distractive discrète, car elle n'est pas saillante (colonne 4). De même, il y a une Ppc pour le distracteur de couleur saillant lorsqu'il est peu probable qu'il soit sélectionné, car la forme cible est saillante (colonne 2). À l'inverse, la Ppc en direction du distracteur de couleur est absente lorsque la forme cible est discrète (colonne 2), car il est probable que le distracteur de couleur soit sélectionné, comme le suggère la N2pc au distracteur. En résumé, nous confirmons que la Ppc apparaît uniquement en direction d'un stimulus saillant, ce qui est cohérent avec l'idée précédente que cela reflète un déséquilibre de saillance (Fortier-Gauthier et al., 2012). De plus, les résultats actuels suggèrent que la Ppc n'est pas un signal purement *bottom-up*, mais est modulée par la difficulté de la recherche. La Ppc au distracteur est notamment éliminée si la recherche est inefficace et si le distracteur peut être confondu avec la cible.

## ii. Effet de saillance de la cible et chevauchement des caractéristiques

Nos résultats sont quelque peu contradictoires par rapport à la relation entre la saillance et l'amplitude de la N2pc. Il y a une tendance à une N2pc plus large avec une forme cible plus saillante dans l'expérience 6 (carré parmi des cercles vs. carré parmi des losanges), mais il y a une N2pc plus faible pour la ligne cible qui est plus saillante par rapport aux formes alentours dans l'expérience 7 (ligne verticale / horizontale dans le cercle vs losange ; comparé les lignes pointillées des colonnes 1 et 3 de la Figure 28). Ces résultats apparemment contradictoires correspondent à des contradictions équivalentes rapportées dans la littérature. Hopf, Boelmans, Schoenfeld, Heinze, and Luck (2002) suggèrent que la N2pc reflète la suppression du distracteur en compétition et est, par conséquent, plus large lorsqu'il y a plus de chevauchements de caractéristiques. Une N2pc plus large apparaît donc avec une cible moins saillante qui nécessite

plus de suppression du distracteur en compétition. À l'inverse, Tollner et al. (2011) observent qu'une N2pc plus large apparaît lorsque le stimulus cible est saillant comparé à lorsqu'il est moins saillant. Ils prétendent que la N2pc plus large et plus précoce reflète un déplacement rapide de l'attention vers le stimulus plus saillant, en accord avec la théorie des cartes de saillance. La contradiction apparente peut être résolue en regardant les processus cognitifs concernés par la manipulation de saillance. Dans Hopf et al. (2002), les participants localisent une cible sur la gauche ou la droite d'un écran basé sur la couleur indiquée. La cible et le distracteur sont positionnés sur des côtés opposés de l'écran et sont de saillance égale. Ensuite, ils doivent faire une discrimination précise dans le stimulus cible. Le chevauchement de caractéristique entre la cible et les stimuli l'entourant directement (sur le même côté de l'écran) déterminent la saillance « locale » de la cible. Dans Tollner et al. (2011), la cible a une saillance plus importante que tous les éléments non-cibles restants (saillance « globale ») et la tâche des participants est seulement de localiser l'élément saillant. De plus, la saillance de la cible dans les deux études a un effet sur deux processus différents. Dans Hopf et al. (2002), la saillance est très importante après que la cible ait été localisée et une discrimination précise est demandée. Dans Tollner et al. (2011), les participants se basent sur la saillance pour localiser la cible. Étant donné que nous utilisons une « *compound task* » (c'est-à-dire que nos participants recherchent une dimension, mais la réponse demandée fait référence à une autre dimension, à savoir la discrimination de l'orientation de la barre à l'intérieur de la forme unique), nos résultats peuvent combiner ces deux effets. La N2pc quelque peu plus large pour la cible saillante dans l'expérience 6 peut refléter une amélioration de la localisation de la cible. À l'inverse, la N2pc plus large à la forme cible montre plus de chevauchement avec les caractéristiques de la ligne cible (dans la forme) dans l'expérience 7 pouvant refléter la suppression du distracteur durant la discrimination fine. Nos résultats sont donc cohérents avec l'idée que différents processus cognitifs sont différemment affectés par la saillance.

### iii. Contradictions constatées

Finalement, nous devons discuter de l'étude antérieure qui est parvenue à la conclusion opposée, à savoir que l'interférence est plus forte avec une faible similarité entre la cible et les non-cibles comparées à une haute similarité. Il y a plusieurs différences méthodologiques entre l'étude actuelle et l'étude antérieure pouvant expliquer cette différence. Comme il a déjà été mentionné, la différence la plus importante peut être que cette étude compare une recherche

efficace à une recherche inefficace (6.7 vs. 15.5 items/ms) en accord avec le critère de 10 ms/item pour une recherche efficace (Wolfe & Horowitz, 2004). À l'inverse, la recherche est toujours hautement inefficace (pente de recherche entre 22 et 114 ms/item) dans Proulx and Egeth (2006). De plus, Proulx and Egeth (2006) utilisent l'*irrelevant singleton paradigm* où le stimulus cible peut coïncider avec l'élément de couleur saillante en accord avec les probabilités de base, créant une faible incitation à prêter attention au stimulus saillant. À l'inverse, la cible et l'élément de couleur unique ne coïncident jamais dans l'*additional singleton paradigm* utilisé dans cette étude ce qui encourage les participants à ignorer l'élément de couleur unique (Becker, 2007). De plus, Proulx and Egeth (2006) utilisent les pentes de recherche pour calculer l'effet du distracteur, ce qui n'est pas possible dans l'*additional singleton paradigm*, car la cible ne coïncide jamais avec le distracteur. De plus, la manipulation de similarité entre la cible et les non-cibles a été menée en intra-sujets dans cette étude, alors qu'elle est en inter-sujets dans Proulx and Egeth (2006). Ces différences peuvent donc empêcher une réponse finale à la question de pourquoi nous avons des effets opposés sur la similarité entre la cible et les non-cibles.

### III. CONCLUSION

Au début de ce travail, nous avons mentionné l'importance de la vision chez l'humain. Notre système visuel nous permet de traduire les informations que nos yeux reçoivent sous forme de photons en une information qui a du sens pour nous. Concernant l'attention visuelle, il s'agit d'une ressource cognitive très importante dans notre quotidien. En effet, elle va nous permettre de sélectionner l'information pertinente pour nous en fonction de ce que nous faisons. Cette ressource est donc très souvent utilisée sans que nous en ayons conscience. Cependant, il arrive qu'il y ait une erreur de sélection. Comme nous l'avons montré, un élément saillant mais non-pertinent peut capturer notre attention avant qu'elle ne soit redirigée vers l'élément de notre recherche. L'attention visuelle est donc un mécanisme relativement complexe. En effet, les déplacements attentionnels sont difficilement observables, car l'attention peut se déplacer d'objet en objet 10 fois par seconde (Woodman & Luck, 1999). Cependant, il est important de bien comprendre son mécanisme, car il s'agit d'une ressource limitée. Il est donc nécessaire de pouvoir prédire ce qui peut utiliser des ressources inutilement afin de pouvoir focaliser l'ensemble de ces ressources sur l'élément le plus important. Afin de contribuer à l'amélioration de la compréhension de ce domaine, nous avons mené une série d'expériences portant sur les distracteurs visuels. Le but de ce travail était de comprendre quelles sont les conditions dans lesquelles nous serons capables d'ignorer un élément non-pertinent pour la tâche en cours, afin que celle-ci soit plus efficace, mais aussi de voir les conditions dans lesquelles nous en sommes incapables. L'inhibition d'un distracteur nous permet donc de limiter son impact et de rester efficace dans notre recherche visuelle.

#### 1. Synthèse des Résultats

Nous avons mené une série d'expériences afin d'approfondir nos connaissances sur la suppression du distracteur. La composante ERP latéralisée reflétant ceci, et à laquelle nous allons nous référer, est connue sous le nom de Distractor Positivity ou  $P_D$ . Pour ce faire, nous nous sommes basés sur deux paradigmes bien connus de la littérature : le paradigme d'indilage modifié et *l'additional singleton paradigm*.

Le paradigme d'indilage modifié est utilisé pour l'étude des déplacements attentionnels involontaires. En effet, ce paradigme est composé d'un écran indice, puis d'un écran cible. Il y a une condition congruente, c'est-à-dire où la cible apparaît au même endroit que l'indice, et une

condition incongruente, où la cible apparaît à un autre endroit que l'indice. Les principaux résultats montrent que les participants sont plus rapides à répondre dans la condition congruente que dans la condition incongruente (Folk et al., 1992). Les principaux résultats montrent un ralentissement des temps de réaction dans la situation incongruente. À l'inverse, nous sommes plus rapides à répondre dans la situation congruente. Cet effet est connu sous le nom d'effet d'indication.

L'*additional singleton paradigm* est très fréquemment utilisé dans les tâches de recherche visuelle. L'avantage de ce paradigme est que, dans sa forme classique, il faut rechercher une dimension unique (forme) tout en résistant à l'interférence d'une autre dimension unique distractive (couleur). La tâche fait encore référence à une autre dimension, à savoir la discrimination de l'orientation de la barre à l'intérieur de la forme unique. Dans ce type de tâche, nous parlons de « *compound search* ». Les principaux résultats comportementaux montrent un ralentissement des temps de réaction en présence du distracteur de couleur. La différence des temps de réaction entre les conditions sans distracteur de couleur, et la condition avec distracteur est connue sous le nom d'effet de capture (Theeuwes, 1992). Cet effet est expliqué par le fait que le traitement *bottom-up* précède le contrôle *top-down*. Ainsi, le focus attentionnel est tout d'abord capturé par le distracteur de couleur lorsqu'il est présent. Afin de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents à cette différence de temps de réaction, des études en EEG ont été réalisées. Hickey et al. (2006) ont observé une N2pc en direction de la cible, ainsi qu'en direction du distracteur lorsque celui-ci est latéralisé. Ils concluent donc que l'attention peut être capturée par la cible, mais également par un distracteur saillant non-pertinent. Par la suite, grâce à une manipulation de la prédictibilité de la cible, une  $P_D$  a été observée en direction du distracteur lorsque la cible est connue d'avance (Burra & Kerzel, 2013, 2014). Cette suppression serait possible grâce au mécanisme *top-down* généré par la connaissance de la cible.

#### a. Le Paradigme d'Indication Modifié

Dans la première étude, nous avons repris le paradigme d'indication modifié de Anderson and Folk (2012) développé dans l'introduction. Nous avons ajouté à cette étude des mesures ERPs. Les participants devaient répondre lorsque la cible était de couleur go, mais inhiber leur réponse lorsque la cible était de couleur nogo ou neutre. Avant l'écran réponse, un écran indice contenant les couleurs (go, nogo ou neutre) était présenté. La position des couleurs pouvait être congruente ou incongruente avec la localisation de la cible sur l'écran suivant. Dans cette étude,

nous nous sommes donc intéressés à la suppression d'un stimulus requérant l'inhibition d'une réponse. La question principale de notre article était donc de savoir si un indice nogo avec des caractéristiques non-pertinentes pour la tâche est attentionnellement supprimé. Cette suppression serait reflétée par une  $P_D$ .

En résumé, nous n'avons pas réussi à répliquer le coût d'indication des indices nogo avec un paradigme d'indication modifié. L'absence d'effets comportementaux est cohérente avec l'absence de la composante  $P_D$  en direction des indices nogo. À l'inverse, les indices de couleur go capturent l'attention, tant au niveau des résultats comportementaux, que des résultats électrophysiologiques (N2pc). Nos résultats suggèrent donc qu'un stimulus associé à une réponse nogo n'est pas supprimé au niveau de la sélection attentionnelle. Les indices nogo sont plutôt ignorés. Ceci se reflète par l'absence d'effet de congruence et de composante électrophysiologique associé à la sélection et la suppression.

#### *b. Les Modes de Recherche*

Dans la deuxième étude, nous avons repris l'*additional singleton paradigm* présenté dans l'introduction. La principale manipulation expérimentale porte sur le mode de recherche (voir Leber & Egeth, 2006b). En effet, dans un groupe, le participant devra chercher une forme unique parmi des formes non-cibles identiques (recherche de l'élément unique), alors que dans un deuxième groupe, le participant doit rechercher une forme connue d'avance (recherche de caractéristique).

Dans cette étude, nous avons mesuré les ERPs en direction de stimuli saillants, mais non-pertinents dans deux modes de recherche : recherche d'élément unique et recherche de caractéristique. Le distracteur de couleur implique une augmentation des temps de réaction dans la recherche d'élément unique, mais pas dans la recherche de caractéristique. Nous avons regardé comment une résistance à l'interférence est réalisée et supposé que la suppression du distracteur, indexée par la  $P_D$ , est impliquée. Cependant, nous n'avons pas observé de  $P_D$  en direction du distracteur dans la recherche de caractéristique, mais une N2pc réduite en direction de la cible. Ces résultats suggèrent que le renforcement des caractéristiques de la cible préviennent un traitement précoce de « *attend-to-me signal* » (la Ppc) évoqué par la couleur du distracteur. À l'inverse, il y a une  $P_D$  en direction du distracteur dans la recherche d'élément unique, suggérant que la  $P_D$  reflète un traitement coûteux en temps pour annuler le « *attend-to-me signal* » précoce. De manière générale, nos résultats montrent qu'une suppression active du

distracteur ne soutient pas une résistance à l'interférence (dans la recherche de caractéristique), mais apparaît lorsque le distracteur perturbe la recherche visuelle (dans la recherche d'élément unique).

En parallèle à cette expérience, nous avons mené une étude comportementale (Kerzel & Barras, 2016) afin d'approfondir la compréhension des modes de recherche. Les résultats montrent que lorsque les éléments affichés à l'écran changent de couleur de manière aléatoire, l'interférence du distracteur de couleur est plus importante. Cet effet est observé pour les deux modes de recherche : recherche de caractéristique, recherche de l'élément unique. Dans la deuxième étude, nous avons ajouté une troisième couleur afin de pouvoir varier aléatoirement la couleur de la cible et celle du distracteur. Ainsi, nous pouvions fixer la couleur d'un élément, tout en variant indépendamment la couleur de l'autre. Le changement aléatoire de la couleur du distracteur produit une interférence, alors que le changement de la couleur de la cible ne le fait pas. Ceci suggère que le changement aléatoire de la couleur du distracteur contribue plus fortement aux résultats de la première expérience comportementale. Cependant, l'interférence dans la recherche de caractéristique quand la couleur de la cible et celle du distracteur sont inversées est plus importante que l'interférence observée quand seule la couleur du distracteur change (42 vs. 16 ms). Les effets de changement de la couleur du distracteur sont vraisemblablement amplifiés par les changements simultanés de la couleur de la cible. L'interférence plus large après le changement de couleur dans la première expérience (qui n'est pas répliqué dans la deuxième) suggère notamment que cette interférence augmente quand la couleur de la cible devient celle du distracteur à l'essai suivant.

Dans la plupart des études utilisant l'*additional singleton paradigm*, la couleur de la cible et du distracteur sont en blocs fixes alors que la forme de la cible est fixe dans certaines études et variable dans d'autres (Bacon & Egeth, 1994; Lamy et al., 2006; Lamy et al., 2004; Leber & Egeth, 2006b; Pinto, Olivers, & Theeuwes, 2005; Theeuwes, 1991b, 1992; Zehetleitner et al., 2012). Cependant, il y a une étude ERP controversée dans laquelle la forme de la cible et la couleur non-pertinente sont interverties aléatoirement (Hickey et al., 2006). Ces auteurs se sont intéressés aux corrélats électrophysiologiques du déploiement attentionnel dans la fenêtre temporelle de 200 à 300 ms, la N2pc. Ils ont trouvé une N2pc en direction de l'élément unique de couleur saillante, indiquant une capture attentionnelle. Par la suite, des études ont pu répliquer ces résultats dans une recherche fixe d'élément unique (Tollner et al., 2012; Wykowska

& Schubö, 2010) ou ont observé une  $P_D$  en direction du distracteur de couleur lorsque la réponse est rapide (Jannati et al., 2013; McDonald et al., 2013). Cependant, Burra and Kerzel (2014) précisent que la N2pc en direction de l'élément unique de couleur saillante obtenue lorsque les formes de la cible et du distracteur sont interverties aléatoirement, alors que la  $P_D$  est observée lorsque la forme de la cible reste fixe (voir également Gaspar & McDonald, 2014; Hilimire & Corballis, 2014; Jannati et al., 2013). La présente étude suggère qu'une variation aléatoire de la couleur augmente l'interférence et pourrait augmenter les chances de trouver une N2pc dans le travail de Hickey et al. (2006) comparé aux études reportant une absence de N2pc en direction de l'élément de couleur unique.

### c. *L'Effet de Similarité*

Dans la troisième étude, nous avons à nouveau repris et modifié l'*additional singleton paradigm* présenté en introduction. Nous avons cette fois-ci manipulé la similarité entre la cible et les formes distractrices l'entourant. Ainsi, nous avons deux conditions : la condition de haute similarité, et la condition de basse similarité. Nous avons à nouveau une condition sans distracteur et une condition avec distracteur pour chacune des similarités. Dans cette étude, nous avons donc voulu voir quelles sont les conditions qui modulent la suppression du distracteur. La question principale de notre article était de savoir si un distracteur fortement différent de la cible est activement supprimé ( $P_D$ ), alors qu'un distracteur peu différent de la cible capturerait l'attention (N2pc).

En résumé, nos résultats montrent que la distraction par un élément unique de couleur saillante sera plus forte lorsque la recherche est difficile car la cible est discrète, que lorsque la recherche est facile car la cible est saillante. L'interférence plus importante est accompagnée par une N2pc en direction du distracteur montrant une capture attentionnelle. À l'inverse, l'interférence plus faible observée en cas de faible similarité entre la cible et les non-cibles est accompagnée par une  $P_D$  en direction du distracteur. Ces résultats suggèrent une suppression attentionnelle du distracteur. De plus, nous observons une positivité précoce, la composante Ppc, en direction du distracteur saillant, mais uniquement lorsque la recherche est efficace (faible similitude) et lorsqu'il est peu probable que le distracteur soit sélectionné.

#### d. Les Trois Etudes

Avant de passer à une discussion plus générale concernant les résultats obtenus dans nos expériences, nous avons résumé, dans un tableau (Tableau 3), les données ERPs obtenues afin de voir les résultats en un coup d'œil.

Tableau 3 Résumé des résultats ERPs obtenus dans nos trois études. Dans la première colonne, nous mentionnons l'expérience à laquelle nous nous référons. Ensuite, nous mentionnons si une N2pc ou une P<sub>D</sub> est obtenue, et si c'est le cas, dans quelle condition. Nous mentionnons également les conditions dans lesquels aucun résultat n'a été obtenu.

	Présence de la N2pc	Présence de la P <sub>D</sub>	Absence de résultats
<b>Indiçage spatial go/nogo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indice go</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Indice nogo</li> <li>• Indice neutre</li> </ul>
<b>Mode de recherche</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cible élément unique</li> <li>• Cible caractéristique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distracteur élément unique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distracteur caractéristique</li> </ul>
<b>Effet de similarité</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cible haute similarité</li> <li>• Cible basse similarité</li> <li>• Distracteur haute similarité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distracteur basse similarité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• -</li> </ul>

Comme nous l'avons vu tout au long de ce travail, un élément distracteur saillant, mais non-pertinent peut être ignoré. Nous allons résumer, les conditions favorisant la suppression d'un distracteur, plutôt que sa capture. Avant ceci, rappelons que le but premier de la suppression du distracteur est de faciliter la localisation de la cible, en évitant une capture par un élément non-pertinent, rendant la recherche plus longue. En effet, une P<sub>D</sub> a été observée dans des essais avec des temps de réaction courts (Gaspar & McDonald, 2014; McDonald et al., 2013). Un premier critère qui semble influencer l'apparition de la P<sub>D</sub> est une recherche facile et efficace. En effet, nous avons obtenu une P<sub>D</sub> en direction du distracteur en cas de recherche facile / efficace, alors que l'attention est capturée (N2pc) en cas de recherche difficile / inefficace (Barras & Kerzel, accepted pending minor revisions). Le type de recherche qu'effectue le participant semble également avoir un impact sur l'apparition de la P<sub>D</sub> (Barras & Kerzel, 2016a). En effet, dans une recherche d'élément unique, nous allons observer une suppression du distracteur de couleur. A l'inverse, dans la recherche de caractéristique, le distracteur est totalement ignoré, nous n'observons donc aucune P<sub>D</sub> en sa direction. Ceci nous amène donc à un autre élément semblant influencer l'apparition de la P<sub>D</sub> est que le traitement du distracteur doit être initié. Si

l'élément n'est pas identifié au niveau pré-attentif, comme cela semble être le cas des indices nogo dans notre étude, mais aussi dans la recherche de caractéristique dans notre étude sur les modes de recherche, aucune suppression n'aura lieu par la suite. Si nous voulons observer une  $P_D$ , il est donc important que le distracteur soit saillant, mais pas trop. Cependant, précisons que la relation entre la cible et le distracteur doit rester suffisamment ambiguë. En effet, si le participant sait d'avance qu'elle est la nature de la cible, et qu'elle est la nature du distracteur (ou qu'il peut inférer sa nature), il est très probable qu'aucune capture ni inhibition du distracteur n'ait lieu. En effet, dans notre étude portant sur l'indiçage (Barras & Kerzel, 2016b), le participant avait l'information de la couleur pour laquelle il devait répondre, mais aussi l'information de la couleur à ignorer. Cette liste n'est certainement pas terminée, et d'autres études portant sur la suppression du distracteur peuvent donc soit la compléter, soit la modifier.

## 2. L'Impact de l'Inhibition dans les Mécanismes de Recherche

La recherche visuelle dépendrait de deux mécanismes, à savoir les mécanismes *top-down* et *bottom-up*. Ainsi, la recherche dépendrait en partie des intentions et des buts de la recherche, mais aussi d'une part automatique dépendant notamment de la saillance des éléments. Ceci correspond à une recherche de cible, ou lorsqu'un distracteur saillant capture l'attention. Cependant, lorsque nous sommes capables d'ignorer un élément saillant, un autre mécanisme interviendrait, le « *attend-to-me signal* » (Sawaki & Luck, 2011). En effet, dans une tâche de recherche visuelle, l'élément unique saillant, en plus d'être détecté rapidement, générerait aussi un « *attend-to-me signal* » le rendant ainsi candidat à la suppression. Ce signal peut être supprimé activement afin de prévenir une capture attentionnelle. La force de ce signal peut donc faire que nous ayons une capture ou une inhibition du distracteur. Lorsque ce signal est généré, il serait ensuite envoyé au système de contrôle attentionnel afin de voir s'il correspond à l'objet de la recherche. En cas de contrôle *top-down*, ce processus peut être interrompu, alors qu'en l'absence de contrôle *top-down*, un déplacement attentionnel aura lieu afin de vérifier si l'élément saillant correspond aux informations sur la cible. En d'autres termes, si le « *attend-to-me signal* » est plus fort que le contrôle *top-down*, la suppression va échouer, et nous aurons une capture attentionnelle. À l'inverse, si le « *attend-to-me signal* » est plus faible que le contrôle *top-down*, la suppression aura lieu. En résumé, la force de ce signal va déterminer s'il y aura capture ou inhibition du distracteur. En cas d'inhibition, nous observerons une  $P_D$ , cependant, il est important de rappeler que cette composante ne reflète pas le « *attend-to-me signal* ». La

composante Ppc semble mieux adaptée pour refléter ce traitement. Cette suppression active serait avant tout présente dans le but d'éviter une capture attentionnelle par un élément non pertinent.

Le contrôle *top-down* peut être renforcé, notamment lorsque la recherche est prédictible (Burra & Kerzel, 2013). Dans ces conditions, une  $P_D$  est obtenue en direction du distracteur, rendant ainsi la recherche plus efficace. Nos résultats (Barras & Kerzel, accepted pending minor revisions) confirment la présence d'une  $P_D$  dans le cas d'une recherche efficace. En effet, lorsque les participants doivent chercher une cible très différente des distracteurs, une  $P_D$  est obtenue en direction du distracteur de couleur saillante, mais non-pertinente. De plus, cette suppression active du distracteur serait associée à un signal de saillance précoce, le « *attend-to-me signal* ».

#### a. La Composante Ppc

Comme nous l'avons déjà mentionné ci-dessus, un signal de saillance précoce est présent dans plusieurs études présentant un distracteur de couleur saillante à une position latérale. Ce signal est une positivité observée entre 100 et 200 ms (Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Leblanc et al., 2008; Sawaki & Luck, 2010). Sawaki and Luck (2010) se réfèrent à la composante  $P_D$  pour parler de cette saillance précoce. Cependant, afin d'éviter toute confusion avec la composante  $P_D$  à laquelle nous nous référons pour parler de la suppression active d'un distracteur, nous avons décidé de reprendre la composante de Fortier-Gauthier et al. (2012), à savoir la Ppc. Cette composante reflète une étape intermédiaire qui traite tous les éléments saillants qui diffèrent (Jannati et al., 2013). Nous avons observé cette composante dans deux études, à savoir l'étude portant sur les modes de recherche, ainsi que celle portant sur la similarité entre la cible et les non-cibles (Barras & Kerzel, 2016a, accepted pending minor revisions). Cette composante peut également refléter un déséquilibre de luminance entre les stimuli. Cependant, nous pouvons exclure cette explication, car les couleurs sont isoluminantes et contrebalancées pour chaque participant dans nos deux études. Dans ces deux études, la présence de cette composante semble donc être en lien avec le « *attend-to-me signal* » (Sawaki & Luck, 2010) qui est supprimé s'il ne correspond pas avec les informations *top-down*. En effet, dans l'étude sur les modes de recherche, nous observons une Ppc suivie d'une  $P_D$  dans le cas de la recherche d'élément unique. Ceci confirme l'hypothèse de suppression. Cependant, dans le cas de la recherche de caractéristique, nous observons uniquement une Ppc, car les informations *top-down* parviennent à empêcher tout traitement complémentaire, rendant ainsi la suppression

inutile. Nos études nous permettent également d'arriver à la conclusion d'un lien entre la Ppc et la probabilité de sélection de la cible. Ainsi, lorsque la probabilité que la cible soit sélectionnée est forte, aucune Ppc n'est observée, alors qu'elle le serait lorsque la probabilité de sélection de la cible est faible. De plus, il semblerait que la difficulté de la tâche de recherche joue également un rôle dans l'apparition de la Ppc. Il serait donc pertinent de conduire d'autres recherches manipulant la difficulté de la tâche afin de voir si cela confirme les données obtenues concernant le lien entre la Ppc et la difficulté de la tâche.

#### *b. La Séquence de Traitement Visuel*

Comme nous l'avons présenté dans l'introduction, une séquence de traitement visuelle a été proposée par Jannati et al. (2013). Ils suggèrent que, en fonction de l'analyse de la carte de saillance reflétée par la Ppc, va découler soit une N2pc si la forme sélectionnée est l'élément le plus saillant et nécessite un traitement afin de vérifier s'il s'agit de la cible. À l'inverse, s'il ne remplit pas ces critères, il sera supprimé, impliquant ainsi une  $P_D$  (voir Figure 16).

Nos résultats confirment le modèle de Jannati et al. (2013). Dans l'étude portant sur la similarité entre la cible et les non-cibles, nous observons également une  $P_D$  dans le cas de la recherche facile, donc efficace. En effet, dans le cas de la recherche difficile, le distracteur va capturer l'attention, car il est saillant. Ceci va permettre de vérifier s'il s'agit de la cible ou non. Si ce n'est pas le cas, le deuxième élément le plus saillant sera alors sélectionné, et ainsi de suite jusqu'à la sélection de la cible. À l'inverse, dans le cas d'une recherche difficile, donc inefficace, nous n'observons ni capture ni inhibition. Dans l'étude s'intéressant aux modes de recherche, nous avons obtenu, comme le suggère le modèle, une  $P_D$  en direction du distracteur lors de la recherche d'un élément unique. Cependant, nos conclusions nous amènent à penser que cette  $P_D$  reflète davantage une résistance à l'interférence plutôt qu'une suppression du distracteur. Cependant, en changeant de mode de recherche (recherche de caractéristique), la  $P_D$  n'est pas présente. Il semble donc que le traitement du distracteur doit être initié afin d'impliquer une suppression ( $P_D$ ). Celle-ci va donc permettre d'empêcher une capture attentionnelle en distanciant l'attention du distracteur.

Nous avons observé des situations dans lesquelles les éléments distracteurs n'impliquent ni une capture attentionnelle ni une suppression active. En effet, dans notre étude portant sur l'indigage, nous n'avons obtenu aucun résultat au niveau des ERPs latéralisés. Des résultats similaires sont obtenus pour les indices neutres. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus

dans l'expérience 1 de Jannati et al. (2013). En effet, ils n'observent aucune capture attentionnelle par l'élément de couleur unique, bien que saillant. Cependant, il est important de préciser que, dans leur étude, ils ont par la suite divisé leurs données en temps de réaction courts vs long. Ils ont obtenu une  $P_D$  pour les temps de réaction courts, mais aucun résultat pour les temps de réaction plus longs.

Concernant la composante Ppc, nos résultats sont également en accord avec la séquence de traitement. Ils suggèrent également que cette composante est liée à la saillance des items et peut refléter un « *attend-to-me signal* ».

### *c. Lien avec le Modèle de la Capture*

Dans l'introduction, nous avons présenté différents modèles de capture attentionnelle. Nous n'avons malheureusement pas pu présenter un modèle concernant la suppression attentionnelle, car un tel modèle n'existe pas encore.

Les données actuelles concernant la suppression du distracteur suggèrent qu'il y aurait un lien entre la carte de saillance et le « *attend-to-me signal* ». Il serait possible que ce signal soit associé avec un pic au niveau de la carte de saillance. Afin de minimiser ceci, un mécanisme de suppression active se mettrait alors en place (Sawaki & Luck, 2014). Il semble donc que la présence d'un mécanisme de suppression ait un effet sur la carte de saillance préétablie. Ainsi, la carte de saillance est établie sur la base des éléments présents dans le display, mais elle peut être modulée par les informations que possède la personne quant au but de la tâche, mais aussi selon les informations que l'on a sur le distracteur. Les informations stockées dans la carte de saillance peuvent donc être court-circuitées grâce à une suppression active. Si nous reprenons le modèle proposé par Wolfe (1994), il faudrait compléter ses propos. En effet, il suggère, comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, que les informations *top-down* peuvent avoir un effet sur le signal de saillance. Cependant, il semble qu'il y ait un autre mécanisme pouvant avoir un effet sur le signal de saillance, à savoir le « *attend-to-me signal* ». Comme nous l'avons déjà mentionné, il semble que ce mécanisme soit indépendant du mécanisme *top-down*. Le traitement de ce signal de saillance semble donc être sous l'influence de plusieurs processus.

### *d. La $P_D$ vs Coût de Filtrage Non Spatial*

Il existe une théorie alternative concernant le traitement du distracteur, à savoir la théorie du coût de filtrage non spatial. Wykowska and Schubo (2011) suggèrent que le traitement du

distracteur serait dépendant de la tâche et de ses consignes. Dans certains cas, l'impact du distracteur peut être à un niveau non spatial, alors que dans d'autres cas, il serait spatial. Le distracteur saillant non-pertinent va donc impacter la recherche visuelle de différentes manières selon les conditions. En effet, selon la tâche, les processus *top-down* pourront prendre le dessus par rapport aux mécanismes *bottom-up*. Dans ce genre de situation, nous pouvons donc observer soit un coût de filtrage non spatial, soit une  $P_D$ . Selon ces auteurs, la différence entre ces deux mécanismes de traitement dépendrait donc de la tâche.

Dans notre expérience portant sur les modes de recherche, nous obtenons une suppression du distracteur dans le cas de la recherche d'élément unique, suggérant un traitement spatial de notre distracteur. À l'inverse, dans le cas de la recherche de caractéristique, nous n'obtenons aucune preuve concernant un traitement spatial de l'élément distracteur. Sommes-nous donc confrontés à un coût de filtrage non-spatial ? Selon Koch et al. (2013), la présence d'un effet de distance entre la cible et le distracteur nous permettent d'exclure l'hypothèse du coût de filtrage non-spatial. En effet, étant donné que nous parlons de traitement non-spatial, l'information spatiale présente, à savoir la distance entre la cible et le distracteur, ne devrait pas interférer. Cependant, nos résultats montrent que, quel que soit le mode de recherche, nous avons un effet de distance. En effet, l'interférence est plus forte avec un distracteur proche comparé à un distracteur éloigné. Nous pouvons donc exclure que notre absence de résultats soit due à un coût de filtrage non-spatial. Dans notre expérience, nous avons donc deux tâches différentes, mais il ne semble pas que ce type de tâche implique une différence de traitement comme le suggèrent Wykowska and Schubo (2011).

### 3. Suppression d'un Distracteur en Mémoire

L'impact du contenu en mémoire de travail a également été étudié pour voir s'il influence le traitement du distracteur. Plusieurs études suggèrent que le contenu stocké en mémoire de travail va avantager cet item pour la sélection attentionnelle (Desimone, 1998; Desimone & Duncan, 1995). Cependant, des études montrent des résultats différents quant à la capture attentionnelle par un élément correspondant au contenu de la mémoire (Carlisle & Woodman, 2011; Soto, Heinke, Humphreys, & Blanco, 2005; Soto, Hodsoll, Rotshtein, & Humphreys, 2008; Woodman & Luck, 2007). Il est possible que ces différences soient dues au fait que la capture attentionnelle puisse être éliminée par une suppression. Afin de tester cette hypothèse, Sawaki and Luck (2011) ont mené une expérience pour voir si un élément correspondant à celui qui est

en mémoire élicite une N2pc ou une P<sub>D</sub>. Pour ce faire, ils ont manipulé deux dimensions, l'orientation, pertinente pour la tâche, et la couleur, non-pertinente pour la tâche. Ainsi, les participants vont voir une succession de trois écrans. Dans le premier, ils voient deux barres de couleur et d'orientation différentes, suivie par deux cercles de couleur, puis deux barres d'orientation différente. Ils doivent mémoriser l'orientation d'une des barres du premier écran, puis dire, dans le dernier écran quelle orientation est identique à la première (Figure 29A). Afin de voir l'impact d'une dimension en mémoire, ils ajoutent un écran avant l'écran réponse. Celui-ci ne nécessite aucune réponse du participant, mais va leur permettre de voir de quelle manière est traitée l'information non-pertinente stockée en mémoire de travail, à savoir la couleur. Ils observent une P<sub>D</sub> en direction de la dimension non-pertinente (couleur). Ces résultats suggèrent que l'attention n'est pas automatiquement capturée par un élément en mémoire de travail, mais qu'au contraire, il est possible de supprimer activement cette information (Figure 29B). Notre cerveau a remarqué que cet élément correspondait à une information en mémoire, mais, comme cette information est non-pertinente, nous sommes capables d'éviter une capture attentionnelle par cet élément. Des résultats similaires ont été obtenus par Hollingworth, Matsukura, and Luck (2013) dans une étude se focalisant sur les mouvements oculaires. En effet, ils observent que les yeux bougent plus souvent en direction de la cible qu'en direction du distracteur correspondant au contenu de la mémoire. Ces résultats confirment donc l'hypothèse de suppression du signal développée ci-dessus. En effet, notre contrôle *top-down* peut empêcher un déplacement attentionnel et le substituer par une suppression active d'un élément à l'endroit du « *attend-to-me signal* ».

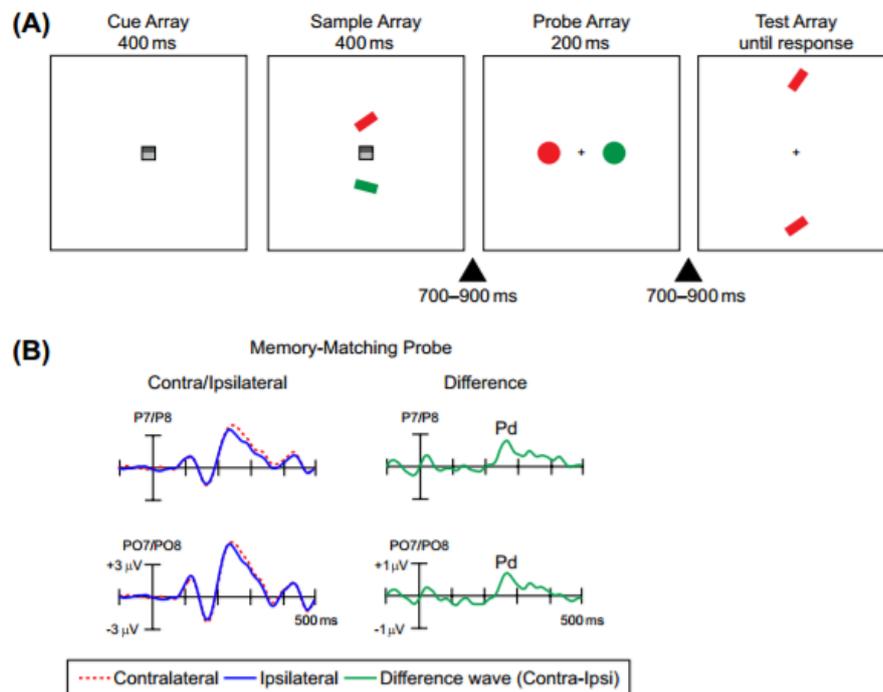


Figure 29 En A, illustration de la séquence d'écran que voient les participants. La moitié des participants doivent mémoriser l'endroit correspondant à la partie foncée de l'indice, alors que l'autre moitié à la partie claire de l'indice. Dans cet exemple, le participant doit donc mémoriser l'orientation du rectangle supérieur (rouge) puis comparer son orientation aux deux rectangles rouges présentés dans le dernier écran. Le cercle rouge est l'élément correspondant à une caractéristique en mémoire. En B, illustration des grandes moyennes ERPs pour les éléments correspondants à la caractéristique en mémoire. Le cercle de couleur correspondant à la couleur de la barre en mémoire élicite une  $P_D$ .

