



HAL
open science

Rôle de l'attention spatiale dans l'identification des mots et des lettres

Yousri Marzouki

► **To cite this version:**

Yousri Marzouki. Rôle de l'attention spatiale dans l'identification des mots et des lettres. Psychologie. Université de Provence - Aix-Marseille I, 2007. Français. NNT : . tel-00265348

HAL Id: tel-00265348

<https://theses.hal.science/tel-00265348v1>

Submitted on 19 Mar 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

*Je dédie cette thèse à ma chère femme Inès et
au « petit bout » qui commence à bouger dans son ventre*

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier très chaleureusement Jonathan Grainger, mon directeur de thèse, même si ces quelques lignes sont largement insuffisantes pour faire le compte de ce que je lui dois. Je le remercie pour sa disponibilité, sa compétence, ses qualités humaines et la confiance qu'il m'a accordée. Il m'a fourni tous les moyens nécessaires pour permettre à ce travail d'arriver à son terme. En m'offrant la possibilité de rencontrer des personnages scientifiques qui ont influencé de près ma thématique de recherche, il m'a donné une précieuse opportunité d'épanouissement sur le plan scientifique et personnel. Cette personne a marqué pour toujours ma carrière scientifique bourgeonnante en me transmettant sa passion, sa rigueur et son professionnalisme au travail.

Mes remerciements les plus vifs vont au Professeur Jan Theeuwes qui m'a chaleureusement accueilli dans son laboratoire à Amsterdam et introduit au sein de son intéressante équipe. Notre collaboration fut tellement étroite et fructueuse qu'il m'a fait l'honneur d'être co-auteur sur deux de mes papiers. Tout en étant aussi une autre source d'inspiration pour mes travaux, Jan Theeuwes m'a toujours impressionné par son dynamisme, son ouverture d'esprit et ses qualités humaines.

Ensuite, je tiens à remercier le Professeur Martijn Meeter pour m'avoir fait profiter de ses connaissances et de son savoir-faire quant à la modélisation des données. Depuis mon séjour à Amsterdam, il m'a ouvert ses portes pour une collaboration qui commence aujourd'hui à porter ses fruits. Cette personne me fait honneur en acceptant de participer au jury de ma thèse et d'être co-auteur sur un article. J'espère que ces quelques lignes témoigneront de ma reconnaissance envers lui.

J'adresse mes remerciements les plus profonds à Kathy et Phil Holcomb pour m'avoir appris, supporté, aidé et encouragé à explorer les techniques électrophysiologiques dans ma thèse. Je suis honoré qu'ils figurent en co-auteurs dans l'article qui couronne notre collaboration de trois ans.

Je tiens à remercier et à exprimer ma gratitude aux Professeurs Lionel Naccache, Thierry Ripoll ainsi qu'à Ludovic Ferrand qui me font l'honneur d'être membre du jury de ma thèse.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Aline Pélissier pour sa précieuse relecture de mon texte français, son encouragement, sa sollicitude et son amitié.

J'exprime aussi ma sincère reconnaissance à Françoise Vitu, pour sa disponibilité et ses conseils scientifiques ainsi qu'à Stéphane Dufau et Fernand Farioli pour m'avoir supporté techniquement dans le montage de mes expériences.

Cette thèse aurait été beaucoup moins agréable à réaliser pour quelqu'un qui n'aurait pas eu le privilège d'être entouré comme moi des meilleurs doctorants et collègues qu'on puisse avoir. J'exprime ici ma gratitude envers tous les doctorants du LPC. Mais où en serais-je sans les relectures, les gestes d'amitié, le soutien, et les mille attentions de : Caroline, Lënda et Jean, Delphine, Laëtitia, Annabelle, Magalie, Emma, mon ami belge Kevin, Jean et David. Qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance et j'espère que ces quelques mots pourront leur rendre hommage.

Je tiens absolument à remercier tous les participants d'avoir pour la majorité volontairement enduré des exercices quelquefois difficiles durant la passation de mes expériences.

Mes remerciements les plus vifs vont à tous ceux et celles que j'ai oublié de citer.

A tous mes amis, frères et compatriotes tunisiens, pour leur confiance en moi, leurs encouragements et leur attention particulière : à Haythem, Aymen, Olfa, Myriam, Fatma, Sassi et Asma.

Enfin, j'adresse mes remerciements les plus profonds à ma mère Naïma pour son courage, son sacrifice et son amour. A mes deux frères Walid et Amine, à la mémoire de mon père, ainsi qu'à ma belle famille : qu'ils trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

Yousri

Préface

Si je devais reformuler en quelques mots le projet à l'origine de ma thèse, je dirais qu'il a tout simplement consisté à construire en trois ans un pont reliant la ville de Marseille à la ville d'Amsterdam. La présentation du projet à n'importe quel bureau d'étude des « ponts et chaussées » serait suivie d'un rejet définitif vu l'impossibilité de sa réalisation dans la période fixée.

Mais ce pont, il a pourtant été possible de le construire à travers la science. Mon directeur de thèse, Jonathan Grainger, m'a dit un jour, alors que j'entamais à peine ma première année de doctorat : « Ecoute Yousri, si tu arrives à faire parler entre eux des gens comme moi (du domaine de l'identification des mots) et des gens comme Jan Theeuwes (du domaine de l'attention), ceci (ce projet) est en soi une matière plus que suffisante pour faire une thèse ».

La distance géographique entre les deux villes était pourtant une métaphore assez fiable pour décrire le peu de proximité entre ces deux vastes domaines de la psychologie cognitive. En l'absence d'un cadre théorique les reliant, le point de départ de ma thèse était essentiellement empirique. En effet, des travaux non publiés menés dans notre laboratoire et qui avaient pour objectif de trouver des effets d'amorçage périphériques avec des mots comme cibles centrales ont systématiquement échoué à générer des effets de répétition dans ces conditions expérimentales.

Cette observation m'a amené, d'une part, à réfléchir sur le rôle que peut éventuellement jouer l'attention spatiale afin de compenser l'absence des effets d'amorçage dans de telles conditions et d'essayer, d'autre part, de comprendre à quel niveau se situe cette difficulté empirique dans l'obtention des effets d'amorçage périphériques.

Le **chapitre 1** introduit la notion d'attention et s'attarde sur l'attention spatiale, tout en décrivant les quelques (rares) travaux qui ont montré une modulation de l'attention exogène des effets d'amorçage avec répétition. Vu l'importance de la méthodologie dans l'exploration des mécanismes perceptifs bas niveau, nous avons consacré le **chapitre 2** à une description détaillée de toute « la boîte à outils » utilisée dans ce travail. Tout en m'armant d'un puissant paradigme expérimental, celui de l'amorçage masqué avec répétition (Forster & Davis, 1984), j'ai combiné ce dernier à d'autres paradigmes de l'attention exogène, des techniques d'enregistrement des potentiels évoqués (PE), de mouvements oculaires et de modélisation, afin de répondre aux questions soulevées.

Arrivé aujourd'hui à maturité, le présent travail nécessite d'être exposé et partagé avec toute personne intéressée, de près ou de loin, à une telle problématique. Au départ, et afin de me simplifier la tâche, j'ai utilisé à la place des mots des lettres isolées. Le choix d'un tel matériel d'expérience avait

Préface

pour but de maximiser les chances d'obtenir, avec les mêmes conditions critiques dans lesquelles rien n'avait été observé auparavant, des effets d'amorçage. En effet, dans le **chapitre 3**, nous avons combiné le paradigme d'attention spatiale exogène (Posner & Cohen, 1984) avec le paradigme d'amorçage subliminal avec répétition dans une tâche de décision alphabétique (classification des lettres *vs.* pseudo-lettres). Avec des cibles centrales et des amorces périphériques présentées horizontalement, un bref indice exogène (*abrupt visual onset*) peut être valide ou non valide quant à la position de ces amorces. Les résultats ont montré la présence d'un effet significatif de l'indication spatiale exogène dans la modulation des effets inconscients d'amorçage.

Ce résultat était très motivant pour poursuivre notre démonstration. Le fait qu'un bref indice exogène attire de façon automatique l'attention sur le site périphérique de l'apparition de l'amorce et génère un effet de facilitation de l'amorçage devrait logiquement produire un effet inhibiteur si la durée de sa présentation était prolongée. Ce phénomène est connu sous le nom d'inhibition de retour (IOR) et il a fait l'objet de l'étude rapportée dans le **chapitre 4**. En gardant exactement les mêmes conditions et stimuli que dans l'expérience décrite au **chapitre 3**, nous avons rajouté un délai relativement long séparant l'affichage de l'indice de celui de l'amorce dans le but d'examiner l'effet de l'IOR et un délai sur le traitement des amorces subliminales masquées. Je me suis intéressé dans cette expérience à l'engagement et au désengagement de l'attention spatiale ainsi qu'à ses effets sur l'amorçage masqué des lettres.

A l'aide de la technique d'enregistrement des potentiels évoqués, j'ai voulu fournir une preuve supplémentaire de l'existence d'une telle influence exogène de l'indication sur l'amorçage masqué. L'avantage de cette technique est double car, non seulement elle fournit une excellente résolution temporelle pour pister la dynamique des mécanismes attentionnels que les données comportementales ne peuvent pas contenir avec grande précision, mais elle permet aussi d'étudier ces phénomènes sans qu'ils soient affectés par le moindre mouvement oculaire. Dans le **chapitre 5**, nous avons rendu compte des résultats de cette expérience qui n'est autre que la réplication électrophysiologique de l'expérience rapportée dans le **chapitre 3**.