Dans le cadre de cette thèse, nous avons mené une étude sur la suppression d'un élément distracteur avec une charge en mémoire de travail. Pour ce faire, nous avons donc combiné une tâche de mémorisation de chiffre à la tâche que nous avons utilisée sur les modes de recherche. Ainsi, nous avons donc deux groupes de tâches, à savoir la recherche d'élément unique, et la recherche de caractéristique. Le but de ce travail était de voir si le traitement d'un élément distracteur était influencé par la charge en mémoire. Nous avons donc ajouté deux conditions de mémorisation, une condition facile, où les nombres étaient en ordre croissant de 0 à 4, et une condition difficile, où les nombres de 0 à 4 étaient présentés en ordre aléatoire. Le participant devait donc, dans un premier temps, mémoriser la suite de chiffre à l'écran, répondre à l'*additional singleton paradigm* selon le groupe dans lequel il était, puis répondre à la tâche de

mémoire. Pour cette dernière tâche, nous présentions un chiffre à l'écran, et le participant devait indiquer le chiffre qui le suivait dans la séquence présentée au début de l'essai. Afin de maximiser le temps de l'expérience, et la mémorisation, la tâche de mémoire n'apparaissait pas après chaque essai de *l'additional singleton paradigm*. Malheureusement, nous n'avons obtenu aucun résultat, ni au niveau des temps de réaction ni au niveau des composantes latérales. Cette absence de résultats est surprenante, car nous nous sommes basés sur une expérience de de Fockert and Theeuwes (2012). La différence principale entre ces études est que ces derniers ont réalisé une étude IRMf afin de voir le rôle du cortex frontal pour l'attention sélective d'un distracteur visuel. Leurs résultats montrent une différence d'activation au niveau du gyrus frontal inférieur pour la condition avec une tâche de mémoire difficile. Ils concluent donc que le rôle du gyrus frontal inférieur est de détecter une source potentielle de distraction. Une raison pour laquelle nous n'avons pas obtenu de résultats pourrait être que nous n'avons pas analysé la même région cérébrale, et donc la même fonction cognitive. Une autre grande différence est le nombre d'essais. En effet, dans notre expérience, nous avons plus de 2'000 essais répartis sur deux sessions, alors que de Fockert and Theeuwes (2012) n'en avaient que 320. Il est donc possible que la fatigue et l'ennui des participants aient une influence sur les résultats.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, Sawaki and Luck (2011) ont obtenu une  $P_D$ , donc une suppression de l'élément en mémoire de travail. La différence principale avec notre étude est que l'information en mémoire de travail est une couleur, et qu'ils doivent mémoriser l'orientation d'une barre de couleur. Il y a donc un recoupement d'information en mémoire, à savoir l'orientation de la barre qui est utile pour la suite de la tâche, mais les participants ont également l'information de la couleur de cette barre en mémoire, bien qu'elle ne soit pas volontairement stockée en mémoire. À l'inverse, dans notre étude, nous avons deux tâches bien distinctes, à savoir des chiffres à mémoriser, mais une tâche totalement différente, à savoir la tâche de recherche visuelle. Il serait donc intéressant de mener une étude complémentaire afin de voir s'il est nécessaire qu'il y ait un recoupement entre l'information en mémoire et l'information utile pour la tâche. Afin de garder une tâche interférente plus complexe que celle de Sawaki and Luck (2011), une idée serait de combiner la tâche de mémoire de travail de leur étude, à savoir mémoriser l'orientation d'une barre, et de la combiner avec *l'additional singleton paradigm*. Ainsi, si leur hypothèse se confirme, le distracteur de la même couleur que l'élément

à mémoriser devrait être ignoré ( $P_D$ ), alors que le distracteur devrait capturer l'attention ( $N2pc$ ) lorsqu'il est de l'autre couleur que l'élément en mémoire de travail.

## 4. L'Impact de l'Environnement sur le Traitement Visuel

### *a. L'Evolution de la Société*

L'environnement visuel s'est beaucoup modifié au fil des générations. L'un des éléments à avoir le plus modifié cet environnement visuel est l'apparition des écrans, tout d'abord la télévision dans les années 60, puis l'ordinateur dans les années 80. Le changement important lié à ces écrans est que nous passons à un environnement où toutes les informations sont plus ou moins à la même distance. Avec les années, les écrans se sont multipliés pour prendre toujours plus de place dans notre quotidien. Nous passons la majeure partie de nos journées sur un écran d'ordinateur, sur nos tablettes, ou encore sur nos téléphones portables. Notre environnement visuel a donc beaucoup évolué ces dernières années. En effet, au début de la télévision et des ordinateurs, il n'y avait pas autant de programmes ou de logiciels qu'aujourd'hui. Les heures passées devant ces écrans étaient donc bien moindres qu'aujourd'hui. Depuis la fin des années 90, presque tous les ménages sont équipés d'un ou plusieurs ordinateurs, télévisions, smartphones, tablettes, et nous les utilisons constamment. Nous allumons les écrans en nous réveillant, nous y passons la majeure partie de notre journée au travail, et nous les utilisons encore le soir en rentrant du travail. Il est donc probable que cette évolution implique une modification de notre traitement de l'information, mais aussi de notre organisation cérébrale.

Dans l'introduction, nous avons présenté des modèles de la recherche visuelle. Cependant, il est important de mentionner qu'ils datent des années 80, début des années 90. Ces modèles sont encore cités en référence dans les travaux actuels, car ils représentent les fondements du traitement visuel. Il est important de mentionner qu'à l'époque où ces modèles ont été développés, nous étions au début de l'informatique. Il s'agissait d'un outil à apprivoiser, sur lequel les personnes n'étaient pas forcément à l'aise comme c'est le cas aujourd'hui. Il est donc possible que notre approche, et donc le traitement de l'information présent sur un écran se fasse différemment maintenant comparé aux débuts des années 90. Un autre aspect important à soulever est que, les écrans contiennent un grand nombre d'informations, mais certaines informations peuvent venir nous distraire de notre tâche en cours. En effet, lorsque nous sommes sur notre ordinateur, il arrive souvent qu'une petite fenêtre apparaisse en bas de

l'écran indiquant la réception d'un nouveau mail, ou lorsque nous surfons sur internet, des publicités apparaissent souvent sur le bord des pages sur lesquels nous sommes. Les situations avec des informations distrayantes se multiplient donc dans notre quotidien, et nous nous y habituons petit à petit. Il est donc possible que, si nous reprenons les études présentées dans ce travail, et que nous les proposons aux générations à venir, les résultats soient différents. En effet, il est probable que nous mettions en place un système adaptatif afin d'éviter la distraction par ce genre d'éléments qui sont de plus en plus fréquents dans notre quotidien. L'évolution de notre société peut donc aboutir à une évolution de notre système perceptif, d'autant plus que nos capacités sont limitées. La suite des recherches nous dira si une telle adaptation a lieu ou pas.

#### *b. L'Influence de l'Information Inconsciente*

D'un point de vue attentionnel, nous avons vu que nous sommes sensibles à certaines informations, alors que d'autres ne seront pas traitées. Ceci est notamment dû au fait que notre capacité de traitement est limitée. Nous sommes donc conscients d'une petite partie des informations que nous voyons. Mais nous sommes également exposés à des informations qui ne parviennent pas à notre conscience. Dans ce cas, nous parlons d'informations subliminales. Étant donné que ces informations sont inconscientes, nous pouvons penser qu'elles n'auront aucun impact sur notre traitement visuel. Cependant, des études nous prouvent le contraire. McCormick (1997) suggère que le traitement visuel non-conscient nous empêcherait d'avoir recours au mécanisme *top-down*. Cependant, des résultats plus récents semblent indiquer le contraire. En effet, Ivanoff and Klein (2003) montrent qu'un indice présenté de manière subliminale va capturer l'attention s'il est pertinent pour la tâche. Ces résultats ont été confirmés par Ansorge, Kiss, and Eimer (2009) qui ont obtenu une N2pc en direction d'un indice présenté de manière subliminale. Ces résultats nous montrent donc que des informations présentées de manière si rapide qu'elles ne parviennent pas à notre conscience peuvent toutefois nous influencer dans notre traitement visuel. Il serait donc intéressant de voir si une information visuelle subliminale nous donnant une information sur la nature ou la présence d'un distracteur peut nous amener à le traiter différemment, voire le supprimer.

#### *c. L'Influence de la Population Étudiée*

Avant d'aborder les points forts et les limites de ce travail, il est important de mentionner que toutes les études que nous avons menées ont été réalisées avec la collaboration des étudiants de première année de psychologie de l'Université de Genève. Il s'agit donc d'une

population sans trouble décelé et relativement jeune (entre 17 et 30 ans). Nos résultats sont donc généralisables pour une population d'âge restreint (les jeunes) et en bonne santé. Cependant, une partie de la population n'est pas concernée par nos résultats. En effet, l'attention peut être affectée par différents troubles, et ce à différents âges, modifiant ainsi son fonctionnement. Ces troubles peuvent donc avoir un impact sur leur traitement visuel. Nous pouvons par exemple mentionner le trouble du développement avec hyperactivité (TDAH). Une étude récente a montré que, déjà au niveau de la capture attentionnelle (N2pc), une différence est visible entre un enfant TDAH et un enfant au développement normal lors d'une tâche d'identification de la position de la cible (en haut vs. en bas). Wang et al. (2016) obtiennent une N2pc de plus faible amplitude dans le groupe TDAH comparé au groupe avec développement normal. Lorsqu'ils ajoutent un distracteur de couleur saillante, mais non-pertinente, l'inhibition diffère à nouveau entre les groupes : le groupe TDAH obtient une  $P_D$  d'amplitude plus faible. Un autre trouble pouvant engendrer des difficultés au niveau de l'attention sont les démences de type Alzheimer. En effet, ce trouble engendrerait des difficultés au niveau de l'attention spatiale, comme lors d'une tâche d'indication. Ces difficultés sont généralement observées chez les personnes vieillissantes, mais elles sont plus précoces en cas de démence de type Alzheimer (Parasuraman, Greenwood, & Alexander, 2000). Ces résultats confirment donc que nos résultats ne sont pas généralisables à toutes les populations ni à tous les âges. Il est donc important d'être vigilant à ces deux aspects, tant dans la lecture de ce travail que des travaux déjà publiés. De plus, ceci montre également à quel point la recherche dans ce domaine est importante. En effet, nous pouvons établir les différences entre un traitement visuel dit « normal » et un traitement dysfonctionnel via la comparaison de résultats. Une bonne compréhension du traitement visuel peut donc nous aider à identifier où se trouve le problème.

Ces quelques points soulevés ci-dessus nous amènent à parler des points forts et faibles de ce travail. Dans le domaine de la psychologie expérimentale, nous sommes soumis à certaines contraintes, d'autant plus que nous avons utilisé l'électrophysiologie. Cette méthodologie, bien qu'utile pour mieux comprendre les mécanismes cérébraux amène également son lot de contraintes. Nous allons donc les détailler, et voir en quoi elles peuvent limiter les conclusions que nous pouvons apporter, ou au contraire renforcer nos propos.

#### *d. Les Points Forts et les Points Faibles*

Dans cette thèse, nous avons repris et modifié des paradigmes très connus dans le domaine de la cognition visuelle. Les modifications effectuées nous ont permis de répliquer ou non certains résultats. De plus, la manipulation de certains paramètres nous a permis de découvrir des changements au niveau des ERPs latéralisés, ce qui nous permet d'affirmer que les changements observés sont réellement dus à nos manipulations. Ceci nous permet donc de respecter l'un des fondements principaux de la méthodologie ERP à savoir : « Always compare ERPs elicited by the same physical stimulus, varying only the psychological stimulus » (Luck, 2005). Selon ce principe et afin de confirmer que l'effet est réellement dû à notre tâche et pas à une différence physique au niveau de nos stimuli, une expérience de discrimination centrale ou de visualisation passive peut être réalisée (Sawaki & Luck, 2010). Nous avons notamment repris, pour l'expérience nogo, ce type d'expérience contrôle afin de valider nos résultats.

Concernant les modifications apportées, nous avons à chaque fois changé des variables différentes, mais nous trouvons des résultats cohérents. En effet, dans l'étude portant sur les modes de recherche, nous avons à la fois modifié les formes présentées à l'écran, mais aussi la nature de la cible selon nos participants. Dans notre troisième étude, s'intéressant à l'effet de similarité entre la cible et les distracteurs, nous avons cette fois-ci induit un mode de recherche (élément unique), et nous avons répliqué les résultats de la deuxième étude (mode de recherche) dans l'une de nos deux conditions. Ceci confirme donc que les effets que nous avons obtenus ne semblent pas dus à nos manipulations expérimentales, mais sont réellement dus à la manière dont l'information visuelle est traitée. De plus, comme nous allons le développer dans le point suivant, nous obtenons également des résultats cohérents lorsque nous utilisons des stimuli plus écologiques, comme des visages, ou des araignées. Nous pouvons donc supposer que nos effets ne sont pas dus aux formes que nous utilisons, mais qu'ils sont également présents avec des stimuli plus réels.

Concernant les limites de ce travail, nous allons commencer par mentionner les displays utilisés. En effet, nous réalisons des analyses ERPs, nous sommes donc obligés de présenter un grand nombre d'essais par condition. Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, ces conditions sont nécessaires afin de pouvoir observer le signal cortical, et limiter le bruit. Un grand nombre d'essais par condition nous permet donc de diminuer le ratio du bruit, étant donné qu'il s'agit d'une fonction de racine carrée sur le nombre d'essais par conditions (Luck, 2005). Étant

donné la durée des expériences, il est probable que nos participants soient fatigués et lassés par la tâche. Cette perte de motivation peut donc avoir des effets sur les performances à la tâche. Afin de limiter cet effet de fatigue sur nos résultats, nous maximisons le nombre d'essais uniquement pour les conditions qui nous sont utiles pour comprendre les mécanismes impliqués dans la suppression du distracteur. Ainsi, nous focalisons nos analyses sur la condition sans distracteur, et la condition avec une cible verticale et un distracteur latéral. Les autres essais ne sont pas analysés, car pas suffisants, mais nous permettent d'ajouter de l'incertitude dans les réponses des participants, raison pour laquelle nous les gardons tout de même. Nous récoltons donc un grand nombre de résultats, inutiles pour la suite de nos analyses. Cependant, nous faisons ce choix, car ceci nous permet de comparer les différentes conditions pour chaque participant. En effet, les comparaisons intra-sujets nous permettent de meilleures conclusions que les comparaisons inter-sujets.

Comme deuxième limite, il est nécessaire de tenir compte des conditions expérimentales. En effet, comme nous l'avons déjà brièvement mentionné dans cette conclusion, ces résultats sont obtenus dans des conditions expérimentales très contrôlées, ce qui représente un point fort de ce travail, comme nous l'avons développé ci-dessus. Cependant, cela peut également être considéré comme une limite, nos conditions d'expériences étant relativement éloignées par rapport aux conditions auxquelles nous sommes confrontés dans la vie quotidienne. Quand nous recherchons une information dans la vie quotidienne, les distances entre ce que nous cherchons et les informations distrayantes ne sont pas contrôlées. Nos résultats nous donnent donc des informations quant au traitement visuel sous certaines conditions. Cependant, nous ne savons pas jusqu'où ces données sont généralisables au quotidien. De plus, les stimuli que nous avons utilisés ne sont pas réellement pertinents dans notre quotidien. En effet, le fait de localiser un cercle ou un losange n'aura que peu d'effet sur notre quotidien. À l'inverse, certains stimuli sont nettement plus importants pour nous, notamment pour notre survie. Nous avons donc mené, en parallèle des études présentées ci-dessus, d'autres études avec des stimuli plus écologiques.

## 5. La Suppression des Stimuli Emotionnels

Jusqu'ici, nous avons principalement présenté des études avec des formes comme stimuli. Cependant, la sélection attentionnelle diffère selon les stimuli utilisés. Par exemple, les stimuli menaçants sont traités de manière privilégiée, qu'il s'agisse d'un visage avec une émotion négative, mais aussi de stimuli menaçants comme les araignées ou les serpents (Ohman,

Lundqvist, & Esteves, 2001; Weymar, Gerdes, Low, Alpers, & Hamm, 2013). Ces réponses automatiques seraient nécessaires à notre survie. Ainsi, ce mécanisme de sélection prioritaire nous permettrait d'identifier automatiquement le danger et ainsi de déclencher un système de défense (Devue, Belopolsky, & Theeuwes, 2011; Weymar, Low, Ohman, & Hamm, 2011). Nous avons donc mené des expériences pour voir à quel point ces informations, bien que nécessaires à notre survie, peuvent tout de même être ignorées.

#### *a. Les Visages de Colère*

Nous sommes très fréquemment confrontés à des stimuli émotionnels, plus précisément des visages. Ces émotions peuvent être positives, ou négatives, et leur traitement différerait selon leur nature. En effet, les visages de colère seraient traités de manière prioritaire afin d'en faciliter le traitement (Lang, Davis, & Ohman, 2000; Ohman & Mineka, 2001). Cet avantage de traitement serait évolutionnaire et utile pour garantir notre survie. Cette différence de traitement de la menace a été observée pour des visages réels (Hansen & Hansen, 1988), mais également pour des visages schématiques (Eastwood, Smilek, & Merikle, 2001; Fox et al., 2000; Ohman, Lundqvist, et al., 2001). Ces données suggèrent donc une sélection attentionnelle préférentielle pour les expressions menaçantes, comparées aux émotions positives. Cet effet est observé dans des études où les visages émotionnels sont pertinents pour la tâche, et est connu sous le nom d'effet de supériorité de la colère (*anger superiority effect*) (Hansen & Hansen, 1988). Les études présentées jusqu'ici ont utilisés le visage émotionnel comme cible. À l'inverse, dans notre étude, nous l'avons présenté comme distracteur (Burra, Barras, Coll, & Kerzel, 2016; Burra, Coll, Barras, & Kerzel, 2016). Ceci va nous permettre de voir l'impact d'un visage émotionnel lorsqu'il est totalement non-pertinent pour la tâche. Comme nous l'avons montré tout au long de ce travail, les distracteurs perturbent la recherche visuelle, impliquant ainsi une augmentation des temps de réaction. Étant donné que les visages menaçants sont traités de manière préférentielle, nous devrions donc observer une capture de type *bottom-up* plus importante que lorsqu'un visage avec une émotion positive est présenté comme distracteur. Des études ont déjà mis en évidence une différence de temps de réaction entre une condition sans distracteur émotionnel et une condition avec distracteur émotionnel (Hodsoll, Viding, & Lavie, 2011; Huang, Chang, & Chen, 2011). Cependant, aucune différence de temps de réaction n'a été obtenue entre les émotions menaçantes et les émotions positives, que les visages soient schématiques ou réels. Nous allons donc ajouter l'enregistrement électroencéphalographique à cette étude afin de voir

si les composantes liées à la capture attentionnelle ou l'inhibition diffèrent entre les deux types d'émotion.

Nous avons repris l'*additional singleton paradigm* dans lequel nous avons remplacé les formes par de vrais visages. Les participants doivent identifier le visage entouré de couleur différente, et indiquer s'il s'agit d'un homme ou d'une femme. Comme dans l'*additional singleton paradigm*, nous avons une condition contrôle, donc sans distracteur, et une condition avec distracteur. Dans cette dernière condition, un visage émotionnel représentant la colère ou la joie est présenté en position latérale, alors que la cible (visage d'émotion neutre entouré de couleur différente) est en position verticale (Figure 30).

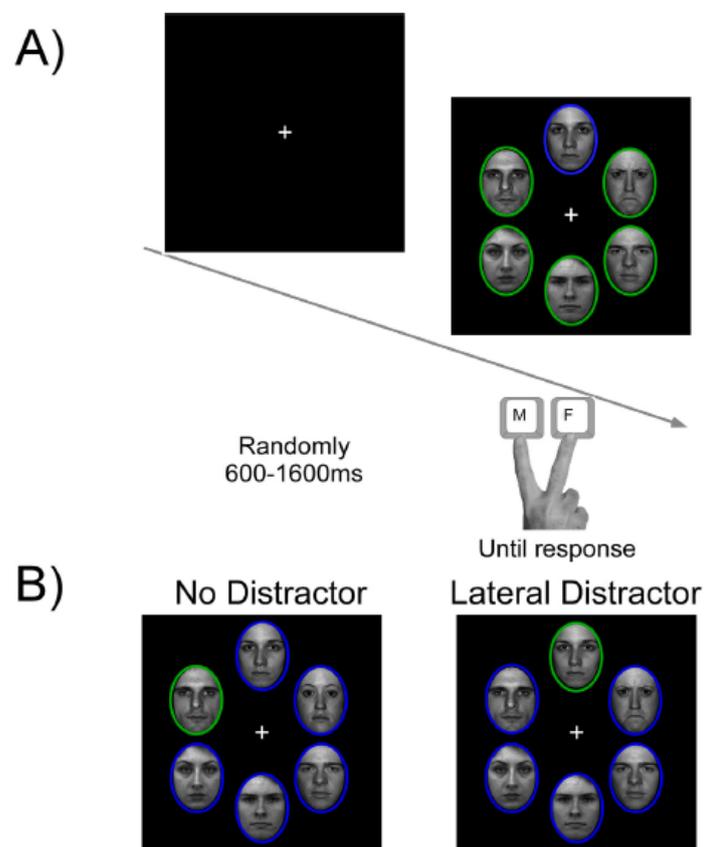


Figure 30 Illustration du paradigme de l'étude portant sur le traitement des visages émotionnels. En A, illustration de la séquence, à savoir une croix de fixation pour une durée aléatoire entre 600 et 1600 ms, suivi par l'écran réponse affiché jusqu'à la réponse du participant en pressant une des deux touches selon le genre du visage entouré de couleur différente. En B illustration des deux conditions utilisées dans l'expérience. A gauche, la condition sans distracteur émotionnel avec une cible latérale, et à droite avec un distracteur émotionnel en position latérale et la cible en position verticale.

Conformément aux résultats obtenus jusqu'ici, nous observons une différence de temps de réaction entre les conditions avec et sans distracteur, mais pas entre les deux types de distracteurs : colère vs joie. Concernant les résultats des composantes latéralisées, nous obtenons une N2pc en direction de la cible lorsque le distracteur est absent ( $-2.21 \mu\text{V}$ ) (Figure 31). L'effet que nous avons observé est significatif pour la fenêtre temporelle comprise entre 285 et 325 ms. La différence de voltage apparaissant en réponse à l'expression de colère est significativement plus positive que celle apparaissant en réponse à l'expression de joie (respectivement  $0.38$  vs.  $-0.11 \mu\text{V}$ ). Des analyses complémentaires montrent que la  $P_D$  en direction du visage de colère est significative, alors que la différence de voltage n'est pas significative pour les visages de joie.

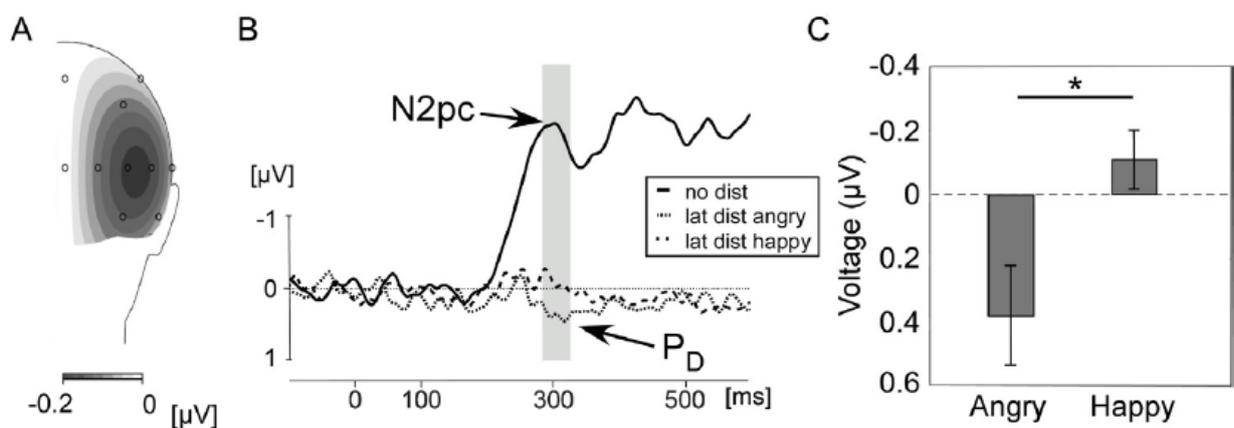


Figure 31 Illustration des potentiels évoqués latéralisés. En A, topographie de la N2pc avec le pic au niveau des électrodes P07/P08. En B, la différence de l'activité contralatérale et ipsilatérale au niveau des électrodes P07/P08 pour chaque condition. L'aire grisée représente la fenêtre que nous avons analysée autour du pic de la N2pc entre 285 et 325 ms. En C, l'amplitude moyenne pour les conditions avec distracteur de colère et de joie.

Les résultats obtenus sont donc cohérents avec les études comportementales, à savoir que les temps de réaction sont plus lents dans les conditions avec un distracteur émotionnel comparé à la condition sans distracteur. De plus, aucune différence de temps de réaction n'est observée entre les deux conditions avec distracteur (Burra, Barras, et al., 2016; Hodsoll et al., 2011; Huang et al., 2011). Nos résultats vont plus loin sur l'analyse des distracteurs, en effet, grâce aux ERPs, nous avons mis en évidence que le distracteur de colère est supprimé, comme l'indique la présence de la  $P_D$  en sa direction, alors que ce n'est pas le cas du distracteur de joie. Ceci suggère que le distracteur de colère est plus saillant que le distracteur de joie et doit être

supprimé afin que la tâche puisse être réalisée. Grâce à des données complémentaires, nous pouvons exclure que cet effet soit dû à des différences de bas-niveau, ou à une différence d'intensité des émotions. Nos résultats suggèrent donc que la suppression attentionnelle est liée à la valence négative et au caractère menaçant des visages de colère (Ohman, Lundqvist, et al., 2001; Weymar et al., 2011). En résumé, les données suggèrent que le système attentionnel transmet une haute priorité attentionnelle pour les visages de colère, même lorsqu'ils ne sont pas pertinents pour la tâche.

### *b. Les Araignées*

Dans notre quotidien, il arrive que nous soyons confrontés à des stimuli effrayants, comme nous l'avons montré ci-dessus avec les visages. Cependant, il existe d'autres stimuli pouvant nous effrayer : certains insectes, comme les araignées. Tout comme les visages, ces stimuli seraient traités de manière préférentielle pour garantir notre survie (Devue et al., 2011; Ohman, Flykt, & Esteves, 2001). De nombreuses études se sont intéressées à la capture attentionnelle par ces stimuli menaçants, et trouvent effectivement qu'ils sont traités prioritairement comparés à des stimuli neutres (Ohman, Flykt, et al., 2001; Weymar et al., 2013). Les participants sont également plus précis dans la détection d'un stimulus menaçant comparé à un stimulus inoffensif. Les stimuli menaçants sont donc traités préférentiellement lorsqu'ils sont la cible de la recherche. Ces résultats ont été confirmés par une étude se focalisant sur la N2pc. En effet, Weymar et al. (2013) proposent une tâche de catégorisation présent/absent. Les participants (arachnophobes vs. non-arachnophobes) voyaient six éléments à l'écran, par exemple des fleurs, et ils devaient indiquer si un élément de catégorie différente était présent (par exemple un papillon). Les résultats montrent que lorsque l'élément de catégorie différente est une araignée, elle est identifiée plus rapidement que s'il s'agit d'un papillon ou d'une fleur. De plus, les résultats ERPs montrent une N2pc en direction de l'élément de catégorie différente. De manière générale, cette N2pc est plus large pour les araignées, que les stimuli neutres. Concernant la différence entre les groupes, la N2pc est plus importante pour les personnes arachnophobes comparées aux personnes qui n'ont pas peur des araignées. Une araignée présentée comme cible de la recherche va donc capturer l'attention des participants de manière préférentielle.

Cependant, que se passe-t-il lorsque l'araignée est présentée comme élément distracteur ? Une étude de Devue et al. (2011) a tenté de répondre à cette question. Ils ont

présenté l'*additional singleton paradigm* à des participants qui ont peur ou pas des araignées. Une forme distractive peut être remplacée par une araignée ou un papillon. Les résultats montrent que si les participants ont particulièrement peur des araignées et qu'une araignée peut potentiellement apparaître, leur attention sera davantage capturée par tous les distracteurs saillants, même s'ils sont neutres (par exemple par un papillon). Cependant, cette étude ne se base que sur des temps de réaction, et ne nous permet pas de comprendre les mécanismes sous-jacents à cette différence de capture attentionnelle. Nous avons mené une étude avec des distracteurs menaçants et avec des analyses de composantes latéralisées afin de mieux comprendre les mécanismes en jeu dans le traitement des stimuli distracteurs menaçants.

Nous avons repris l'*additional singleton paradigm* dans lequel nous avons remplacé les formes par des ombres de stimuli naturels. En effet, nous avons présenté des fleurs parmi lesquels un distracteur pouvait être présent. Le distracteur pouvait soit être menaçant : une araignée, soit neutre : une feuille. La tâche des participants est d'indiquer de quel côté le pétale de la fleur est manquant (Figure 32). Par souci de luminance, nous avons supprimé un pétale à toutes les fleurs, seule une fleur à un pétale manquant sur le côté. Nous avons donc une condition contrôle, sans distracteur, et une condition avec un distracteur latéral (araignée ou feuille) / cible verticale.

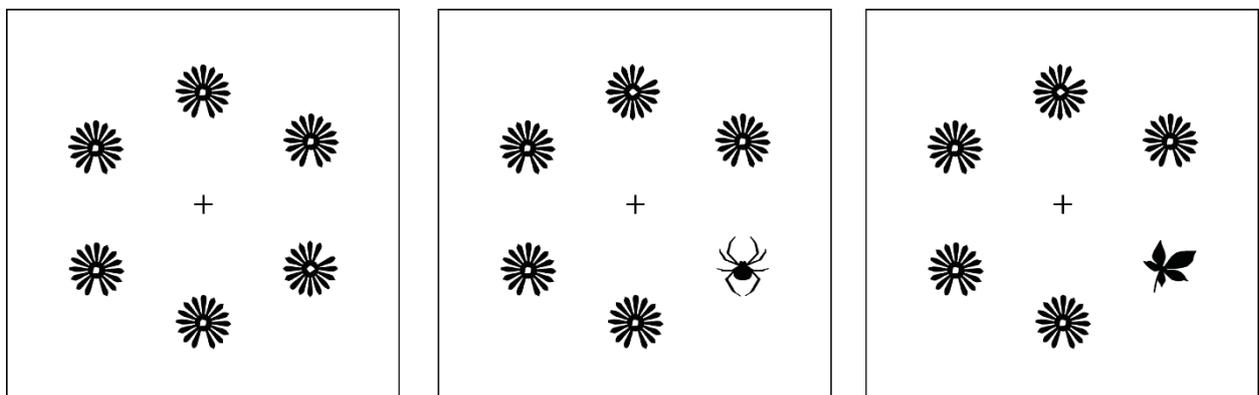


Figure 32 Illustration des conditions utilisées pour l'étude avec les stimuli menaçants. À gauche, nous avons la condition contrôle, le participant doit indiquer de quel côté est le pétale manquant. Au centre, nous avons la condition avec le distracteur menaçant et la cible verticale. À droite, nous avons la condition avec le distracteur neutre, et la cible verticale.

Voici les résultats préliminaires de cette expérience en cours. Conformément aux résultats obtenus jusqu'ici, nous observons une différence de temps de réaction entre les

conditions avec et sans distracteur, quel que soit le type de distracteur. A propos des deux types de distracteurs, la différence au niveau des temps de réaction n'est pas significative. Concernant les résultats électrophysiologiques, nous obtenons un effet significatif pour la fenêtre temporelle comprise entre 250 et 330 ms. Une N2pc est observée en direction de la cible lorsque le distracteur est absent (-1.33  $\mu$ V) (Figure 33). De plus, nous observons une P<sub>D</sub> en direction de nos deux types de distracteurs, à savoir la feuille et l'araignée (1.72 et 2.11  $\mu$ V). Autre point intéressant, nos deux P<sub>D</sub> sont significativement différentes l'une de l'autre. Ainsi, nous obtenons une différence de suppression entre nos deux types de distracteurs. Si nous observons nos différences d'ondes (Figure 33), nous voyons également une différence de voltage entre 80 et 140 ms. Cette différence est significative pour nos deux conditions avec distracteur, mais pas pour la condition contrôle. Ainsi, nous obtenons une différence de traitement précoce en direction de nos distracteurs.

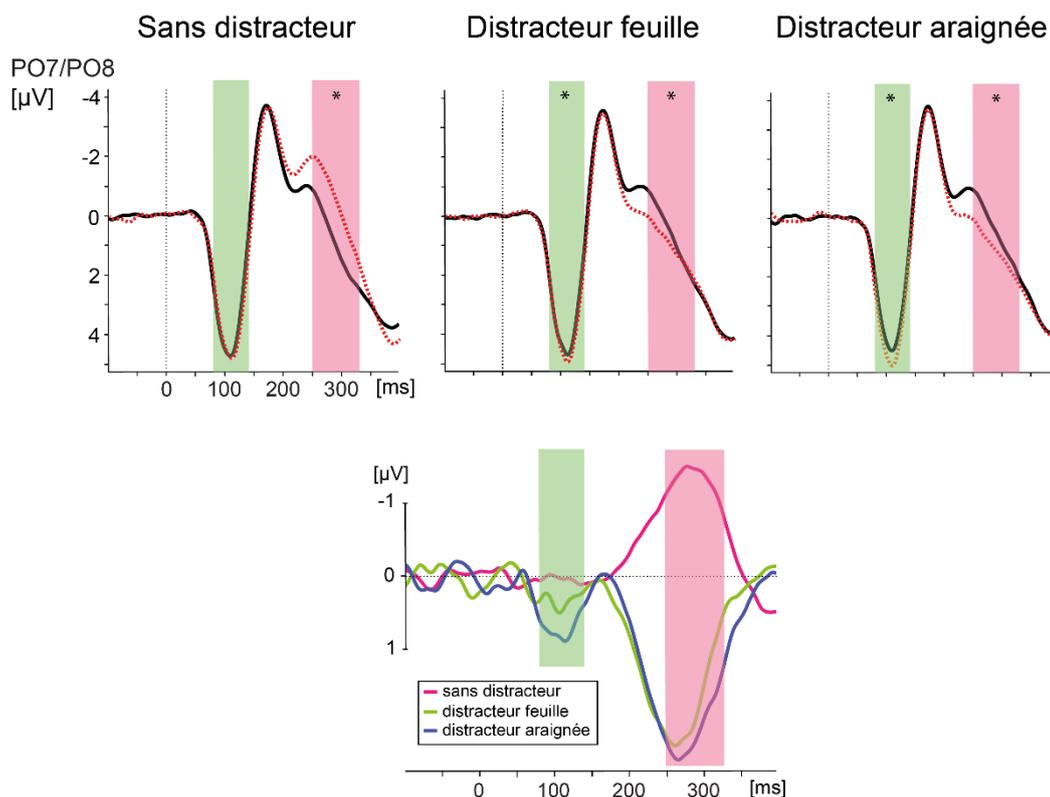


Figure 33 Illustration des résultats de l'expérience portant sur le traitement d'un distracteur effrayant. Nous avons la différence de l'activité contralatérale et ipsilatérale au niveau des électrodes P07/P08 pour chaque condition. Les aires colorées représentent les fenêtres que nous avons analysées autour du pic de la N2pc entre 250 et 330 ms et entre 80 et 140 ms.

Nos résultats vont plus loin sur l'analyse des distracteurs, en effet, grâce aux ERPs, nous avons mis en évidence que nos deux types de distracteurs sont supprimés, comme l'indique la présence de la  $P_D$  en leur direction. Cependant, nos résultats nous montrent également que la suppression du distracteur araignée est plus forte que pour le distracteur feuille. Ceci suggère que l'araignée nécessite plus d'effort pour être supprimée, sans doute à cause de sa pertinence pour notre survie. Il est important que cette différence entre les distracteurs ne s'observe pas au niveau des temps de réaction, mais uniquement au niveau des ERPs latéralisés. Ceci suggère donc qu'il y a une différence au niveau des processus de suppression, mais que cela n'implique pas de différence temporelle. De plus, nous observons une différence de traitement précoce du traitement de nos deux distracteurs. Lors de la consigne, nous leur disons qu'un distracteur peut apparaître dans certains essais, et qu'il peut s'agir d'une araignée ou d'une feuille. Il est donc possible que cette différence précoce reflète une différence de saillance émotionnelle, à savoir une hypervigilance à nos distracteurs comme le suggèrent Weymar et al. (2013). Cette différence est sans doute une Ppc, composante connue pour refléter des différences de saillance. Il semble donc, d'après nos résultats qu'un élément saillant et important pour notre survie peut tout de même être ignoré lorsque les personnes sont au courant qu'un tel stimulus peut apparaître.