Parler de présentation périphérique des stimuli, c'est parler de l'excentricité des stimuli. Ce facteur dont nous avons constaté l'importance au fur et à mesure que nous avançons dans ce travail a été manipulé de façon paramétrique. Cette définition précise de l'échelle de l'excentricité fournit une mesure étalon de l'excentricité permettant de situer avec une relative exactitude le locus des effets d'amorçage périphériques. Cette échelle paramétrique a été respectée dans toutes les expériences décrites dans les **chapitres 6, 7 et 8**. Dans le **chapitre 6**, trois expériences testent l'influence d'une présentation rapide, et selon différentes excentricités, des amorces masquées sur la reconnaissance des mots-cibles. Les amorces peuvent être soit le même mot soit un mot différent de la cible et la position de l'amorce varie horizontalement de part et d'autre du point de fixation central. Les cibles peuvent occuper le même emplacement que l'amorce (Expérience 1A) ou être toujours en position centrale

(Expérience 1B). A l'aide de la technique d'enregistrement des mouvements oculaires, l'Expérience 2 avait pour objectif de répliquer les effets observés dans l'expérience 1B sans qu'ils soient biaisés par une quelconque saccade oculaire.

Les résultats obtenus avec les lettres *us*. mots nous ont amenés à réfléchir sur le rôle de la taille physique du stimulus périphérique. Dans le **chapitre 7**, nous avons combiné le paradigme d'attention spatiale exogène avec le paradigme d'amorçage avec répétition dans une tâche de décision lexicale. Avec des cibles centrales et des amorces périphériques présentées horizontalement, un indice bref peut être congruent ou non congruent avec la position de ces amorces. Dans cette expérience, la longueur des mots a été manipulée (mots à 3 lettres *us*. mots à 5 lettres). L'objectif de cette expérience consiste à expliquer le gain observé pour les effets d'amorçage avec répétition en présence d'une information spatialement compacte.

L'ensemble de ces résultats étaient interprétables avec un modèle computationnel proposé par Grainger et van Heuven (2003) qui est basé sur l'idée de la spécificité localisationnelle des effets d'amorçage. Ce modèle est aveugle quant au rôle de l'attention spatiale dans la facilitation des effets d'amorçage. En introduisant ce facteur qu'on a appelé l'attention allouée à l'amorce, nous avons proposé dans le **chapitre 8** une relecture du modèle de Grainger et van Heuven, nous basant sur de nouvelles données comportementales enregistrées en manipulant l'excentricité des amorces et des cibles. Notre interprétation des résultats a été résumée dans deux modèles mathématiques dont les conclusions sont discutées à la lumière de l'approche basée sur le codage orthographique en bigrammes. Une version révisée du modèle de Grainger-van Heuven (2003) a été proposée.

Partie I

*Cadre
théorique*

Chapitre 1

Les concepts

1. Les approches théoriques de l'attention sélective

L'expérience princeps dans le domaine de la sélection attentionnelle reste l'étude de Cherry (1953) utilisant ce qui va devenir le paradigme du « *shadowing* ». Dans cette expérience, deux mots sont présentés auditivement aux participants : l'un dans l'oreille droite, l'autre dans l'oreille gauche. Les participants sont amenés à répéter un de ces deux mots. Après un test de rappel, Cherry a observé que les participants se rappelaient moins les mots qui n'avaient pas été répétés. Ce résultat va inspirer une lignée de travaux sur cette question de filtrage de l'information dont l'aboutissement théorique fut le modèle « d'entonnoir » de Broadbent (1958).

Balayer depuis cette période tout l'aspect théorique de l'attention sélective dans la littérature scientifique serait prétentieux vu l'espace dont nous disposons pour répondre à des questions spécifiques dans cette thèse. Afin de limiter, selon leur pertinence, la quantité des informations, nous nous sommes focalisés sur deux critères essentiels dans ce chapitre introductif. En effet, les approches théoriques en psychologie cognitive de l'attention ont mis l'accent sur plusieurs questions dont on retiendra particulièrement le niveau de sélection de l'information (précoce *versus* tardif) et la méthode de sélection (activation des stimuli attendus *vs.* inhibition des stimuli non attendus).

1.1. Niveaux de sélection

Les conceptions classiques de l'attention font la distinction entre deux étapes fonctionnellement différentes. La première est « pré-attentionnelle », et implique un système à capacités illimitées, capable de traiter de façon parallèle l'information contenue dans l'ensemble du champ visuel. L'autre étape est « attentionnelle » ou focale et elle est caractérisée par un traitement sériel de l'information visuelle correspondant à des régions spatiales locales. On trouve déjà chez James (1890) la distinction entre d'une part, l'attention partagée (*dispersed*), qui est un processus parallèle opérant sur la totalité du champ visuel, et d'autre part, l'attention focalisée. Attention focalisée et attention partagée constituent selon James deux extrêmes sur un même continuum d'états attentionnels. Le concept d'attention focale nous amène à définir les mécanismes par lesquels la focalisation ou la sélection opère.

1.1.1. Sélection précoce vs. tardive

Les travaux de Broadbent (1958), Kahneman (1973) et Neisser (1967) ont montré que le concept d'attention désigne la capacité à pouvoir se concentrer sur une partie de l'input : sensoriel, des programmes moteurs, des contenus mnésiques ou des représentations internes, pour être préférentiellement traitée. Ce concept implique aussi une capacité de déplacement (*shifting*) d'un objet à un autre qui se produit de façon sérielle. En effet, Broadbent (1958) assimile le système nerveux central à un canal de communication unique pourvu d'une capacité limitée. Il propose que certaines propriétés physiques des stimuli (e.g., localisation spatiale, etc.) soient analysées en parallèle. Le produit de cette analyse sera stocké dans une boucle de mémoire à court terme qu'il appelle le système S. Le filtre sélectif effectuera par la suite une sélection des éléments les plus pertinents pour une analyse attentive assurée par un système qu'il appelle le système P. Les stimuli non sélectionnés pour l'analyse attentive vont disparaître de façon passive du système S.

Les premiers travaux psychophysiques de Von Helmholtz (Cf. Van der Heijden, 1992) sont à l'origine d'une métaphore connue sous le nom de « *spotlight* », et qui représente la première théorie de l'attention précoce. Elle postule l'existence d'un faisceau attentionnel qui éclaire une partie du champ visuel où les stimuli sont analysés de façon très détaillée afin de les amener à un niveau supérieur de traitement (Eriksen & Hoffman, 1973). Depuis Von Helmholtz, il est admis que l'attention sélective visuelle peut diverger à partir du point de fixation du regard, et que cette attention peut être focalisée sur les parties périphériques du champ visuel. Ainsi le spot se déplacerait-il avec ou sans les mouvements des yeux. Ceci a entraîné une dichotomisation de la notion de flexibilité attentionnelle, d'une part en une attention explicite (*overt*) et d'autre part, en une attention latente (*covert*) (Von Helmholtz, 1867; cité par Jonides, 1981; Pashler, 1998)

En se basant sur ces notions, des auteurs comme Neisser (1967), Shaw et Shaw (1977) proposent une conception dyadique suivant laquelle l'exploration visuelle se déroule en deux étapes. La première est « pré-attentionnelle » et comporte des processus qui sont rapides, parallèles et involontaires. La seconde est attentionnelle et comporte des processus qui sont lents, sériels et volontaires. L'affinement le plus influent de cette dernière approche fut proposé par Treisman et Gelade (1980) avec la théorie d'intégration des traits de l'attention sélective visuelle. Cette approche explique de nombreuses données des expériences psychophysiques dans le domaine de la vision et offre une solution au problème du liage (*binding problem*) (Hummel, 1999). Dans le domaine de la perception, ce problème se rapporte à la façon dont on peut spécifier le « quoi » et le « où » afin de réaliser une perception cohérente et intégrée de la forme, de la couleur, du mouvement et de la surface des objets individuels. Trois approches théoriques majeures traitent de ce problème : *i*) la théorie de Barlow (1972) des neurones de la grand-mère : le liage avec convergence) ; *ii*) la théorie de Singer (2006) des activations synchronisées et *iii*) l'attention spatiale basée sur l'intégration des traits élémentaires (Treisman & Gelade, 1980).

1.2. Mécanismes de sélection

Décortiquer les mécanismes de l'attention est un problème phénoménologique (Treisman, 2004) du moment où il consiste à déterminer les formes que peuvent prendre les mécanismes de facilitation et/ou d'inhibition. Un important éclairage porté sur cette question vient des travaux en neurobiologie comportementale. En effet, une base neuronale de l'attention spatiale pourrait être mieux comprise grâce à l'étude du système visuel. Il est vrai que les déplacements attentionnels se produisent indépendamment des mouvements oculaires mais ils peuvent être mesurés par l'amplification de la discrimination des stimuli présents à l'endroit attendu ou encore par le nombre de neurones inhibés répondant aux stimuli non attendus. On distingue globalement deux processus de sélection : l'activation et l'inhibition.