Notons toutefois qu'une expérience complémentaire est nécessaire afin de s'assurer que la différence de traitement des distracteurs n'est pas due à une différence de saillance physique de nos distracteurs. Pour tester ceci, nous allons proposer une tâche au niveau de la croix de fixation. Ainsi, les stimuli présents à l'écran ne seront pas pertinents. Si nous observons tout de même une suppression ou capture par l'un de ces deux éléments, cela suggérera alors une différence de saillance.

### *c. Conclusion sur la Suppression des Stimuli Menaçants*

Prises ensemble, ces données sur des stimuli émotionnels montrent que, bien qu'ils bénéficient d'un traitement privilégié, ils peuvent tout de même être ignorés sous certaines conditions. En effet, lorsqu'il s'agit d'un distracteur et que la tâche demande une certaine concentration, nous sommes capables d'ignorer un visage de colère. De plus, lorsque nous sommes prévenus de la présence éventuelle d'un distracteur menaçant, nous sommes capables de relativiser son côté menaçant, et ainsi d'éviter qu'il ne capture notre attention s'il n'est pas pertinent. Nous pouvons donc conclure que les résultats que nous avons obtenus dans les expériences avec des stimuli non-écologiques sont généralisables à des stimuli plus écologiques.

Précisons toutefois que, malgré l'utilisation de stimuli écologiques, un grand nombre de variables sont tout de même contrôlées.

## 6. Ouvertures

Comme nous l'avons vu dans ce travail, la capture attentionnelle et l'inhibition d'un distracteur dépendent de plusieurs facteurs, comme la nature des formes qui entourent la cible, mais aussi la similitude entre la cible et le distracteur. Il serait donc intéressant de voir, dans d'autres études, si la modification d'autres caractéristiques joue également un rôle.

Dans une première étude, il serait intéressant de voir l'effet d'une modification au niveau de la couleur. Comme nous l'avons mentionné dans l'introduction, la différence de saillance entre la couleur de la cible et du distracteur influence le traitement visuel (Gaspar & McDonald, 2014). Il serait intéressant de voir si le fait de connaître la couleur du distracteur influe sur son traitement. Afin de pouvoir comparer le traitement du distracteur, nous présenterions donc deux conditions distracteur, une condition avec une couleur connue, et l'autre avec une couleur inconnue. Dans le cas du distracteur de couleur inconnue, nous faisons l'hypothèse que celui-ci va capturer l'attention du participant indépendamment de sa volonté. À l'inverse, lorsque la couleur est connue, nous pensons que le participant va pouvoir anticiper la capture attentionnelle en mettant en place une suppression active, donc nous observerons la présence d'une  $P_D$  en sa direction.

Une deuxième étude intéressante porterait sur la modification de la taille des distracteurs. Dans une tâche de recherche visuelle, la modification de la taille de présentation d'un stimulus provoque une capture attentionnelle. Dans cette expérience, il s'agit de modifier la taille des formes présentées. En effet, comme nous l'avons mentionné ci-dessus, Sawaki and Luck (2010) ont mis en évidence un effet au niveau de la capture attentionnelle par une lettre de même nature, mais de taille différente. L'effet de taille a également été mentionné par Becker (2010). Plus la taille entre cible et distracteur est similaire, plus l'attention semble capturée par le distracteur. Cependant, il est précisé que l'effet est plus fort lors d'une taille très proche entre les deux éléments comparés à une taille exactement identique. Dans cette étude, nous pourrions modifier la taille de la cible. Le participant devrait ainsi chercher le petit cercle parmi les losanges. Afin de voir si la taille est un élément important dans la capture, nous présenterions, dans la première condition, le petit cercle entouré de losanges plus grands. Dans une deuxième

condition, nous y ajouterions un distracteur de couleur afin de tester l'hypothèse selon laquelle en cherchant une taille spécifique, une couleur saillante capture tout de même l'attention. Dans une troisième condition, nous pourrions présenter un des losanges de la même taille que le cercle. Enfin, dans la quatrième et dernière condition, nous présenterions un distracteur de couleur de taille identique à celle de la cible (Figure 34). Nous faisons l'hypothèse d'une inhibition du distracteur de couleur lorsque celui-ci est plus grand que la cible, impliquant ainsi la présence d'une  $P_D$ . Cependant, lorsqu'il est de la même taille que la cible, nous nous attendons cette fois-ci à une capture attentionnelle, donc une  $N2pc$  en sa direction. Concernant la condition avec le distracteur de petite taille, mais de même couleur que la cible, nous nous attendons également à une  $N2pc$  en sa direction, étant donné la saillance de sa forme, mais elle devrait être de plus faible amplitude que lorsque cette même forme est de couleur différente.

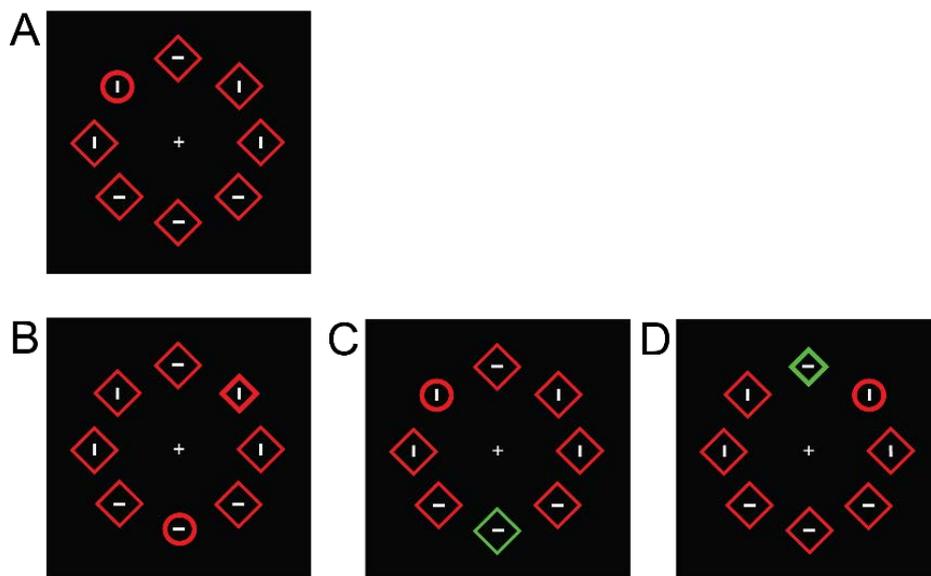


Figure 34 Exemple du paradigme proposé pour l'étude de l'effet de taille avec en A, la cible de plus petite taille que les losanges. De B à D, nous avons les conditions avec un distracteur. En B, nous avons un distracteur de la même taille et même couleur que la cible. En C, nous avons un distracteur de couleur et de taille différente comparé à la cible. Enfin, en D, nous avons un distracteur de même taille, mais de couleur différente comparé à la cible.

Dans ce travail, nous n'avons présenté que des études réalisées sur un écran d'ordinateur, donc en 2 dimensions. Nous n'avons donc que peu d'informations concernant le déploiement de l'attention dans un environnement en 3 dimensions. L'évolution qu'a connue l'informatique ces dernières années nous permet maintenant de naviguer dans des environnements en 3

dimensions. Nous pourrions donc proposer des études dans lesquelles nous ajoutons la notion de profondeur. Des études récentes ont montré une différence de traitement selon la profondeur de la cible (Finlayson & Grove, 2015; Ogawa & Macaluso, 2015). Ils suggèrent que nos performances en recherche visuelle diminuent avec la profondeur de présentation. Ainsi, nous sommes moins efficaces à trouver un objet présenté sur un plan profond comparé à un objet présenté sur le devant. Ceci semble donc confirmer que les conclusions que nous tirons sur le traitement visuel d'un environnement en 2 dimensions ne soient pas totalement applicables pour un environnement en 3 dimensions. Il serait donc intéressant de voir si un distracteur saillant serait traité différemment selon la profondeur à laquelle il est présenté. En effet, nos études en 2 dimensions nous montrent des situations dans lesquelles nous sommes capables d'ignorer un distracteur. Nous ne pouvons pas garantir que des conclusions similaires seraient obtenues si nous présentons les mêmes situations dans un environnement en 3 dimensions. Il est probable qu'un distracteur présenté dans une dimension plus profonde que la cible soit plus facilement ignoré. Il est donc également possible que la  $P_D$  soit influencée par cette nouvelle dimension. Cette nouvelle approche du traitement des distracteurs nous donnerait des informations plus facilement généralisables à des situations quotidiennes. Pour rester dans les évolutions technologiques, nous pouvons aller encore plus loin et créer des environnements en réalité augmentée. Il nous est donc possible d'être encore plus proche de la réalité avec cette méthode. Une critique de ce travail était que nos situations ne sont pas proches de la réalité. À l'aide de cette technique, il est nous maintenant possible de remédier à ce problème. Nous pouvons donc modifier et adapter nos paradigmes à des situations de la vie courante et présenter une cible et des distracteur dans un environnement quasi réel.

## 7. Conclusion Générale

Le but de ce travail, était d'étudier la suppression du distracteur. La littérature sur ce domaine est relativement récente, donc il est nécessaire d'approfondir les connaissances sur ce sujet. Grâce à l'électrophysiologie, et plus précisément les composantes N2pc et  $P_D$ , nous avons étudié les conditions favorisant l'apparition de l'une ou l'autre de ces composantes. Nous avons montré la présence d'une  $P_D$  lors d'une recherche facile et efficace, et lorsque le traitement est initié, donc en présence d'un « *attend-to-me signal* ». Ces résultats nous permettent donc d'augmenter la compréhension du traitement du distracteur, notamment grâce aux données électrophysiologiques. Cependant, nous sommes loin d'avoir compris toutes les subtilités du

traitement du distracteur, ainsi que les conditions permettant sa suppression. Des recherches complémentaires sont nécessaires afin d'approfondir les connaissances sur le sujet. Il est également important de faire des études plus proches des conditions réelles, maintenant que des technologiques nous le permettent.

#### IV. BIBLIOGRAPHIE

- Anderson, B. A., & Folk, C. L. (2012). Dissociating location-specific inhibition and attention shifts: Evidence against the disengagement account of contingent capture. *Attention Perception & Psychophysics*, *74*(6), 1183-1198. doi: 10.3758/s13414-012-0325-9
- Ansorge, U., Kiss, M., & Eimer, M. (2009). Goal-driven attentional capture by invisible colors: Evidence from event-related potentials. *Psychonomic Bulletin & Review*, *16*(4), 648-653. doi: 10.3758/Pbr.16.4.648
- Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1994). Overriding Stimulus-Driven Attentional Capture. *Perception & Psychophysics*, *55*(5), 485-496. doi: 10.3758/Bf03205306
- Barras, C., & Kerzel, D. (2016a). Active suppression of salient-but-irrelevant stimuli does not underlie resistance to visual interference. *Biological Psychology*, *121*, 74-83. doi: 10.1016/j.biopsycho.2016.10.004
- Barras, C., & Kerzel, D. (2016b). Nogo Stimuli Do Not Receive More Attentional Suppression or Response Inhibition than Neutral Stimuli: Evidence from the N2pc, PD, and N2 Components in a Spatial Cueing Paradigm. *Front Psychol*, *7*. doi: Artn63010.3389/Fpsyg.2016.00630
- Barras, C., & Kerzel, D. (accepted pending minor revisions). Salient-but-irrelevant stimuli cause attentional capture in difficult, but attentional suppression in easy visual search. *Psychophysiology*.
- Becker, S. I. (2007). Irrelevant singletons in pop-out search: Attentional capture or filtering costs? *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *33*(4), 764-787. doi: 10.1037/0096-1523.33.4.764
- Becker, S. I. (2010). The Role of Target-Distractor Relationships in Guiding Attention and the Eyes in Visual Search. *Journal of Experimental Psychology-General*, *139*(2), 247-265. doi: 10.1037/A0018808
- Becker, S. I., Folk, C. L., & Remington, R. W. (2013). Attentional Capture Does Not Depend on Feature Similarity, but on Target-Nontarget Relations. *Psychological Science*, *24*(5), 634-647. doi: 10.1177/0956797612458528
- Belopolsky, A. V., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2010). What is top-down about contingent capture? *Attention Perception & Psychophysics*, *72*(2), 326-341. doi: 10.3758/App.72.2.326

- Bisley, J. W. (2011). The neural basis of visual attention. *Journal of Physiology-London*, *589*(1), 49-57. doi: 10.1113/jphysiol.2010.192666
- Born, S., Kerzel, D., & Theeuwes, J. (2011). Evidence for a dissociation between the control of oculomotor capture and disengagement. *Experimental Brain Research*, *208*(4), 621-631. doi: 10.1007/s00221-010-2510-1
- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2007). Electrophysiological evidence of central interference in the control of visuospatial attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, *14*(1), 126-132. doi: 10.3758/Bf03194039
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*: New York,: Pergamon Press.
- Broadbent, D. E. (1982). Task Combination and Selective Intake of Information. *Acta Psychologica*, *50*(3), 253-290. doi: 10.1016/0001-6918(82)90043-9
- Bruin, K. J., Wijers, A. A., & van Staveren, A. S. J. (2001). Response priming in a go/nogo task: do we have to explain the go/nogo N2 effect in terms of response activation instead of inhibition? *Clinical Neurophysiology*, *112*(9), 1660-1671. doi: 10.1016/S1388-2457(01)00601-0
- Burra, N., Barras, C., Coll, S. Y., & Kerzel, D. (2016). Electrophysiological evidence for attentional capture by irrelevant angry facial expressions. *Biological Psychology*, *120*, 69-80.
- Burra, N., Coll, S. Y., Barras, C., & Kerzel, D. (2016). Electrophysiological evidence for attentional capture by irrelevant angry facial expressions: naturalistic faces. *Neuroscience Letters*.
- Burra, N., & Kerzel, D. (2013). Attentional capture during visual search is attenuated by target predictability: Evidence from the N2pc, Pd, and topographic segmentation. *Psychophysiology*, *50*(5), 422-430. doi: 10.1111/Psyp.12019
- Burra, N., & Kerzel, D. (2014). The distractor positivity (Pd) signals lowering of attentional priority: Evidence from event-related potentials and individual differences. *Psychophysiology*, *51*(7), 685-696. doi: 10.1111/Psyp.12215
- Carlisle, N. B., & Woodman, G. F. (2011). When Memory Is Not Enough: Electrophysiological Evidence for Goal-dependent Use of Working Memory Representations in Guiding Visual Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(10), 2650-2664. doi: 10.1162/jocn.2011.21602
- Carmel, T., & Lamy, D. (2014). The Same-Location Cost Is Unrelated to Attentional Settings: An Object-Updating Account. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *40*(4), 1465-1478. doi: 10.1037/a0036383

- Carmel, T., & Lamy, D. (2015). Towards a Resolution of the Attentional-Capture Debate. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 41(6), 1772-1782. doi: 10.1037/xhp0000118
- Cherry, E. C. (1953). Some Experiments on the Recognition of Speech, with One and with 2 Ears. *Journal of the Acoustical Society of America*, 25(5), 975-979. doi: 10.1121/1.1907229
- Cohen, A., & Magen, H. (1999). Intra- and cross-dimensional visual search for single-feature targets. *Perception & Psychophysics*, 61(2), 291-307. doi: 10.3758/Bf03206889
- Cohen, A., & Shoup, R. (1997). Perceptual dimensional constraints in response selection processes. *Cogn Psychol*, 32(2), 128-181. doi: 10.1006/cogp.1997.0648
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201-215. doi: 10.1038/nrn755
- de Fockert, J. W., & Theeuwes, J. (2012). Role of frontal cortex in attentional capture by singleton distractors. *Brain and Cognition*, 80(3), 367-373. doi: 10.1016/j.bandc.2012.07.006
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 353(1373), 1245-1255. doi: 10.1098/rstb.1998.0280
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural Mechanisms of Selective Visual-Attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222. doi: 10.1146/annurev.neuro.18.1.193
- Deubel, H., & Schneider, W. X. (1996). Saccade target selection and object recognition: Evidence for a common attentional mechanism. *Vision Research*, 36(12), 1827-1837. doi: 10.1016/0042-6989(95)00294-4
- Devue, C., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2011). The Role of Fear and Expectancies in Capture of Covert Attention by Spiders. *Emotion*, 11(4), 768-775. doi: 10.1037/a0023418
- Duncan, J. (1985). Visual search and visual attention. In M. I. Posner, & O. S. M. Marin (Eds.). *Attention and performance, Vol. XI*, 85-106.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual-Search and Stimulus Similarity. *Psychological Review*, 96(3), 433-458. doi: 10.1037//0033-295x.96.3.433
- Eastwood, J. D., Smilek, D., & Merikle, P. M. (2001). Differential attentional guidance by unattended faces expressing positive and negative emotion. *Perception & Psychophysics*, 63(6), 1004-1013. doi: 10.3758/Bf03194519
- Eimer, M. (1993). Effects of Attention and Stimulus Probability on Erps in a Go/Nogo Task. *Biological Psychology*, 35(2), 123-138. doi: 10.1016/0301-0511(93)90009-W

- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), 225-234. doi: 10.1016/0013-4694(96)95711-9
- Eimer, M., & Kiss, M. (2008). Involuntary attentional capture is determined by task set: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), 1423-1433. doi: 10.1162/jocn.2008.20099
- Eimer, M., & Kiss, M. (2010). Top-down search strategies determine attentional capture in visual search: Behavioral and electrophysiological evidence. *Attention Perception & Psychophysics*, 72(4), 951-962. doi: 10.3758/App.72.4.951
- Eimer, M., Kiss, M., Press, C., & Sauter, D. (2009). The Roles of Feature-Specific Task Set and Bottom-Up Saliency in Attentional Capture: An ERP Study. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 35(5), 1316-1328. doi: 10.1037/A0015872
- Feldmann-Wustefeld, T., & Schubö, A. (2015). Target discrimination delays attentional benefit for grouped contexts: An ERP study. *Brain Research*, 1629, 196-209. doi: 10.1016/j.brainres.2015.10.018
- Feldmann-Wüstefeld, T., & Schubö, A. (2013). Context homogeneity facilitates both distractor inhibition and target enhancement. *Journal of Vision*, 13(3). doi: Artn 11 10.1167/13.3.11
- Fellrath, J., Manuel, A. L., & Ptak, R. (2014). Task relevance effects in electrophysiological brain activity: Early, but not first. *Neuroimage*, 101, 68-75. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.06.059
- Finlayson, N. J., & Grove, P. M. (2015). Visual search is influenced by 3D spatial layout. *Attention Perception & Psychophysics*, 77(7), 2322-2330. doi: 10.3758/s13414-015-0924-3
- Folk, C. L., & Remington, R. (1998). Selectivity in distraction by irrelevant featural singletons: Evidence for two forms of attentional capture. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 24(3), 847-858. doi: 10.1037/0096-1523.24.3.847
- Folk, C. L., & Remington, R. (2006). Top-down modulation of preattentive processing: Testing the recovery account of contingent capture. *Visual Cognition*, 14(4-8), 445-465. doi: 10.1080/13506280500193545
- Folk, C. L., & Remington, R. W. (2008). Bottom-up priming of top-down attentional control settings. *Visual Cognition*, 16(2-3), 215-231. doi: 10.1080/13506280701458804

- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary Covert Orienting Is Contingent on Attentional Control Settings. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 18(4), 1030-1044. doi: 10.1037//0096-1523.18.4.1030
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170. doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.00602.x
- Fortier-Gauthier, U., Moffat, N., Dell'Acqua, R., McDonald, J. J., & Jolicoeur, P. (2012). Contralateral cortical organisation of information in visual short-term memory: Evidence from lateralized brain activity during retrieval. *Neuropsychologia*, 50(8), 1748-1758. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2012.03.032
- Fox, E., Lester, V., Russo, R., Bowles, R. J., Pichler, A., & Dutton, K. (2000). Facial expressions of emotion: Are angry faces detected more efficiently? *Cognition & Emotion*, 14(1), 61-92.
- Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2014). Suppression of salient objects prevents distraction in visual search. *The Journal of neuroscience*, 34(16), 5658-5666. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4161-13.2014
- Godijn, R., & Theeuwes, J. (2002). Oculomotor capture and Inhibition of Return: Evidence for an oculomotor suppression account of IOR. *Psychological Research-Psychologische Forschung*, 66(4), 234-246. doi: 10.1007/s00426-002-0098-1
- Gokce, A., Geyer, T., Finke, K., Mueller, H. J., & Tollner, T. (2014). What pops out in positional priming of pop-out: insights from event-related EEG lateralizations. *Front Psychol*, 5. doi: 10.3389/Fpsyg.2014.00688
- Goller, F., & Ansorge, U. (2015). There is more to trial history than priming in attentional capture experiments. *Attention Perception & Psychophysics*, 77(5), 1574-1584. doi: 10.3758/s13414-015-0896-3
- Hansen, C. H., & Hansen, R. D. (1988). Finding the Face in the Crowd - an Anger Superiority Effect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 54(6), 917-924. doi: 10.1037/0022-3514.54.6.917
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological Indices of Target and Distractor Processing in Visual Search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(4), 760-775. doi: 10.1162/jocn.2009.21039

- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(4), 604-613. doi: 10.1162/jocn.2006.18.4.604
- Hilimire, M. R., & Corballis, P. M. (2014). Event-related potentials reveal the effect of prior knowledge on competition for representation and attentional capture. *Psychophysiology*, *51*(1), 22-35. doi: 10.1111/Psyp.12154
- Hilimire, M. R., Mounts, J. R. W., Parks, N. A., & Corballis, P. M. (2011). Dynamics of target and distractor processing in visual search: Evidence from event-related brain potentials. *Neuroscience Letters*, *495*(3), 196-200. doi: 10.1016/j.neulet.2011.03.064
- Hodsoll, S., Viding, E., & Lavie, N. (2011). Attentional Capture by Irrelevant Emotional Distractor Faces. *Emotion*, *11*(2), 346-353. doi: 10.1037/a0022771
- Hollingworth, A., Matsukura, M., & Luck, S. J. (2013). Visual Working Memory Modulates Rapid Eye Movements to Simple Onset Targets. *Psychological Science*, *24*(5), 790-796. doi: 10.1177/0956797612459767
- Hopf, J. M., Boelmans, K., Schoenfeld, A. M., Heinze, H. J., & Luck, S. J. (2002). How does attention attenuate target-distractor interference in vision? Evidence from magnetoencephalographic recordings. *Cognitive Brain Research*, *15*(1), 17-29. doi: 10.1016/S0926-6410(02)00213-6
- Hopf, J. M., Luck, S. J., Girelli, M., Hagner, T., Mangun, G. R., Scheich, H., & Heinze, H. J. (2000). Neural sources of focused attention in visual search. *Cerebral Cortex*, *10*(12), 1233-1241. doi: 10.1093/cercor/10.12.1233
- Huang, S. L., Chang, Y. C., & Chen, Y. J. (2011). Task-Irrelevant Angry Faces Capture Attention in Visual Search While Modulated by Resources. *Emotion*, *11*(3), 544-552. doi: 10.1037/a0022763
- Hunt, A. R., von Muhlenen, A., & Kingstone, A. (2007). The time course of attentional and oculomotor capture reveals a common cause. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *33*(2), 271-284. doi: 10.1037/0096-1523.33.2.271
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, *40*(10-12), 1489-1506. doi: 10.1016/S0042-6989(99)00163-7
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(3), 194-203. doi: 10.1038/35058500

- Ivanoff, J., & Klein, R. M. (2003). Orienting of attention without awareness is affected by measurement-induced attentional control settings. *Journal of Vision*, 3(1), 32-40. doi: 10.1167/3.1.4
- Jackson, A. F., & Bolger, D. J. (2014). The neurophysiological bases of EEG and EEG measurement: A review for the rest of us. *Psychophysiology*, 51(11), 1061-1071. doi: 10.1111/Psyp.12283
- James, W. (1918). *The principles of psychology*: H.Holt.
- Jannati, A., Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2013). Tracking Target and Distractor Processing in Fixed-Feature Visual Search: Evidence From Human Electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 39(6), 1713-1730. doi: 10.1037/A0032251
- Kahneman, D., Treisman, A., & Gibbs, B. J. (1992). The Reviewing of Object Files - Object-Specific Integration of Information. *Cogn Psychol*, 24(2), 175-219. doi: 10.1016/0010-0285(92)90007-O
- Kerzel, D., & Barras, C. (2016). Distractor rejection in visual search breaks down with more than a single distractor feature. *Journal of experimental psychology: Human perception and performance*, 42(5), 648.
- Kiss, M., Grubert, A., Petersen, A., & Eimer, M. (2012). Attentional Capture by Salient Distractors during Visual Search Is Determined by Temporal Task Demands. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(3), 749-759.
- Koch, A. I., Muller, H. J., & Zehetleitner, M. (2013). Distractors less salient than targets capture attention rather than producing non-spatial filtering costs. *Acta Psychologica*, 144(1), 61-72. doi: 10.1016/j.actpsy.2013.04.023
- Kok, A. (1986). Effects of Degradation of Visual-Stimuli on Components of the Event-Related Potential (Erp) in Go Nogo Reaction Tasks. *Biological Psychology*, 23(1), 21-38. doi: 10.1016/0301-0511(86)90087-6
- Krummenacher, J., Muller, H. J., & Heller, D. (2001). Visual search for dimensionally redundant pop-out targets: Evidence for parallel-coactive processing of dimensions. *Perception & Psychophysics*, 63(5), 901-917. doi: 10.3758/Bf03194446
- Krummenacher, J., Muller, H. J., & Heller, D. (2003). Dimension-based attention in visual search. *Psychologische Rundschau*, 54(1), 24-34. doi: 10.1026//0033-3042.54.1.24

- Lamy, D., Carmel, T., Egeth, H. E., & Leber, A. B. (2006). Effects of search mode and intertrial priming on singleton search. *Perception & Psychophysics*, *68*(6), 919-932. doi: 10.3758/Bf03193355
- Lamy, D., & Egeth, H. E. (2003). Attentional capture in singleton-detection and feature-search modes. *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *29*(5), 1003-1020. doi: 10.1037/0096-1523.29.5.1003
- Lamy, D., & Kristjansson, A. (2013). Is goal-directed attentional guidance just intertrial priming? A review. *Journal of Vision*, *13*(3). doi: Artn 14 10.1167/13.3.14
- Lamy, D., Leber, A., & Egeth, H. E. (2004). Effects of task relevance and stimulus-driven salience in feature-search mode. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *30*(6), 1019-1031. doi: 10.1037/0096-1523.30.6.1019
- Lang, P. J., Davis, M., & Ohman, A. (2000). Fear and anxiety: animal models and human cognitive psychophysiology. *Journal of Affective Disorders*, *61*(3), 137-159. doi: 10.1016/S0165-0327(00)00343-8
- Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2006a). Attention on autopilot: Past experience and attentional set. *Visual Cognition*, *14*(4-8), 565-583. doi: 10.1080/13506280500193438
- Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2006b). It's under control: Top-down search strategies can override attentional capture. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(1), 132-138. doi: 10.3758/Bf03193824
- Leblanc, E., Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the Location of Visuospatial Attention in a Contingent Capture Paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *20*(4), 657-671. doi: 10.1162/jocn.2008.20051
- Leonard, C. J., & Egeth, H. E. (2008). Attentional guidance in singleton search: An examination of top-down, bottom-up, and intertrial factors. *Visual Cognition*, *16*(8), 1078-1091. doi: Pii78855344210.1080/13506280701580698
- Lien, M. C., Ruthruff, E., Goodin, Z., & Remington, R. W. (2008). Contingent attentional capture by top-down control settings: Converging evidence from event-related potentials. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *34*(3), 509-530. doi: 10.1037/0096-1523.34.3.509
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT press.

- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: An ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cogn Psychol*, *33*(1), 64-87. doi: 10.1006/cogp.1997.0660
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994a). Electrophysiological Correlates of Feature Analysis during Visual-Search. *Psychophysiology*, *31*(3), 291-308. doi: 10.1111/j.1469-8986.1994.tb02218.x
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b). Spatial-Filtering during Visual-Search - Evidence from Human Electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *20*(5), 1000-1014. doi: 10.1037//0096-1523.20.5.1000
- Mathot, S., Hickey, C., & Theeuwes, J. (2010). From reorienting of attention to biased competition: Evidence from hemifield effects. *Attention Perception & Psychophysics*, *72*(3), 651-657. doi: 10.3758/App.72.3.651
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009a). Attention selection, distractor suppression and N2pc. *Cortex*, *45*(7), 879-890. doi: 10.1016/j.cortex.2008.10.009
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009b). An electrophysiological assessment of distractor suppression in visual search tasks. *Psychophysiology*, *46*(4), 771-775. doi: 10.1111/j.1469-8986.2009.00814.x
- McCormick, P. A. (1997). Orienting attention without awareness. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *23*(1), 168-180. doi: 10.1037/0096-1523.23.1.168
- McDonald, J. J., Green, J. J., Jannati, A., & Di Lollo, V. (2013). On the Electrophysiological Evidence for the Capture of Visual Attention. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *39*(3), 849-860. doi: 10.1037/A0030510
- Moher, J., Abrams, J., Egeth, H. E., Yantis, S., & Stuphorn, V. (2011). Trial-by-trial adjustments of top-down set modulate oculomotor capture. *Psychonomic Bulletin & Review*, *18*(5), 897-903. doi: 10.3758/s13423-011-0118-5
- Moray, N. (1959). Attention in Dichotic-Listening - Affective Cues and the Influence of Instructions. *Q J Exp Psychol (Hove)*, *11*(1), 56-60. doi: 10.1080/17470215908416289
- Mounts, J. R. W. (2000). Evidence for suppressive mechanisms in attentional selection: Feature singletons produce inhibitory surrounds. *Perception & Psychophysics*, *62*(5), 969-983. doi: 10.3758/Bf03212082

- Mulckhuyse, M., van Zoest, W., & Theeuwes, J. (2008). Capture of the eyes by relevant and irrelevant onsets. *Experimental Brain Research*, 186(2), 225-235. doi: 10.1007/s00221-007-1226-3
- Muller, H. J., Heller, D., & Ziegler, J. (1995). Visual-Search for Singleton Feature Targets within and across Feature Dimensions. *Perception & Psychophysics*, 57(1), 1-17. doi: 10.3758/Bf03211845
- Navalpakkam, V., & Itti, L. (2007). Search goal tunes visual features optimally. *Neuron*, 53(4), 605-617. doi: 10.1016/j.neuron.2007.01.018
- Nieuwenhuis, S., Yeung, N., Van den Wildenberg, W., & Ridderinkhof, R. (2003). Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a GO/NOGO task: Effects of response conflict and trial-type frequency. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 76-77.
- Ogawa, A., & Macaluso, E. (2015). Orienting of Visuo-Spatial Attention in Complex 3D Space: Search and Detection. *Human Brain Mapping*, 36(6), 2231-2247. doi: 10.1002/hbm.22767
- Ohman, A., Flykt, A., & Esteves, F. (2001). Emotion drives attention: Detecting the snake in the grass. *Journal of Experimental Psychology-General*, 130(3), 466-478. doi: 10.1037/0096-3445.130.3.466
- Ohman, A., Lundqvist, D., & Esteves, F. (2001). The face in the crowd revisited: A threat advantage with schematic stimuli. *Journal of Personality and Social Psychology*, 80(3), 381-396. doi: 10.1037//0022-3514.80.3.381
- Ohman, A., & Mineka, S. (2001). Fears, phobias, and preparedness: Toward an evolved module of fear and fear learning. *Psychological Review*, 108(3), 483-522. doi: 10.1037//0033-295X.108.3.483
- Parasuraman, R., Greenwood, P. M., & Alexander, G. E. (2000). Alzheimer disease constricts the dynamic range of spatial attention in visual search. *Neuropsychologia*, 38(8), 1126-1135. doi: 10.1016/S0028-3932(00)00024-5
- Pashler, H. (1988). Cross-Dimensional Interaction and Texture Segregation. *Perception & Psychophysics*, 43(4), 307-318. doi: 10.3758/Bf03208800
- Pearce, E., Stringer, C., & Dunbar, R. I. M. (2013). New insights into differences in brain organization between Neanderthals and anatomically modern humans. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 280(1758). doi: Artn2013016810.1098/Rspb.2013.0168

- Peelen, M. V., Heslenfeld, D. J., & Theeuwes, J. (2004). Endogenous and exogenous attention shifts are mediated by the same large-scale neural network. *Neuroimage*, *22*(2), 822-830. doi: 10.1016/j.neuroimage.2004.01.044
- Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Weller, B. J., & Kopell, B. S. (1985). Erps to Response Production and Inhibition. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *60*(5), 423-434. doi: 10.1016/0013-4694(85)91017-X
- Pinto, Y., Olivers, C. N. L., & Theeuwes, J. (2005). Target uncertainty does not lead to more distraction by singletons: Intertrial priming does. *Perception & Psychophysics*, *67*(8), 1354-1361. doi: 10.3758/Bf03193640
- Posner, M. I. (1980). Orienting of Attention. *Q J Exp Psychol (Hove)*, *32*(Feb), 3-25. doi: 10.1080/00335558008248231
- Posner, M. I., Rafal, R. D., Choate, L. S., & Vaughan, J. (1985). Inhibition of Return - Neural Basis and Function. *Cogn Neuropsychol*, *2*(3), 211-228. doi: 10.1080/02643298508252866
- Prinzmetal, W., McCool, C., & Park, S. (2005). Attention: Reaction time and accuracy reveal different mechanisms. *Journal of Experimental Psychology-General*, *134*(1), 73-92. doi: 10.1037/0096-3445.134.1.73
- Proulx, M. J., & Egeth, H. E. (2006). Target-nontarget similarity modulates stimulus-driven control in visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(3), 524-529. doi: 10.3758/Bf03193880
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W., LaMantia, A., McNamara, J., & White, L. (2014). *Neuroscience, 2008. De Boeck, Sinauer, Sunderland, Mass.*
- Rangelov, D., Tollner, T., Muller, H. J., & Zehetleitner, M. (2013). What are task-sets: a single, integrated representation or a collection of multiple control representations? *Frontiers in Human Neuroscience*, *7*. doi: Artn 624 10.3389/Fnhum.2013.00524
- Ratcliff, R., Thapar, A., & McKoon, G. (2001). The effects of aging on reaction time in a signal detection task. *Psychology and Aging*, *16*(2), 323-341. doi: 10.1037//0882-7974.16.2.323
- Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A Common Neural Mechanism for Preventing and Terminating the Allocation of Attention. *Journal of Neuroscience*, *32*(31), 10725-10736. doi: 10.1523/Jneurosci.1864-12.2012
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: Electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Attention Perception & Psychophysics*, *72*(6), 1455-1470. doi: 10.3758/App.72.6.1455

- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2011). Active suppression of distractors that match the contents of visual working memory. *Visual Cognition, 19*(7), 956-972. doi: 10.1080/13506285.2011.603709
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2013). Active suppression after involuntary capture of attention. *Psychonomic Bulletin & Review, 20*(2), 296-301. doi: 10.3758/s13423-012-0353-4
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2014). How the brain prevents and terminates shifts of attention. *Cognitive Electrophysiology of Attention: Signals of the Mind, First Edition*(Elsevier), 16-29.
- Schönhammer, J. G., & Kerzel, D. (2013). Some effects of non-predictive cues on accuracy are mediated by feature-based attention. *Journal of Vision, 13*(9), 76-76.
- Soto, D., Heinke, D., Humphreys, G. W., & Blanco, M. J. (2005). Early, involuntary top-down guidance of attention from working memory. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance, 31*(2), 248-261. doi: 10.1037/0096-1523.31.2.248
- Soto, D., Hodsoll, J., Rotshtein, P., & Humphreys, G. W. (2008). Automatic guidance of attention from working memory. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(9), 342-348. doi: 10.1016/j.tics.2008.05.007
- Theeuwes, J. (1991a). Categorization and Identification of Simultaneous Targets. *Acta Psychologica, 76*(1), 73-86. doi: 10.1016/0001-6918(91)90054-4
- Theeuwes, J. (1991b). Cross-Dimensional Perceptual Selectivity. *Perception & Psychophysics, 50*(2), 184-193. doi: 10.3758/Bf03212219
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual Selectivity for Color and Form. *Perception & Psychophysics, 51*(6), 599-606. doi: 10.3758/Bf03211656
- Theeuwes, J. (1994). Endogenous and Exogenous Control of Visual Selection. *Perception, 23*(4), 429-440. doi: 10.1068/P230429
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica, 135*(2), 77-99. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.02.006
- Theeuwes, J., Atchley, P., & Kramer, A. F. (2000). On the time course of top-down and bottom-up control of visual attention. *Control of cognitive processes: Attention and performance XVIII, 105-124.*
- Theeuwes, J., De Vries, G. J., & Godjin, R. (2003). Attentional and oculomotor capture with static singletons. *Perception & Psychophysics, 65*(5), 735-746. doi: 10.3758/Bf03194810

- Tollner, T., Muller, H. J., & Zehetleitner, M. (2012). Top-Down Dimensional Weight Set Determines the Capture of Visual Attention: Evidence from the PCN Component. *Cerebral Cortex*, 22(7), 1554-1563. doi: 10.1093/cercor/bhr231
- Tollner, T., Zehetleitner, M., Gramann, K., & Muller, H. J. (2011). Stimulus Saliency Modulates Pre-Attentive Processing Speed in Human Visual Cortex. *Plos One*, 6(1). doi: ARTN e1627610.1371/journal.pone.0016276
- Treisman, A. M. (1969). Strategies and Models of Selective Attention. *Psychological Review*, 76(3), 282-&. doi: 10.1037/H0027242
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cogn Psychol*, 12(1), 97-136.
- Ulrich, R., & Miller, J. (2001). Using the jackknife-based scoring method for measuring LRP onset effects in factorial designs. *Psychophysiology*, 38(5), 816-827. doi: 10.1017/S0048577201000610
- Von Grünau, M., Dube, S., & Galera, C. (1994). Local and Global Factors of Similarity in Visual-Search. *Perception & Psychophysics*, 55(5), 575-592.
- Walter, W., Cooper, R., Aldridge, V., McCallum, W., & Winter, A. (1964). Contingent negative variation: an electric sign of sensori-motor association and expectancy in the human brain. *Nature*, 203, 380-384.
- Wang, E., Sun, L., Sun, M., Huang, J., Tao, Y., Zhao, X., . . . Bellgrove, M. A. (2016). Attentional Selection and Suppression in Children With Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder. *Biological Psychiatry: Cognitive Neuroscience and Neuroimaging*.
- Weymar, M., Gerdes, A. B. M., Low, A., Alpers, G. W., & Hamm, A. O. (2013). Specific fear modulates attentional selectivity during visual search: Electrophysiological insights from the N2pc. *Psychophysiology*, 50(2), 139-148. doi: 10.1111/psyp.12008
- Weymar, M., Low, A., Ohman, A., & Hamm, A. O. (2011). The face is more than its parts - Brain dynamics of enhanced spatial attention to schematic threat. *Neuroimage*, 58(3), 946-954. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.06.061
- Wolfe, J. M. (1994). Guided Search 2.0 A revised model of visual search. *Psychon Bull Rev*, 1(2), 202-238. doi: 10.3758/BF03200774
- Wolfe, J. M., & Horowitz, T. S. (2004). What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? *Nature Reviews Neuroscience*, 5(6), 495-501. doi: 10.1038/nrn1411

- Wolfe, J. M., Stewart, M. I., Friedmanhill, S. R., Yu, K. P., Shorter, A. D., & Cave, K. R. (1990). Limitations on the Parallel Guidance of Visual-Search - Color X Color and Orientation X Orientation Conjunctions. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *16*(4), 879-892. doi: 10.1037/0096-1523.16.4.879
- Woodman, G. F., & Luck, S. (2007). Do the Contents of Visual Working Memory Automatically Influence Attentional Selection During Visual Search? *J Exp Psychol Hum Percept Perform*, *33*(2), 363-377.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, *400*(6747), 867-869.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *29*(1), 121-138. doi: 10.1037/0096-1523.29.1.121
- Wykowska, A., & Schubo, A. (2010). On the Temporal Relation of Top-Down and Bottom-Up Mechanisms during Guidance of Attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *22*(4), 640-654. doi: 10.1162/jocn.2009.21222
- Wykowska, A., & Schubo, A. (2011). Irrelevant Singletons in Visual Search Do Not Capture Attention but Can Produce Nonspatial Filtering Costs. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(3), 645-660. doi: 10.1162/jocn.2009.21390
- Zeef, E. J., & Kok, A. (1993). Age-Related Differences in the Timing of Stimulus and Response Processes during Visual Selective Attention - Performance and Psychophysiological Analyses. *Psychophysiology*, *30*(2), 138-151. doi: 10.1111/j.1469-8986.1993.tb01727.x
- Zehetleitner, M., Goschy, H., & Muller, H. J. (2012). Top-Down Control of Attention: It's Gradual, Practice-Dependent, and Hierarchically Organized. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, *38*(4), 941-957. doi: 10.1037/a0027629
- Zehetleitner, M., Koch, A. I., Goschy, H., & Muller, H. J. (2013). Saliency-Based Selection: Attentional Capture by Distractors Less Salient Than the Target. *Plos One*, *8*(1). doi: ARTN e5259510.1371/journal.pone.0052595
- Zehetleitner, M., Krummenacher, J., Geyer, T., Hegenloh, M., & Muller, H. J. (2011). Dimension intertrial and cueing effects in localization: support for pre-attentively weighted one-route models of saliency. *Attention Perception & Psychophysics*, *73*(2), 349-363. doi: 10.3758/s13414-010-0035-0

## V. ANNEXES

## *ANNEXE I*



# Nogo Stimuli Do Not Receive More Attentional Suppression or Response Inhibition than Neutral Stimuli: Evidence from the N2pc, P<sub>D</sub>, and N2 Components in a Spatial Cueing Paradigm

Caroline Barras\* and Dirk Kerzel

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, Université de Genève, Geneva, Switzerland

## OPEN ACCESS

### Edited by:

Anna Schubö,  
Philipps Universität Marburg,  
Germany

### Reviewed by:

Zhe Chen,  
University of Canterbury, New Zealand  
Ahu Gokce,  
Kadir Has University, Turkey  
Yei-Yu Yeh,  
National Taiwan University, Taiwan

### \*Correspondence:

Caroline Barras  
caroline.barras@unige.ch

### Specialty section:

This article was submitted to  
Cognition,  
a section of the journal  
Frontiers in Psychology

**Received:** 21 January 2016

**Accepted:** 15 April 2016

**Published:** 02 May 2016

### Citation:

Barras C and Kerzel D (2016) Nogo Stimuli Do Not Receive More Attentional Suppression or Response Inhibition than Neutral Stimuli: Evidence from the N2pc, P<sub>D</sub>, and N2 Components in a Spatial Cueing Paradigm. *Front. Psychol.* 7:630. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00630

It has been claimed that stimuli sharing the color of the nogo-target are suppressed because of the strong incentive to not process the nogo-target, but we failed to replicate this finding. Participants searched for a color singleton in the target display and indicated its shape when it was in the go color. If the color singleton in the target display was in the nogo color, they had to withhold the response. The target display was preceded by a cue display that also contained a color singleton (the cue). The cue was either in the color of the go or nogo target, or it was in an unrelated, neutral color. With cues in the go color, reaction times were shorter when the cue appeared at the same location as the target compared to when it appeared at a different location. Also, electrophysiological recordings showed that an index of attentional selection, the N2pc, was elicited by go cues. Surprisingly, we failed to replicate cueing costs for cues in the nogo color that were originally reported by Anderson and Folk (2012). Consistently, we also failed to find an electrophysiological index of attentional suppression (the P<sub>D</sub>) for cues in the nogo color. Further, fronto-central event-related potentials to the cue display showed the same negativity for nogo and neutral stimuli relative to go stimuli, which is at odds with response inhibition and conflict monitoring accounts of the Nogo-N2. Thus, the modified cueing paradigm employed here provides little evidence that features associated with nogo-targets are suppressed at the level of attention or response selection. Rather, nogo-stimuli are efficiently ignored and attention is focused on features that require a response.

**Keywords:** attentional capture, attentional selection, attentional suppression, nogo, N2pc, P<sub>D</sub>, N2

## INTRODUCTION

In natural scenes, many objects compete for access to limited processing resources (Desimone and Duncan, 1995). The priority of objects for attentional selection and further processing is jointly determined by their local feature contrast (saliency) and relevance for the current tasks (Treisman and Gelade, 1980; Itti and Koch, 2001; Munoz and Fecteau, 2002; Bisley and Goldberg, 2006; Theeuwes, 2010). Traditionally, research has focused on the control of attentional selection,

and bottom-up and top-down approaches have been discussed (e.g., Theeuwes, 1991; Folk et al., 1992; Fellrath et al., 2014). Less research has been devoted to the question of how distracting information is discarded. Recently, however, an electrophysiological marker of distractor suppression has been discovered (Hickey et al., 2009). The  $P_D$  is a greater positivity at posterior electrode sites contra-lateral to the suppressed distractor. While distractors in previous studies were stimuli with response-irrelevant features that had to be entirely ignored, we investigated the potential suppression of stimuli that required inhibition of a response. The main hypothesis was that features associated with nogo targets provide a particularly strong incentive for attentional suppression. Therefore, we expected a larger  $P_D$  for distractors associated with nogo stimuli than for completely response-irrelevant, neutral distractors. To foreshadow the results, we were unable to replicate previous studies reporting behavioral evidence for the suppression of distractors sharing features with nogo targets relative to neutral distractors. Accordingly, the event-related potentials (ERPs) were not different between nogo and neutral distractors, either.

## Attentional Capture, Disengagement, and Inhibition in the Spatial Cueing Paradigm

Our study uses the modified cueing paradigm developed by Folk et al. (1992) who showed that salient, but irrelevant distractors only capture attention when they share features with the target stimulus (but see Yeh and Liao, 2008). Participants searched for a color singleton in one block of trials and for a singleton onset in another block of trials. Color and onset targets were preceded by color or onset cues that were response-irrelevant and could be ignored. Shorter reaction times (RTs) with cues appearing at the target location (cueing benefits) occurred only when color targets were preceded by color cues or when onset targets were preceded by onset cues, suggesting that salient distractors capture attention only when they match the attentional set induced by the task. More recently, it has been shown that attentional capture is not exclusively determined by the match of cue and target features, but rather by the match of the perceptual relation between cue or target and the remaining display elements (Becker, 2010; Becker et al., 2013; Schönhammer et al., 2016).

However, it has been argued that the absence of congruency effects with non-matching cues does not rule out that attentional capture occurred. Theeuwes et al. (2000) argued that attention was similarly captured by matching and non-matching cues, but that attention was more rapidly disengaged when the cue did not match the target stimulus. In other words, capture of attention also occurred with non-matching cues, but may not have affected RTs because attention had already been disengaged from the cue when the target display appeared.

Two studies have addressed the hypothesis of rapid disengagement with electrophysiological measures of attention, but have concluded that attention was never captured by non-matching cues. As a measure of attentional selection, the N2pc was used. The N2pc occurs about 200–300 ms post-stimulus and

is a negativity contra-lateral to the attended stimulus (Luck and Hillyard, 1994; Eimer, 1996). Some authors refer to the N2pc as Posterior-Contralateral-Negativity (PCN Töllner et al., 2012; Rangelov et al., 2013; Gokce et al., 2014). While measuring ERPs, Eimer and Kiss (2008) asked participants to search for a singleton in the target display. Matching or non-matching singletons preceded the target in the cue display. They observed that color cues resulted in an N2pc only when participants searched for color targets, but not when they searched for non-matching onset or size targets (see also Lien et al., 2008).

Further, it has been claimed that attentional disengagement is faster with cue colors that are associated with nogo-targets than with neutral cue colors. A neutral cue color refers to colors that are not response-relevant. In contrast, the nogo color is response-relevant because it tells participants to withhold the response. Belopolsky et al. (2010), participants were free to respond to either an onset or a color target (i.e., free choice of the go-target), but had to withhold the response to the alternative target (the nogo-target). For instance, if they decided to respond to color targets, they would have to refrain from responding to onset targets. A typical RT advantage of congruent over incongruent positions occurred for cues sharing the go target feature (short: go cues), but the opposite effect occurred for cues sharing the nogo target feature (short: nogo cues). Contrary to go cues, responses with nogo cues were slower when the target appeared at the cued location (cueing cost). Belopolsky et al. (2010) concluded that attention had been captured by go and nogo cues alike because of their bottom-up saliency, but was more rapidly disengaged from nogo cues than from go cues. Disengagement from nogo cues was faster because of the incentive to not process the nogo target. After very rapid disengagement, there was time to initiate suppression of the previously attended location before the target display appeared, resulting in cueing costs.

The idea that attentional capture by nogo cues was followed by rapid disengagement and suppression was challenged by Anderson and Folk (2012) who claimed that suppression may occur without previous attentional capture. In their variant of the modified spatial cueing paradigm, participants responded to the target display when the go-color was present and withheld a response when the nogo-color was present. Cues were shown in either the go color, the nogo color, or a neutral, response-irrelevant color. Consistent with Belopolsky et al. (2010), there were cueing benefits with go cues and cueing costs (incongruent faster than congruent) with nogo cues. Cues in a neutral color did not produce congruency effects. While these results are compatible with the idea of capture, rapid disengagement and subsequent suppression, results from a task in which the go color was unpredictable were not. With unpredictable go targets, cueing costs were absent for nogo cues, while cueing benefits for go cues persisted. RTs in congruent and incongruent trials with nogo cues were indistinguishable from incongruent trials with go cues. Anderson and Folk (2012) concluded that the elevated RTs in congruent trials with nogo cues relative to congruent trials with go cues resulted from inhibition of the cued location. Additionally, the similar RTs in incongruent trials with nogo and go cues showed that there was no disengagement of attention from the nogo cue. Thus,

inhibitory processes may be independent of shifts of spatial attention and inhibition cannot serve as evidence for prior capture.

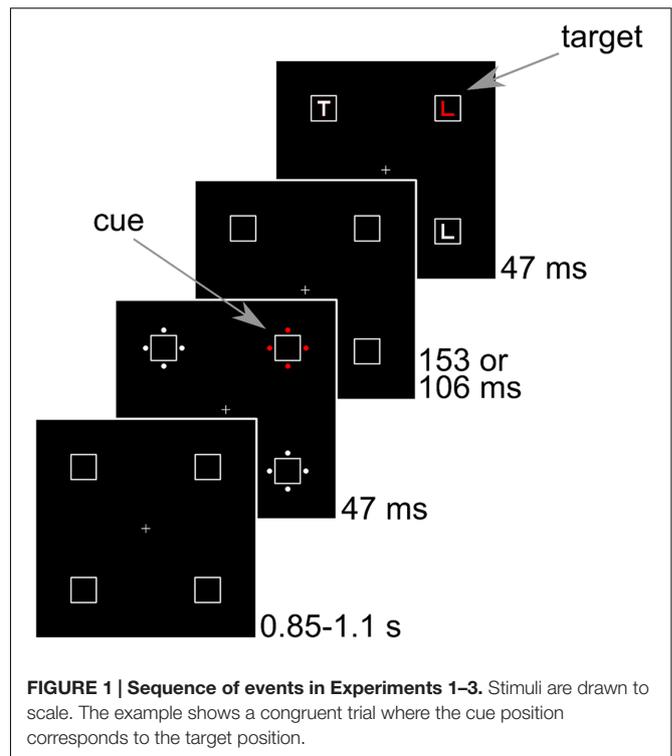
## Electrophysiological Correlates of Suppression

Suppression in previous studies using nogo cues was reflected in cueing costs in RTs. In the present study, we measured ERPs that are associated with attentional selection and suppression to continuously track the time course of these processes. As outlined above, the N2pc occurs in the time range between 200 and 300 ms and reflects attentional selection of contralateral stimuli. Previous studies have shown that cues in the target color capture attention, whereas neutral cues do not (Eimer and Kiss, 2008; Lien et al., 2008). We hope to replicate this result in the present study.

More critically, we expected a  $P_D$  to cues in the nogo-color. The contralateral positivity occurring in the same time range as the N2pc has been linked to distractor suppression (Hickey et al., 2009; Sawaki and Luck, 2010, 2012; Kiss et al., 2012; Burra and Kerzel, 2013; Hilimire and Corballis, 2014) and was found to be strongest for fast responses that reflect efficient distractor rejection (Jannati et al., 2013; McDonald et al., 2013; Gaspar and McDonald, 2014). While most studies have reported the  $P_D$  to distractors in multi-element displays, it was originally discovered to a single lateralized distractor presented simultaneously to a target on the vertical midline (Hickey et al., 2009). Hilimire et al. (2012) observed that the  $P_D$  was absent when only the distractor was shown and argued that the  $P_D$  reflects distractor suppression to facilitate processing of the target. In the modified cueing paradigm that we will employ, the cue display does not contain the target (see **Figure 1**), so there is no need for target processing. However, we think that the close temporal succession between cue and target display in the modified cueing paradigm sets off target- and distractor-related processing at the same time. Actually, the N2pc to cues in the target color (Eimer and Kiss, 2008; Lien et al., 2008) shows that the attentional set for target processing is already active when the cue display is shown.

## EXPERIMENT 1

We ran a replication of the modified cueing paradigm with nogo-stimuli by Anderson and Folk (2012) and measured ERPs. Participants responded to one color (the go-color) and refrained from responding to another color (the nogo-color) that were shown in the target display (see **Figure 1**). The irrelevant cue display preceded the target display by 200 ms. The cue was either in the response-relevant go or nogo color, or in a response-irrelevant, neutral color. Based on previous research, we predict that go cues capture attention, resulting in a cue-related N2pc. To make sure that the ERPs reflect only cue-related processing, we only analyzed cue-related ERPs until about 300 ms after cue onset (see Eimer and Kiss, 2008; Lien et al., 2008). After this time, target processing is likely to interfere with cue-related processing. Thus, we are unable to evaluate the presence of late attentional suppression occurring after the N2pc interval



**FIGURE 1 | Sequence of events in Experiments 1–3.** Stimuli are drawn to scale. The example shows a congruent trial where the cue position corresponds to the target position.

(Hilimire et al., 2011; Sawaki and Luck, 2012; Hilimire and Corballis, 2014).

The central question of this paper is whether there is attentional suppression of nogo cues, as indexed by the  $P_D$ . Previous studies on this topic (Belopolsky et al., 2010; Anderson and Folk, 2012) have suggested that the incentive to not process stimuli in the nogo-color results in very fast disengagement and leaves more time for suppression. Cueing costs in RTs support this explanation and we expect to observe a  $P_D$  to nogo cues. Crucially, we compared nogo cues to neutral cues. If there was inhibition at the location of nogo stimuli because of the association with response inhibition, nogo cues are expected to differ from response-irrelevant, neutral cues.

A further question addressed by our experiments was whether an enhanced N2 would obtain to nogo cues and if so, whether it would be larger for nogo than for neutral cues. The N2 component of the ERP is increased at frontal sites in nogo compared to go trials (Pfefferbaum et al., 1985). The latency of the nogo-N2 (200–400 ms) may be short enough to allow for analysis of ERPs to the cue uncontaminated by target processing. The original explanation of the nogo-N2 was that it reflected response inhibition (Pfefferbaum et al., 1985; Kok, 1986; Eimer, 1993), but a number of other accounts have been proposed. The conflict monitoring account rests on the observation that the N2 was increased for rare compared to frequent events, irrespective of trial type (Nieuwenhuis et al., 2003). The response activation account claims that the N2 does not reflect inhibition in nogo-trials, but activation of the response in go-trials because the enhanced N2 persists even when participants know that they have to withhold the response on the upcoming trial, which

eliminates the need for response inhibition (Bruin et al., 2001). While the N2 component is not the focus of the current paper, it is nonetheless interesting to evaluate. Previously, Eimer et al. (2009) had observed an enhanced N2 component in response to color-cues that did not match the target cues. Thus, the most straightforward prediction is that an enhanced N2 occurs for neutral and nogo cues alike because both do not match the go-color. However, based on the response inhibition account, it may be that the N2 is enhanced for nogo cues compared to neutral and go cues.

## Methods

### Participants

Seventeen undergraduate psychology students participated for class credit, but only 13 remained in the final sample. Their mean age was 21.7 years ( $SD = 3.86$ ). All reported normal or corrected-to-normal vision. The study was approved by the ethics committee of the Faculty of Psychology and Educational Sciences and was carried out in accordance with the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki). Informed consent was given before the experiment started.

### Apparatus and Stimuli

Subjects were seated in a dimly lit room at 80 cm from a 21" CRT screen running at 85 Hz with a resolution of 1280 pixels  $\times$  1024 pixels. The background was black and all stimuli were matched by flicker photometry in a pilot study. The luminance of red, green, blue, and gray that resulted in minimal flicker were 9.2, 11.9, 9.3, and 11.3  $cd/m^2$ , respectively. The CIE coordinates ( $x, y$ ) were (0.63, 0.34) for red, (0.29, 0.60) for green, (0.15, 0.07) for blue, and (0.3, 0.34) for gray. In the following, eccentricities are indicated from center to center. The placeholders were squares with a side length of  $1.2^\circ$  that were presented at an eccentricity of  $4.1^\circ$  from the central fixation cross in the corners of a virtual square. In the cue display, four disks with a diameter of  $0.24^\circ$  surrounded each placeholder. The disks were placed at an eccentricity of  $0.8^\circ$  to the left, right, above, and below each placeholder. One set of disks was colored, whereas the other three sets were gray. The colored set is referred to as cue. In the target display, the letter L or T with a line length of  $0.6^\circ$  appeared inside each of the placeholders. There were always two Ls and two Ts in the display. The target letter was colored, whereas the other three letters were gray. Pen width was about  $0.13^\circ$  for the letters and  $0.02^\circ$  for the placeholders. The fixation cross and placeholders were visible throughout. Then, the cue display was shown for 47 ms. After an interval of 153 ms, the target display was shown for 47 ms. Thus, 200 ms elapsed between the onset of the cue and the onset of the target. We used a Latin square with three different assignments of color to cue type to counterbalance colors across participants.

### Design

Go and nogo targets had a probability of 50%. Go, neutral and nogo cues had a probability of 33%. If cue and target displays are counted as separate events, the neutral color was shown in only 16.5% of the total number of visual events whereas the go and nogo colors were shown in 41.5%. The reason is that there

were no neutral target trials. The cue was shown at the same position as the target (congruent trials) in 25% of the trials, and at a different position (incongruent trials) in 75% of the trials. All 192 combinations of the three cue colors, two target colors, four cue positions, four target positions, and two target shapes were randomly interleaved and repeated six times for a total of 1152 trials.

### Procedure

Participants were instructed to press the left or right arrow key on a standard keyboard to indicate whether the target letter was an L or a T, but only when the target letter was in the go color. Participants responded with their right hand. When the target letter was in the nogo color, they were asked to refrain from responding. Further, they were instructed to ignore the stimuli preceding the target display and to respond as rapidly as possible, but to keep the percentage of errors below 10%. Also, they were told that the position of the cue stimulus was independent of the position of the target stimulus. Performance feedback was given after blocks of 48 trials during forced 15 s breaks. The inter-trial interval was a randomly determined interval between 0.8 and 1.3 s. The experimental session lasted about 2 h.

### Electrophysiological Recording and Analysis

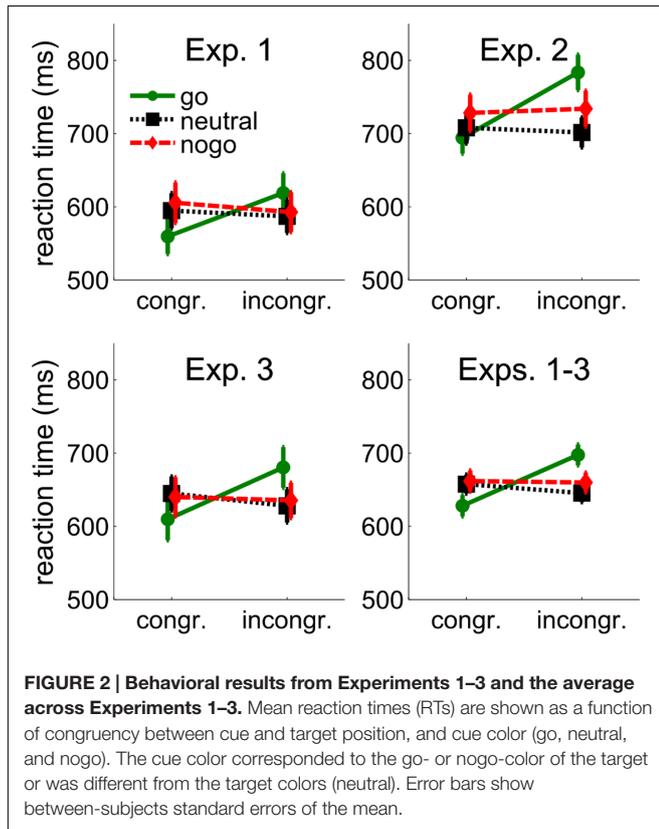
An actiCHamp amplifier (Brain Products, Gilching, Germany) with active Ag/AgCl electrodes sampled at 1000 Hz was used. We fixed 26 electrodes on the scalp, one on the outer canthi of each eye (HEOG), one above and one below the right eye (VEOG), and one on each earlobe. Cz served as online reference and AFz as ground. Offline, the data were re-referenced to the average earlobes. The interval from 100 ms before to cue onset was used for baseline correction. Epochs extended from 100 ms before to 500 ms after cue onset. We excluded blinks and vertical eye movements (difference in VEOG channels exceeding  $\pm 60$  mV), horizontal eye movements (difference in HEOG channels exceeding  $\pm 30$  mV), and muscular artifacts (any electrode exceeding  $\pm 80$  mV). We computed the average difference in the HEOG channels for left and right cues separately and rejected three participants with voltages exceeding  $\pm 3$  mV. One further participant was removed because of less than 50% correct responses.

### Results: Behavior

Trials with RTs longer than the respective condition mean plus 2.5 times the standard deviation were considered outliers. In go trials, there were 3.5% choice errors, 1.6% late trials by the online criterion of 1.5 s, and 2.3% late trials by the offline outlier criterion of 2.5 standard deviations. In nogo-trials, false alarms occurred on 3.2% of the trials. Mean choice errors are shown in **Table 1** and mean RTs are shown in **Figure 2**. We subtracted performance in the spatially congruent condition from performance in the spatially incongruent condition. Positive values are referred to as cueing benefits because performance was better at the cued location. Negative values are referred to as cueing costs. Greenhouse–Geisser correction was applied when appropriate.

**TABLE 1 | Percentage choice errors in Experiments 1–3 as a function of cue color and spatial cue-target congruency.**

	Go		Neutral		Nogo	
	Congruent %	Incongruent %	Congruent %	Incongruent %	Congruent %	Incongruent %
Experiment 1	1.4	5.5	4.4	3.0	3.1	3.6
Experiment 2	5.9	8.5	4.4	4.1	3.7	3.2
Experiment 3	3.8	4.4	3.8	4.4	3.8	4.3



## Reaction Times

Reaction times were only available for go-targets. Individual mean RTs were entered into a 3 (cue color: go, neutral, nogo)  $\times$  2 (spatial cue-target congruency: congruent, incongruent) repeated-measures ANOVA. There was a tendency for longer RTs with nogo cues (599 ms) than with neutral (591 ms) and go cues (589 ms),  $F(2,24) = 2.84$ ,  $p = 0.078$ . RTs were shorter when cue and target position were congruent (587 ms vs. 600 ms),  $F(1,12) = 14.12$ ,  $p = 0.003$ . The interaction of cue color and congruency,  $F(2,24) = 49.57$ ,  $p < 0.001$ , showed that the effect of spatial congruency was larger when the cue was in the go-color (59 ms) than when it was in the neutral (–8 ms) or nogo-color (–13 ms). Separate  $t$ -tests confirmed a cueing benefit with go cues (59 ms, 560 ms vs. 619 ms),  $t(12) = 7.81$ ,  $p < 0.001$ , but cueing costs with neutral cues (–8 ms, 595 ms vs. 587 ms),  $t(12) = 2.88$ ,  $p = 0.014$ , and a trend for cueing costs with nogo cues (–13 ms, 606 ms vs. 593 ms),  $t(12) = 2.15$ ,  $p = 0.053$ . More importantly, however,

there was no significant difference between the cueing costs with neutral and nogo cues (–8 ms vs. –13 ms),  $p = 0.407$ , showing that attentional suppression of cues associated with nogo stimuli was not different from attentional suppression of neutral cues.

## Choice Errors

The same ANOVA as above was carried out on the percentage of choice errors. We confirmed a significant interaction of cue color and congruency,  $F(2,24) = 7.68$ ,  $p = 0.003$ . Choice errors in go-trials were less frequent in congruent than incongruent trials (1.4% vs. 5.5%),  $t(12) = 3.05$ ,  $p = 0.01$ , whereas there were no differences with neutral (3.1% vs. 3.6%),  $p = 0.528$ , and nogo cues (4.4% vs. 3%),  $p = 0.103$ .

## Results: ERPs Indicating Attentional Selection or Suppression

Based on the electrophysiological criteria enumerated above, 10% of the trials were removed. After trial rejection based on online criteria for early, late, and wrong responses and the electrophysiological criteria (see above), 86.6% of the trials remained for analysis.

The N2pc and  $P_D$  in response to cue display and the N2pc in response to the target display were analyzed by calculating the mean voltage in 50 ms time intervals. To determine the location of the time intervals, we first calculated the moving average (50 ms width) of the difference waveform for each condition. Then, the time window was placed on the local minimum in the interval from 200 to 300 ms for the cue-related N2pc and the local minimum in the interval from 400 to 500 ms for the target-related N2pc. We used these peaks because they were clear whereas peaks were absent or less clear in the other conditions.

**Figure 3** shows ERP waveforms measured at electrodes PO7/PO8. The left column shows the ipsi-, contralateral and difference waveforms with respect to the cue location, whereas the right column shows the waveforms with respect to the target location. Rows 1–3 show the ERPs to the go, neutral, and nogo color, respectively. Row 4 shows the difference waves. Statistics were carried out on the difference between contra and ipsilateral waveforms in the time windows shown in row 4.

## Cue-related ERPs in the N2pc Interval

The interval from 189 to 239 ms was analyzed. The waveforms in the left column of **Figure 3** show that there was an N2pc in response to the go cue (–1.56 mV),  $t(13) = 1.56$ ,  $p = 0.001$ . In contrast, there was no N2pc or  $P_D$  in response to the neutral cue

(0.15 mV),  $p = 0.368$ , or to the nogo cue (0.01 mV),  $p = 0.969$ . The larger negativity with go cues was confirmed by a one-way ANOVA (cue color: go, neutral, nogo),  $F(2,24) = 20.82$ ,  $p < 0.001$ , and by significant comparisons between go and neutral cues ( $-1.56$  vs.  $0.15$  mV),  $t(12) = 4.66$ ,  $p = 0.002$ , and between go and nogo cues ( $-1.56$  mV vs.  $0.01$  mV),  $t(12) = 4.94$ ,  $p < 0.001$ .

Inspection of **Figure 3** suggests that toward the end of the negative deflection with go cues, there was also a small N2pc to the nogo cue. We therefore placed the averaging interval on the peak of the negative deflection to the nogo cue and analyzed the interval from 222 to 272 ms. We confirmed an effect of cue color,  $F(2,24) = 9.86$ ,  $p = 0.001$ , indicating that the negativity was larger for go cues ( $-0.93$  mV) than for nogo ( $-0.32$  mV) and neutral ( $0.21$  mV) cues. However, the negativity was only significant for go cues,  $t(12) = 3.42$ ,  $p = 0.005$ , but not for the other conditions,  $ps > 0.155$ .

Overall, we did not find a  $P_D$  to nogo cues as we had predicted. If anything, there was a small, but non-significant N2pc to nogo cues.

### Target-related ERPs in the N2pc Interval

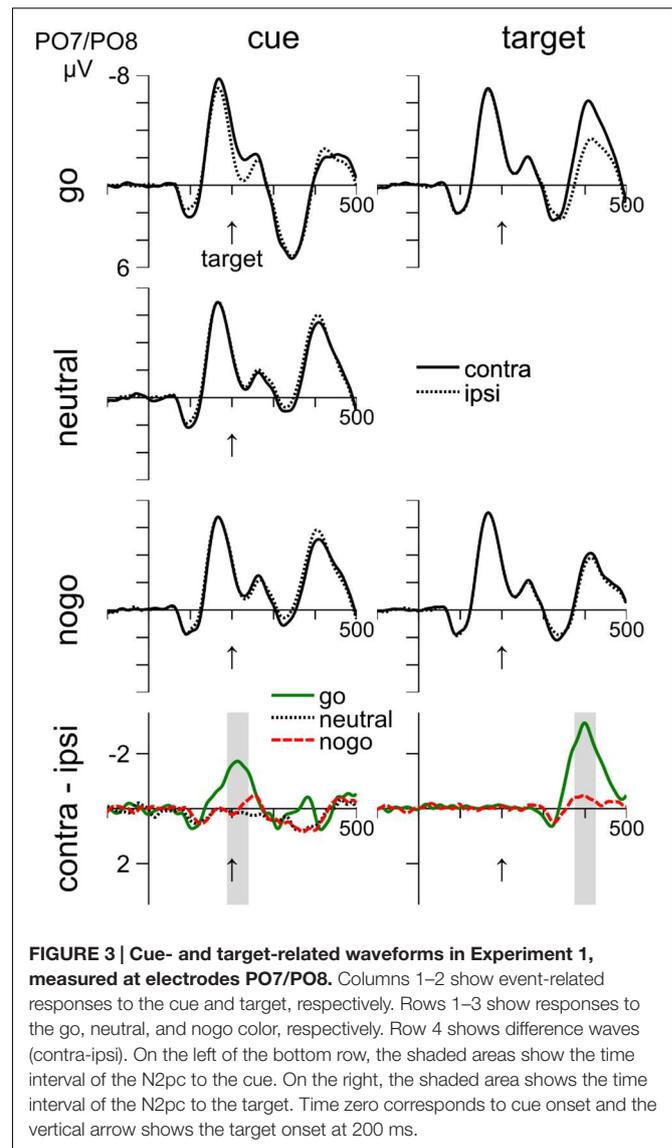
The waveforms in the right column of **Figure 3** show that there was an N2pc in response to the target that occurred 375–425 ms after cue onset, which was 175–225 ms after target onset. The N2pc was significant for go-targets ( $-2.72$  mV),  $t(13) = 6.5$ ,  $p < 0.001$ , and also for nogo targets ( $-0.4$  mV),  $t(12) = 2.65$ ,  $p = 0.021$ . The difference between go- and nogo-targets was significant ( $-2.72$  mV vs.  $-0.4$  mV),  $t(13) = 6.69$ ,  $p < 0.001$ . Thus, there is clear evidence for attentional selection of go targets, whereas nogo targets were mostly ignored.

## Results: ERPs Indicating Response-Inhibition

**Figure 4** shows that the ERPs around 200 ms after stimulus onset at electrode site Fz are remarkably similar in response to cue and target stimuli. The enhanced negativity for nogo relative to go stimuli peaked about 200 ms after stimulus onset and was followed by a positivity. The negativity correspond to the nogo-N2. The cue-related positivity extended for about 200 ms, but this may be due to the combined effects of cue- and target-related processing. In contrast, the negativity at 200 ms after cue onset coincides with target onset and can therefore be considered free of target-related processing. Further, **Figure 4** further shows that waveforms are similar for nogo and neutral cues. We used the same approach as above to search for cue- and target-related averaging windows of 50 ms between 150 and 250 ms after stimulus onset. We focus on electrode Fz, but similar results were obtained on electrode Pz. Cz was not recorded.

### Cue-related ERPs at Fz

Waveforms are shown in the left column of **Figure 4**. The negativity was evaluated from 169 to 219 ms (see gray areas). A one-way ANOVA (cue color: go, neutral, and nogo) on the mean voltages revealed a significant main effect,  $F(2,24) = 6.46$ ,  $p = 0.006$ . Follow-up  $t$ -test showed that the



**FIGURE 3 | Cue- and target-related waveforms in Experiment 1, measured at electrodes PO7/PO8.** Columns 1–2 show event-related responses to the cue and target, respectively. Rows 1–3 show responses to the go, neutral, and nogo color, respectively. Row 4 shows difference waves (contra-ipsi). On the left of the bottom row, the shaded areas show the time interval of the N2pc to the cue. On the right, the shaded area shows the time interval of the N2pc to the target. Time zero corresponds to cue onset and the vertical arrow shows the target onset at 200 ms.

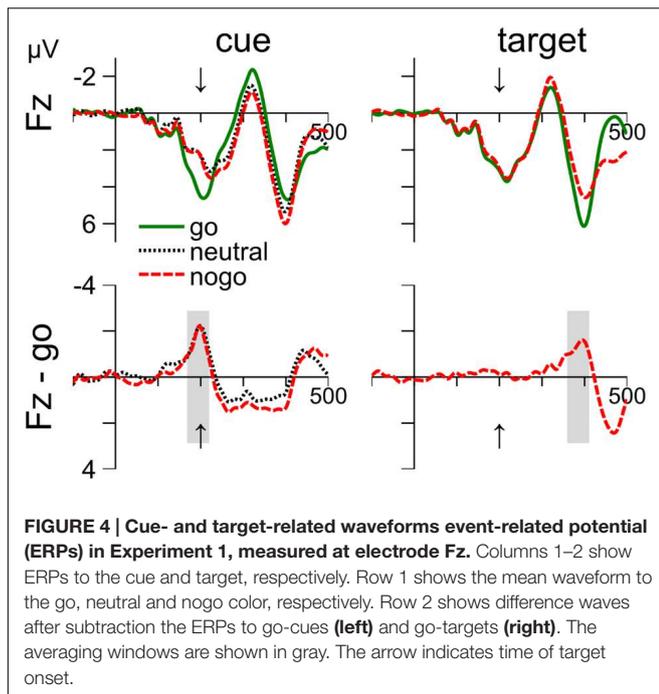
differences between nogo and go ( $-1.56$  mV),  $t(12) = 2.37$ ,  $p = 0.036$ , and between neutral and go color ( $-1.69$  mV),  $t(12) = 3.44$ ,  $p = 0.005$ , were significant. In contrast, the mean voltages with nogo and neutral cues did not differ ( $0.12$  mV),  $p = 0.753$ .

### Target-related ERPs at Fz

The waveforms are shown in the right column of **Figure 4**. Waveforms were evaluated from 360 to 410 ms. Mean voltage was more negative with nogo than with go targets ( $-1.3$  mV),  $t(12) = 5.92$ ,  $p < 0.001$ .