1.2.1. Activation (amplification) des stimuli attendus

Les premiers travaux neurobiologiques, autour de cette question, ont principalement étudié les variations d'activation au niveau du neurone isolé (*single neuron*). Moran et Desimone (1985) ont montré qu'un mécanisme facilitateur de l'attention visuelle réduit sur le plan neuronal la taille des champs récepteurs pour les stimuli attendus (voir aussi Luck, Chelazzi, Hillyard, & Desimone, 1997). De plus, on observe une augmentation du niveau d'excitation neuronale dans des régions plus restreintes du cortex quand l'attention est orientée vers un trait visuel ou une localisation spécifiques (e.g., Hillyard, Vogel, & Luck, 1998). Un résultat plus précis a récemment été rapporté par des travaux dans lesquels a été testée la variation de l'activation au niveau d'une population neuronale plus large de neurones, et non plus d'un neurone isolé. Ces travaux ont montré que le phénomène d'activation

peut aussi s'expliquer, outre l'augmentation du niveau de l'excitation des neurones, par une augmentation de la sélectivité neuronale pour des objets attendus (Murray & Wojciulik, 2004). A titre d'exemple, l'**amorçage positif** est l'un des phénomènes facilitateurs les plus observés dans un certain nombre de travaux comportementaux : il se traduit par un gain dans la performance (précision et / ou rapidité) face à une cible précédée par une amorce reliée soit « physiquement », soit sémantiquement à cette même cible.

1.2.2. Inhibition (suppression) des stimuli inattendus

Certains processus sélectifs requièrent, outre la facilitation des stimuli pertinents, un processus de suppression. Cette suppression peut porter soit sur les informations non pertinentes (distracteurs), soit sur les informations déjà sélectionnées mais devenues non pertinentes. D'autant plus que quand un distracteur occupe le même endroit que la cible, il devrait aussi recevoir un traitement attentionnel, et dans ce cas de figure, un processus d'atténuation du traitement du distracteur devrait être opérationnel pour favoriser la représentation de la cible pertinente.

Plusieurs manifestations de phénomènes inhibiteurs ont été étudiées dans le domaine de l'attention. Certains de ces phénomènes se déroulent de façon volontaire et consciente : on parle, dans ce cas, d'une inhibition active. Cette dernière s'observe souvent dans des tâches où il s'agit d'inhiber des distracteurs non-pertinents mais relativement assez saillants pour rentrer en compétition avec le traitement de la cible. Le mécanisme neuronal d'**inhibition latérale** (e.g., Ratliff, Knight, & Graham, 1969), qui est considéré comme un facteur médiateur de la compétition, peut expliquer ce phénomène. En effet, les neurones les plus fortement excités vont inhiber les neurones voisins en assurant une sélectivité progressive de la réponse : au plus le neurone est excité, au plus sa force inhibitrice est importante. L'inhibition latérale assure trois fonctions : l'augmentation du contraste, la maximisation de la sélection et l'apprentissage de la sélectivité.

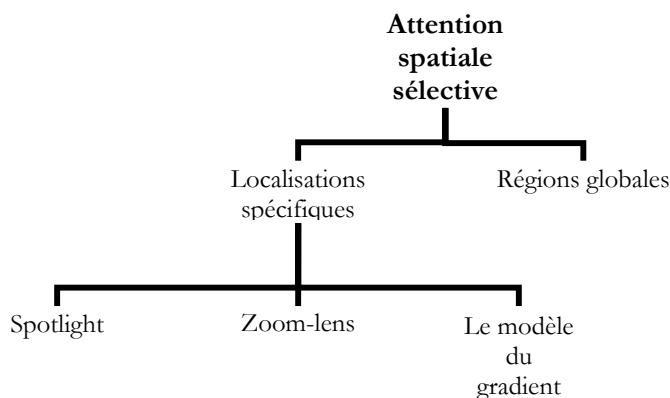
Un autre phénomène d'inhibition est l'**amorçage négatif** (voir Milliken, Joordens, Merikle, & Seiffert, 1998 pour une revue) qui se traduit par un ralentissement dans les réponses aux stimuli ou aux propriétés de stimuli qui ont été précédemment ignorés. Ce phénomène a été originellement constaté dans l'étude princeps de Stroop (1935). Il a présenté à ses sujets des mots tels que bleu, vert, rouge, etc. qui sont imprimés dans une couleur différente de la couleur exprimée par le mot-couleur (e.g., le mot "rouge" imprimé à l'encre bleue). Le temps requis pour nommer la couleur de l'encre avec laquelle le mot-couleur est présenté, est particulièrement lent. Le phénomène d'amorçage négatif a gagné de l'intérêt suite aux travaux de Tipper (Tipper, 1985; Tipper & Cranston, 1985) qui interprète ce mécanisme comme la manifestation d'une intervention centrale du système cognitif en empêchant le traitement d'une information perceptivement non pertinente.

Un autre rôle intéressant de l'inhibition est de nous éviter de revérifier, pendant chaque balayage spatial, les endroits déjà parcourus ou pour lesquels nous avons orienté notre attention. Ce phénomène, très connu dans la littérature, porte le nom de **l'inhibition de retour** (IOR). Il se définit par des réponses lentes envers les endroits qui ont déjà attiré l'attention et il a été montré grâce à un certain nombre de paradigmes de détection avec indiçage ainsi que dans des paradigmes de recherche visuelle (Gibson & Amelio, 2000; Klein, 2000; Posner & Snyder, 1975; Theeuwes & Godijn, 2002). Dans notre travail, il sera question de l'IOR comme outils d'investigation de la dynamique de l'attention spatiale (voir **Chapitre 4**).

2. L'attention spatiale

2.1. Définition et classification

Loin d'être un domaine restreint de la cognition, l'attention est riche en tant que concept mais aussi en tant que capacité cognitive. Dans ce travail, nous allons nous intéresser à l'attention spatiale exogène et à sa capacité à pouvoir moduler la perception des stimuli visuels dans un paradigme d'amorçage rapide avec répétition. Nous présentons dans le diagramme suivant une classification des principaux modèles psychologiques de l'attention spatiale (voir Castiello & Umiltà, 1999; Henderson & Macquistan, 1993). L'intérêt de cette classification est qu'elle se base sur le critère de la taille de la région spatiale dans laquelle les ressources attentionnelles sont allouées. Il existe une approche minoritaire qui considère que les effets de l'orientation attentionnelle ne se produisent que dans des régions larges comme les hémis-champs et les quadrants visuels (voir Hughes & Zimba, 1985, 1987). Quant à l'approche dominante, elle prend, en gros, trois formes différentes : le spotlight, le Zoom-lens et le modèle du gradient.



Le modèle de spotlight (Broadbent, 1982; Posner, Snyder, & Davidson, 1980; Shulman, Remington, & Mclean, 1979) (voir § 1.1.1) conçoit une discontinuité (dichotomie) dans la répartition des ressources attentionnelles. Cette dichotomie correspond, d'une part, à tout ce qui est en-dehors de la zone couverte par le faisceau attentionnel et qui correspond à une zone de pénombre pour le système perceptif et attentionnel. D'autre part, on retrouve ce qui est à l'intérieur du faisceau et qui correspond à la région optimale de mobilisation des ressources attentionnelles et perceptives.

Le modèle de « Zoom-lens », (Eriksen & St. James, 1986; Eriksen & Yeh, 1985; LaBerge, 1983; LaBerge & Brown, 1986) conçoit un continuum spatial dans l'allocation des ressources avec une taille constamment modifiable du « lens ». Pouvant atteindre les deux extrêmes du focus du plus large au plus précis, le « Zoom-lens » permet la concentration d'une quantité considérable de ressources attentionnelles quand il est réduit à un endroit bien précis favorisant ainsi une grande sélectivité de l'information.

Le troisième modèle est celui du gradient attentionnel (Andersen, 1990; Andersen & Kramer, 1993; Henderson, 1991; LaBerge & Brown, 1989; LaBerge, Brown, Carter, Bash, & Hartley, 1991). Il n'est pas fondamentalement si différent du deuxième modèle (« Zoom-lens ») dans la mesure où, historiquement, il a été développé par des auteurs qui ont simultanément utilisé les deux conceptions pour expliquer certains résultats comportementaux. Le gradient, dans ce cas, va du plus concentré au plus diffus en entraînant un certain mouvement spatial du focus attentionnel. Quand l'attention est diffuse, le traitement des éléments de la scène est superficiel mais exhaustif à partir du moment où on arrive à tout capter. Par contre, la situation d'attention focalisée permet un traitement approfondi des éléments sous le faisceau et une négligence progressive des éléments environnants. L'avantage du gradient est qu'il s'ajuste dynamiquement en fonction des contraintes perceptives, permettant ainsi une meilleure flexibilité du système cognitif. Selon ce modèle, plus la taille du focus attentionnel est petite, moins le gradient est flexible, et plus la diminution des ressources en dehors de la zone attendue est importante, et vice versa.

Cette classification, regroupant toutes ses métaphores, peut être testée, discutée et interprétée avec l'étude de l'attention exogène qui est le type d'attention sur lequel porte notre travail de thèse.

2.2. L'attention exogène

Selon Posner (1978, 1980), ce concept d'attention exogène serait relié au domaine de l'orientation attentionnelle et devrait s'opposer à celui d'attention endogène. Ces termes peuvent changer en fonction des cadres théoriques retenus par les auteurs : intrinsèque *vs.* extrinsèque (Milner, 1974). Jonides (1981) fait la distinction entre deux types de mécanismes : d'une part, l'orientation endogène (*top-down*) qui fait référence à l'attention contrôlée et volontairement dirigée dans l'espace, et d'autre part, l'orientation exogène (*bottom-up*) qui concerne l'attention involontaire et automatiquement dirigée dans l'espace.