## Discussion

Behavioral cueing effects depended on the cue-color. Whereas a pronounced cueing benefit was observed with go cues, a trend in the opposite direction was observed with nogo cues. Importantly, the cueing effects did not differ between nogo and neutral cues,



**FIGURE 4 | Cue- and target-related waveforms event-related potential (ERPs) in Experiment 1, measured at electrode Fz.** Columns 1–2 show ERPs to the cue and target, respectively. Row 1 shows the mean waveform to the go, neutral and nogo color, respectively. Row 2 shows difference waves after subtraction the ERPs to go-cues (left) and go-targets (right). The averaging windows are shown in gray. The arrow indicates time of target onset.

showing that the processing of nogo and neutral cues was similar. In contrast, Anderson and Folk (2012) reported significant cueing costs of about  $-25$ – $40$  ms with nogo cues (estimated from their Figures 1 and 2) that were larger than with neutral cues. It is not clear why cueing costs with nogo cues were smaller in the present study ( $-13$  ms) and why they did not differ from neutral cues. In a related study where only go- and nogo cues were presented, cueing costs with nogo cues were of a similar size as in the present study ( $-9$  ms in Experiment 1 of Folk and Remington, 2008).

The analysis of ERPs found an N2pc to cues in the response-relevant color, which is consistent with previous studies (Eimer and Kiss, 2008; Lien et al., 2008). However, there was little evidence for suppression of nogo cues. Analysis of the ERPs showed neither a  $P_D$  nor an N2pc to nogo cues and what is more, the ERPs did not differ between nogo and neutral cues. Thus, RTs and ERPs confirm that the task set results in the selection of cues that match the target color, whereas non-matching cues are neither selected nor strongly suppressed.

Analysis of the N2 confirms the conclusion that there is no differential treatment of nogo compared to neutral cues. The N2 to the cues showed an enhanced negativity for both nogo and neutral cues relative to go cues. Our findings are consistent with the idea that the nogo-N2 reflects activation of the go-response and not inhibition of the nogo response (Bruin et al., 2001), because the ERPs to go cues were different from both neutral and nogo cues, but nogo and neutral cues did not differ. Also, our results are consistent with the suggestion of Eimer et al. (2009) that the enhanced N2 reflects the top-down inhibition of features that do not match the current task set. Further, the neutral cue color was rare compared to the

other colors, but the N2 was not larger for neutral cues. The conflict monitoring account would have predicted an enhanced N2 to rare events (Nieuwenhuis et al., 2003), but this was not observed.

## EXPERIMENT 2

We failed to replicate cueing costs with nogo cues in Experiment 1. However, there was a potentially important difference between Experiment 1 and the study by Anderson and Folk (2012). The SOA between cue and target display was 150 ms in Anderson and Folk (2012), but it was 200 ms in Experiment 1. We chose the longer SOA to reduce overlap between cue- and target-related ERPs. Because contingent capture depends on the time between the cue and target display (Lamy and Egeth, 2003), the change in SOA may have masked suppression of nogo cues. Therefore, we replicated Experiment 1 with a 150 ms SOA as in Anderson and Folk (2012).

## Methods

Seventeen new students from the same pool as above participated. Their mean age was 27 years ( $SD = 9.97$ ). The stimuli were as in Experiment 1 with the exception that the interval between the cue display of 47 ms and the target display of 47 ms was reduced to 106 ms for a total presentation time of 200 ms. The number of trials was reduced to 384, as in Anderson and Folk (2012).

## Results from Experiment 2

In go-trials, there were 5% choice errors, 5.6% late trials by the online criterion of 1.5 s, and 1.8% outliers by the 2.5 SD criterion. In nogo-trials, false alarms occurred on 10.6% of the trials. Mean RTs are shown in Figure 2. Inspection of Figure 2 suggests that RTs were longer in this experiment compared to the previous one. Comparison of performance between experiments is deferred to the results section of Experiment 3.

## Reaction Times

Individual means from the go-target conditions were entered into a 3(cue color: go, neutral, and nogo)  $\times$  2 (spatial cue-target congruency: incongruent, congruent) repeated-measures ANOVA. RTs were shorter with neutral (702 ms) than with go (734 ms) and nogo cues (727 ms),  $F(2,32) = 3.98$ ,  $p = 0.029$ . RTs were shorter when cue and target position were congruent (706 ms vs. 736 ms),  $F(1,16) = 16.73$ ,  $p = 0.001$ , but the interaction of cue-color and congruency,  $F(2,32) = 13.83$ ,  $p < 0.001$ , showed that the effect of congruency was larger when the cue was in the go-color (90 ms) than when it was in the neutral ( $-9$  ms) or nogo-color (10 ms). Separate  $t$ -tests confirmed a cueing benefit with cues in the go-color (90 ms, 689 ms vs. 779 ms),  $t(16) = 5.05$ ,  $p < 0.001$ . Cueing effects with neutral ( $-9$  ms, 707 ms vs. 698 ms),  $t(12) = -0.87$ ,  $p = 0.398$ , and nogo cues (10 ms, 722 ms vs. 732 ms),  $t(12) = 0.88$ ,  $p = 0.394$ , failed to reach significance. As in Experiment 1, there was no significant difference between cueing effects with neutral and nogo cues ( $-9$  vs. 10 ms),  $p = 0.268$ , confirming that there was no attentional

suppression of cues associated with nogo stimuli beyond the attentional suppression of neutral cues.

### Choice Errors

Choice errors are shown in **Table 1**. The same ANOVA as above on the percentage of choice errors yielded a main effect of cue color,  $F(2,32) = 9.84$ ,  $p < 0.001$ . The percentage of errors was higher with go cues (7.2%) than with neutral (4.2%) and nogo cues (3.4%).

### Discussion

We confirmed the absence of cueing costs with nogo cues for an SOA of 150 ms, which contradicts the previous study of Anderson and Folk (2012).

## EXPERIMENT 3

In Experiment 1, the colors were isoluminant to avoid lateralized asymmetries in the ERPs. Even so, an early contralateral positivity, the Ppc-component (Corriveau et al., 2012; Gokce et al., 2014), was visible at about 100 ms after stimulus onset in **Figure 3**. The Ppc component is thought to reflect lateralized feature differences. We did not analyze this component, because our hypothesis concerned attentional suppression and response inhibition.

A disadvantage of using isoluminant colors is that Anderson and Folk (2012) did not use isoluminant colors. Therefore, our failure to replicate their results may be due to the discrepant luminance values. It should be noted that Anderson and Folk (2012) did not report the luminance values and changed the colors and the display device between their Experiments 1 and 2. In their Experiment 2, the RGB-values were set to a maximum for red, green, and blue, resulting in pronounced luminance differences between colors. In other words, differences in hue were associated with differences in luminance, which makes the colors more discriminable. By replicating the RGB-values in Anderson and Folk (2012), we tested whether highly discriminable colors would produce cueing costs for nogo-cues that we failed to observe in Experiments 1 and 2.

### Methods

Eighteen new students participated. Their mean age was 20.9 years ( $SD = 3.5$ ). The methods were as in Experiment 2 with the following exceptions. The RGB-values for red, green, and blue were set to the maximum, resulting in luminance values of 16.5, 63.7, and 9.3  $cd/m^2$ , respectively. While we used a Latin square with three different assignments of color to cue type in Experiments 1 and 2, we counterbalanced all six possible assignments in the present experiment.

### Results

In go-trials, there were 4.2% choice errors, 2.1% late trials by the online criterion of 1.5 s, and 1.9% outliers by the 2.5 SD criterion. In nogo-trials, false alarms occurred on 5.7% of the trials.

### Reaction Times

Reaction times are shown in **Figure 2**. Individual mean RTs from the go-target conditions were entered into a 3(cue color: go, neutral, and nogo)  $\times$  2 (spatial cue-target congruency: incongruent, congruent) repeated-measures ANOVA. RTs were shorter when cue and target position were congruent (632 ms vs. 648 ms),  $F(1,17) = 13.57$ ,  $p = 0.002$ , but the interaction of cue-color and congruency,  $F(2,34) = 17.93$ ,  $p < 0.001$ , showed that the effect of congruency was larger when the cue was in the go-color (71 ms) than when it was in the neutral (-17 ms) or nogo-color (-5 ms). Separate *t*-tests confirmed a cueing benefit with go cues (71 ms, 610 ms vs. 681 ms),  $t(17) = 6.01$ ,  $p < 0.001$ . Cueing costs were not significant with neutral cues (-17 ms, 645 ms vs. 628 ms),  $t(17) = -1.65$ ,  $p = 0.118$ , or with nogo cues (-5 ms, 640 ms vs. 635 ms),  $t(17) = -0.58$ ,  $p = 0.571$ . The difference between neutral and nogo cues was not significant,  $p = 0.361$ .

### Choice Errors

Choice errors are shown in **Table 1**. The same ANOVA as above did not show any significant effects,  $p > 0.33$ .

## Comparison between Experiments 1–3

To evaluate differences between experiments, and in particular the apparently worse performance in Experiment 2, the same ANOVA as above was performed, but we included experiment as a between-subject variable.

### Reaction Times

A 3 (Experiments: 1, 2, and 3)  $\times$  3 (cue color: go, neutral, and nogo)  $\times$  2 (spatial cue-target congruency: incongruent, congruent) ANOVA revealed a main effect of experiment,  $F(2,49) = 6.03$ ,  $p = 0.005$ , showing that RTs were longer in Experiment 2 (721 ms) than in Experiment 1 (615 ms) and Experiment 3 (640 ms). Further, it showed a tendency for an effect of cue color,  $F(2,98) = 2.78$ ,  $p = 0.067$ , a significant interaction between cue color and experiment,  $F(4,98) = 2.56$ ,  $p = 0.043$ , a significant effect of congruency,  $F(1,49) = 24.15$ ,  $p < 0.001$ , and a tendency for an interaction between congruency and experiment,  $F(2,49) = 2.85$ ,  $p = 0.068$ . Importantly, the interaction between cue color and congruency was confirmed,  $F(1.77,86.49) = 47.26$ ,  $p < 0.001$ , and not modified by experiment,  $p = 0.481$ . Separate *t*-tests on the complete sample of 52 participants confirmed a cueing benefit with go cues (69 ms, 628 ms vs. 697 ms),  $t(51) = 7.99$ ,  $p < 0.001$ . Cueing costs were significant with neutral cues (-12 ms, 657 ms vs. 645 ms),  $t(51) = -2.41$ ,  $p = 0.019$ , but not with nogo cues (-2 ms, 661 ms vs. 659 ms),  $p = 0.696$ . Importantly, cueing costs were not significantly larger with nogo than with neutral cues (-2 ms vs. -12 ms),  $t(51) = 1.43$ ,  $p = 0.158$ .

### Choice Errors

The same ANOVA as above showed a tendency for an effect of cue color,  $F(1.67,82) = 2.96$ ,  $p = 0.067$ , a significant interaction of cue color and experiment,  $F(4,98) = 3.55$ ,  $p = 0.01$ , a tendency for an effect of congruency,  $F(1,49) = 3.84$ ,  $p = 0.056$ , and a significant interaction of cue color and congruency,

$F(2,96) = 3.16, p = 0.047$ , that was not modulated by experiment,  $p = 0.822$ .

### Effects of Age

To explain the slower RTs in Experiment 2 compared to the other experiments, we analyzed participants' age. A one-way between-subject ANOVA found an effect of age,  $F(2,49) = 4.36, p = 0.018$ , with older participants in Experiment 2 (27 years) than in Experiment 1 (22.1 years) and Experiment 3 (20.9 years). Also, age correlated with mean RT,  $r(52) = 0.53, p < 0.001$ . Therefore, differences in age may have contributed to the overall performance drop in Experiment 2 (e.g., Zeef and Kok, 1993; Ratcliff et al., 2001). To test for this possibility, we introduced normalized age as a covariate in the above mixed-factors ANOVA. The effect of normalized age was significant,  $F(1,48) = 12.25, p = 0.001$ , while the effect of experiment was no longer significant,  $F(2,48) = 2.98, p = 0.06$ . In contrast, the crucial interaction of cue color and spatial congruency was not affected by normalized age,  $p = 0.73$ .

### Discussion

Similar to Experiments 1 and 2, Experiment 3 did not provide evidence for attentional suppression of nogo cues. That is, there were no cueing costs for nogo cues. The combined analysis with 52 participants confirmed the conclusion that nogo and neutral cues are not processed differently. Thus, even colors that confound hue and luminance do not replicate the pattern of results in Anderson and Folk (2012).

## GENERAL DISCUSSION

We investigated whether cues associated with nogo-targets are more strongly suppressed than neutral cues. Previously, Belopolsky et al. (2010) and Anderson and Folk (2012) showed that nogo cues in the modified spatial cueing paradigm (Folk et al., 1992) resulted in cueing costs. Cueing costs were ascribed to inhibition of the cued location after the rapid disengagement of attention. We started from the hypothesis that cueing costs should be reflected in an electrophysiological index of attentional suppression, the P<sub>D</sub>. However, we were unable to find reliable cueing costs for nogo cues in three experiments and a total of 52 participants. Instead, we observed cueing benefits and an N2pc to cues in the go-color, confirming that response-relevant features capture attention (Eimer and Kiss, 2008; Lien et al., 2008). Overall, our results show that only stimuli matching the task set capture attention, whereas completely task-irrelevant, neutral cues and cues associated with response inhibition (nogo cues) neither capture attention nor result in reliable inhibition. In particular, our results do not support the hypothesis that nogo-cues entail inhibition because we failed to replicate the difference between neutral and nogo cues that was reported by Anderson and Folk (2012). The reasons for the failure are unclear, but we speculate that a sampling error produced spurious results in the previous study.

## Attentional Suppression vs. Object Updating

The present study sheds new light on the attentional strategy used to solve nogo-tasks. The hypothesis elaborated in the introduction was that participants suppress features that are associated with a nogo-stimulus at the attentional level because of the strong incentive to not respond to nogo targets. The cueing costs reported previously provided strong evidence for this idea. Our results support the alternative idea that nogo cues are mostly ignored and do not need active suppression. Nogo cues elicit neither an N2pc nor do they evoke a P<sub>D</sub>, while go cues elicit an N2pc. Thus, participants' attentional set includes features requiring a response, whereas features not requiring a response are neither attended nor suppressed.

In Experiment 1, we observed small cueing costs that were not confirmed in Experiments 2 and 3. Possibly, the larger number of trials in Experiment 1 compared to Experiments 2 and 3 (1152 vs. 384) brought the cueing effects to the fore. Similarly, cueing costs with neutral cues were significant when the complete sample of 52 participants was considered. Thus, cueing costs with neutral cues are small and may not always reach significance, yielding inconsistent results. For instance, cueing costs occurred in one experiment out of two with non-singleton cues (Experiment 2 vs. 3 in Becker et al., 2013) and also with singleton cues (Experiment 1 vs. 2 in Eimer et al., 2009). In another study, cueing costs with singleton cues depended strongly on the combination of cue- and target colors (Schönhammer and Kerzel, 2013). While these reports are inconsistent, robust cueing costs have been observed in feature search with non-matching singleton cues when the cue stimuli stayed on the screen until the target appeared (Lamy et al., 2004; Carmel and Lamy, 2014, 2015). Effects of presentation time (not SOA) are unexpected from the point of view of disengagement and suppression. According to these accounts, attention would only briefly visit the location of non-matching cues.

In contrast, the object-updating account of negative cueing effects offers an explanation. In a seminal study, Kahneman et al. (1992) observed that it was easier to name a target letter that appeared in the same square as during preview compared to when it appeared in a different square. Presumably, letter and square had been integrated into an object file during preview. When the position of the target letter changed to a different square after preview, the object file had to be updated, which incurred a cost. Carmel and Lamy (2014, 2015) applied this account to the precueing paradigm: non-matching cues that appeared at the same location as the target (i.e., spatially congruent cues) resulted in the presentation of two different colors at the same position, whereas there was no change when a matching cue appeared at the target location. The change in color with congruent, non-matching cues may result in the perception of a change in the object at the cued location that requires object updating and results in cueing costs. However, the perception of a disruption in object continuity depends crucially on the presentation time of the stimuli. Carmel and Lamy (2015) observed robust cueing costs with

non-matching colors when the presentation time of the cues was 150 ms, but these cueing costs disappeared with a cue presentation time of 50 ms (given a cue-target SOA of 150 ms). Presumably, the long presentation time is necessary for the creation of object files. Because presentation times in the present experiment were always short (50 ms), we suspect that the contribution of object-updating to the current results is rather small. However, the exact circumstances (stimulus size, contrast, etc.) that allow for object-file creation remain to be described in detail.

## Response Inhibition vs. Response Activation

The absence of ERP components related to the attentional suppression of stimuli favors an account of our weak cueing costs in terms of motor processes. Prinzmetal et al. (2005) showed that RT and perceptual accuracy may dissociate in cueing studies, suggesting that the effects of attention may be mediated by different mechanisms. In particular, Prinzmetal et al. (2005) argued that RTs are influenced by “channel selection,” which refers to the larger tendency to respond to cued locations compared to uncued locations. Channel selection is unrelated to enhanced perceptual processing of the cued stimuli. Nogo cues may induce the inverse tendency, that is, they may inhibit responses to the targets at the cued location while increasing the tendency to respond to targets at other locations. These processes are unlikely to have repercussions on the posterior ERP components indicating attentional selection that were the focus of the present investigation. Rather, response inhibition may be more adequately measured at frontal scalp locations. However, our results do not support the idea that response inhibition was stronger for nogo than for neutral cues, suggesting that nogo stimuli do not result in inverse “channel selection” (i.e., “channel inhibition”).

Previous ERP studies on the go/nogo paradigm have looked at the N2 and P3 components between 200 and 400 ms post-stimulus at anterior electrodes (Folstein and Van Petten, 2008). Of importance, Eimer et al. (2009) showed that the negativity at anterior electrodes was larger with non-matching than matching cues, suggesting that inhibition occurred when cues did not match the top-down set. Similarly, we observed a larger negativity for non-matching nogo cues. However, the negativity was the same for neutral cues, which suggests that

the N2 does not reflect inhibition of nogo-stimuli, but rather activation of response-relevant stimuli (see Bruin et al., 2001). If the N2 reflected response inhibition, we would have expected a larger negativity to nogo cues relative to neutral and go stimuli. Thus, results from posterior and frontal electrodes support the conclusion that nogo cues do not result in more inhibition than neutral cues.

Finally, an important point is that go and nogo targets in the present study were fixed whereas they varied from trial to trial in Belopolsky et al. (2010). Belopolsky et al. (2010) observed that cueing benefits were only observed when the target on the previous and the present trial were the same. Similarly, cue-target congruency on the previous trial may affect effects of congruency on the present trial (Goller and Ansorge, 2015). As the target color was fixed during an experimental session, we cannot evaluate whether the pattern of results in the present study would change if go and nogo targets changed randomly. However, the difference between fixed and random go/nogo targets may explain why Belopolsky et al. (2010) observed stronger cueing costs than we did. The differences with respect to the study of Anderson and Folk (2012) are more difficult to explain.

In sum, we fail to replicate cueing costs to nogo cues in the modified cueing paradigm. Consistent with the lack of behavioral effects, we did not find the P<sub>D</sub> component to nogo cues. In contrast, cues in the go-color evoked attentional capture at the behavioral and electrophysiological level. Our results suggest that stimuli associated with a nogo response are not suppressed at the stage of attentional selection. Rather, nogo cues are mostly ignored, which is reflected in the absence of congruency effects and electrophysiological components associated with selection and suppression.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

CB and DK conceived of the experiments. CB ran the experiments and analyzed the data. CB and DK wrote the paper.

## ACKNOWLEDGMENT

DK and CB were supported by the Swiss National Foundation 100014\_152684/1.

## REFERENCES

- Anderson, B. A., and Folk, C. L. (2012). Dissociating location-specific inhibition and attention shifts: evidence against the disengagement account of contingent capture. *Atten. Percept. Psychophys.* 74, 1183–1198. doi: 10.3758/s13414-012-0325-9
- Becker, S. I. (2010). The role of target-distractor relationships in guiding attention and the eyes in visual search. *J. Exp. Psychol. Gen.* 139, 247–265. doi: 10.1037/a0018808
- Becker, S. I., Folk, C. L., and Remington, R. W. (2013). Attentional capture does not depend on feature similarity, but on target-nontarget relations. *Psychol. Sci.* 24, 634–647. doi: 10.1177/0956797612458528
- Belopolsky, A. V., Schreij, D., and Theeuwes, J. (2010). What is top-down about contingent capture? *Atten. Percept. Psychophys.* 72, 326–341. doi: 10.3758/app.72.2.326
- Bisley, J. W., and Goldberg, M. E. (2006). Neural correlates of attention and distractibility in the lateral intraparietal area. *J. Neurophysiol.* 95, 1696–1717. doi: 10.1152/jn.00848.2005
- Bruin, K. J., Wijers, A. A., and van Staveren, A. S. J. (2001). Response priming in a go/nogo task: do we have to explain the go/nogo N2 effect in terms of response activation instead of inhibition? *Clin. Neurophysiol.* 112, 1660–1671. doi: 10.1016/S1388-2457(01)0601-0
- Burra, N., and Kerzel, D. (2013). Attentional capture during visual search is attenuated by target predictability: evidence from the N2pc, Pd,

- and topographic segmentation. *Psychophysiology* 50, 422–430. doi: 10.1111/psyp.12019
- Carmel, T., and Lamy, D. (2014). The same-location cost is unrelated to attentional settings: an object-updating account. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 40, 1465–1478. doi: 10.1037/a0036383
- Carmel, T., and Lamy, D. (2015). Towards a resolution of the attentional-capture debate. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 41, 1772–1782. doi: 10.1037/xhp0000118
- Corriveau, I., Fortier-Gauthier, U., Pomerleau, V. J., McDonald, J., Dell'Acqua, R., and Jolicoeur, P. (2012). Electrophysiological evidence of multitasking impairment of attentional deployment reflects target-specific processing, not distractor inhibition. *Int. J. Psychophysiol.* 86, 152–159. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2012.06.005
- Desimone, R., and Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annu. Rev. Neurosci.* 18, 193–222. doi: 10.1146/annurev.ne.18.030195.001205
- Eimer, M. (1993). Effects of attention and stimulus probability on ERPs in a Go/Nogo task. *Biol. Psychol.* 35, 123–138. doi: 10.1016/0301-0511(93)90009-W
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 99, 225–234. doi: 10.1016/0013-4694(96)95711-9
- Eimer, M., and Kiss, M. (2008). Involuntary attentional capture is determined by task set: evidence from event-related brain potentials. *J. Cogn. Neurosci.* 20, 1423–1433. doi: 10.1162/jocn.2008.20099
- Eimer, M., Kiss, M., Press, C., and Sauter, D. (2009). The roles of feature-specific task set and bottom-up salience in attentional capture: an ERP study. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 35, 1316–1328. doi: 10.1037/a0015872
- Fellrath, J., Manuel, A. L., and Ptak, R. (2014). Task relevance effects in electrophysiological brain activity: early, but not first. *Neuroimage* 101, 68–75. doi: 10.1016/j.neuroimage.2014.06.059
- Folk, C. L., and Remington, R. W. (2008). Bottom-up priming of top-down attentional control settings. *Vis. Cogn.* 16, 215–231. doi: 10.1080/13506280601134018
- Folk, C. L., Remington, R. W., and Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 18, 1030–1044.
- Folstein, J. R., and Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: a review. *Psychophysiology* 45, 152–170. doi: 10.1111/j.1469-8986.2007.00602.x
- Gaspar, J. M., and McDonald, J. J. (2014). Suppression of salient objects prevents distraction in visual search. *J. Neurosci.* 34, 5658–5666. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4161-13.2014
- Gokee, A., Geyer, T., Finke, K., Mueller, H. J., and Töllner, T. (2014). What pops out in position priming of pop-out: insights from event-related EEG lateralizations. *Front. Psychol.* 5:688. doi: 10.3389/fpsyg.2014.00688
- Goller, F., and Ansorge, U. (2015). There is more to trial history than priming in attentional capture experiments. *Atten. Percept. Psychophys.* 77, 1574–1584. doi: 10.3758/s13414-015-0896-3
- Hickey, C., Di Lollo, V., and McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *J. Cogn. Neurosci.* 21, 760–775. doi: 10.1162/jocn.2009.21039
- Hilimire, M. R., and Corballis, P. M. (2014). Event-related potentials reveal the effect of prior knowledge on competition for representation and attentional capture. *Psychophysiology* 51, 22–35. doi: 10.1111/psyp.12154
- Hilimire, M. R., Hickey, C., and Corballis, P. M. (2012). Target resolution in visual search involves the direct suppression of distractors: evidence from electrophysiology. *Psychophysiology* 49, 504–509. doi: 10.1111/j.1469-8986.2011.01326.x
- Hilimire, M. R., Moutts, J. R., Parks, N. A., and Corballis, P. M. (2011). Dynamics of target and distractor processing in visual search: evidence from event-related brain potentials. *Neurosci. Lett.* 495, 196–200. doi: 10.1016/j.neulet.2011.03.064
- Itti, L., and Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nat. Rev. Neurosci.* 2, 194–203. doi: 10.1038/35058500
- Jannati, A., Gaspar, J. M., and McDonald, J. J. (2013). Tracking target and distractor processing in fixed-feature visual search: evidence from human electrophysiology. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 39, 1713–1730. doi: 10.1037/a0032251
- Kahneman, D., Treisman, A., and Gibbs, B. J. (1992). The reviewing of object files: object-specific integration of information. *Cogn. Psychol.* 24, 175–219. doi: 10.1016/0010-0285(92)90007-O
- Kiss, M., Grubert, A., Petersen, A., and Eimer, M. (2012). Attentional capture by salient distractors during visual search is determined by temporal task demands. *J. Cogn. Neurosci.* 24, 749–759. doi: 10.1162/jocn\_a\_00127
- Kok, A. (1986). Effects of degradation of visual-stimuli on components of the event-related potential (ERP) in go nogo reaction tasks. *Biol. Psychol.* 23, 21–38. doi: 10.1016/0301-0511(86)90087-6
- Lamy, D., and Egeth, H. E. (2003). Attentional capture in singleton-detection and feature-search modes. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 29, 1003–1020. doi: 10.1037/0096-1523.29.5.1003
- Lamy, D., Leber, A. B., and Egeth, H. E. (2004). Effects of task relevance and stimulus-driven salience in feature-search mode. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 30, 1019–1031. doi: 10.1037/0096-1523.30.6.1019
- Lien, M.-C., Ruthruff, E., Goodin, Z., and Remington, R. W. (2008). Contingent attentional capture by top-down control settings: converging evidence from event-related potentials. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 34, 509–530. doi: 10.1037/0096-1523.34.3.509
- Luck, S. J., and Hillyard, S. A. (1994). Spatial filtering during visual search: evidence from human electrophysiology. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 20, 1000–1014.
- McDonald, J. J., Green, J. J., Jannati, A., and Di Lollo, V. (2013). On the electrophysiological evidence for the capture of visual attention. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* 39, 849–860. doi: 10.1037/a0030510
- Munoz, D. P., and Fecteau, J. H. (2002). Vying for dominance: dynamic interactions control visual fixation and saccadic initiation in the superior colliculus. *Prog. Brain Res.* 140, 3–19. doi: 10.1016/S0079-6123(02)40039-8
- Nieuwenhuis, S., Yeung, N., van den Wildenberg, W., and Ridderinkhof, K. R. (2003). Electrophysiological correlates of anterior cingulate function in a go/nogo task: effects of response conflict and trial type frequency. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 3, 17–26. doi: 10.3758/Cabn.3.1.17
- Pfefferbaum, A., Ford, J. M., Weller, B. J., and Kopell, B. S. (1985). Erps to response production and inhibition. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* 60, 423–434. doi: 10.1016/0013-4694(85)91017-X
- Prinzmetal, W., McCool, C., and Park, S. (2005). Attention: reaction time and accuracy reveal different mechanisms. *J. Exp. Psychol. Gen.* 134, 73–92. doi: 10.1037/0096-3445.134.1.73
- Rangelov, D., Tollner, T., Müller, H. J., and Zehetleitner, M. (2013). What are task-sets: a single, integrated representation or a collection of multiple control representations? *Front. Hum. Neurosci.* 7:524. doi: 10.3389/fnhum.2013.00524
- Ratcliff, R., Thapar, A., and McKoon, G. (2001). The effects of aging on reaction time in a signal detection task. *Psychol. Aging* 16, 323–341. doi: 10.1037/0882-7974.16.2.323
- Sawaki, R., and Luck, S. J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Atten. Percept. Psychophys.* 72, 1455–1470. doi: 10.3758/APP.72.6.1455
- Sawaki, R., and Luck, S. J. (2012). Active suppression after involuntary capture of attention. *Psychon. Bull. Rev.* 20, 296–301. doi: 10.3758/s13423-012-0353-4
- Schönhammer, J. G., Grubert, A., Kerzel, D., and Becker, S. I. (2016). Attentional guidance by relative features: behavioral and electrophysiological evidence. *Psychophysiology* doi: 10.1111/psyp.12645 [Epub ahead of print].
- Schönhammer, J. G., and Kerzel, D. (2013). Some effects of non-predictive cues on accuracy are mediated by feature-based attention. *J. Vis.* 13, 76. doi: 10.1167/13.9.76
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Percept. Psychophys.* 50, 184–193. doi: 10.3758/BF03212219

- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychol.* 135, 77–99. doi: 10.1016/j.actpsy.2010.02.006
- Theeuwes, J., Atchley, P., and Kramer, A. F. (2000). “On the time course of top-down and bottom-up control of visual attention,” in *Attention and Performance*, Vol. 18, eds S. Monsell and J. Driver (Cambridge: MIT Press).
- Töllner, T., Rangelov, D., and Müller, H. J. (2012). How the speed of motor-response decisions, but not focal-attentional selection, differs as a function of task set and target prevalence. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, E1990–E1999. doi: 10.1073/pnas.1206382109
- Treisman, A. M., and Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cogn. Psychol.* 12, 97–136. doi: 10.1016/0010-0285(80)90005-5
- Yeh, S. L., and Liao, H. I. (2008). On the generality of the contingent orienting hypothesis. *Acta Psychol.* 129, 157–165. doi: 10.1016/j.actpsy.2008.05.008
- Zeef, E. J., and Kok, A. (1993). Age-Related differences in the timing of stimulus and response processes during visual selective attention - performance and psychophysiological analyses. *Psychophysiology* 30, 138–151. doi: 10.1111/j.1469-8986.1993.tb01727.x
- Conflict of Interest Statement:** The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Copyright © 2016 Barras and Kerzel. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY). The use, distribution or reproduction in other forums is permitted, provided the original author(s) or licensor are credited and that the original publication in this journal is cited, in accordance with accepted academic practice. No use, distribution or reproduction is permitted which does not comply with these terms.

## *ANNEXE II*



# Active suppression of salient-but-irrelevant stimuli does not underlie resistance to visual interference



Caroline Barras, Dirk Kerzel\*

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, Université de Genève, Switzerland

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 8 June 2016

Received in revised form 7 October 2016

Accepted 10 October 2016

Available online 15 October 2016

### Keywords:

Visual search

Attentional capture

Attentional selection

Search mode

Feature search

Singleton detection

$P_D$

N2pc

Ppc

## ABSTRACT

In visual search for a shape target, interference from salient-but-irrelevant color singletons can be resisted in feature search mode, but not in singleton detection mode. In singleton detection mode, we observed a contralateral positivity ( $P_D$ ) after 260–340 ms, suggesting that the salient distractor was suppressed. Because RTs in singleton detection mode increased when a distractor was present, we conclude that active suppression of distractors takes time. In feature search mode, no increase in RTs and no  $P_D$  to the distractor was observed, showing that resistance to interference was not accomplished by suppression. Rather, the smaller N2pc to the target in feature search than in singleton detection mode suggests that enhancement of target features avoided interference. Thus, the strong top-down set in feature search mode eliminated the need to suppress the early attend-to-me signal (corresponding to the Ppc, from 160 to 210 ms) that was generated by salient stimuli independently of search mode.

© 2016 Elsevier B.V. All rights reserved.

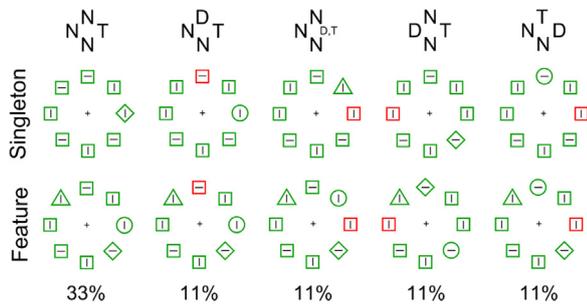
## 1. Introduction

In some advertisement campaigns, the advertised product is the only colored object in an otherwise black-and-white picture. The creative minds behind these campaigns followed their intuition that observers' attention would be drawn to the colored stimulus. Research on visual selective attention provides evidence that this strategy may work even against the intentions of the observer. In the additional singleton paradigm (Theeuwes, 1991), participants were asked to search for a shape that was different from the remaining shapes in the display (i.e., a shape singleton). On 50% of the trials, all stimuli had the same color whereas on the other 50% of the trials, one of the nontarget elements had a different color (i.e., a color singleton). The presence of a color singleton increased search times for the shape singleton although color was completely irrelevant for the task. The interpretation by Theeuwes (1991, 2010) was that the color singleton captured attention. According to this view, the initial attentional selection is based on saliency. That is, attention selects the object that stands out most from its visual context.

### 1.1. Singleton detection and feature search mode

The view that attention is controlled in a bottom-up manner by characteristics of the stimulus was opposed by the view that attentional control is top-down (e.g., Bacon & Egeth, 1994; Folk, Remington, & Johnston, 1992) (for review, see Lamy, Leber, & Egeth, 2012). According to Bacon and Egeth (1994), the distractor effect in the additional singleton paradigm arises because participants did not search for a particular target feature, but for any odd element. While this singleton detection strategy was feasible on distractor absent trials, it led to the erroneous selection of the color singleton on distractor present trials. Correcting for the wrong selection explains the longer RTs. To isolate the singleton detection strategy, Bacon and Egeth (1994) used a singleton shape target that varied unpredictably from trial to trial while the shape of nontarget elements did not change (see Fig. 1). Thus, participants could not focus on any particular shape, but had to search for the odd shape. To isolate search for a particular feature (i.e., feature search mode), they mixed various shapes into the search display so that the shape target was no longer a singleton. As a result, interference from the color distractor disappeared, demonstrating that the top-down set determines whether interference occurs. We refer to the absence of behavioral interference from salient distractors in feature search mode as **resistance to interference**.

\* Corresponding author at: Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation, Université de Genève, 40 Boulevard du Pont d'Arve, 1205 Genève, Switzerland.  
E-mail address: [dirk.kerzel@unige.ch](mailto:dirk.kerzel@unige.ch) (D. Kerzel).



**Fig. 1.** Examples of experimental stimuli in singleton detection and feature search modes. Insets in row 1 show the schematic target (T), distractor (D), and nontarget (N) positions. In singleton detection mode, participants searched for a randomly changing shape (diamond, circle, or triangle, see row 2) that was a singleton among uniform nontargets. In feature search mode, participants searched for a circle among various nontarget shapes (see row 3). Here, we presented the target and distractor mostly at the top and on the right, but in the experiment, stimulus positions were randomized. The prevalence of each configuration as percentage of the total number of trials is shown at the bottom.

It should be noted that the original additional singleton paradigm allows for both search strategies. Bacon and Egeth (1994) stressed that observers may have used singleton detection because the target was a shape singleton. However, the target shape never changed so that in principle, observers could have used feature search. Whether observers use singleton detection or feature search may depend on previous exposure to singleton detection or feature search. Leber and Egeth (2006) showed that participants who were trained in singleton detection mode (with variable targets and uniform nontargets) showed interference in a subsequent test with the additional singleton paradigm. In contrast, participants who were trained in feature search mode (with fixed target and heterogeneous nontargets) did not show interference in the additional singleton paradigm. Thus, both strategies are available in the additional singleton paradigm (see also Lamy & Egeth, 2003).

## 1.2. Mixed- and fixed-feature search

Hickey, McDonald, and Theeuwes (2006) were the first to investigate the deployment of attention to salient-but-irrelevant color singletons in the additional singleton paradigm using electrophysiology. They focused on the N2pc, a negative deflection occurring contralateral to the attended stimulus at posterior sites (Eimer, 1996; Luck & Hillyard, 1994). By placing the distractor on a lateral position and the target on the vertical midline above or below central fixation (see Woodman & Luck, 2003), they were able to measure attentional capture by the distractor. Hickey et al. (2006) reported an N2pc to lateral distractors with midline targets, confirming attentional capture by salient stimuli. In their study, target and nontarget shapes were randomly swapped so that participants could not focus on a specific target shape. That is, on one trial, the target may have been a circle among diamonds, but on the subsequent trial, the target may have been a diamond among circles. We refer to this paradigm as the mixed-feature version of the addi-

tional singleton paradigm (see Theeuwes, 1991). An overview of the different search tasks is provided in Table 1.

Some studies replicated the N2pc to salient distractors in mixed-feature search (Burra & Kerzel, 2013; Kiss, Grubert, Petersen, & Eimer, 2012), in particular on trials after target and distractor shapes swapped (Hickey, Olivers, Meeter, & Theeuwes, 2011), but others failed to do so (McDonald, Green, Jannati, & Di Lollo, 2013). Instead, McDonald et al. (2013) observed a contralateral deflection of opposite polarity in distractor-present trials with short RTs. The contralateral positivity is referred to as  $P_D$  and occurs in the same time range as the N2pc (Burra & Kerzel, 2013; Hickey, Di Lollo, & McDonald, 2009; Kiss et al., 2012) or follows the N2pc (Feldmann-Wüstefeld & Schubö, 2013; Hilimire, Mounts, Parks, & Corballis, 2011; Sawaki & Luck, 2012). The interpretation of the  $P_D$  occurring in the N2pc time range was that it reflects the suppression of irrelevant-but-salient stimuli, and the interpretation of the  $P_D$  occurring after the N2pc was that it reflects the active termination of a shift of attention.

While there is some disagreement on the presence of the  $P_D$  to salient-but-irrelevant stimuli in the mixed-feature version of the additional singleton paradigm (see Theeuwes, 1991), the  $P_D$  was more reliably observed in the fixed-feature version (see Theeuwes, 1992) where the target and nontarget shapes do not swap, but are fixed throughout the experiment. Jannati, Gaspar, and McDonald (2013) reported a  $P_D$  to the color distractor on trials with short RTs and Burra and Kerzel (2013) reported a  $P_D$  for all trials.

Further, a  $P_D$  to salient distractors occurred in mixed-feature search when the search display of the additional singleton paradigm was only briefly flashed for 200 ms (Kiss et al., 2012), suggesting that suppression of salient-but-irrelevant stimuli occurred when attentional selection had to occur rapidly (see also Feldmann-Wüstefeld, Uengoer, & Schubö, 2015). In general, divergent results were reported in studies with briefly flashed stimuli and fixed-feature search that did not use geometrical shapes as nontarget elements, but a large array of vertical lines that resemble a visual texture or pattern. Töllner, Müller, and Zehetleitner (2012) and Wykowska and Schubö (2010) reported no lateralized ERP to salient color distractors (but see Feldmann-Wüstefeld & Schubö, 2013), but an increase in the latency of the N2pc to the target when the distractor was present. Because we used geometrical shapes and unlimited viewing time in the present study, we derive our predictions from studies using these parameters.

Overall, the  $P_D$  appears to be associated with conditions that favor efficient target selection and rapid suppression of irrelevant stimuli. Most important, the  $P_D$  to salient distractors occurred reliably in fixed-feature search where RTs were short and interference from distractors was small, presumably thanks to active suppression of the distractor (Burra & Kerzel, 2013; Jannati et al., 2013; Lamy & Yashar, 2008; Pinto, Olivers, & Theeuwes, 2005). In contrast, an N2pc to salient distractors was only observed in mixed-feature search where RTs were long and interference from distractors was large, most likely due to attentional capture by the distractor (Burra & Kerzel, 2013; Hickey et al., 2006; Hilimire & Corballis, 2014; Kiss et al., 2012).

**Table 1**

Characterization of the different search tasks and the corresponding behavioral and electrophysiological observations. The shape of the singleton target varied across trials in mixed-feature search and singleton detection mode. The number of possible target shapes across trials is indicated by “# shapes”. The nontargets in a given trial could either be the same or there could be other unique elements (“various”). Target and nontargets switched roles randomly in mixed-feature search. See the introduction for more detailed explanations and References.

Title	Target (# shapes)	NonTargets	Roles	Interference	ERP
mixed-feature search	singleton (2)	same	swaps	large	mostly N2pc
fixed-feature search	singleton (1)	same	fixed	intermediate	$P_D$
singleton detection	singleton (3)	same	fixed	intermediate	$P_D$
feature search	non-singleton (1)	various	fixed	absent	none

## 2. Experiment 1

As outlined above, the electrophysiological correlates of fixed- and mixed-feature search in the additional singleton are well-studied. However, electrophysiological investigations of singleton detection and feature search modes are missing. Therefore, little is known about the mechanism that prevents salient-but-irrelevant color singletons from disrupting visual search in feature search mode (e.g., Bacon & Egeth, 1994; Kerzel & Barras, 2015; Leber & Egeth, 2006; Zehetleitner, Goschy, & Müller, 2012). In general, there are two ways in which resistance to interference in feature search mode may be implemented. The task-relevant features may be enhanced (e.g., Folk et al., 1992; Wolfe, 1994) or distracting signals may be inhibited (e.g., Gaspar & McDonald, 2014; Moher, Abrams, Egeth, Yantis, & Stuphorn, 2011; Zehetleitner et al., 2012). While enhancement of target features should be reflected in changes of the N2pc to the target, suppression of distracting features should be reflected in changes of the  $P_D$  to the distractor. Under the assumption that more efficient rejection of distractors in feature search was accomplished by stronger suppression, we predict a stronger  $P_D$  in feature search than in singleton detection mode. In any case, we do not expect an N2pc to the color distractor in either search mode because nontarget and target shapes did not swap roles.

We modeled our stimuli on a previous study by Leber and Egeth (2006). In singleton detection mode, the target shape varied unpredictably between a triangle, a diamond, and a circle while the nontargets were always squares. In feature search mode, the target shape was a circle and two of the nontarget squares were replaced by other unique shapes (i.e., a triangle and a diamond, see Fig. 1). While it is generally undesirable to use distinct displays in ERP experiments, we minimized differences in luminance between the various shapes by adjusting the number of pixels composing each shape. As a matter of fact, the number of pixels was identical for each shape and the overall luminance was thus perfectly balanced. However, it is still possible that neural activity varies as a function of shape. For instance, a triangle has more intersections than a circle but fewer than a rectangle and the neural response of cells in visual cortex sensitive to intersections may therefore differ. There is no way of controlling for this problem, but we believe that the random placement of shapes will cancel out these effects.

To measure lateralized ERPs to distractors, we were particularly interested in the spatial configuration where the target was on the vertical midline and the distractor was on the left or right (see column 5 in Fig. 1). However, to make the displays unpredictable, target and distractor were randomly positioned according to the spatial configurations illustrated in Fig. 1. We will present detailed analyses of the configurations with ipsi- and contralateral distractors (see columns 3 and 4) where the electrophysiological response to the target and the electrophysiological response to the distractor may partially cancel or add up (Gaspar & McDonald, 2014). More precisely, the expected contralateral positivity to the distractor and the expected contralateral negativity to the target will add up when target and distractor are placed on opposite sides, but will partially cancel when they are placed on the same side. Further, spatial configurations featuring a lateral target without distractor or a lateral target with a midline distractor (see columns 1 and 2) are less interesting for our present purpose, but provide useful baseline conditions.

As an index of the early saliency signal, we also evaluated lateralized ERPs before the N2pc time interval. A posterior positivity between 140 and 190 ms (Fortier-Gauthier, Moffat, Dell'Acqua, McDonald, & Jolicœur, 2012; Gokce, Geyer, Finke, Mueller, & Töllner, 2014; Jannati et al., 2013) has been labeled Ppc and may reflect initial processing of the stimuli based on feature discontinuities, which may later guide attentional selection or suppression as indexed by the N2pc and  $P_D$ . After visual inspection of the data,

we focus on a slightly later interval around the peak of the N1 from 160 to 210 ms, but we believe that the same underlying process is captured.

### 2.1. Methods

#### 2.1.1. Participants

Forty-two first-year psychology students from the University of Geneva participated for class credit. Thirty-two were retained in the final sample, 17 in the singleton and 15 in the feature group. The study was approved by the ethics committee of the Faculty of Psychology and Educational Sciences and was carried out in accordance with the Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki). Informed consent was given before the experiment started.

#### 2.1.2. Apparatus and stimuli

Stimuli were displayed on a 22 inch flat-panel monitor with a refresh rate of 60 Hz and a pixel resolution of 1920 × 1080 (horizontal × vertical) that was viewed at a distance of 80 cm. The background was black and the stimuli were either red or green. The colors had the same physical luminance of 15.6 cd/m<sup>2</sup>. A white fixation cross was presented in the center of the screen. The search array was presented on a virtual circle with an eccentricity of 3.5°. The search array consisted of 8 equally spaced items, with two items on the vertical midline. The outline shapes were a circle (diameter 1.5°), a square (side length 1.1°), a diamond (square rotated by 90°) or a triangle (side length 1.7°). Stroke width and size were slightly adjusted to give exactly the same number of colored pixels (696) for each shape. A vertical or horizontal gray line of 0.75° length and 15.6 cd/m<sup>2</sup> luminance was presented in the center of each shape. Stroke width was approximately 0.06° for all items.

#### 2.1.3. Electrophysiological recording and analysis

An actiChamp amplifier (Brain Products, Gilching, Germany) with active Ag/AgCl electrodes sampled at 1000 Hz was used. We fixed 26 electrodes on the scalp, one on the outer canthi of each eye (HEOG), one above and one below the right eye (VEOG), and one on each earlobe. Cz served as online reference and AFz as ground.

Offline, the data were band-pass filtered with cutoffs of 0.1 and 40 Hz and re-referenced to the average earlobes. Epochs extended from 100 ms before to 400 ms after stimulus onset and the interval from 100 ms before to stimulus onset was used for baseline correction. We excluded blinks and vertical eye movements (difference in VEOG channels or Fp1/Fp2 exceeding ± 60 μV), horizontal eye movements (difference in HEOG channels exceeding ± 30 μV), and muscular artifacts (any electrode exceeding ± 80 μV). We computed the average difference in the HEOG channels for left and right stimuli separately. Then, we rejected 9 participants with voltages exceeding 3 μV in the difference traces until 300 ms after stimulus onset. This was done to ensure that no systematic eye-movements over 0.2° were included in the data (Lins, Picton, Berg, & Scherg, 1993). One further participant was removed because of less than 60 valid trials in at least one of the conditions.

#### 2.1.4. Between-subject variable

Participants in singleton detection mode searched for a unique shape (diamond, circle, or triangle) among nontargets that were of identical shape (seven squares). Each unique shape occurred randomly in one third of the trials. Participants in feature search mode searched for the same shape (circle) that occurred among heterogeneous distractors. In addition to the circle, there were always one diamond, one triangle and five squares.

### 2.1.5. Within-subject variables

Following Gaspar and McDonald (2014), target and distractor locations were varied to produce the following configurations (see Fig. 1): lateral target, no distractor (33% of trials), midline target, no distractor (17%), lateral target, midline distractor (11%), lateral target, ipsilateral distractor (11%), lateral target, contralateral distractor (11%), midline target, lateral distractor (11%), midline target, midline distractor (6%). Thus, distractor-present and distractor-absent trials were equally likely. In distractor absent trials, all outline shapes had the same color. In distractor present trials, one distractor element had a different color.

### 2.1.6. Procedure

Participants were asked to report the orientation of the line inside the target shape by pressing one of two keys. The arrow-left and arrow-right keys on a standard keyboard were used. Participants were asked to maintain fixation on the central fixation cross, ignore the colors, and respond as rapidly as possible while keeping the error rate below 10%. After blocks of 36 trials, the error rate was shown for 5 s, forcing participants to take a short break. Due to an error, the first 14 participants completed 1152 trials and the following subjects completed 1296 trials. The color of target and distractor were swapped after half of the experimental trials to cancel out possible inequalities between the two colors. Before the swap, some practice trials were presented to familiarize participants with the new color assignment.

Participants in singleton detection mode were asked to search for the item with a unique shape, whereas participants in feature search mode were asked to search for the circle. At the beginning of the experiment, participants practiced the experimental task until they felt comfortable with it. Practice trials were not recorded, but participants completed at least 30 trials. A trial started with the presentation of the fixation cross for a randomly selected duration between 0.5 and 1 s. Then, the search display appeared and stayed on the screen until a response was registered. The following response errors were reported to the participant by visual feedback: choice errors, anticipations (RTs < 0.2 s), and late trials (RTs > 2 s).

## 2.2. Behavioral results

Only conditions with a lateral target or lateral distractor were analyzed (78% of all trials) because only these trials could be used in the analysis of lateralized ERPs. Trials not meeting the online criterion of 2 s (0.3%) and the rare anticipations (less than 0.01%) were excluded from analysis. Subsequently, data were trimmed for each participant and condition by removing trials slower than 2.5 times the standard deviation of the respective condition mean. This resulted in the exclusion of 3.1% of the trials.

### 2.2.1. RTs

Mean individual RTs were entered into a mixed-factors 2 (search mode: singleton, feature)  $\times$  2 (distractor: presence, absence) ANOVA. As shown in the left panel of Fig. 2, There was a tendency for shorter RTs in feature search than in singleton detection mode (673 vs. 713 ms),  $F(1,30)=2.9$ ,  $p=0.099$ ,  $\eta_p^2=0.088$ . RTs were shorter in distractor-absent than distractor-present trials (685 vs. 701 ms),  $F(1,30)=46.71$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.609$ . The distractor effect was modulated by search mode,  $F(1,30)=26.34$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.468$ , showing that the distractor effect was larger in singleton detection (698 vs. 728 ms) than in feature search mode (671 vs. 675 ms). Follow-up  $t$ -tests showed that the distractor effect was significant in singleton detection (30 ms),  $t(16)=6.85$ ,  $p<0.001$ , and in feature search mode (4 ms),  $t(14)=2.19$ ,  $p=0.046$ .

Interference from the distractor is stronger when target and distractor are close than when they are far apart (Gaspar and McDonald, 2014; Mounts, 2000; Mathot, Hickey, & Theeuwes,

2010). To evaluate effects of distance, we ran a 2 (search mode: singleton detection, feature search)  $\times$  4 (distance: 1, 2, 3, or 4 items) mixed-factors ANOVA on RTs from the distractor-present condition. We observed shorter RTs in feature search than in singleton detection mode,  $F(1,30)=4.89$ ,  $p=0.035$ ,  $\eta_p^2=0.14$ , and shorter RTs with increasing distance,  $F(3,90)=24.13$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.446$ . The interaction,  $F(3,90)=7.59$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.202$ , showed that the effect of distance was larger in singleton detection than in feature search mode. Separate one-way ANOVAs for each group showed that RTs decreased with increasing distance in singleton detection mode (757, 729, 712, and 711 ms),  $F(3,48)=22.42$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.584$ , and also in feature search mode (682, 675, 672, and 666 ms),  $F(3,42)=4.58$ ,  $p=0.007$ ,  $\eta_p^2=0.246$ .

### 2.2.2. Choice errors

The same ANOVA as above was run on mean percentage of choice errors. Errors were less frequent when the distractor was absent than when it was present (4.8% vs. 5.5%),  $F(1,30)=8.30$ ,  $p=0.007$ ,  $\eta_p^2=0.217$ . The interaction,  $F(1,30)=5.18$ ,  $p=0.03$ ,  $\eta_p^2=0.147$ , showed that the distractor effect was larger in singleton detection (5.6% vs. 6.9%) than in feature search mode (4.0% vs. 4.1%).

## 2.3. Electrophysiological results

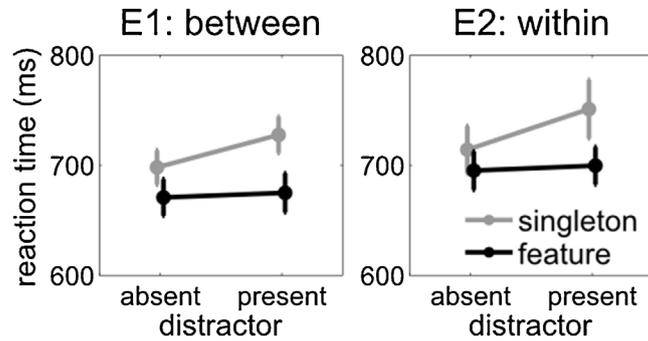
The ipsi- and contralateral potentials at electrodes PO7/PO8 as well as the difference waves are shown in Fig. 3. Note that ipsi- and contralateral was determined with respect to lateral targets with the exception of the last column of Fig. 3, where ipsi- and contralateral was determined with respect to the lateral distractor.

### 2.3.1. Overview of results

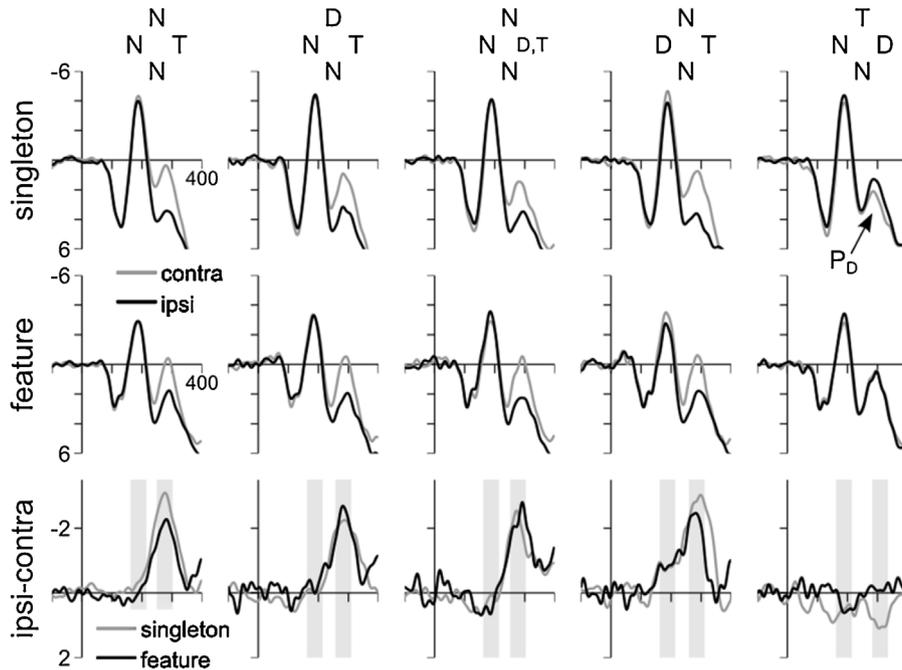
Importantly, a positive difference emerged to the lateral distractor with midline target in the N2-interval (see column 5 in Fig. 3), which corresponds to the  $P_D$  component. While the  $P_D$  occurred in singleton detection mode, it was absent in feature search mode. Inspection of columns 1–4 in Fig. 3 shows that a robust N2pc occurred to lateral targets. Before, a positivity to the distractor occurred in the N1-interval that we relate to the  $P_{pc}$ . The positivity occurred to distractors ipsilateral to the target (see column 3) and to lateral distractors with midline targets (see column 5). With contralateral distractors (see column 4), the positive difference turned into a negative difference because ipsi- and contralateral were inverted with respect to the distractor. Note that the target was always used as reference.

### 2.3.2. Selection of averaging windows

The difference between ipsi- and contralateral voltages at electrodes PO7/PO8 in the N1- and N2-intervals were analyzed by calculating the means in 50 ms time intervals (see bottom row in Fig. 3). As visible in the difference waves, clear peaks in the N1-interval were absent. We therefore first calculated the moving average (50 ms width) of the grand-average waveform and fixed the N1-averaging interval to a 50 ms window around the peak of the N1, from 163 to 213 ms. In the N2-interval, peaks were clearly visible in the difference waves when there was a lateral target. However, visual inspection suggests that components in the N1-interval overlapped with components in the N2-interval and latencies were not equal. Therefore, we did not use fixed averaging windows, but focused on the peaks. To place the averaging intervals on the peak of each individual condition, we first calculated the moving average (50 ms width) over the difference waveform of each condition. Then, the time window was placed on the local minimum in the interval from 200 to 350 ms for the N2pc. This resulted in slightly different averaging windows that started between 246 and 267 ms (mean 256 ms), depending on the condition. For the



**Fig. 2.** Behavioral results from Experiments 1 and 2. Mean reaction times are shown as a function of distractor presence, search mode, and experiment. Experiments 1 and 2 were run between- and within-subjects, respectively.



**Fig. 3.** Electrophysiological results from Experiment 1 where a between-subjects design was used. Microvolts are plotted on the y-axes and milliseconds on the x-axes. Rows 1 and 2 show the contra- and ipsilateral waveforms from the singleton detection and feature search groups, respectively. Row 3 shows the difference between contra- and ipsilateral waveforms for the singleton detection and feature search groups. Insets show the schematic target (T), distractor (D), and nontarget (N) positions. The gray rectangles show the mean averaging windows.

lateral distractor/midline target condition in singleton detection mode (see column 5 in Fig. 3), we used the same procedure to look for a maximum because visual inspection suggests that the polarity changed in this condition. The averaging window was set from 287 to 337 ms, which corresponds to the peak of the N2. Because there was no peak in the corresponding condition in feature search mode, we applied the averaging window from singleton detection mode. The mean voltages for the two intervals of interest are presented in Fig. 4.

Before running the analyses, we removed 13.6% of the data based on the electrophysiological criteria enumerated above. After trial rejection based on online behavioral and offline electrophysiological criteria, 84.4% of the trials remained for analysis.

### 2.3.3. N1-interval

We conducted a mixed-factor 2 (search mode: singleton, feature)  $\times$  5 (stimulus configuration: see above) ANOVA on the mean voltage difference between contra- and ipsilateral in the interval from 163 to 213 ms. The ANOVA showed that stimulus configuration had an effect,  $F(4,120) = 16.99$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.362$ , but

neither the effect of search mode,  $p = 0.830$ , nor the interaction,  $p = 0.543$ , reached significance. Inspection of the upper left panel in Fig. 4 shows that the effect of configuration was mainly due to positive differences with ipsilateral distractor ( $0.27 \mu V$ ) and lateral distractor/midline target ( $0.37 \mu V$ ). In contrast, the contralateral distractor produced a negative difference ( $-0.82 \mu V$ ). These findings are consistent with a contralateral positivity in response to the color distractor occurring in the N1 interval, similar to the Ppc. When the distractor was shown on the same side as the target, the positivity is expressed as a negative difference for technical reasons. Importantly, the pattern of results was similar for both search modes. *T*-tests comparing the means for each configuration to zero are presented in Table 2.

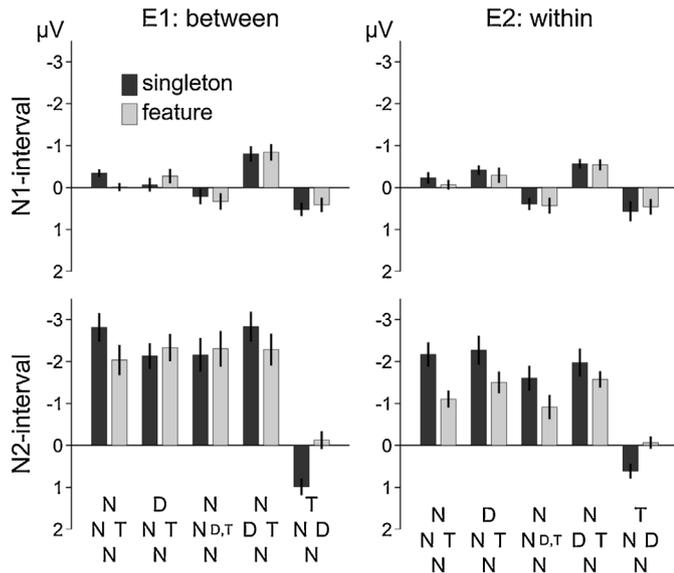
### 2.3.4. N2-interval

The same mixed-factor ANOVA as above revealed an effect of stimulus configuration,  $F(4,120) = 56.33$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.655$ , showing that the voltage difference changed from about  $-2.4 \mu V$  in the four configurations with lateral target to  $0.4 \mu V$  in the condition with midline target and lateral distractor (see lower left panel

**Table 2**

Mean voltages in microvolt ( $\mu\text{V}$ ) for each spatial configuration in the N1-interval, collapsed across search modes, and results of a  $t$ -test against zero. The sample size was 32 in Experiment 1 (collapsed across groups) and 12 in Experiment 2.

position		Experiment 1		Experiment 2			
target	distractor	$\mu\text{V}$	t-value	p-value	$\mu\text{V}$	t-value	p-value
lateral	–	–0.19	–2.62	0.014	–0.15	–1.31	0.217
lateral	midline	–0.16	–1.38	0.167	–0.36	–3.33	0.007
lateral	ipsi	0.27	2.04	0.050	0.41	3.23	0.008
lateral	contra	–0.82	–6.15	<0.001	–0.55	–5.37	<0.001
midline	lateral	0.47	4.07	<0.001	0.51	2.72	0.020



**Fig. 4.** The mean voltage difference between contra- and ipsilateral electrodes in the N1-interval (163–213 ms, see row 1) and the N2pc-interval (about 250–300 ms, see row 2) as a function of stimulus configuration and search mode in Experiments 1 and 2 (left and right columns, respectively). Error bars show the between-subject standard error of the mean. Insets show the schematic target (T), distractor (D), and nontarget (N) positions.

in Fig. 4). The effect of stimulus configuration was modulated by search mode,  $F(4,120) = 4.96$ ,  $p = 0.001$ ,  $\eta_p^2 = 0.142$ , showing that there was a significant positive difference with lateral distractor/midline target in singleton detection mode ( $1 \mu\text{V}$ ),  $t(16) = 5.56$ ,  $p < 0.001$ , that was absent in feature search mode ( $-0.13 \mu\text{V}$ ),  $p = 0.569$ . An independent-samples  $t$ -test confirmed the difference between singleton detection and feature search mode,  $t(30) = 3.83$ ,  $p = 0.001$ . In contrast, the remaining spatial configurations did not differ as a function of search mode,  $ps > 0.12$ . Thus, a  $P_D$  to the distractor occurred in singleton detection mode and no lateralized ERP was found in feature search mode. Further, as visible in Fig. 4, the N2pc was significantly different from zero in all configurations with lateral target,  $ts > 4.8$ ,  $ps < 0.001$ .

Previous research has demonstrated that the  $P_D$  to the distractor and the N2pc to the target (more precisely: the  $N_T$ ) add up or partially cancel (Gaspar & McDonald, 2014). We carried out a separate 2 (search mode: singleton, feature)  $\times$  2 (configuration: ipsilateral distractor, contralateral distractor) ANOVA and expected a larger N2pc to the lateral target with contralateral than with ipsilateral distractors. The main effect of configuration failed to reach significance ( $-2.6 \mu\text{V}$  vs.  $-2.2 \mu\text{V}$  for contra- and ipsilateral),  $F(1,30) = 2.83$ ,  $p = 0.103$ ,  $\eta_p^2 = 0.086$ . The interaction between search mode and configuration approached significance,  $F(1,30) = 3.15$ ,  $p = 0.086$ ,  $\eta_p^2 = 0.095$ , showing that the N2pc to the target was larger with contra- than with ipsilateral distractors in singleton detection ( $-2.8$  vs.  $-2.2 \mu\text{V}$ ), but not in feature search mode ( $-2.3$  vs.  $-2.3 \mu\text{V}$ ). The interaction is consistent with the fact

that there was a  $P_D$  to the lateral distractor (with midline target) in singleton detection, but not in feature search mode. Therefore, a difference between contra- and ipsilateral distractors was only expected for singleton detection mode.

#### 2.4. Discussion

We measured RTs and lateralized ERPs in singleton detection and feature search modes in different groups of observers. Consistent with the previous literature (Bacon & Egeth, 1994; Leber & Egeth, 2006), there was an increase in RT with a salient-but-irrelevant color singleton in singleton detection mode, but this increase was close to absent in feature search mode, suggesting that distractor rejection was complete in feature search mode. Further, interference decreased with increasing distance between target and distractor in singleton detection and feature search modes. The main finding from the ERP recordings was that there was a  $P_D$  to the distractor in singleton detection, but not in feature search mode, suggesting that resistance to interference in feature mode was not based on active suppression. Further, we observed an early positivity to the distractor in the N1-interval that was independent of search mode. We consider the positive difference as the Ppc-component, which is believed to reflect imbalanced saliency (Fortier-Gauthier et al., 2012).

### 3. Experiment 2

The principal aim of Experiment 2 was to confirm the results from Experiment 1 in a within-subject design.

#### 3.1. Methods

The methods were as in Experiment 1 with the following exceptions. The singleton and feature search conditions were administered to the same group of participants in two separate sessions. In each session, singleton detection and feature search alternated in four blocks of 288 trials. Colors were swapped after two blocks. Each block was preceded by a few practice trials that were not recorded. A total of 2304 trials was recorded per participants. Sixteen students participated, but only 12 remained in the final sample. Two were removed because of deviations in the EOG-difference waves exceeding  $3 \mu\text{V}$  until 300 ms after stimulus offset, and two further participants only completed one session.

#### 3.2. Behavioral results

Trials not meeting the online criterion of 2 s (0.4%), the rare anticipations (less than 0.01%) and outliers (3.2%) were excluded from analysis.

##### 3.2.1. RTs

Mean individual RTs were entered into a within-subjects 2 (search mode: singleton detection, feature search)  $\times$  2 (distractor: presence, absence) ANOVA. As shown in Fig. 2, RTs were shorter in

feature search than in singleton detection mode (690 vs. 726 ms),  $F(1,11)=9.13$ ,  $p=0.012$ ,  $\eta_p^2=0.454$ , and in distractor-absent than distractor-present trials (698 vs. 718 ms),  $F(1,11)=30.84$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.737$ . The distractor effect was modulated by search mode,  $F(1,11)=16.89$ ,  $p=0.002$ ,  $\eta_p^2=0.606$ , showing that the distractor effect was larger in singleton detection (707 vs. 744 ms) than in feature search mode (688 vs. 692 ms). Follow-up  $t$ -tests showed that the distractor effect was significant in singleton detection mode (37 ms),  $t(11)=5.25$ ,  $p<0.001$ , but not in feature search mode (5 ms),  $t(11)=1.46$ ,  $p=0.172$ .

To evaluate effects of target-distractor distance, we ran a 2 (search mode: singleton detection, feature search)  $\times$  4 (distance: 1, 2, 3, or 4 items) within-subjects ANOVA on RTs from the distractor-present condition. We observed shorter RTs in feature search than in singleton detection mode,  $F(1,11)=11.3$ ,  $p=0.006$ ,  $\eta_p^2=0.507$ , and shorter RTs with increasing distance (739, 726, 717, and 715 ms),  $F(3,33)=9.16$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.454$ . The interaction was not significant,  $p=0.352$ , suggesting that the effect of distance did not differ between singleton detection and feature search modes.

### 3.2.2. Choice errors

The same ANOVA as above was run on mean percentage of choice errors. Errors tended to be less frequent when the distractor was absent than when it was present (3.8% vs. 4.3%),  $F(1,11)=3.88$ ,  $p=0.074$ ,  $\eta_p^2=0.261$ . The interaction was not significant,  $p=0.489$ .

## 3.3. Electrophysiological results

### 3.3.1. Overview of results

The ipsi- and contralateral potentials at electrodes PO7/PO8 as well as the difference waves are shown in Fig. 5. Comparison of Figs. 3 and 5 suggests that results were similar in the between- and within-subjects designs with one remarkable exception. In the within-subject design of the present experiment, the N2pc to the target (columns 1–4 of Fig. 5) was larger in singleton detection than in feature search mode. This difference did not reach significance in the between-subjects design of Experiment 1. Otherwise, the results are very similar. Most important, there was a  $P_D$  in the N2-interval in singleton detection mode that was not present in feature search mode (see column 5). Further, there was a positivity to the distractor in the N1-interval with ipsilateral distractor and lateral distractor/midline target (see columns 3 and 5) that turned into a negative difference with contralateral distractors (see column 4) for technical reasons.

### 3.3.2. Calculation of averaging windows

The analyses windows of 50 ms width were determined as in Experiment 1. The window for the N1 started at 163 ms. The window for the N2pc started between 238 and 256 ms with a mean of 250 ms and the window for the  $P_D$  started at 256 ms. Before running the analyses, we removed 11.4% of the data based on the electrophysiological criteria enumerated above. After trial rejection based on online behavioral and offline electrophysiological criteria, 85.2% of the trials remained for analysis.

### 3.3.3. N1-interval

We conducted a within-subjects 2 (search mode: singleton, feature)  $\times$  5 (stimulus configuration: see above) ANOVA on the mean voltage difference between contra- and ipsilateral in the interval from 163 to 213 ms (see upper right panel of Fig. 4). The ANOVA showed that stimulus configuration had an effect,  $F(4,44)=19.44$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.639$ , but neither the effect of search mode,  $p=0.530$ , nor the interaction,  $p=0.868$ , reached significance. Inspection of the upper right panel in Fig. 3 shows that the main effect of configuration was mainly due to positive differences with ipsilateral distractor (0.41  $\mu$ V) and lateral distractor/midline

target (0.51  $\mu$ V) conditions. In contrast, the contralateral distractor produced a negative difference ( $-0.55 \mu$ V). These findings are consistent with a contralateral positivity in response to the color distractor occurring in the N1-interval, similar to the Ppc. Importantly, the pattern of results did not change as a function of search mode.  $t$ -tests comparing the means for each configuration to zero are presented in Table 2.

### 3.3.4. N2-interval

The same mixed-factor ANOVA as above revealed an effect of stimulus configuration,  $F(4,44)=29.83$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.731$ , showing that the voltage difference changed from about  $-1.6 \mu$ V in the four configurations with lateral target to 0.2  $\mu$ V in the condition with midline target and lateral distractor (see lower right panel in Fig. 4). The voltage difference was larger in singleton detection than in feature search mode ( $-1.5$  vs.  $-1.0 \mu$ V),  $F(1,11)=6.82$ ,  $p=0.024$ ,  $\eta_p^2=0.383$ . The interaction of stimulus configuration and search mode was significant,  $F(4,44)=10.64$ ,  $p<0.001$ ,  $\eta_p^2=0.492$ , showing that there was a significant positive difference with lateral distractor/midline target in singleton detection mode (0.6  $\mu$ V),  $t(11)=3.46$ ,  $p=0.005$ , that was absent in feature search mode ( $-0.1 \mu$ V),  $p=0.66$ . A  $t$ -test confirmed the difference between singleton detection and feature search modes,  $t(11)=3.90$ ,  $p=0.002$ . Thus, a  $P_D$  to the distractor occurred in singleton detection mode and no lateralized ERP was found in feature search mode, which replicates the results of Experiment 1.

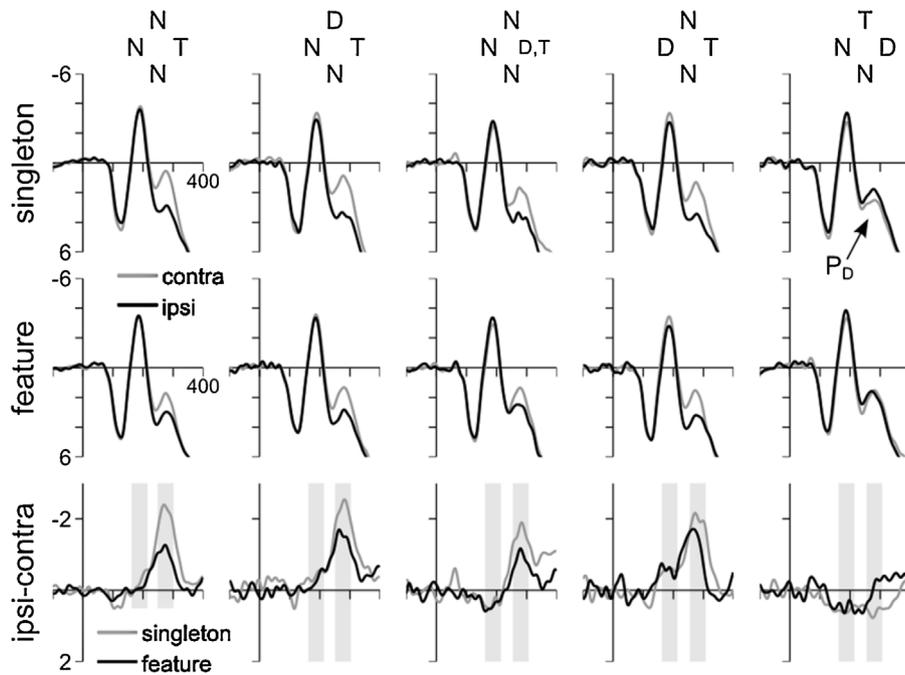
Next, we subjected the four configurations with a lateral target to a 2 (search mode: singleton, feature)  $\times$  4 (stimulus configuration) ANOVA to separately investigate the N2pc to the lateral target. The ANOVA returned a main effect of search mode,  $F(1,11)=11.28$ ,  $p=0.006$ ,  $\eta_p^2=0.506$ , showing that the N2pc to the target was indeed larger in singleton detection than in feature search mode ( $-2.0$  vs.  $-1.3 \mu$ V). The main effect of spatial configuration,  $F(3,33)=3.90$ ,  $p=0.017$ ,  $\eta_p^2=0.262$ , showed that the N2pc was smaller with ipsilateral distractors ( $-1.3 \mu$ V) than with lateral targets alone ( $-1.6 \mu$ V), midline ( $-1.9 \mu$ V), and contralateral distractors ( $-1.8 \mu$ V).

To further test the idea that the  $P_D$  to the distractor and the N2pc to the target add up or partially cancel (Gaspar & McDonald, 2014), we carried out a separate 2 (search mode: singleton, feature)  $\times$  2 (configuration: ipsilateral distractor, contralateral distractor) ANOVA and expected a larger N2pc to lateral targets with contralateral than with ipsilateral distractors. The main effect of search mode was confirmed,  $F(1,11)=6.13$ ,  $p=0.031$ ,  $\eta_p^2=0.358$ , and the main effect of configuration approached significance,  $F(1,11)=4.58$ ,  $p=0.056$ ,  $\eta_p^2=0.294$ , showing a more negative N2pc to lateral targets with contralateral than ipsilateral distractors ( $-1.8$  vs.  $-1.3 \mu$ V), which is consistent with the proposition. However, the interaction was not significant,  $p=0.407$ .

## 3.4. Discussion

We replicated the most important result from Experiment 1: There was a  $P_D$  to the color distractor in singleton detection mode, but no lateralized ERP occurred in the N2-interval in feature search mode. Thus, there is evidence of suppression of salient-but-irrelevant stimuli when observers search for singletons, but not when they search for a particular feature. Again, there was an early positivity to the distractor in the N1-interval that was independent of search mode. The early positivity may correspond to the Ppc-component. Also, there was some evidence that the  $P_D$  to the distractor and the N2pc to the target combine.