Un des mécanismes fondamentaux de l'attention exogène est la **capture attentionnelle**. Ce concept s'appuie sur le fait que l'attention peut être dirigée involontairement vers des localisations spatiales différentes à l'aide d'indices informatifs (Eriksen & Hoffman, 1973, Posner, Snyder & Davidson, 1980). Certains auteurs font la distinction entre cette capture attentionnelle qui est basée sur une pure orientation de l'attention (e.g., Theeuwes & Godijn, 2001) et la capture oculomotrice quand un événement ou un objet déclenche une saccade exogène envers leur localisation (Theeuwes, Kramer, Hahn, & Irwin, 1998).

Il est admis initialement que l'affichage d'un changement saillant dans la périphérie du champ visuel entraîne de façon automatique une capture attentionnelle. Jonides (1981) a voulu tester empiriquement cette hypothèse à l'aide d'une tâche de recherche visuelle dans laquelle le sujet observe une disposition en cercle de huit lettres dont chacune est équidistante du point de fixation central. La tâche du participant consiste à appuyer le plus rapidement sur un bouton (gauche ou droit) si, dans chaque disposition, il arrive à identifier la lettre « L » ou « R ».

Avant l'apparition de la lettre, une flèche apparaît de façon brève afin d'indiquer la position où la cible lettre sera affichée. Dans certaines conditions, l'indice est valide et dans d'autres, il se révèle non valide. Cet indice (la flèche) apparaît tantôt au point de fixation (l'indice est central) tantôt près de l'endroit d'apparition de la lettre (l'indice est périphérique). La question est de savoir comment ces deux types d'indice auront des effets différents sur le déploiement de l'attention. Le résultat qui nous intéresse le plus montre que, malgré la relative importance de l'indication central, l'indication périphérique demeure très efficace pour la capture attentionnelle.

Une autre question a été abordée par la suite qui consiste à déterminer la relation entre la capture attentionnelle et la **saillance visuelle**. L'exemple le plus clair est celui où l'on présente des objets qui diffèrent « substantiellement » de ceux qui les entourent. La saillance requiert deux conditions : un stimulus qui diffère de son entourage par quelques dimensions, et un entourage qui est logiquement homogène par rapport à cette dimension (Duncan & Humphreys, 1989). Les stimuli qui remplissent ces critères sont appelés des singletons. L'efficacité de la recherche visuelle des traits du singleton permet d'émettre l'hypothèse que de tels stimuli capturent l'attention (Theeuwes, 2005; Theeuwes & Godijn, 2002; Yantis, 1998).

Un autre paradigme pertinent est celui d'**apparitions visuelles brusques** (*abrupt visual onsets*) (Theeuwes, 1991, 1994; Yantis & Jonides, 1984, 1990, 1996). Il est important pour notre propos, dans la mesure où il explore une dimension essentielle de l'attention exogène : la capture attentionnelle spatiale. Yantis et Jonides (1984) ont systématisé, pour l'étudier, l'utilisation d'un paradigme qui se base sur une tâche de recherche visuelle. Chaque essai commence par l'apparition pendant une seconde d'une configuration spatiale bien déterminée : il s'agit d'une série de trois huit (qui sont similaires à la figure huit d'une montre digitale avec sept segments) formé chacun de segments qu'on peut enlever pour transformer le huit en une lettre (voir Figure 1.1). Cette configuration de trois « huit » est ensuite remplacée par une configuration de lettres. Chaque lettre est formée à partir des

sept segments qui forment chacun des huit de la configuration de départ. Toutes les lettres sauf une viennent s'afficher sur les emplacements déjà occupés par les huit. Ces lettres sont appelées des « *no-onset stimuli* ». Une lettre apparaîtra dans un endroit « vacant » prévu à cet effet ; cette lettre est appelée un « *onset stimulus* ».

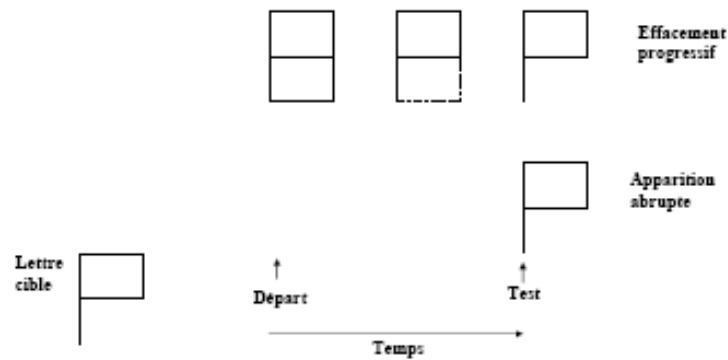


Figure 1.1. Paradigme original d'orientation de l'attention dans une tâche de recherche visuelle (Jonides, 1984).

La tâche du participant consiste à appuyer sur un bouton de réponse dès qu'il perçoit une lettre cible. Le résultat montre que, dans les conditions où on a des « *onset stimuli* », les participants sont plus rapides que dans les cas où on a des « *no-onset stimuli* » ou avec absence d'affichage. Les auteurs ont pu démontrer après une série de travaux ultérieurs que l'apparition brusque (*abrupt onset*) d'un nouvel objet perceptible est un événement perceptif important qui a des conséquences significatives dans le déploiement de l'attention spatiale.

Un circuit neuronal consacré à l'attention exogène devrait se différencier d'un autre propre à l'attention endogène. En effet, les données de la neuropsychologie plaident en faveur d'une distinction fonctionnelle et neuroanatomique entre les mécanismes endogènes et exogènes de l'attention : c'est le cas des patients hémipariétaux (Morrow & Ratcliff, 1988; Posner, Walker, Friedrich, & Rafal, 1984). Il s'agit d'une différenciation qui pourrait suivre une division antéropostérieure où les structures frontales sont réservées à l'attention endogène et les structures pariétales à l'attention exogène (e.g., Siéroff, 2001).

Au niveau expérimental, la technique de l'indication spatiale reste la plus efficace pour évaluer la dynamique de l'attention exogène. Dans le paragraphe suivant, nous introduisons le concept d'indication et une description plus spécifique du paradigme utilisé dans la thèse sera développée en détail dans le **chapitre 2**.

2.2.1. L'indiciage

Les paradigmes mettant en jeu la capture attentionnelle ont amené les chercheurs à se poser la question de savoir ce qui attire l'attention de façon préférentielle : l'objet lui-même ou sa localisation ? Partant de cette distinction, une taxonomie récente proposée par Rauschenberger (2003) nous semble intéressante pour décrire les différents paradigmes qui utilisent différents critères d'indiciage. En effet, le stimulus qui a un rapport avec la capture attentionnelle est appelé indice (*cue*), à ne pas confondre avec celui qui permet d'évaluer généralement la distribution spatiale de l'attention (*probe*).

Les paradigmes traditionnels d'indiciage utilisent des indices spatiaux, ce qui implique une différence entre indice et probe; l'auteur parle dans ce cas d'**allo-indiciage**. Ce terme est introduit par contraste avec les paradigmes attentionnels récents qui utilisent des tâches de recherche visuelle où il n'y a pas de différence entre indice et probe (voir les paradigmes de recherche visuelle avec singleton, Theeuwes, 1991; Theeuwes, 1994). Dans ce cas, il s'agit de l'**auto-indiciage**. Dans le cadre de ce travail, nous avons eu recours à un paradigme standard d'indiciage exogène et nous sommes donc dans un cas d'allo-indiciage. En effet, notre indice est représenté par un symbole (pattern), qui est différent des amorces et des cibles qui sont plutôt des lettres (ou mots) et des pseudo-lettres (ou pseudo-mots).

3. Données récentes sur la modulation attentionnelle des traitements perceptifs précoces

3.1. Les limites des approches classiques

Le niveau préattentif du traitement de l'information a été initialement défini par Neisser (1967). Une des caractéristiques de ce niveau réside dans le fait qu'il implique une capacité illimitée dans le traitement parallèle d'informations spatiales et qu'il opère de façon simultanée et dans différentes positions du champ visuel (Posner, 1980; Posner & Snyder, 1975; Posner, Snyder, & Davidson, 1980; Theeuwes, 1995). Au contraire, le niveau attentif opère sur une partie limitée dans une localisation définie du champ visuel (voir, Treisman & Gelade, 1980). Posner et Snyder (1975), Eysenck (1984), Schneider et Shiffrin (1977) considèrent les processus inconscients comme automatiques et hors de portée du contrôle attentionnel. Certes, la dissociation fonctionnelle entre deux processus indépendants, l'un précoce et l'autre tardif, dans le traitement des informations visuelles est bien établie dans la littérature (e.g., Theeuwes, 1995), mais le recours au concept de « préattentif » pose un problème d'ordre épistémologique.

La question la plus débattue dans l'étude de l'attention visuelle est de savoir si les stimuli visuels captent de façon automatique l'attention indépendamment des buts, des croyances et des intentions de l'observateur. Des travaux récents ont montré une intervention précoce de l'attention qui opère par modulation active des processus perceptifs. Le paradigme attentionnel de recherche de singleton a ouvert la première brèche. Folk et ses collaborateurs (Folk, Remington, & Johnston, 1992),

dans une série d'expériences, ont conclu pour un contrôle top-down sur la capture attentionnelle dans ce paradigme. Leur manipulation se base sur un paradigme d'indication spatial dans lequel les participants doivent ignorer un indice (qui est la caractéristique du singleton à ignorer) qui apparaît pendant 150 ms avant la présentation de la cible. La capture attentionnelle se produit seulement quand l'écran de recherche de la cible est précédé par l'indice qui correspond au singleton recherché par les participants. A titre d'exemple, quand une cible singleton rouge est recherchée, un indice non pertinent rouge qui précède l'affichage de recherche va capter l'attention alors qu'un *onset* non pertinent n'a pas d'effet sur la performance.

Theeuwes et ses collègues (e.g., Theeuwes, 1991, 1994; Theeuwes & Godijn, 2002) ont réussi à montrer - à l'aide du même paradigme, assorti d'une présentation au moment de l'affichage de la cible soit d'un trait visuel du singleton soit d'un autre singleton non pertinent à la tâche mais saillant - que la recherche en parallèle d'un singleton peut capter l'attention de façon purement exogène.

Ce genre de résultats prépare le terrain pour de nouvelles alternatives de recherches qui suggèrent une intervention de l'attention pour moduler des mécanismes perceptifs automatiques voire même subliminaux et prouvent surtout que les mécanismes ascendants dus à la capture attentionnelle et la saillance peuvent contrecarrer les mécanismes descendants (e.g., Itti & Koch, 2000; Kim & Cave, 1999).

3.2. Données neurobiologiques

Posner et Petersen (1990) se sont interrogés sur les éventuelles relations neurobiologiques et fonctionnelles que peuvent entretenir l'attention endogène et l'attention exogène. A partir des données de la neurophysiologie animale, des études conduites sur des sujets normaux avec des techniques de Tomographie par Emission de Positons (TEP) et de l'observation de patients cérébrolésés, ces auteurs ont supposé que les deux systèmes (endogène *vs.* exogène) étaient différents mais bien en interaction. En effet, le système postérieur est impliqué dans l'orientation de l'attention à des localisations différentes en utilisant les opérations d'engagement, de « *shifting* » et de désengagement. Ceci peut s'expliquer par la présence de fortes connexions neuronales entre le lobe pariétal postérieur et des aires du cortex préfrontal, avec des boucles de rétrocontrôle suggérant que le système antérieur est en interaction avec le système postérieur (Peelen, Heslenfeld, & Theeuwes, 2004).

La description la plus appropriée de ces boucles vient de la neurobiologie comportementale qui les assimile à des biais attentionnels. La première mise en évidence de l'existence de ces biais attentionnels est d'ordre physiologique (Luck, Chelazzi, Hillyard, & Desimone, 1997). L'attention spatiale doit impliquer un biais de *feedback* en faveur du stimulus qui est le plus saillant à cause de sa localisation, et ce biais doit donc moduler une interaction compétitive parmi les stimuli attendus et

inattendus dans le champ visuel (Desimone, 1999; Desimone & Duncan, 1995). Ce résultat a été montré au niveau des aires de la voie ventrale.

Plus important encore, cette explication rend compte du « fossé explicatif » entre l'hypothèse d'absence de toute activation des éléments en dehors du « spotlight » et la présence d'un effet global d'activation infraliminale des neurones des champs récepteurs de tous les éléments présents dans le champ visuel. C'est l'affichage du stimulus attendu (ou facilité par un indiçage spatial quelconque) qui va entraîner une sélectivité des neurones ne répondant qu'à ce stimulus pertinent avec une forte activation neuronale. Cette modulation qui survient pour amplifier la sélectivité de l'information saillante répond à ce problème du fossé explicatif et implique la notion du biais attentionnel comme agent modulateur des mécanismes perceptifs.

Au niveau de la voie dorsale, des auteurs comme Moran et Desimone (1985), Luck, Chelazzi, Hillyard et Desimone (1997) ont récompensé, dans l'une de leurs expériences, un animal qui arrivait à apparier la cible et sa bonne localisation dans son champ visuel. Au fur et à mesure que l'expérience avançait, l'animal apprenait à reconnaître cette bonne localisation et à ignorer par ailleurs la cible quand elle était présentée à un emplacement non pertinent. Quand un stimulus (la cible à identifier) est localisé dans le champ récepteur des cellules de l'aire du cortex visuel V2 ou de V4 et qu'un autre stimulus (la cible à ignorer) est localisé en dehors de ce champ, le niveau d'excitation des neurones est plus fort quand l'attention est dirigée vers un endroit du champ récepteur plutôt que vers un endroit situé à l'extérieur de ce champ (voir Figure 1.2).

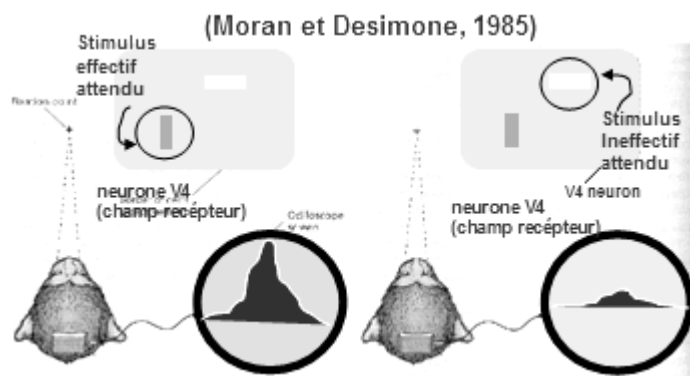


Figure 1.2. Données empiriques en faveur de la compétition biaisée. Quand le stimulus est dans le champ récepteur (CR), il y a augmentation du niveau d'excitation neuronale et amplification attentionnelle. Quand le stimulus est en dehors du CR, il y a atténuation du signal par suppression inhibitrice.

Grâce à des travaux récents en modélisation neuro-computationnelle, le cadre théorique de compétition biaisée (*biased competition framework*) devient de plus en plus influent (voir Corchs & Deco, 2004; Kastner & Ungerleider, 2001; Rolls & Deco., 2002). Selon cette approche, l'attention visuelle repose sur le fait que les processus de sélection attentionnelle opèrent de façon parallèle en biaisant une interaction compétitive survenant entre plusieurs stimuli dans le champ visuel. Le contrôle exogène est possible avec cette approche qui rend compte avec plus de plausibilité neurobiologique

d'un nombre important de résultats comportementaux observés avec des manipulations de l'attention exogène.

Si l'exclusivité du contrôle attentionnel était auparavant réservée à des aires essentiellement frontales, des travaux récents tendent de plus en plus à démontrer l'existence de boucles de rétrocontrôle au niveau postérieur. Ce genre de résultat a des conséquences sur le rôle que peuvent jouer les mécanismes « bottom-up » dans la régulation des traitements perceptifs. En imagerie cérébrale, Shon, Ursu, Anderson, Stenger et Carter (2000) ont montré que, dans une tâche de « *switching* », les participants placés dans la condition où ils sont avertis des événements qui vont apparaître manifestent une forte activation des zones du cortex préfrontal latéral (aires de Brodmann 46/45) et du cortex postérieur pariétal (aire 40). Ces zones seraient donc responsables de la préparation endogène. Néanmoins, dans une condition où les participants ne disposent d'aucune information sur la tâche, les zones les plus activées en général sont le cortex préfrontal supérieur (aire 8) et le cortex pariétal postérieur (aires 39/40). Ces zones seraient donc responsables de l'**ajustement exogène**.

3.3. Données comportementales

C'est toujours par rapport au concept-clé de « modulation » que nous allons nous orienter dans la présentation des quelques travaux qui se sont penchés sur le rôle modulateur de l'attention pour certains mécanismes perceptifs subliminaux. Dans des études récentes, on démontre progressivement une intervention très précoce, par rapport aux attentes de la littérature classique, du contrôle attentionnel. Par exemple, Joseph, Chun et Nakayama (1997) ont montré que les performances dans une tâche de recherche visuelle des traits, tâche considérée comme indépendante des ressources attentionnelles, sont altérées par une charge attentionnelle suffisamment exigeante. Dans le cadre de ma thèse, je me suis intéressé au rôle modulateur de l'attention spatiale des effets d'amorçage subliminal masqué avec répétition (voir **Chapitre 2** pour une description du paradigme). Par rapport à ce type d'amorçage, nous présentons en un premier temps les travaux relatifs à la modulation temporelle suivie de ceux relatifs à la modulation spatiale.

3.3.1 Modulation temporelle de l'amorçage masqué

Récemment, Naccache, Blandin et Dehaene (2002), ont montré qu'il existe une possibilité de modulation attentionnelle temporelle pour la reconnaissance des chiffres dans un paradigme d'amorçage. Ils partent du fait que, dans la majorité des expériences avec amorçage masqué, les participants mobilisent un effort considérable pour focaliser leur attention temporelle sur la fenêtre de temps concordant à l'apparition de la cible. Selon les auteurs, la plupart des paradigmes qui utilisent l'amorçage masqué ont recours à des moments d'apparition des amorces et des cibles non aléatoire.

A l'aide des trois conditions suivantes : amorce fixe- cible fixe / amorce fixe- cible variable / amorce variable- cible fixe, Naccache et al. (2002) ont voulu tester à quel point les effets d'amorçage peuvent disparaître quand l'attention temporelle est éloignée du moment d'apparition de l'amorce. En effet, en faisant varier, ensemble ou séparément, le moment d'apparition de l'amorce et/ou de la cible, ils ont pu obtenir cette modulation à un niveau précoce avec une durée d'amorce courte et pour les SOAs suivants : 100 ms, 384 ms et 739 ms.