However, there was one important difference between the between-subject and within-subject design. In the present experiment, we observed a reduced N2pc to the target in feature search mode than in singleton detection mode. In contrast, there was no



**Fig. 5.** Electrophysiological results from Experiment 2 where a within-subjects design was used. Microvolts are plotted on the y-axes and milliseconds on the x-axes. Rows 1 and 2 show the contra- and ipsilateral waveforms from the singleton detection and feature search modes, respectively. Row 3 shows the difference between contra- and ipsilateral waveforms for singleton detection and feature search modes. Insets show the schematic target (T), distractor (D), and nontarget (N) positions. The gray rectangles show the mean averaging windows.

effect of search mode on the N2pc to the target in Experiment 1. Possibly, we did not have enough power to detect such a difference in the between-subjects design. The change in N2pc-amplitude may be related to task requirements. Luck, Girelli, McDermott, and Ford (1997) found a reduced N2pc with an easier feature detection task than with a more difficult orientation discrimination task, suggesting that the N2pc-amplitude reflects the difficulty of the search task. Thus, somewhat surprisingly, the larger N2pc in singleton detection mode shows that saliency-driven search was less efficient than search for a non-salient, but fixed feature. To support this conclusion, we compared RTs in the distractor-absent condition. RTs were 19 ms shorter in feature search than in singleton detection mode (688 vs. 707 ms),  $t(11) = 2.18$ ,  $p = 0.052$ , confirming that feature search was more efficient.<sup>1</sup>

#### 4. General discussion

We observed a  $P_D$  to the distractor in singleton detection mode and no lateralized ERP in feature search mode. We conclude that distractor suppression, as indexed by the  $P_D$ , is associated with RT interference in singleton detection mode. In feature search mode, there was no behavioral interference from the color distractor and the  $P_D$  was absent. Thus, our main finding is that conditions which avoid interference from salient-but-irrelevant distractors show no electrophysiological evidence for suppression, whereas conditions with interference may be accompanied by a  $P_D$ .

Regarding the mechanism that prevents salient-but-irrelevant distractors from disrupting visual search in feature search mode, the current results favor the view that resistance to interference is implemented by enhancement of the target feature (e.g., Folk et al., 1992; Wolfe, 1994) rather than by distractor suppression (e.g., Gaspar & McDonald, 2014; Moher et al., 2011; Zehetleitner et al.,

2012). The reduced target-related N2pc in feature search mode in Experiment 2 suggests that it was easier to locate the target in feature search than in singleton detection mode, which we ascribe to enhancement of the target features.

We find that alternative explanations of the reduced N2pc in feature search are less likely. For instance, one may argue that inter-trial priming explains the advantage of feature search over singleton detection mode (see Lamy, Carmel, Egeth, & Leber, 2006; Leonard & Egeth, 2008). In feature search mode, the target feature is repeatedly selected, which facilitates search (review in Lamy & Kristjánsson, 2013), whereas the target feature does not repeat as often in singleton detection mode. However, inter-trial priming cannot entirely account for resistance to interference in feature search mode because the target feature also repeats in the fixed-feature version of the additional singleton paradigm, where robust behavioral interference and a  $P_D$  to the distractor has been observed (Burra & Kerzel, 2013; Jannati et al., 2013). Rather, we think that the task requirements in feature search result in enhancement of the target feature that is reflected in the reduced N2pc to the target. A similar conclusion has been reached in research on the modified spatial cueing paradigm, where irrelevant cues can be entirely ignored in favor of task-relevant stimuli (Folk et al., 1992; Lien, Ruthruff, Goodin, & Remington, 2008).

Further, the absence of the  $P_D$  in feature search mode and its presence in singleton detection mode suggests that distractor suppression is an effortful process that incurs a delay. Previously, it was noted that the  $P_D$  to the distractor was present in trials with short RTs, suggesting that suppression helped participants locate the target (Gaspar & McDonald, 2014; Jannati et al., 2013; McDonald et al., 2013). Therefore, one may have suspected the  $P_D$  to occur in feature search mode where distractor rejection was successful. However, the present findings suggest that the  $P_D$  only occurs when distractor processing was initiated. In this case, active suppression may be necessary to guide attention away from the salient-but-irrelevant stimuli. Thus, the elimination of distractor interference in feature search mode is achieved by a top-down set that prevents further

<sup>1</sup> When the two excluded subjects were replaced in the sample, this difference reached significance (19 ms),  $t(13) = 2.27$ ,  $p = 0.04$ .

processing of the distractor altogether, presumably by enhancing the top-down set for the target feature.

The present results extend the signal-suppression hypothesis (Sawaki, Geng, & Luck, 2012; Sawaki & Luck, 2010, 2012) in important ways. According to this hypothesis, salient stimuli generate an attend-to-me signal that is suppressed if it does not match the top-down task set. The results in singleton detection mode are fully consistent with the suppression hypothesis: There was a Ppc to the salient-but-irrelevant stimulus, reflecting the attend-to-me signal, followed by a P<sub>D</sub>, reflecting suppression. However, the same color singleton produced an attend-to-me signal, but no suppression when participants performed feature search. Thus, a top-down set that is strong enough to prevent behavioral signs of attentional capture averts further processing of the attend-to-me signal and makes suppression unnecessary.

#### 4.1. Summation of P<sub>D</sub> and N2pc (N<sub>T</sub>)

The N2pc component has been associated with two distinct functions serving target identification. Luck and Hillyard (1994) proposed that the N2pc reflected the suppression of competing information from surrounding distractors, whereas Eimer (1996) suggested that it reflected selection of target features. Some recent studies did not provide evidence for the role of distractor suppression in the N2pc (Mazza, Turatto, & Caramazza, 2009a, 2009b), but this issue is far from settled. Hickey et al. (2009) suggested that the N2pc was composed of a negativity arising contralateral to the attended target, the N<sub>T</sub>, reflecting target processing, and a positivity arising contralateral to the unattended distractor, the P<sub>D</sub>, reflecting distractor suppression. When target and distractor are shown in opposite hemifields, the N<sub>T</sub> and P<sub>D</sub> add up to yield the N2pc. Gaspar and McDonald (2014) demonstrated the summation of P<sub>D</sub> and N<sub>T</sub> using displays with a color target and a differently colored distractor. The N2pc was measured in a configuration with lateral target and contralateral distractor, which combines target and distractor processing. The size of the N2pc corresponded to the sum of the N<sub>T</sub>, measured in response to a lateral target only, and the P<sub>D</sub>, measured in response to a lateral distractor only. In the present study, we found some evidence in the amplitude of the N2pc that supports the summation hypothesis. Notably, the N2pc tended to be larger with contralateral than ipsilateral distractors. With contralateral distractors, the contralateral positivity to the distractor and the contralateral negativity to the target would add up, while they partially cancel with ipsilateral distractors.

However, the summation hypothesis predicts a difference between contra- and ipsilateral configurations only when there was a P<sub>D</sub> to the distractor. In feature search, the distractor-related P<sub>D</sub> was absent, but there was only weak statistical support for the reduction of the difference between ipsi- and contralateral distractors in this condition. That is, the interaction of search mode and configuration (contra-, ipsilateral) approached significance in Experiment 1, but was not significant in Experiment 2. Possibly, the summation of the distractor-related P<sub>D</sub> and the target-related N2pc was masked by the slightly different onsets of the two components, which made this difference unreliable in our data set.

#### 4.2. Effects of target-distractor distance

We observed that interference was stronger with close than with far distractors irrespective of search mode. Previous studies chalked up the stronger interference with close distractors to stronger competition between stimuli that are in the same receptive field (Gaspar & McDonald, 2014; Mathot et al., 2010; Mounts, 2000). Mounts (2000) suggested that the target initially loses the competition with the salient distractor. Because competition is stronger with small target-distractor separations than

with large separations, behavioral interference is also greater. Surprisingly, the distance effect in our study persisted in feature search mode where behavioral interference was absent. The RTs in the distractor-present condition hovered around the mean of the distractor-absent condition, from +11 to –5 ms in the between-subject design and from +17 to –10 ms in the within-subject design. Thus, it appears that competition between target and distractors not only disrupts target processing at small distances, but also tends to facilitate selection at great distances when observers are in feature search mode. In any case, the distance effect was independent of distractor suppression, as the P<sub>D</sub> was absent in feature search mode while the distance effect persisted.

#### 4.3. The Ppc component

A posterior contralateral positivity in the 100–200 ms time range has been noted in previous studies in which a salient color singleton was shown on a lateral position (Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013; Leblanc, Prime, & Jolicoeur, 2008; Sawaki & Luck, 2010). It was referred to as Ppc by Fortier-Gauthier et al. (2012) and P<sub>D</sub> by Sawaki and Luck (2010). We decided to refer to it as Ppc to avoid confusion with the P<sub>D</sub> in the N2 time range. As the colors were isoluminant and counter-balanced for each participant, the Ppc cannot reflect imbalanced luminance. Fortier-Gauthier et al. (2012) suggested that the Ppc may reflect initial processing of the stimuli based on feature discontinuities. However, the present results show that not all feature discontinuities result in a Ppc. While a colored stimulus evoked a Ppc when it was lateralized, a lateral shape singleton alone did not evoke a Ppc (see columns 1 and 2 in Figs. 3 and 5). It is likely that the Ppc is sensitive exclusively to color discontinuities because all previous reports of the Ppc involved color. On the other hand, it may also be possible that the shape discontinuity was not salient enough to produce a Ppc.

### 5. Summary

We measured ERPs to irrelevant-but-salient stimuli in singleton detection and feature search modes. Color distractors result in increased RTs in singleton detection mode, but not in feature search mode. We asked how resistance to interference is achieved and conjectured that distractor suppression, as indexed by the P<sub>D</sub>, was involved. However, we did not observe a P<sub>D</sub> to the distractor in feature search mode, but a reduced N2pc to the target. These results suggest that enhancement of target features prevents processing of the early attend-to-me signal (the Ppc) evoked by the color distractors. In contrast, there was a P<sub>D</sub> to the distractor in singleton detection mode, suggesting that the P<sub>D</sub> reflects a time-consuming process to abort the early attend-to-me signal. Overall, our results show that active distractor suppression does not underlie resistance to interference (in feature search mode), but occurs when distractors disrupt visual search (in singleton detection mode).

#### Acknowledgment

DK and CB were supported by the Swiss National Foundation 100014.152684/1.

#### References

- Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1994). Overriding stimulus-driven attentional capture. *Perception & Psychophysics*, 55(5), 485–496.
- Burra, N., & Kerzel, D. (2013). Attentional capture during visual search is attenuated by target predictability: Evidence from the n2pc, pd, and topographic segmentation. *Psychophysiology*, 50(5), 422–430. <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12019>

- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), 225–234.
- Feldmann-Wüsfeld, T., & Schubö, A. (2013). Context homogeneity facilitates both distractor inhibition and target enhancement. *Journal of Vision*, 13(3) <http://dx.doi.org/10.1167/13.3.11>
- Feldmann-Wüsfeld, T., Uengoer, M., & Schubö, A. (2015). You see what you have learned. Evidence for an interrelation of associative learning and visual selective attention. *Psychophysiology*, 52(11), 1483–1497. <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12514>
- Folk, C. L., Remington, R. W., & Johnston, J. C. (1992). Involuntary covert orienting is contingent on attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(4), 1030–1044.
- Fortier-Gauthier, U., Moffat, N., Dell'Acqua, R., McDonald, J. J., & Jolicoeur, P. (2012). Contralateral cortical organisation of information in visual short-term memory: Evidence from lateralized brain activity during retrieval. *Neuropsychologia*, 50(8), 1748–1758. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.03.032>
- Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2014). Suppression of salient objects prevents distraction in visual search. *Journal of Neuroscience*, 34(16), 5658–5666. <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4161-13.2014>
- Gokce, A., Geyer, T., Finke, K., Mueller, H. J., & Töllner, T. (2014). What pops out in position priming of pop-out: Insights from event-related eeg lateralizations. *Frontiers in Psychology*, 5 <http://dx.doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00688>
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(4), 604–613. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.2006.18.4.604>
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(4), 760–775. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.2009.21039>
- Hickey, C., Olivers, C., Meeter, M., & Theeuwes, J. (2011). Feature priming and the capture of visual attention: Linking two ambiguity resolution hypotheses. *Brain Research*, 1370, 175–184. <http://dx.doi.org/10.1016/j.brainres.2010.11.025>
- Hilimire, M. R., & Corballis, P. M. (2014). Event-related potentials reveal the effect of prior knowledge on competition for representation and attentional capture. *Psychophysiology*, 51(1), 22–35. <http://dx.doi.org/10.1111/psyp.12154>
- Hilimire, M. R., Mounts, J. R., Parks, N. A., & Corballis, P. M. (2011). Dynamics of target and distractor processing in visual search: Evidence from event-related brain potentials. *Neuroscience Letters*, 495(3), 196–200. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neulet.2011.03.064>
- Jannati, A., Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2013). Tracking target and distractor processing in fixed-feature visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(6), 1713–1730. <http://dx.doi.org/10.1037/a0032251>
- Kerzel, D., & Barras, C. (2015). Distractor rejection in visual search breaks down with more than a single distractor feature. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, <http://dx.doi.org/10.1037/xhp0000180>
- Kiss, M., Grubert, A., Petersen, A., & Eimer, M. (2012). Attentional capture by salient distractors during visual search is determined by temporal task demands. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 24(3), 749–759. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.a.00127>
- Lamy, D., & Egeth, H. E. (2003). Attentional capture in singleton-detection and feature-search modes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(5), 1003–1020. <http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.29.5.1003>
- Lamy, D., & Kristjánsson, Á. (2013). Is goal-directed attentional guidance just intertrial priming? A review. *Journal of Vision*, 13(3) <http://dx.doi.org/10.1167/13.3.14> [14–14]
- Lamy, D., & Yashar, A. (2008). Intertrial target-feature changes do not lead to more distraction by singletons: Target uncertainty does. *Vision Research*, 48(10), 1274–1279. <http://dx.doi.org/10.1016/j.visres.2008.02.021>
- Lamy, D., Carmel, T., Egeth, H. E., & Leber, A. B. (2006). Effects of search mode and intertrial priming on singleton search. *Perception & Psychophysics*, 68(6), 919–932.
- Lamy, D., Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2012). Selective attention. In A. F. Healy, & R. W. Proctor (Eds.), *Comprehensive handbook of psychology* (4) (pp. 265–294). New York: Wiley.
- Leber, A. B., & Egeth, H. E. (2006). It's under control: Top-down search strategies can override attentional capture. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(1), 132–138. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03193824>
- Leblanc, Prime, D. J., & Jolicoeur, P. (2008). Tracking the location of visuospatial attention in a contingent capture paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), 657–671. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.2008.20051>
- Leonard, C. J., & Egeth, H. E. (2008). Attentional guidance in singleton search: An examination of top-down, bottom-up, and intertrial factors. *Visual Cognition*, 16(8), 1078–1091. <http://dx.doi.org/10.1080/13506280701580698>
- Lien, M.-C., Ruthruff, E., Goodin, Z., & Remington, R. W. (2008). Contingent attentional capture by top-down control settings: Converging evidence from event-related potentials. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 34(3), 509–530. <http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.34.3.509>
- Lins, O. G., Picton, T. W., Berg, P., & Scherg, M. (1993). Ocular artifacts in eeg and event-related potentials. I: Scalp topography. *Brain Topography*, 6(1), 51–63.
- 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.
- Luck, S. J., Girelli, M., McDermott, M. T., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: An ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cognitive Psychology*, 33(1), 64–87. <http://dx.doi.org/10.1006/cogp.1997.0660>
- Mathot, S., Hickey, C., & Theeuwes, J. (2010). From reorienting of attention to biased competition: Evidence from hemifield effects. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 651–657. <http://dx.doi.org/10.3758/APP.72.3.651>
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009a). Attention selection, distractor suppression and N2pc. *Cortex*, 45(7), 879–890. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2008.10.009>
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009b). An electrophysiological assessment of distractor suppression in visual search tasks. *Psychophysiology*, 46(4), 771–775. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-8986.2009.00814.x>
- McDonald, J. J., Green, J. J., Jannati, A., & Di Lollo, V. (2013). On the electrophysiological evidence for the capture of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(3), 849–860. <http://dx.doi.org/10.1037/a0030510>
- Moher, J., Abrams, J., Egeth, H. E., Yantis, S., & Stuphorn, V. (2011). Trial-by-trial adjustments of top-down set modulate oculomotor capture. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(5), 897–903. <http://dx.doi.org/10.3758/s13423-011-0118-5>
- Mounts, J. R. (2000). Evidence for suppressive mechanisms in attentional selection: Feature singletons produce inhibitory surrounds. *Perception & Psychophysics*, 62(5), 969–983.
- Pinto, Y., Olivers, C. N. L., & Theeuwes, J. (2005). Target uncertainty does not lead to more distraction by singletons: Intertrial priming does. *Perception & Psychophysics*, 67(8), 1354–1361. <http://dx.doi.org/10.3758/BF03193640>
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: Electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Attention Perception & Psychophysics*, 72(6), 1455–1470. <http://dx.doi.org/10.3758/APP.72.6.1455>
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2012). Active suppression after involuntary capture of attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1–6 <http://dx.doi.org/10.3758/s13423-012-0353-4>
- Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A common neural mechanism for preventing and terminating the allocation of attention. *The Journal of Neuroscience*, 32(31), 10725–10736. <http://dx.doi.org/10.1523/jneurosci.1864-12.2012>
- Töllner, T., Müller, H. J., & Zehetleitner, M. (2012). Top-down dimensional weight set determines the capture of visual attention: Evidence from the pcn component. *Cerebral Cortex*, 22(7), 1554–1563. <http://dx.doi.org/10.1093/cercor/bhr231>
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & Psychophysics*, 50(2), 184–193.
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, 51(6), 599–606.
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, 135(2), 77–99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2010.02.006>
- Wolfe, J. M. (1994). Guided search 2.0 a revised model of visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, 1(2), 202–238.
- 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://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.29.1.121>
- Wykowska, A., & Schubö, A. (2010). Irrelevant singletons in visual search do not capture attention but can produce nonspatial filtering costs. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(3), 645–660. <http://dx.doi.org/10.1162/jocn.2009.21390>
- Zehetleitner, M., Goschy, H., & Müller, H. J. (2012). Top-down control of attention: It's gradual, practice-dependent, and hierarchically organized. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(4), 941–957. <http://dx.doi.org/10.1037/a0027629>

## *ANNEXE III*

**Salient-but-irrelevant stimuli cause attentional capture in difficult, but attentional suppression in easy visual search**

Caroline Barras & Dirk Kerzel

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Université de Genève

Abstract: 165 words

Main text, acknowledgments, references: 7053 words

Figures: 3

Tables: 0

Running head: Search difficulty and attentional capture

Address:

Caroline Barras

Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Éducation

Université de Genève

40 Boulevard du Pont d'Arve, 1205 Genève, Switzerland

Tel: +41 (0) 22 / 37.99.132 / Fax: +41 (0) 22 / 37.99.129

Email: [caroline.barras@unige.ch](mailto:caroline.barras@unige.ch)

### **Abstract**

Search for a shape target is easy when the target is dissimilar from the surrounding nontargets and difficult when it is similar. We asked whether interference from salient-but-irrelevant color singletons depended on target-nontarget similarity. We assume that the relative saliency of the color distractor was greater with inconspicuous than with salient shape targets. We found that interference was strong in difficult searches and the occurrence of an electrophysiological index of attentional selectivity (the N2pc component) confirmed that attention was captured by the distractor. In contrast, interference from the distractor was weak with easy searches and the occurrence of the P<sub>D</sub> component confirmed that saliency signals from the distractor were suppressed. The results suggest that attentional suppression of salient-but-irrelevant distractors is only possible when search is efficient (i.e., with dissimilar nontargets), otherwise, attentional capture occurs. Further, we observed an early positivity between 100 and 200 ms, the Ppc component, that reflects distractor saliency, but only when the distractor is unlikely to be selected, as in efficient searches.

### **Keywords**

visual search, attention, attentional capture, attentional suppression, P<sub>D</sub>, N2pc

## Introduction

Search for a particular target object is hard when it shares features with the surrounding nontarget objects, but easy when target and nontarget objects are very different (Duncan & Humphreys, 1989). For instance, looking for a particular pen in a drawer full of pens is hard, but looking for an eraser in the same drawer is easy. Now imagine one of the pens is in a salient, fluorescent color, would you be more distracted by it during search for the pen or during search for the eraser? Further, if you looked for the fluorescent pen, would the eraser cause any distraction? In the current contribution, we address two questions. First, is distraction by salient-but-irrelevant stimuli stronger during easy or hard search? Second, is stimulus saliency used in the same manner during search for the target as during avoidance of salient-but-irrelevant stimuli?

### Saliency in the additional singleton paradigm

We will use the additional singleton paradigm developed by Theeuwes (1991) where target and distractor are defined along different perceptual dimensions, such as color and shape. In the most frequently replicated condition, observers searched for a shape singleton (i.e., a unique shape) and indicated the orientation of the line inside. On some of the trials, a response-irrelevant color singleton (i.e., a unique color) was shown. Reaction times (RTs) were longer when the color singleton was present, suggesting that attention was captured by the irrelevant color singleton. In contrast, when observers searched for a color-defined target, there was no interference from shape distractors. The reason for the asymmetric interference was that the color singleton was more salient than the shape singleton. When the difference in color was reduced and the difference in shape increased, the opposite pattern was observed: Search for the more salient shape singleton was unaffected by the less salient color singleton and search for the less salient color singleton was strongly affected by the more salient shape singleton. Thus, distraction from irrelevant stimuli is limited to situations where the distractor is more salient than the target (but see Zehetleitner, Koch, Goschy, & Müller, 2013).

Interference from stimuli that are more salient than the target is consistent with saliency-map models of visual search (e.g., Cave & Wolfe, 1990; Itti & Koch, 2001; Li, 2002; Navalpakkam & Itti, 2007; Treisman & Sato, 1990). According to these models, feature maps (e.g., for features like red, green, vertical, horizontal) feed local contrast computations into a saliency map that represents saliency irrespective of the feature map. Consequently, a

location may be salient, but the salient feature can no longer be identified. Further, it is assumed that attention is drawn to the location of highest saliency (see also Theeuwes, 2010). To explain attentional capture by salient-but-irrelevant distractors, saliency-map models suggest that attention moves to a salient location even though its saliency derives from a task-irrelevant dimension. Saliency-map models also explain why distractors less salient than the target do not capture attention. If attention moves to the most salient location first, attention would avoid the location of a less salient distractor and move directly to the target.

### **Conditions resulting in attentional capture or suppression**

Electrophysiological evidence for attentional captures relies on the most widely accepted electrophysiological correlate of attentional selection, the N2pc component. The N2pc is a negativity contralateral to the selected stimulus at posterior sites (PO7/PO8) between 200 to 300 ms after display onset (Eimer, 1996; Luck & Hillyard, 1994). The N2pc is easily observed for targets presented to the left or right of fixation, but may also indicate whether a distractor has been selected instead of the target (Hickey, McDonald, & Theeuwes, 2006; Woodman & Luck, 2003). To this end, the target is placed directly above or below central fixation so that no lateralized event-related potential (ERP) results, and the distractor is placed on the left or right so that an N2pc will indicate whether the distractor has been selected. An N2pc to a salient-but-irrelevant stimulus has been reported (Burra & Kerzel, 2013; Hickey et al., 2006; Hilimire & Corballis, 2014; Kiss, Grubert, Petersen, & Eimer, 2012), suggesting that attention does indeed move to the most salient element.

However, other studies reported that a positivity instead of a negativity occurred contralateral to the distractor (e.g., Burra & Kerzel, 2013; Hickey, Di Lollo, & McDonald, 2009; Hilimire, Mounts, Parks, & Corballis, 2011; McDonald, Green, Jannati, & Di Lollo, 2013; Sawaki & Luck, 2010). The positivity was referred to as  $P_D$  and occurred at the same electrodes sites and in about the same time interval as the N2pc. It was proposed that the  $P_D$  indicates attentional suppression of the distractor (Hickey et al., 2009). Attentional suppression may be implemented by optimally adjusting the weights of visual features (Navalpakkam & Itti, 2007) and may be preceded by an attend-to-me signal from the salient stimulus (Sawaki, Geng, & Luck, 2012; Sawaki & Luck, 2010), corresponding to a positivity between 100 and 200 ms, which is referred to as  $P_{pc}$  (Barras & Kerzel, 2016; Fortier-

Gauthier, Moffat, Dell'Acqua, McDonald, & Jolicœur, 2012; Gokce, Geyer, Finke, Mueller, & Töllner, 2014; Jannati, Gaspar, & McDonald, 2013).

Why did some studies observe attentional capture (N2pc) and others attentional suppression ( $P_D$ ) of salient-but-irrelevant distractors? We recently suggested that the trial context may explain the different results (Barras & Kerzel, 2016). Attentional capture (i.e., an N2pc to the distractor) was observed when target and nontarget shapes swapped roles randomly from trial to trial and behavioral interference was large (Burra & Kerzel, 2013; Hickey et al., 2006; Hilimire & Corballis, 2014; Kiss et al., 2012). In contrast, attentional suppression (i.e., a  $P_D$  to the distractor) occurred reliably when the target was fixed and interference from the distractor was small (Barras & Kerzel, 2016; Burra & Kerzel, 2013; Jannati et al., 2013). The absence of a fixed target may degrade the search goals (“attentional set”) of the participant. For instance, in saliency-map models, the contribution of each feature map to the overall saliency map may be adjusted by the current top-down goals of the observer (Itti & Koch, 2001; Navalpakkam & Itti, 2007). With fixed target features, the weight of the relevant feature map may be increased, which will give it a higher activation in the saliency map and facilitate search. With unpredictable target features, feature weights cannot be adjusted before stimulus onset and search times will be longer. Importantly, the reason for different search performance resided in top-down expectancies regarding the search target. That is, the stimuli in fixed and variable search were equally salient, but presented in a different order (random vs. blocked), yielding different expectations with identical stimuli.

### **Stimulus-driven differences in search difficulty**

In the present contribution, the attentional set was fixed by using the same target shape throughout. However, characteristics of the nontarget stimuli were manipulated to change search efficiency. Building on the difference between fixed and variable targets, we expect the impact of salient distractors to be larger with difficult than with easy searches. It is known that overlapping target and nontarget features result in difficult, while distinct target-nontarget features result in easy search (Duncan & Humphreys, 1989). To explain effects of target-nontarget similarity, saliency models (e.g., Navalpakkam & Itti, 2007) refer to differences in the signal-to-noise ratio. In particular, the ratio of signal strength (i.e., target salience) and noise strength (i.e., nontarget salience) is low with high target-nontarget similarity, which reduces the efficiency of search. Importantly, we manipulated search

efficiency by unpredictably changing the nontargets from trial to trial while the search goal (i.e., the target shape) remained fixed.

Little is known about the electrophysiological correlates of distractor processing as a function of target-nontarget similarity. The most straightforward prediction starts from the assumption that target saliency is reduced with similar compared to dissimilar nontargets. If a salient-but-irrelevant distractor is presented, its relative saliency will be greater with inconspicuous than with salient targets. Because distractors with relatively greater saliency will capture attention more (Theeuwes, 1991, 1992), stronger interference is expected with inconspicuous than with salient targets. Thus, we predict that attentional capture, as evidenced by an N2pc to the target, will occur with difficult searches (i.e., high target-nontarget similarity) because of the relatively high saliency of the distractor. Based on the outcomes of studies with fixed vs. variable targets, we may also expect attentional suppression, as evidenced by a  $P_D$ , for easy searches that result from low target-nontarget similarity. While the theoretical predictions are clear, a previous behavioral study has reached the opposite conclusion. Proulx and Egeth (2006) concluded that increasing target-nontarget similarity reduced the impact of a salient distractor. However, search in that study was inefficient even with low target-nontarget similarity. All search slopes in their study were larger than 29 ms/item, whereas search slopes were essentially flat (less than 10 ms/item) in research on the additional singleton paradigm (e.g., Theeuwes, 1991, 1992).

### **Overview of experiments**

Thus, Experiment 1 attempted to resolve the contradiction between predictions derived from saliency-map models of visual search and the previous study of Proulx and Egeth (2006) by investigating more efficient searches that are typical for the additional singleton paradigm. If the theoretical predictions of saliency-map models were confirmed and we observed that there was less distraction with salient targets (i.e., low target-nontarget similarity), one may still chalk up the reduction of the distractor effect to the lower perceived saliency of the distractor. More precisely, the perceived saliency of the distractor may decrease when the context becomes inhomogeneous because a salient shape target is shown (Duncan & Humphreys, 1989; Feldmann-Wüstefeld & Schubö, 2015; Mazza, Turatto, & Caramazza, 2009). In contrast, an inconspicuous target will result in a more homogeneous context and the color distractor may be more salient. To rule out this alternative account, we reversed the roles of target and distractor in Experiment 2. Instead

of searching for a shape target of variable saliency with a fixed color distractor, participants searched for a fixed color target with shape distractors of variable saliency. If RTs to the color target were unaffected by the saliency of the shape distractor, we may rule out that the saliency of the color singleton decreased in a less homogeneous context.

Further, Experiment 2 provides us with the unique opportunity to investigate the electrophysiological response to shape distractors that are less salient than the target. Only a single previous study has investigated distractors less salient than the target, albeit with color distractors. Gaspar and McDonald (2014) asked observers to search for a salient red target while a less salient yellow distractor was shown. Despite a small increase in RTs in the presence of the yellow distractor, there was no  $P_D$  to the yellow distractor, suggesting that attentional suppression did not occur with distractors less salient than the target. Experiment 2 will examine whether the sequence of attend-to-me signal ( $P_{pc}$ ) and attentional suppression ( $P_D$ ) would occur even though the distractors were less salient than the target.

### Experiment 1

Participants searched for a square and reported the orientation of a line inside the square by key press. Target-nontarget similarity was low when the nontargets were circles, but it was high when nontargets were diamonds, that is, squares rotated by  $45^\circ$  (Von Grünau, Dube, & Galera, 1994). In order to measure ERPs to the distractor, we used a set size of eight so that two elements could be placed on the vertical midline, above and below the fixation point (see Figure 1). While elements placed on the vertical midline do not elicit lateralized ERP components, lateral elements do. Our focus was on a spatial configuration where the distractor was placed on a lateral position and the target on the vertical midline, allowing us to attribute any lateralized component to distractor processing (Hickey et al., 2006). We compared the configuration with lateral distractor to a control condition where the target was on a lateral position and the distractor was absent. The remaining spatial configurations were not analyzed and mainly served to make target and distractor positions unpredictable.

### Methods

**Participants.** Eighteen undergraduate psychology students at the University of Geneva participated in exchange for class credit. They were naive as to the purpose of the experiment. All had normal or corrected-to-normal vision. The experiment was approved by

the local ethics committee, and informed consent was obtained from participants prior to the experiment. Three subjects were excluded because of eye movements or bad signal quality, leaving 15 participants in the final analyses.

**Stimuli.** Subjects were seated in a dimly-lit room at 80 cm from a 17" LCD monitor running at 60 Hz with 1,920 x 1,080 pixels resolution. The background was black with a central fixation cross and eight shapes presented at an eccentricity of 5°. The target shape was always a square, whereas the nontarget shapes were unpredictably either diamonds (50% of trials) or circles (50% of trials). The circle had a diameter of 2.2° and the square/diamond had a side length of 1.7°. Line width was ~0.06°. On 50% of the trials, one nontarget element, the distractor, had a different color and these trials are referred to as distractor present trials. In the remaining 50% of trials, only the target color was presented. Stimuli were either green with a red distractor or red with a green distractor. To avoid luminance differences, the size and line width of the shapes were adjusted to yield about the same number of lit pixels (1047, 1034, and 1036 for the square, diamond, and circle, respectively). Thus, the luminance difference between the two nontarget shapes (diamond and circle) was negligible (2 pixels or 0.2%). Each shape contained either a vertical or a horizontal gray line of 0.7° length. The luminance of all stimuli was 16.6 cd/m<sup>2</sup>. There was always a stimulus at the three o'clock position. Placement of target and distractor, nontarget shape, and distractor presence varied unpredictably from trial to trial. The color of nontargets and distractor was swapped randomly from trial to trial to increase interference effects compared to constant colors (Kerzel & Barras, 2016). The following configurations were shown to make target and distractor position appear random (see Gaspar & McDonald, 2014): lateral target, no distractor (33%), midline target, no distractor (17%), lateral target, midline distractor (11%), lateral target, ipsilateral distractor (11%), lateral target, contralateral distractor (11%), midline target, lateral distractor (11%), midline target, midline distractor (6%).

**Procedure.** A trial started with the presentation of the fixation cross for a randomly selected duration between 0.85 and 1.2 s followed by the presentation of the stimuli that stayed on the screen until a response was registered. Participants were told to find the square and report the orientation of the line inside the shape by pressing one of two keys (left or right arrow keys). They were instructed to ignore the color distractor and to respond as quickly as possible while maintaining accuracy above 90%. False alarms, anticipations (RT

< 0.2 s), late trials (RT > 1.5 s), or choice errors were reported to the subject by visual feedback. Participants performed 64 practice trials before the experiment and were forced to take breaks of 15 s after blocks of 48 trials. Performance feedback was shown during breaks. Participants completed two sessions at two weeks interval (same day and same hour). In each session, 1152 trials were acquired for a total of 2304 trials.

**Electrophysiological Recording and Analysis.** An actiCHamp amplifier (Brain Products, Gilching, Germany) with 32 active Ag/AgCl electrodes sampled at 1000 Hz was used. We fixed 26 electrodes on the scalp, two at the outer canthi of each eye (HEOG), one above and one below the right eye (VEOG), and one on each earlobe for offline reference. FCz served as online reference.

The data were re-referenced to the average earlobes and baseline correction was performed using the first 100 ms of each epoch. EEG epochs extended from 100 ms before to 400 ms after stimulus onset. We excluded trials with blinks and vertical eye movements based on the difference between the upper and lower eye electrode (VEOG  $\pm$  60 mV), horizontal eye movements based on the difference between the right and left electrode (HEOG  $\pm$  50 mV), and muscular artifacts based on the remaining electrodes ( $\pm$  100 mV). We computed the average for left and right distractor separately and rejected two subjects whose HEOG from 0 to 300 ms was larger than  $\pm$  3 mV. On average, 8.4% of the trials were removed due to incorrect responses or artifacts.

## Results

**Behavioral Performance.** The mean difference between distractor present and distractor absent trials (distractor effects) are shown in Figure 2. A 2 (similarity: high, low)  $\times$  2 (distractor: present, absent) repeated-measures ANOVA showed that RTs were shorter with low than with high similarity (682 vs. 771 ms),  $F(1, 14) = 37.55$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .728$ , confirming that our manipulation of target-nontarget similarity was successful. RTs were shorter when the distractor was absent compared to when it was present (688 vs. 725 ms),  $F(1, 14) = 31.25$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .691$ . Importantly, the interaction,  $F(1, 14) = 20.69$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .597$ , showed that the distractor effect was larger in the high-similarity condition (50 ms) than in the low-similarity condition (25 ms). Both means were significantly different from zero,  $ts(14) > 4.62$ ,  $ps < .001$ . Further, we investigated effects of target-distractor distance. Previous research suggested that distractors close to the target result in larger interference than distractors far from the target (Mathot, Hickey, & Theeuwes, 2010;

Mounts, 2000). We subjected trials with distractor to a 2 (similarity: high, low) x 4 (distance: 1-4 items) ANOVA. There was an effect of similarity,  $F(1, 15) = 46.28, p < .001, \eta_p^2 = .755$ , with shorter RTs for low than high similarity (690 vs. 777 ms). RTs decreased with increasing distance,  $F(3, 45) = 24.41, p < .001, \eta_p^2 = .619$ , but the interaction of similarity and distance,  $F(3, 45) = 4.11, p = .012, \eta_p^2 = .215$ , showed that the decrease was stronger with high similarity (816, 793, 758, 743 ms) than with low similarity (717, 688, 680, 675 ms). The analysis of choice errors (3.8%) provided no evidence for speed-accuracy tradeoff.

**N2 interval.** Mean ERPs are shown in Figure 3 and the time windows for analysis are shown as gray shaded areas. The N2pc/P<sub>D</sub> time window corresponds to 240-280 ms, which is shown as dark gray. The time window was chosen to be close to the peak of the N2 and to include the maximal deviations from zero. The time range was adapted to 270-310 ms for lateral distractors with high similarity to reflect the later peak of the difference waves (see bottom left panel in Figure 3 and analysis of latencies below). A 2 (spatial configuration: lateral target, lateral distractor) x 2 (similarity: low, high) repeated-measures ANOVA was run on the voltage difference between contra- and ipsilateral ERPs at electrodes PO7/PO8. The voltage difference was more negative with lateral targets than with lateral distractors (-0.98 vs. -0.11  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 14) = 7.08, p = .019, \eta_p^2 = .336$ , indicating that an N2pc occurred with lateral targets. The interaction of spatial configuration and similarity,  $F(1, 14) = 13.87, p = .002, \eta_p^2 = .498$ , showed that the voltage difference for lateral targets tended to be more negative with low than with high similarity (-1.21 vs. -0.75  $\mu\text{V}$ ),  $t(14) = 1.80, p = .094$ , whereas for lateral distractors, the voltage difference was more positive with low than with high similarity (0.40 vs. -0.63  $\mu\text{V}$ ),  $t(14) = -3.41, p = .004$ . Results of t-tests against zero for each of the four conditions showed that with lateral targets, the N2pc was significant for low,  $t(14) = -3.47, p = .004$ , and high similarity,  $t(14) = -2.28, p = .039$ . With lateral distractors, there was a significant N2pc with high similarity,  $t(14) = -2.92, p = .011$ , and a significant P<sub>D</sub> with low similarity,  $t(14) = 3.03, p = .009$ . The four t-tests were significant after controlling the false discovery rate of a family of hypothesis tests (Benjamini & Hochberg, 1995).