Dans une première expérience, ils ont manipulé la prédictibilité de l'occurrence de la cible. Les participants sont plus rapides à répondre aux cibles dans les conditions prédictibles que dans les conditions non prédictibles dans le temps. Cette première expérience nous montre que les effets d'amorçage sont observés uniquement dans les deux conditions où la cible est fixe. Dans une deuxième expérience, et à l'aide d'indices exogènes (carrés noirs) qui signalent le début de l'apparition d'un tiers des cibles, les participants répondent plus rapidement aux essais indicés qu'à ceux non indicés. De plus, l'amorçage inconscient n'apparaît que dans les essais indicés. Finalement, des indices verbaux endogènes (e.g., le mot « tôt » ou « tard ») sont utilisés pour signaler avec un pourcentage de 80% de validité le début d'apparition de la cible. Encore une fois, l'amorçage inconscient apparaît de façon exclusive dans les essais indicés.

Une réplique du même paradigme utilisé par Naccache et al. (2002) a été effectuée par Fabre, Lemaire et Grainger (2007) dans une étude comparative entre personnes jeunes et âgées. Leurs résultats vont également dans le sens d'une modulation attentionnelle temporelle des effets d'amorçage (plus spécifiquement l'amorçage catégoriel) avec une sensibilité plus prononcée des personnes âgées aux manipulations spatiales par rapport aux individus jeunes.

3.3.2. Modulation spatiale de l'amorçage masqué

Sur le versant spatial de la modulation attentionnelle, des travaux plus récents ont montré que la modulation de l'amorçage peut être déterminée par la validité de l'indication. Lachter, Forster et Ruthruff (2004) ont utilisé, dans une série d'expériences, le paradigme standard d'amorçage masqué dans une tâche de décision lexicale avec des mots. Le but de ces expériences est de déterminer si l'identification des mots non attendus est possible. Dans chacune de ces expériences, ils présentent très brièvement une amorce à une localisation spatiale qui est supposée attendue, ou non. Leur cinquième expérience est la plus comparable aux conditions dans lesquelles nous avons examiné cette question dans notre travail (voir Figure 1.3). Lachter et al. (2004) ont manipulé la validité de l'indice qui précède l'affichage rapide (55 ms) et vertical des amorces (haut vs. bas) et ils ont démontré que les effets de répétition (facilitation du traitement en présence d'amorce et de cible similaires) ne s'observent que si la localisation de l'amorce est validement indiquée. Les auteurs ont trouvé que l'indice exogène est suffisant pour générer des effets significatifs d'amorçage quand l'amorce et la cible occupent des endroits distincts.

A l'aide d'une tâche de dénomination, Besner, Risko et Sklair (2005) ont manipulé, dans deux expériences comportementales, l'indication spatiale dans le but de mettre en évidence un effet de l'attention spatiale sur les effets d'amorçage avec répétition. Leurs indices (50% d'essais valides) apparaissaient de façon verticale soit au-dessus soit en dessous d'un mot cible (voir Figure 1.3) au moment de sa dénomination. Dans leur première expérience, qui est similaire à celle de Lachter et al. (2004) décrite plus haut, les cibles étaient précédées de mots amorces soit identiques (condition avec répétition) soit non (condition sans répétition) aux mots cibles (voir Figure 1.3). Besner et al. ont observé des effets robustes d'amorçage avec répétition en présence d'un indicage valide. Selon ces auteurs, la présentation d'un indice spatial sollicite le déplacement de l'attention vers un endroit marqué par un indice (valide). Besner et al. ont conclu, au vu de ces résultats, que l'attention spatiale peut être considérée comme une condition nécessaire aux processus précoces de la reconnaissance visuelle des mots.

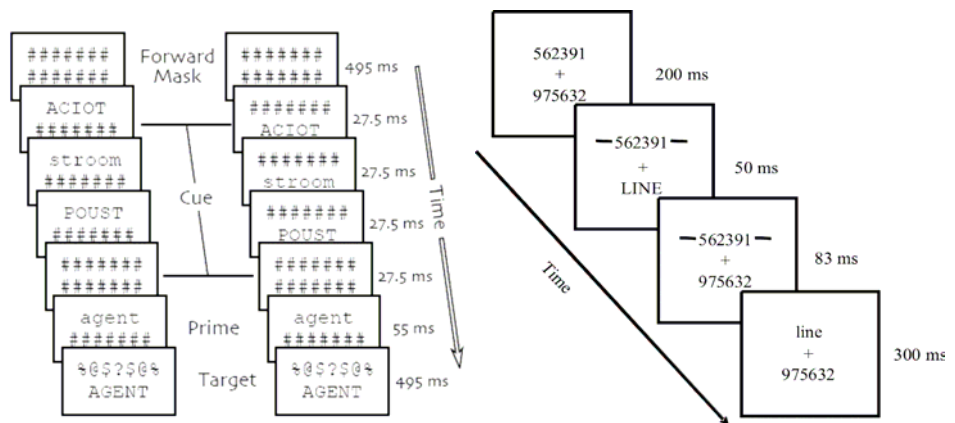


Figure 1.3. Illustrations de la procédure combinant indicage spatial et paradigme d'amorçage masqué avec répétition telle qu'utilisée par Lachter et al. (2004) (à gauche) et par Besner et al. (2005) (à droite).

Après avoir présenté dans ce premier chapitre théorique un aperçu mettant l'accent sur le rôle modulateur de l'attention spatiale, il sera question dans le **chapitre 2** des paradigmes et outils utilisés dans ce travail de thèse pour approfondir cette question de la modulation attentionnelle des effets d'amorçage subliminal masqué avec répétition.

References

- Andersen, G. J. (1990). Focused attention in three-dimensional space. *Perception & Psychophysics*, *47*, 112-120.
- Andersen, G. J., & Kramer, A. F. (1993). Limits of focused attention in three-dimensional space. *Perception & Psychophysics*, *53*(6), 658-667.
- Barlow, H. B. (1972). Single units and sensation: A neuron doctrine for perceptual psychology? *Perception*, *1*(1), 371-394.
- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *59*(2), 99-108.
- Broadbent, D. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Broadbent, D. (1982). Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica*, *50*, 253-290.
- Castiello, U., & Umiltà, C. (1999). Size of the attentional focus and efficiency of processing. *Acta Psychologica*, *73*(3), 195-209.
- Cherry, E. C. (1953). Some experiments upon the recognition of speech, with one and with two ears. *Journal of the Acoustical Society of American Psychologist*, *25*, 975-979.
- Corchs, S., & Deco, G. (2004). Feature-based attention in human visual cortex: simulation of fMRI data. *NeuroImage*, *21*, 36-45.
- Desimone, R. (1999). Attention in extrastriate cortex. In G. W. Humphreys, J. Duncan & A. Treisman (Eds.), *Attention space and action studies in cognitive neuroscience*. New York: Oxford University Press Inc.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, *18*, 193-222.
- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, *96*, 433-458.
- Ericksen, C. W., & Hoffman, J. E. (1973). The extent of processing noise elements during selective encoding from visual displays. *Perception & Psychophysics*, *14*, 299-305.
- Ericksen, C. W., & St. James, J. D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, *40*, 225-240.
- Ericksen, C. W., & Yeh, Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *11*, 583-589.
- Eysenck, M. (1984). Attention and performance limitations. In M. Eysenck (Ed.), *A handbook of cognitive psychology* (pp. 49-77). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Fabre, L., Lemaire, P., & Grainger, J. (2007). Attentional modulation of masked repetition and categorical priming in young and older adults. *Cognition*, *105*(3), 513-532.

- 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 & Performance*, *18*, 1030-1044.
- Gibson, B. S., & Amelio, J. (2000). Inhibition of return and attentional control settings. *Perception & Psychophysics*, *62*, 496-504.
- Henderson, J. M. (1991). Stimulus discrimination following covert attentional orienting to an exogenous cue. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *17*, 91-106.
- Henderson, J. M., & Macquistan, A. D. (1993). The spatial distribution of attention following an exogenous cue. *Perception & Psychophysics*, *53*, 221-230.
- Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: Electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences*, *393*, 1257-1270.
- Hughes, H. C., & Zimba, L. D. (1985). Spatial maps of directed visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *11*, 409-430.
- Hughes, H. C., & Zimba, L. D. (1987). Natural boundaries for the spatial spread of directed attention. *Neuropsychologia*, *25*, 5-18.
- Hummel, J. (1999). The binding problem. In R. A. Wilson & F. C. Keil (Eds.), *The MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences* (pp. 85-86): MIT Press.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). Saliency based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, *40*, 1489-1506.
- James, W. (1890). *The principles of psychology*. New York: Holt.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. IX, pp. 187-203). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Joseph, J. S., Chun, M. M., & Nakayama, K. (1997). Attentional requirements in a 'preattentive' feature search task. *Nature*, *387*, 805-807.
- Kastner, S., & Ungerleider, L. G. (2001). The neural basis of biased competition in human visual cortex. *Neuropsychologia*, *39*, 1263-1276.
- Khaneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kim, M. S., & Cave, K. R. (1999). Top-down and bottom-up attentional control: On the nature of interference from a salient distractor. *Perception & Psychophysics*, *61*, 1009-1023.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(4), 138-146.
- LaBerge, D. (1983). Spatial extent of attention to letters in words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *9*, 371-379.
- LaBerge, D., & Brown, V. (1986). Variations in size of the visual field in which targets are presented: An attentional range effect. *Perception & Psychophysics*, *40*, 188-200.