**Latency of N2pc.** We compared the jackknife-averaged latencies with 70% of the peak amplitude as criterion (Ulrich & Miller, 2001). Only the conditions with an N2pc were included in a one-way ANOVA (lateral target with low or high similarity, lateral distractor with high similarity). The main effect of spatial configuration was significant,  $F_{\text{adjusted}}(2, 28) =$

5.9,  $p = .007$ , showing that the N2pc occurred later to the lateral distractor with high similarity (272 ms) than to lateral targets with low (240 ms) or high (239 ms) similarity.

**N1 interval.** We calculated the mean voltage difference (contra - ipsi) in three consecutive time ranges from 120 to 240 ms, which covers the N1 interval and which comprises the Ppc component. These are shown as light shades of gray in Figure 3. A 2 (lateral stimulus: target, distractor)  $\times$  2 (similarity: low, high)  $\times$  3 (time range: 120-160, 160-200, 200-240 ms) repeated-measures ANOVA was run on the condition with lateral targets. The voltage difference was more negative with lateral targets than with lateral distractors (-0.18 vs. 0.24  $\mu$ V),  $F(1, 14) = 11.77$ ,  $p = .004$ ,  $\eta_p^2 = .457$ , and with high compared to low similarity (-0.18 vs. 0.24  $\mu$ V),  $F(1, 14) = 12.77$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .477$ . The interaction of lateral stimulus with time,  $F(2, 28) = 14.98$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .517$ , showed that the voltage difference became more negative over time with lateral targets (0.17, -0.31, -0.4  $\mu$ V), indicating the onset of the N2pc, whereas it became more positive with lateral distractors (-0.07, 0.4, 0.4  $\mu$ V) indicating the onset of the P<sub>D</sub>. Importantly, the interaction of lateral stimulus and similarity was significant,  $F(1, 14) = 5.28$ ,  $p = .038$ ,  $\eta_p^2 = .274$ , showing that low and high similarity did not differ for lateral targets (-0.17 vs. -0.18  $\mu$ V), whereas the difference was more positive with low than high similarity for lateral distractors (0.66 vs. -0.18  $\mu$ V).

To follow up on the interactions, we ran 2 (similarity: low, high)  $\times$  3 (time range) ANOVAs, separately for lateral targets and lateral distractors. The ANOVA on the voltage difference to lateral targets revealed a main effect of time,  $F(2, 28) = 8.47$ ,  $p = .001$ ,  $\eta_p^2 = .377$ , and confirmed the absence of an effect of similarity,  $F(1, 14) < 0.01$ ,  $p = .973$ ,  $\eta_p^2 < .001$ . The ANOVA for lateral distractors revealed a main effect of time,  $F(2, 28) = 7.54$ ,  $p = .002$ ,  $\eta_p^2 = .35$ , and confirmed the effect of similarity,  $F(1, 14) = 11.26$ ,  $p = .005$ ,  $\eta_p^2 = .446$ .

## Discussion

Behaviorally, we observed larger interference from a salient color singleton with inconspicuous than with salient shape targets. That is, less efficient search was more strongly disrupted by salient-but-irrelevant stimuli than efficient search. This result is at odds with a previous study by (Proulx & Egeth, 2006) who reported the opposite pattern. Most likely, the discrepancy results from the different search types. In unpublished data, we observed that the search slopes with the present stimuli were 6.7 and 15.5 ms/item for low and high target-nontarget similarity, respectively, while all search slopes were larger than 28 ms/item in Proulx and Egeth's study. Further, the electrophysiological results confirm the

predicted effect of target-nontarget similarity on visual interference. With inconspicuous targets, behavioral interference was large and an N2pc to the distractor occurred, signaling attentional capture. With salient targets, behavioral interference was smaller and a  $P_D$  to the distractor occurred, signaling attentional suppression.

Surprisingly, analysis of the N1 interval showed that the effects of target-nontarget similarity occurred earlier in distractor than in target processing. Differences between ERPs to inconspicuous and salient targets were not visible in the N1 time interval. In contrast, there was an early positivity to the color distractor when the target was salient, but not when the target was inconspicuous. The positivity between 120 and 200 ms post-stimulus is consistent with the time interval of the Ppc component between 140-190 ms (Barras & Kerzel, 2016; Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013). The Ppc was thought to reflect initial processing of the stimuli based on feature discontinuities (“attend-to-me” signal), which may later guide attentional selection or suppression as indexed by the N2pc and  $P_D$ . The current results suggests that occurrence of the Ppc is restricted to efficient searches because the Ppc was absent when the target was inconspicuous and the resulting search was inefficient.

## Experiment 2

In Experiment 2, we addressed two issues. First, it may be that the perceived saliency of the color singleton was reduced when the shape target differed strongly from the nontargets, resulting in a heterogeneous visual context. Therefore, behavioral interference may have been reduced and attentional capture, as indexed by the N2pc, was absent. To rule out this possibility, we asked observers to search for the color singleton and evaluated whether search times differed between salient and inconspicuous shape distractors. Second, we wondered whether a Ppc or a  $P_D$  would occur to the shape distractors. In principle, the salient shape singleton is expected to elicit an attend-to-me signal (Ppc) that is subsequently suppressed ( $P_D$ ), but a previous study by Gaspar and McDonald (2014) found no significant lateralized potentials to color distractors that were less salient than the color target. It is unclear whether this result would replicate in the present experiment because the distractors were defined by shape and the search for the color target was highly efficient.

## Method

**Participants.** Eighteen students from the same pool as in Experiment 1 participated. Two subjects were excluded because of eye movements, leaving 16 participants in the final analyses.

**Stimuli.** The stimuli were the same as in Experiment 1 except that the roles of the color and shape singleton were swapped. That is, the color singleton was always present, whereas the shape singleton (the square) was shown in only 50% of the trials.

**Procedure.** The procedure was as in Experiment 1, participants completed two sessions at two weeks interval (same day and same hour). In each session, 1152 trials were acquired for a total of 2304 trials. The major change in this experiment concerned the task. Participants were told to find the color singleton and report the orientation of the line inside by pressing one of two keys (left or right arrow key).

**Electrophysiological Recording and Analysis.** Based on the same criterion as in Experiment 1, we rejected two subjects whose HEOG from 0 to 300 ms was larger than  $\pm 3$  mV. On average, 17% of the trials were removed due to incorrect responses or artifacts.

**Behavioral Performance.** The distractor effects are shown in Figure 2. A 2 (similarity: high, low)  $\times$  2 (shape distractor: present, absent) repeated-measures ANOVA showed that RTs were shorter when the shape distractor was absent compared to when it was present (641 vs. 647 ms),  $F(1, 15) = 8.10$ ,  $p = .012$ ,  $\eta_p^2 = .351$ . The effect of similarity and the interaction failed to reach significance ( $p = .413$  and  $p = .623$ , respectively). The distractor effect was significant with low (6 ms),  $t(15) = 2.17$ ,  $p = .046$ , and high similarity (5 ms),  $t(15) = 2.84$ ,  $p = .012$ . Next, we evaluated effects of distance in a 2 (similarity: high, low)  $\times$  4 (distance: 1-4 items) ANOVA on trials with a distractor, but did not observe any significant effects ( $ps > .213$ ).

Further, we repeated the 2 (similarity: high, low)  $\times$  2 (shape distractor: present, absent) ANOVA and added experiment (1 vs 2) as inter-subject factor. RTs were shorter in Experiment 2 than in Experiment 1 (644 vs. 707),  $F(1,29) = 4.74$ ,  $p = .038$ ,  $\eta_p^2 = .141$ , showing that it was easier to locate the color than the shape singleton. RTs were also shorter when the distractor was absent compared to when it was present (665 vs. 686 ms),  $F(1, 29) = 40.74$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .58$ . The effect of similarity,  $F(1, 29) = 40.07$ ,  $\eta_p^2 = .58$ , the interactions between experiment and similarity,  $F(1,29) = 37.32$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .563$ , and similarity and distractor presence,  $F(1,29) = 15.71$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .351$ , were significant. Importantly, the interaction between experiment and distractor presence reached significance,  $F(1,29) =$

22.40,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .436$ , showing that the distractor effect was smaller in Experiment 2 than in Experiment 1. Also, the triple interaction was significant,  $F(1,29) = 19.42$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .401$ , confirming that effect of distractor presence was modulated by similarity in Experiment 1, but not in Experiment 2.

**N2 interval.** Mean ERPs are shown in Figure 3. We calculated the mean voltage in the time range from 250-290 ms, which corresponds to the N2pc. A 2 (spatial configuration: lateral target, lateral distractor) x 2 (similarity: low, high) repeated-measures ANOVA was run. The voltage difference was more negative with lateral targets than with lateral distractors (-1.82 vs. 0.48  $\mu\text{V}$ ),  $F(1,15) = 52.64$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .778$ . Moreover, the voltage difference was more negative with high compared to low similarity (-0.89 vs -0.44  $\mu\text{V}$ ),  $F(1,15) = 10.48$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .411$ . The interaction of spatial configuration and similarity failed to reach significance ( $p = .939$ ). Paired t-tests confirmed that the difference between high and low similarity was significant for lateral targets,  $t(15) = -3.22$ ,  $p = .006$ , and approached significance with lateral distractors,  $t(15) = -2.07$ ,  $p = .056$ . Further, independent-samples t-tests against zero for each of the four conditions showed that with lateral color targets, the N2pc was significant for low (-1.60  $\mu\text{V}$ ),  $t(15) = -5.95$ ,  $p < .001$ , and high similarity (-2.04  $\mu\text{V}$ ),  $t(15) = -6.64$ ,  $p < .001$ . With lateral shape distractors, there was a significant  $P_D$  with low similarity (0.71  $\mu\text{V}$ ),  $t(15) = 3.88$ ,  $p = .001$ , but no significant difference with high similarity (0.26  $\mu\text{V}$ ),  $p = .139$ .

**N1 interval.** We calculated the mean voltage in three time ranges before the N2 interval. A 2 (lateral stimulus: target, distractor) x 2 (similarity: low, high) x 3 (time range: 130-170, 170-210, 210-250 ms) repeated-measures ANOVA was conducted. The voltage difference was more negative with lateral targets than with lateral distractors (-0.25 vs. 0.21  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 15) = 9.82$ ,  $p = .007$ ,  $\eta_p^2 = .396$ . The voltage difference was more negative with high compared to low similarity (-0.15 vs. 0.11  $\mu\text{V}$ ),  $F(1, 15) = 7.8$ ,  $p = .014$ ,  $\eta_p^2 = .342$ . The interaction of similarity and time,  $F(2, 30) = 3.97$ ,  $p = .029$ ,  $\eta_p^2 = .209$ , showed that the difference between high and low similarity was largest in the second interval (difference of 0.12, 0.41, and 0.26  $\mu\text{V}$ ). The effect of time interval,  $F(2, 30) = 11.95$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .443$ , was further modulated by lateral stimulus,  $F(2, 30) = 18.8$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .556$ , showing that the voltage difference became more negative over time with lateral targets (0.2, 0.05, -0.99  $\mu\text{V}$ ), indicating the onset of the N2pc to the color target, but more positive with lateral distractors (0.21, 0, 0.44  $\mu\text{V}$ ), indicating a  $P_D$  to the shape distractor. Most important, the interaction of

lateral stimulus and similarity,  $F(1, 15) = 6.44$ ,  $p = .023$ ,  $\eta_p^2 = .3$ , showed that low and high similarity did not differ for lateral targets ( $-0.27$  vs.  $-0.22$   $\mu\text{V}$ ), whereas the voltage difference was more positive with low than high similarity for lateral distractors ( $0.45$  vs.  $-0.02$   $\mu\text{V}$ ).

To follow up on the interactions, we ran 2 (similarity: low, high) x 3 (time range) ANOVAs, separately for lateral targets and lateral distractors. The ANOVA on the voltage difference to lateral targets revealed a main effect of time,  $F(2, 30) = 19.66$ ,  $p < .001$ ,  $\eta_p^2 = .567$ , and confirmed the absence of an effect of similarity,  $F(1, 15) = 0.26$ ,  $p = .619$ ,  $\eta_p^2 = .017$ . The ANOVA for lateral distractors revealed a main effects of time,  $F(2, 30) = 6.88$ ,  $p = .003$ ,  $\eta_p^2 = .315$ , and confirmed the effect of similarity,  $F(1, 15) = 10.24$ ,  $p = .006$ ,  $\eta_p^2 = .406$ .

## Discussion

The 5 ms interference from the shape distractors in the present experiment was smaller than the 25-50 ms interference from the color distractor in Experiment 1. Additionally, there was no effect of the saliency of the shape distractor. Both observations confirm that the color singleton was more salient than the shape singleton. Thus, we may conclude that the saliency of the color distractor in Experiment 1 did not change as a function of target-nontarget similarity. Otherwise, we should have expected longer RTs to the color target when the shape distractor was more salient. This was not the case.

Further, we found a change in the amplitude of the target-related N2pc depending on nontarget shape. With diamond nontargets (inconspicuous shape distractor), the N2pc was larger than with circle nontargets (salient shape distractor). The diamonds were composed of straight lines and therefore shared a basic feature with the straight target line inside the shape. In contrast, there was less feature overlap between the round lines making up the circle and the straight target lines. Hopf, Boelmans, Schoenfeld, Heinze, and Luck (2002) suggested that the larger N2pc with more feature overlap reflected the increased need for suppression to attenuate the stronger interference from nontarget stimuli. Thus, the larger N2pc with diamond nontargets may reflect enhanced suppression of similar nontarget features (i.e., straight lines) with diamond compared to circle nontargets. However, it is noteworthy that the enhanced suppression did not have repercussions on RTs.

While Experiment 2 mostly served as a control experiment to rule out changes in saliency of the color distractor in Experiment 1, it nonetheless provides some novel insights into the electrophysiological correlates of distractor processing. Despite the absence of behavioral differences between salient and inconspicuous shape distractors, the lateralized

ERPs clearly indicate a Ppc and a P<sub>D</sub> to the salient shape distractor. While this sequence is predicted on the basis of the distractor suppression theory, it is nonetheless puzzling that there were no behavioral changes.

### General discussion

The present experiments investigated interference from a salient color distractor in easy and difficult searches. The search difficulty was manipulated by target-nontarget similarity. Easy searches resulted from low target-nontarget similarity (i.e., salient targets) and difficult searches resulted from high target-nontarget similarity (i.e., inconspicuous targets). We observed that the relative saliency of the target determined distractor processing. The distractor could be suppressed when search was easy, as indicated by a P<sub>D</sub> to the distractor, whereas the distractor resulted in attentional capture when search was difficult, as indicated by an N2pc to the distractor. While the present research shows that stimulus-related, bottom-up factors determine whether attentional capture or attentional suppression occurs, previous research has demonstrated the same for expectations about the target identity (see introduction, reviewed in Barras & Kerzel, 2016). Both stimulus-driven and expectancy-driven results converge on the notion that difficult searches result in attentional capture by salient distractors whereas easy searches allow for attentional suppression of salient distractors. In terms of saliency-map models (Navalpakkam & Itti, 2007), attentional capture is more likely for low signal-to-noise ratios, whereas attentional suppression is more likely for high signal-to-noise ratios. The reason may be that the relative saliency of the same distractor is higher when the target is inconspicuous (low signal-to-noise ratio) and lower when the target is salient (high signal-to-noise ratio).

Thus, the results show that attentional suppression is limited to efficient searches. Somewhat surprisingly, the current results also suggest that the early saliency signal (“attend-to-me signal”, Sawaki & Luck, 2010) between 100 and 200 ms only occurred during efficient search, suggesting that the early evaluation of saliency does not proceed in a strictly bottom-up manner.

### The Ppc reflects imbalanced saliency of distractors only in efficient searches

The lines in Figure 3 connect conditions with the same lateral element but in different roles, once as target and once as distractor. When the lateral element served as target, the difference waves are mostly negative, indicating an N2pc, but when it served as distractor, the difference waves are sometimes positive, indicating a P<sub>D</sub>. The most

remarkable feature of this graph is that early differences in the N1 range are visible for lateral distractors, but not for lateral targets despite identical stimuli. For lateral shapes, there were no early differences between salient and inconspicuous shape targets (column 1 in Figure 3), but early differences did occur between salient and inconspicuous shape distractors (column 4). Why didn't target selection capitalize on the greater saliency as early as distractor suppression did? A previous study demonstrated that target selection was susceptible to saliency. Töllner, Zehetleitner, Gramann, and Müller (2011) reported that the N2pc to orientation and color singletons with higher saliency had a shorter latency and a larger amplitude. While this result is consistent with the tendency for a larger N2pc to salient than inconspicuous shape targets in Experiment 1, the latency effect in Töllner et al. (2011) was only on the order of 20-30 ms and cannot explain why differences between salient and inconspicuous shapes occurred about 150 ms earlier when they were distractors compared to when they were targets. Rather, the question is why the positivity occurring between 100 and 200 ms, which we refer to as Ppc (Barras & Kerzel, 2016; Fortier-Gauthier et al., 2012; Gokce et al., 2014; Jannati et al., 2013), occurred in some conditions but not in others.

We think the results may be summarized by saying that the Ppc occurs to salient stimuli, but only when they are unlikely to be selected. Thus, no Ppc occurred to the salient shape target (column 1 in Figure 3), because it was the target and therefore very likely to be selected. In contrast, a Ppc occurred to the salient shape distractor (column 4), because it was unlikely to be selected given that the color target was much more salient and search was highly efficient. In the same context, there was no Ppc to the inconspicuous shape distractor because it was not salient (column 4). Further, there was a Ppc to the salient color distractor when it was unlikely to be selected because the shape target was salient (column 2). In contrast, the Ppc to the color distractor was absent when the shape target was inconspicuous (column 2), which made it likely that the color distractor was selected, as evident in the N2pc to the distractor. In sum, we confirm that the Ppc only occurs to salient stimuli, which is consistent with the previous notion that it reflects imbalanced saliency (Fortier-Gauthier et al., 2012). Additionally, the present results suggest that the Ppc is not purely a bottom-up signal, but is modulated by the difficulty of the search. Notably, the Ppc to distractors is eliminated if search is inefficient and the distractor is likely to be confused with the target.

### **Effects of target saliency and feature overlap**

Our results are somewhat contradictory with respect to the relation between saliency and the amplitude of the N2pc. There was a tendency for a larger N2pc with the more salient shape target in Experiment 1 (square among circles vs. square among diamonds), but there was a smaller N2pc to the target line that was more salient with respect to the surrounding shape in Experiment 2 (vertical/horizontal line inside circle vs. diamond; compare the dotted lines in columns 1 and 3 of Figure 3). These seemingly contradictory results correspond to equally contradictory reports in the literature. Hopf et al. (2002) suggested that the N2pc reflects suppression of competing distractors and is therefore larger when there is more feature overlap. That is, a larger N2pc occurs with less salient targets that require more suppression of the competing distractors. In contrast, Töllner et al. (2011) observed that a larger N2pc occurred when the target stimulus was salient compared to when it was less salient. They argued that the larger and earlier N2pc reflects expedited shifts of attention to more salient stimuli, in accordance with saliency-map theories. The apparent contradiction may be resolved by looking at the cognitive process that was concerned by the saliency manipulation. In Hopf et al. (2002), participants located the target on the left or right side of the screen based on the instructed color. Importantly, target and the distractor were located on opposite sides of the screen and were equally salient. Subsequently, they had to make a fine discrimination on the target stimulus. The feature overlap between the target and the immediately surrounding stimuli (on the same side of the screen) determined the “local” saliency of the target. In Töllner et al. (2011), the target had a higher saliency than all of the remaining nontarget elements (“global” saliency) and the task of the participants was only to locate the salient element. Thus, target saliency in the two studies affected two different processes. In Hopf et al. (2002), saliency was important after the target had been localized and a fine discrimination was required. In Töllner et al. (2011), participant relied on saliency to locate the target. Because we employed a compound task, our results may combine the two effects. The somewhat larger N2pc to salient shape targets in Experiment 1 may reflect enhanced target localization. In contrast, the larger N2pc to target shapes showing more feature overlap with the target line (inside the shape) in Experiment 2 may reflect distractor suppression during fine discrimination. Thus, our results are in line with the idea that different cognitive processes are differently affected by saliency.

### **Conflicting findings**

Finally, we need to discuss the previous study that has reached the opposite conclusion, namely, that interference was stronger with low than high target-nontarget similarity. There are numerous methodological differences between the current and the previous study that may account for the discrepancy. As already pointed out, the most important difference may be that the current study compared efficient and inefficient search (6.7 vs. 15.5 items/ms) according to the criterion of 10 ms/item for efficient search (Wolfe & Horowitz, 2004). In contrast, search was always highly inefficient (search slopes between 22 and 114 ms/item) in Proulx and Egeth (2006). Further, Proulx and Egeth (2006) used the **irrelevant** singleton paradigm where the target stimulus was allowed to coincide with the salient color singleton according to baseline probability, creating a small incentive to pay attention to the salient stimulus. In contrast, target and color singleton never coincided in the **additional** singleton paradigm used in the present study, which encouraged observers to ignore the color singleton (Becker, 2007). Further, Proulx and Egeth used search slopes to measure the distractor effect, which is not possible in the additional singleton paradigm because the target never coincides with the distractor. Also, the manipulation of target-nontarget similarity was run within-subject in the present study, but between-subjects in Proulx and Egeth. Thus, the many differences preclude a final answer to the question why target-nontarget similarity had opposite effects.

In sum, we observed that distraction by a salient color singleton was stronger when search was difficult because target were inconspicuous than when search was easy because targets were salient. The larger interference was accompanied by an N2pc to the distractor, showing that attentional capture occurred. In contrast, the small interference with low target-nontarget similarity was accompanied by a P<sub>D</sub> to the distractor, suggesting attentional suppression of the distractor. Further, we observed that an early positivity, the Ppc component, occurred to salient distractors, but only when search was efficient and it was unlikely that the distractor was selected.

### Acknowledgments

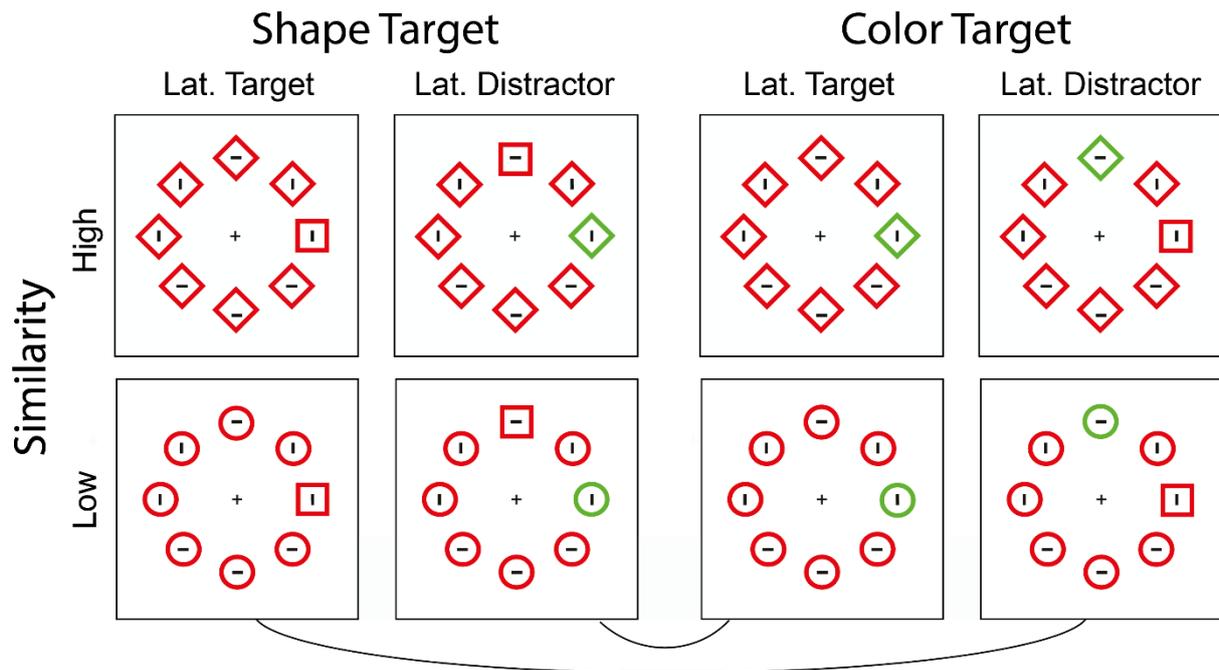
Grant 100014\_152684/1 from the Swiss National Foundation.

### References

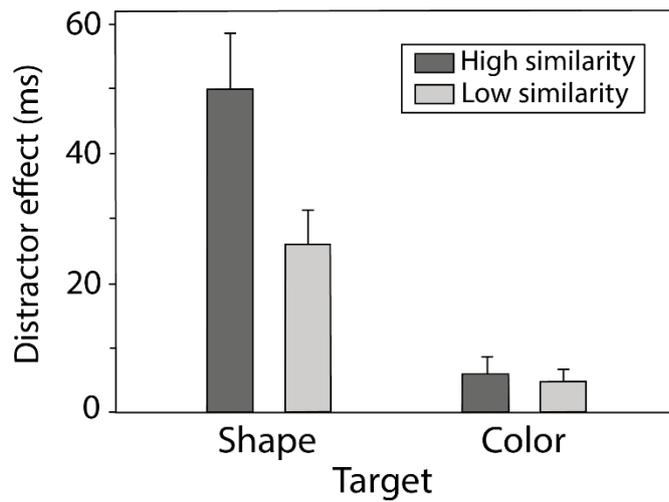
- Barras, C., & Kerzel, D. (2016). Active suppression of salient-but-irrelevant stimuli does not underlie resistance to visual interference. *Biological Psychology*, *121*, 74-83.  
doi:10.1016/j.biopsycho.2016.10.004

- Becker, S. I. (2007). Irrelevant singletons in pop-out search: attentional capture or filtering costs? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(4), 764-787. doi:10.1037/0096-1523.33.4.764
- Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the False Discovery Rate - a Practical and Powerful Approach to Multiple Testing. *Journal of the Royal Statistical Society Series B-Methodological*, 57(1), 289-300.
- Burra, N., & Kerzel, D. (2013). Attentional capture during visual search is attenuated by target predictability: Evidence from the N2pc, Pd, and topographic segmentation. *Psychophysiology*, 50(5), 422-430. doi:10.1111/psyp.12019
- Cave, K. R., & Wolfe, J. M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22(2), 225-271.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), 225-234.
- Feldmann-Wüstefeld, T., & Schubö, A. (2015). Target discrimination delays attentional benefit for grouped contexts: An ERP study. *Brain Research*, 1629, 196-209. doi:10.1016/j.brainres.2015.10.018
- Fortier-Gauthier, U., Moffat, N., Dell'Acqua, R., McDonald, J. J., & Jolicœur, P. (2012). Contralateral cortical organisation of information in visual short-term memory: Evidence from lateralized brain activity during retrieval. *Neuropsychologia*, 50(8), 1748-1758. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.03.032
- Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2014). Suppression of salient objects prevents distraction in visual search. *Journal of Neuroscience*, 34(16), 5658-5666. doi:10.1523/JNEUROSCI.4161-13.2014
- Gokce, A., Geyer, T., Finke, K., Mueller, H. J., & Töllner, T. (2014). What pops out in position priming of pop-out: Insights from event-related EEG lateralizations. *Frontiers in Psychology*, 5. doi:10.3389/fpsyg.2014.00688
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(4), 760-775. doi:10.1162/jocn.2009.21039
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006). Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(4), 604-613. doi:10.1162/jocn.2006.18.4.604
- Hilimire, M. R., & Corballis, P. M. (2014). Event-related potentials reveal the effect of prior knowledge on competition for representation and attentional capture. *Psychophysiology*, 51(1), 22-35. doi:10.1111/psyp.12154
- Hilimire, M. R., Mounts, J. R., Parks, N. A., & Corballis, P. M. (2011). Dynamics of target and distractor processing in visual search: evidence from event-related brain potentials. *Neuroscience Letters*, 495(3), 196-200. doi:10.1016/j.neulet.2011.03.064
- Hopf, J. M., Boelmans, K., Schoenfeld, A. M., Heinze, H. J., & Luck, S. J. (2002). How does attention attenuate target-distractor interference in vision? Evidence from magnetoencephalographic recordings. *Cognitive Brain Research*, 15(1), 17-29. doi:10.1016/S0926-6410(02)00213-6
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature Reviews: Neuroscience*, 2(3), 194-203. doi:10.1038/35058500
- Jannati, A., Gaspar, J. M., & McDonald, J. J. (2013). Tracking target and distractor processing in fixed-feature visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(6), 1713-1730. doi:10.1037/a0032251
- Kerzel, D., & Barras, C. (2016). Distractor rejection in visual search breaks down with more than a single distractor feature. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 42(5), 648-657. doi:10.1037/xhp0000180

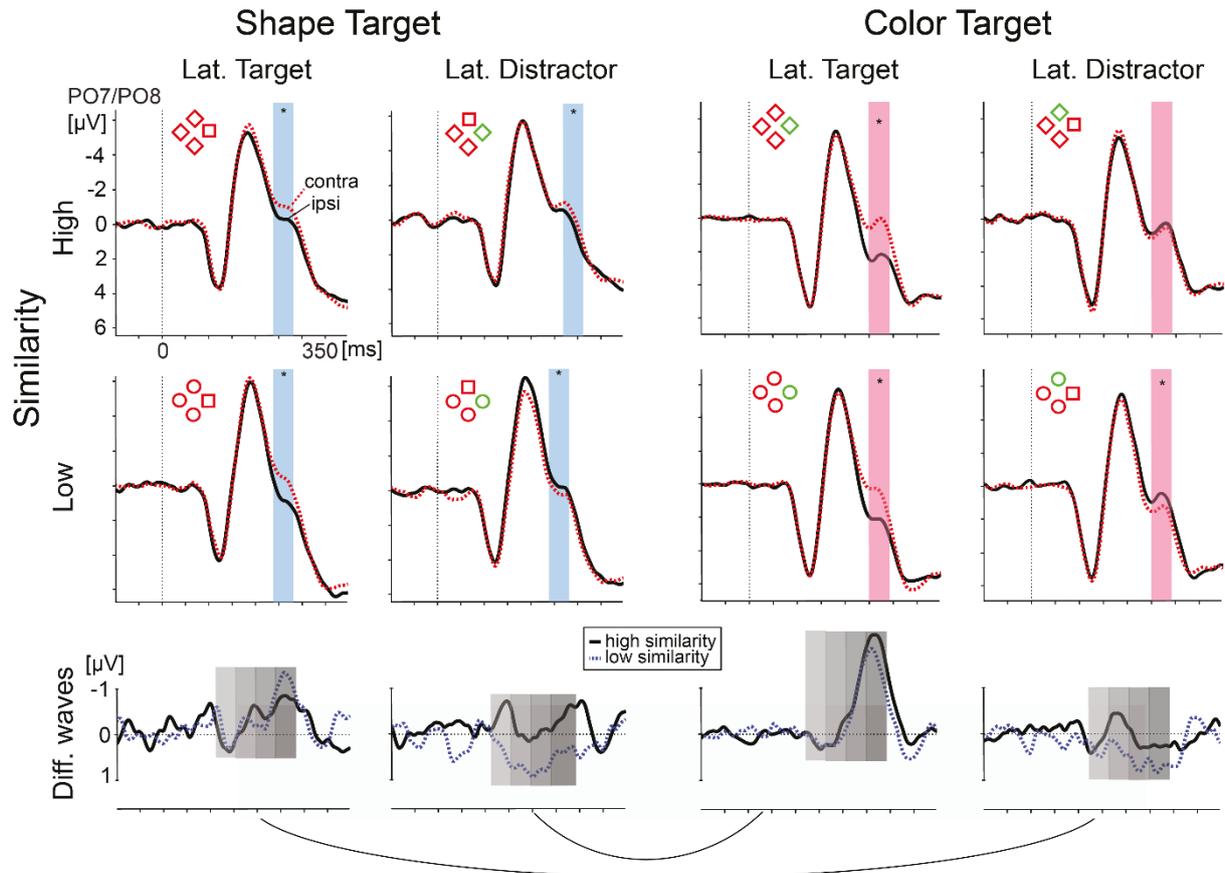
- Kiss, M., Grubert, A., Petersen, A., & Eimer, M. (2012). Attentional capture by salient distractors during visual search is determined by temporal task demands. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *24*(3), 749-759. doi:10.1162/jocn\_a\_00127
- Li, Z. (2002). A saliency map in primary visual cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, *6*(1), 9-16. doi:10.1016/s1364-6613(00)01817-9
- 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.
- Mathot, S., Hickey, C., & Theeuwes, J. (2010). From reorienting of attention to biased competition: evidence from hemifield effects. *Atten Percept Psychophys*, *72*(3), 651-657. doi:10.3758/APP.72.3.651
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009). Attention selection, distractor suppression and N2pc. *Cortex*, *45*(7), 879-890. doi:10.1016/j.cortex.2008.10.009
- McDonald, J. J., Green, J. J., Jannati, A., & Di Lollo, V. (2013). On the electrophysiological evidence for the capture of visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *39*(3), 849-860. doi:10.1037/a0030510
- Mounts, J. R. (2000). Evidence for suppressive mechanisms in attentional selection: feature singletons produce inhibitory surrounds. *Perception & Psychophysics*, *62*(5), 969-983.
- Navalpakkam, V., & Itti, L. (2007). Search goal tunes visual features optimally. *Neuron*, *53*(4), 605-617. doi:10.1016/j.neuron.2007.01.018
- Proulx, M. J., & Egeth, H. E. (2006). Target-nontarget similarity modulates stimulus-driven control in visual search. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(3), 524-529. doi:Doi 10.3758/Bf03193880
- Sawaki, R., Geng, J. J., & Luck, S. J. (2012). A Common Neural Mechanism for Preventing and Terminating the Allocation of Attention. *The Journal of Neuroscience*, *32*(31), 10725-10736. doi:10.1523/jneurosci.1864-12.2012
- Sawaki, R., & Luck, S. J. (2010). Capture versus suppression of attention by salient singletons: electrophysiological evidence for an automatic attend-to-me signal. *Attention Perception & Psychophysics*, *72*(6), 1455-1470. doi:10.3758/APP.72.6.1455
- Theeuwes, J. (1991). Cross-dimensional perceptual selectivity. *Perception & Psychophysics*, *50*(2), 184-193. doi:10.3758/BF03211656
- Theeuwes, J. (1992). Perceptual selectivity for color and form. *Perception & Psychophysics*, *51*(6), 599-606.
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta Psychologica*, *135*(2), 77-99. doi:10.1016/j.actpsy.2010.02.006
- Töllner, T., Zehetleitner, M., Gramann, K., & Müller, H. J. (2011). Stimulus saliency modulates pre-attentive processing speed in human visual cortex. *PLoS One*, *6*(1), e16276. doi:10.1371/journal.pone.0016276
- Treisman, A. M., & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*(3), 459-478.
- Ulrich, R., & Miller, J. (2001). Using the jackknife-based scoring method for measuring LRP onset effects in factorial designs. *Psychophysiology*, *38*(5), 816-827.
- Von Grünau, M., Dube, S., & Galera, C. (1994). Local and Global Factors of Similarity in Visual-Search. *Perception & Psychophysics*, *55*(5), 575-592.
- 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. doi:Doi 10.1037/0096-1523.29.1.121
- Zehetleitner, M., Koch, A. I., Goschy, H., & Müller, H. J. (2013). Saliency-based selection: Attentional capture by distractors less salient than the target. *PLoS One*, *8*(1), e52595. doi:10.1371/journal.pone.0052595



**Figure 1.** Illustration of experimental stimuli. In Experiment 1, the target was a unique shape (a square, see left panels). In Experiment 2, the target was a unique color (e.g., green, see right panels). Shape-based similarity was high when nontargets were diamonds (upper row) and low when they were circles (lower row). We show spatial configurations where either the target or the distractor was shown on the same lateral position. In the experiments, all three lateral positions were equally frequent, but only the central position is shown for simplicity. The connecting lines below show columns with the same lateral element.



**Figure 2.** The distractor effects in Experiments 1 and 2 are shown on the left and right side of the graph. The distractor effect is the difference between distractor-present and distractor-absent trials. In Experiment 1, the target was a shape singleton that was similar or dissimilar with respect to the nontarget shapes. The distractor was a color singleton. In Experiment 2, the target was a color singleton and the shape distractor was either similar to dissimilar with respect to the nontarget shapes. Error bars show the standard error of the mean.



**Figure 3.** Electrophysiological results from Experiments 1 with shape target (see left panels) and 2 with color target (see right panels). The upper diagrams show the grand-average contralateral and ipsilateral event-related potentials (ERPs) at electrodes PO7 and PO8 as a function of shape-based similarity (high, low) and lateral stimulus (target, distractor). The difference waves show the difference between contra and ipsilateral ERPs for the four experimental conditions. The shaded areas indicate the four averaging intervals (Experiment 1: 120-160, 160-200, 200-240, and ~240-280 ms; Experiment 2: 130-170, 170-210, 210-250, and 250-290 ms).