- LaBerge, D., & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological Review*, *96*, 101-124.
- LaBerge, D., Brown, V., Carter, M., Bash, D., & Hartley, A. (1991). Reducing the effects of adjacent distractors by narrowing attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *17*, 65-76.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review*, *111*(4), 880-913.
- Luck, S. J., Chelazzi, L., Hillyard, S. A., & Desimone, R. (1997). Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2 and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology*, *77*, 24-42.
- Milliken, B., Joordens, S., Merikle, P. M., & Seiffert, A. E. (1998). Selective Attention: A reevaluation of the implications of negative priming. *Psychological Review*, *105*(2), 203-229.
- Milner, P. (1974). A model for visual shape recognition. *Psychological Review*, *81*, 521-535.
- Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, *229*, 782-784.
- Morrow, L. A., & Ratcliff, G. (1988). The disengagement of covert attention and the neglect syndrome. *Psychobiology*, *16*, 261-269.
- Murray, S. O., & Wojciulik, E. (2004). Attention increases neural selectivity in the human lateral occipital complex. *Nature Neuroscience*, *7*(1), 70-74.
- Naccache, L., Blandin, E., & Dehaene, S. (2002). Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological Science*, *13*(5), 416-424.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appeltion-Century.
- Pashler, H. (Ed.). (1998). *Attention*. United Kingdom: Psychology Press.
- Peelen, M. V., Heslenfeld, D. J., & Theeuwes, J. (2004). Endogenous and exogenous attention shifts are modified by the same large-scale neural network. *NeuroImage*, *22*(2), 822-830.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3-25.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick & I. J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, *13*, 25-42.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing & cognition: The Loyola symposium* (pp. 55-85). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 160-174.
- Posner, M. I., Walker, J. A., Friedrich, F. J., & Rafal, R. D. (1984). Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *The Journal of Neuroscience*, *4*, 1863-1874.

- Ratliff, F., Knight, B. W., & Graham, N. (1969). On tuning and amplification by lateral inhibition. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 62(3), 733–740.
- Rauschenberger, R. (2003). Attentional capture by auto- and allo-cues. *Psychonomic Bulletin & Review*, 10(4), 814-842.
- Rolls, E. T., & Deco, G. (2002). *Computational neuroscience of vision*. New York: Oxford University Press Inc.
- Schneider, W., & Shiffrin, R. M. (1977). Controlled and automatic human information: I. Detection, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Shaw, M., & Shaw, P. (1977). Optimal allocation of cognitive resources to spatial locations *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 3, 201-211.
- Shon, M.-H., Ursu, S., Anderson, J. R., Stenger, A., & Carter, C. S. (2000). The role of prefrontal cortex and posterior parietal cortex in task switching. *Proceedings of The National Academy of Sciences*, 97(24), 13448-13453.
- Shulman, G., Remington, R., & Mclean, J. (1979). Moving attention through visual space. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 5, 522-526.
- Siéroff, E. (2001). Attention préparatoire: un nouveau paradigme. *Revue de Neuropsychologie*, 11(2), 283-298.
- Singer, T. (2006). The neural basis and ontogeny of empathy and mind reading: Review of literature and implication for future research. In V. J. Brown & E. Kelley (Eds.), *Methodological and conceptual advances in the study of brain-behaviour dynamics: A multivariate lifespan perspective: Neuroscience and Biobehavioral Reviews* (Vol. 30, pp. 855-863).
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: the effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, 49(1), 83-90.
- Theeuwes, J. (1994). Stimulus-driven capture and attentional set: Selective search for color and visual abrupt onsets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 20, 799-806.
- Theeuwes, J. (1995). Temporal and Spatial Characteristics of Preattentive and Attentive Processing. *Visual Cognition*, 2(2/3), 221-233.
- Theeuwes, J. (2005). Irrelevant Singletons Capture Attention. In G. Itti, G. Rees & J. Tsoto (Eds.), *Neurobiology of Attention* (pp. 418-424). San Diego: Elsevier.
- Theeuwes, J., & Godijn, R. (2001). Attention and oculomotor capture. In C. L. Folk & B. S. Gibson (Eds.), *Attraction, distraction, and action: multiple perspectives on attentional capture* (pp. 121-150): Elsevier Science B.V.
- Theeuwes, J., & Godijn, R. (2002). Irrelevant singletons capture attention: Evidence from inhibition of return. *Psychonomic Bulletin & Review*, 64(5), 764-770.

- Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., & Irwin, D. E. (1998). Our eyes do not always go where we want them to go: capture of the eyes by new objects. *Psychological Science, 9*, 379-385.
- Tipper, S. P. (1985). The negative priming effect: Inhibitory effects of ignored primes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 37(A)*, 571-590.
- Tipper, S. P., & Cranston, M. (1985). Selective attention and priming: Inhibitory and facilitatory effects of ignored primes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 37(A)*, 591-611.
- Treisman, A. M. (2004). Psychological issues in selective attention. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences III* (3 ed.): MIT Press.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology, 12*, 97-136.
- Van der Heijden, A. C. H. (1992). *Selective attention in vision*. London: Routledge.
- Yantis, S. (1998). Control of Visual Attention. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp. 223-256). East Sussex, UK: Psychology Press.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1984). Abrupt visual onsets and selective attention: Evidence from visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 10*, 121-134.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 16(1)*, 121-134.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1996). Attentional Capture by Abrupt Onsets: New Perceptual Objects or Visual Masking? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 22(6)*, 1505-1513.

Chapitre 2

Les paradigmes

1. Le paradigme d'amorçage masqué avec répétition

Le paradigme d'amorçage masqué a été introduit au départ comme outil d'investigation des processus subliminaux. Marcel (1983) a rapporté pour la première fois un résultat original décrivant des effets d'amorçage sémantique sans accès conscient aux amorces. Ce résultat a déclenché un grand débat sur la possibilité d'un traitement inconscient de la sémantique. Cependant d'autres utilisations du même paradigme qui ont suscité moins de débats avaient pour but d'explorer les processus du traitement orthographique. L'étude princeps fut celle de Forster et Davis (1984) qui est devenue aujourd'hui une référence incontournable pour les travaux subséquents utilisant la technique de l'amorçage masqué avec répétition. Ces auteurs ont brillamment combiné le masquage d'une amorce présentée très brièvement avec une durée longue de présentation de la cible qui requiert une réponse comportementale dans une tâche de décision lexicale. Depuis sa première utilisation au début des années 80 (e.g., Evett & Humphreys, 1981), le paradigme d'amorçage masqué est toujours considéré aujourd'hui comme l'un des outils robustes dans l'investigation des processus perceptifs précoces qui interviennent dans la reconnaissance des lettres et des mots (e.g., Holcomb & Grainger, 2006; Humphreys, Evett, & Quinlan, 1990; Jacobs & Grainger, 1991; Peressotti & Grainger, 1999; Seguí & Grainger, 1990).

1.1. L'amorçage subliminal

Étymologiquement le mot subliminal renvoie à quelque chose qui est en dessous du seuil, un seuil qui sépare la conscience de la non-conscience. Les premières études qui portent sur la perception subliminale remontent à la vieille tradition psychophysique (les travaux de Weber et Fechner) qui ont porté sur la mesure du seuil perceptif (*threshold*) nommé parfois seuil physiologique. Le seuil absolu ou

Les paradigmes

seuil du stimulus est défini comme le plus faible niveau d'énergie du stimulus nécessaire pour produire une sensation (Gescheider, 1997). Du moment où la sensibilité d'un organisme envers les stimuli externes tend à fluctuer dans le temps, plusieurs mesures de la valeur du seuil du stimulus sont moyennées afin d'atteindre une mesure précise du seuil absolu. A cet égard les psychologues expérimentalistes distinguent deux types de seuil (e.g., Cheesman & Merikle, 1984, 1986; Merikle & Reingold, 1990; Moore, 1989):

- *le seuil subjectif*, basé empiriquement sur le témoignage verbal du sujet et qui correspond à un niveau ou à une intensité du stimulus pour lesquels le sujet essaie de deviner s'il a vu ou pas quelque chose.
- *le seuil objectif*, basé sur la capacité de discrimination du sujet et qui correspond à un niveau de présentation du stimulus pour lequel le sujet ne peut même pas deviner ou discriminer de façon consciente sa présence de son absence.

Cette manipulation expérimentale consistant à tester les limites de la performance humaine dans la détection des stimulations qui échappent à l'accès conscient du sujet a progressivement pris de l'importance et fut même à l'origine de la théorie du New Look sur la perception (Bruner, 1957).

1.2. Le rôle du masquage visuel

En se basant sur le paradigme original d'amorçage subliminal, Marcel (1983) a rajouté à la procédure un troisième élément qui suit immédiatement l'amorce et qui consiste en une chaîne de lettres aléatoires : il s'agit du masque et plus précisément d'un post-masque (*backward mask*) du moment où cet élément peut aussi venir après l'amorce ou la cible (voir Figure 2.1). Le masquage visuel est un outil psychophysique très efficace dans la compréhension des mécanismes de la vision spatiale (Breitmeyer, 1984) et opérationnellement, on distingue en gros 4 types de post-masquage (voir Breitmeyer & Ogmen, 2000; Enns & Di Lollo, 2000 pour une revue): le *post-masquage de pattern* dont le post-masque couvre entièrement la cible avec un chevauchement spatial très significatif, le *méta-contraste* apparaît quand il n'y a pas une couverture entière de l'espace occupé par la cible, le *post-masquage par structure* dont le post-masque chevauche spatialement tout l'espace de la cible, tout en partageant en commun des traits visuels avec elle et, finalement, le *post-masquage par bruit* (i.e. *four-dot mask*) qui consiste en une configuration aléatoire de points qui chevauche la cible.

Forster et Davis (1984) ont pensé que les effets d'amorçage qu'on observe avec des amorces visibles sont essentiellement dus à une trace de la mémoire épisodique et pour observer des effets de répétition lexicaux, il faut que l'amorce soit suffisamment masquée afin d'empêcher sa visibilité et, par conséquent, tout accès épisodique. Il est question dans ce travail de la technique d'amorçage masqué, ce qui veut dire que les propriétés de masquage qu'on vient de citer vont s'appliquer plutôt sur l'amorce. En effet, le masquage de l'amorce avait pour objectif d'empêcher un traitement sémantique, stratégique ou épisodique de l'amorce. Quand à la cible, elle peut être traitée consciemment et sans

difficulté. La force du masquage est tributaire de l'espace de son recouvrement et de sa saillance perceptive. L'exemple suivant montre quatre versions différentes de masquage de force croissante allant de la série de dièse (1) (*pattern masking*), vers une série de X (2) (proche du masquage avec pattern mais il est formé de la duplication d'une même lettre) ; vers une série de symboles (3) (pattern interprétable mais sans lien avec l'amorce) jusqu'au masquage avec une série de lettres non prononçable (4) (masquage cognitif car il peut interférer avec le traitement de l'amorce).

1. Mot → ##### 2. Mot → XXXXX 3. Mot → \$@§%& 4. Mot → LKGTR

1.3. Le phénomène de répétition

Il est possible de recenser dans la littérature trois dimensions, essentiellement, explorées concernant le rôle de l'amorçage avec répétition: la dimension orthographique, lexicale et sémantique. L'investigation des processus orthographiques par l'amorçage avec répétition s'est avérée la plus consistante et la moins controversée. Forster et Davis (1984) avaient bien préparé le terrain méthodologique d'un tel usage de l'amorçage. La répétition des stimuli amorce et cible avec masquage de l'amorce, s'est révélée d'une importance expérimentale sans précédent vu que cet outil permet d'analyser de façon totalement non invasive les étapes et les formats des représentations dans le traitement de l'information visuelle.

Quelques années plus tard, Seguí et Grainger (1990) ont répliqué les effets de répétition observés par Forster et Davis (1984) en révélant, en plus, l'absence d'interaction entre les effets de répétition et la fréquence des mots. Ils ont fait aussi la distinction entre l'amorçage par répétition (loin-LOIN) et l'amorçage orthographique (e.g., loin-FOIN) où la répétition ne porte que sur une majeure partie des constituants du mot. Cette manipulation avait pour avantage d'étudier les mécanismes par lesquels l'amorçage agit. En effet, quand l'amorce est un pseudo-mot, l'effet d'amorçage est facilitateur ; par contre, quand l'amorce est un mot, l'effet est inhibiteur. En conséquence, le mécanisme de répétition entraîne une pré-activation des voisins orthographiques du mot (e.g., Perea & Rosa, 2000), et selon la répétition du stimulus, l'inhibition produite par les voisins atténuerait le bénéfice lié à la répétition du stimulus. Toujours à l'aide du même paradigme, une extension de ces résultats sur le rôle de la phonologie dans la reconnaissance des mots écrits a été aussi rapportée par Ferrand et Grainger (1992). Outre cet aspect orthographique, les effets de répétition ont été aussi observés dans un paradigme d'amorçage avec répétition sémantique en présence d'objets ou d'images comme stimuli auxquels les sujets n'ont pas un accès conscient (e.g., Bar & Biederman, 1998; Dell'Acqua & Grainger, 1999).

En plus de la mise en évidence comportementale du phénomène de répétition, des preuves neurobiologiques récentes montrent la robustesse de sa trace sur le plan neuronal. Ces résultats étaient pour la plupart motivés par la découverte récente du phénomène neurophysiologique de la **répétition suppression** (voir Desimone, 1996). Ce dernier est considéré d'un point de vue biologique, comme un bon candidat pour être le corrélant neuronal de l'amorçage. En effet, des travaux conduits aussi bien

Les paradigmes

chez l'homme que chez l'animal, ont démontré que la répétition des stimuli entraîne une dynamique corticale qui se traduit par une réduction de l'activité neuronale (e.g., Grill-Spector, Henson, & Martin, 2006; Henson & Mouchlianitis, 2007; Li, Miller, & Desimone, 1993; Naccache & Dehaene, 2001).

D'autres indices électrophysiologiques¹ issus de la technique des potentiels évoqués viennent conforter la consistance de ce phénomène d'amorçage avec répétition, que ce soit pour la reconnaissance des objets (N/P 190) (Eddy, Schmid, & Holcomb, 2006) ou encore dans une tâche de mémoire implicite avec amorçage masqué [différence d'amplitude entre objet répété vs. non répété entre 180 et 240 ms (Zhang, Begleiter, Porjesz, & Litke, 1997). Concernant l'identification des mots, Holcomb et Grainger (2006) ont montré avec un paradigme d'amorçage masqué avec répétition une série de trois composantes précoces dans les potentiels évoqués (P150, N250 et P325) qui reflètent, selon les auteurs, un chevauchement séquentiel des étapes impliquées dans le traitement des mots écrits. On termine avec l'étude récente de Petit, Midgley, Holcomb, et Grainger (2006), dans laquelle les auteurs ont combiné l'amorçage masqué avec la technique des potentiels évoqués dans une tâche de décision alphabétique (identification des lettres isolées). Les résultats ont révélé une cascade de composantes précoces sensibles : au chevauchement des traits physiques entre l'amorce et la cible (autour de 150 ms); aux effets d'amorçage spécifiques à la casse (autour de 200 ms) et aux effets d'amorçage indépendants de la casse (autour de 250 ms).

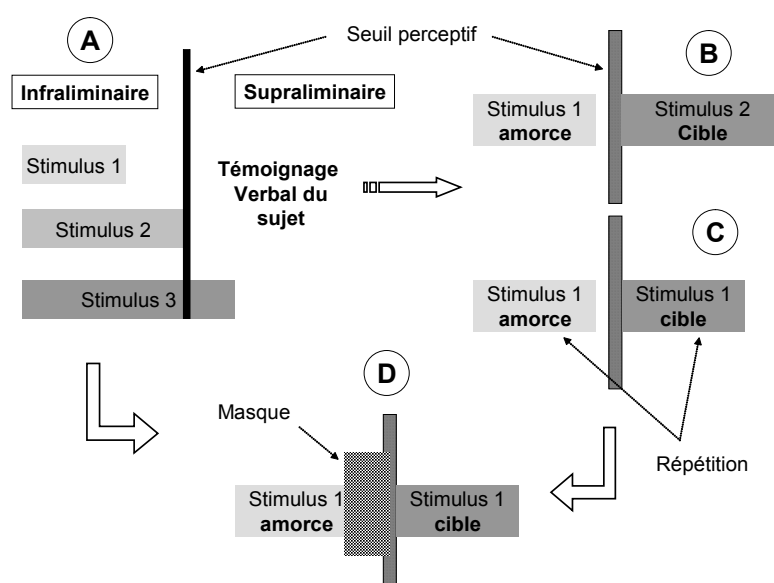


Figure 2.1. Diagramme récapitulatif représentant l'évolution de la technique de présentation subliminale allant de : la méthode psychophysique des seuils (A) → le paradigme d'amorçage subliminal (B) avec deux stimuli successifs : amorce infraliminaire et cible → le paradigme d'amorçage subliminal avec répétition (C) : présentation identique de la même information deux fois de suite → et finalement le paradigme d'amorçage subliminal masqué avec répétition (D) : Présence d'un masque qui empêche toute rémanence ou persistance rétinienne de l'amorce.

¹ Nous rapportons dans le **chapitre 6** de cette thèse une étude qui porte sur la mise en évidence, par la technique des potentiels évoqués, du rôle de la modulation attentionnelle des effets d'amorçage subliminal avec répétition.

2. Le paradigme d'indication de Posner

Vers la fin des années 70, Posner et ses collaborateurs ont développé ce qui est devenu aujourd'hui le paradigme expérimental le plus utilisé pour étudier les mécanismes de l'attention spatiale (e.g., Peelen, Heslenfeld, & Theeuwes, 2004) : il s'agit du paradigme d'indication de Posner (Posner, 1980; Posner & Cohen, 1984).

Malgré sa simplicité, ce paradigme a permis de mettre en évidence de façon « élégante » la distinction entre les mécanismes endogènes et exogènes dans l'attention. On demande aux sujets de répondre le plus rapidement possible dès l'apparition d'un stimulus cible dans leur champ visuel. Juste avant la présentation de la cible, un indice va leur indiquer si la cible apparaît à gauche ou à droite du point de fixation. Les auteurs distinguent deux types d'indice : un indice central, il s'agit d'une flèche présentée en général au même endroit que le point de fixation. Cet indice est un indicateur symbolique de la direction dans laquelle la cible va apparaître. Son interprétation interpelle des processus cognitifs centraux. Le deuxième type d'indice est appelé *indice périphérique* (une brève luminescence), vu qu'il apparaît de part et d'autre du point de fixation. Cet indice n'est pas symbolique car il ne nécessite aucune interprétation ; il détermine directement l'endroit de l'apparition de la cible (Voir Figure 2.2).

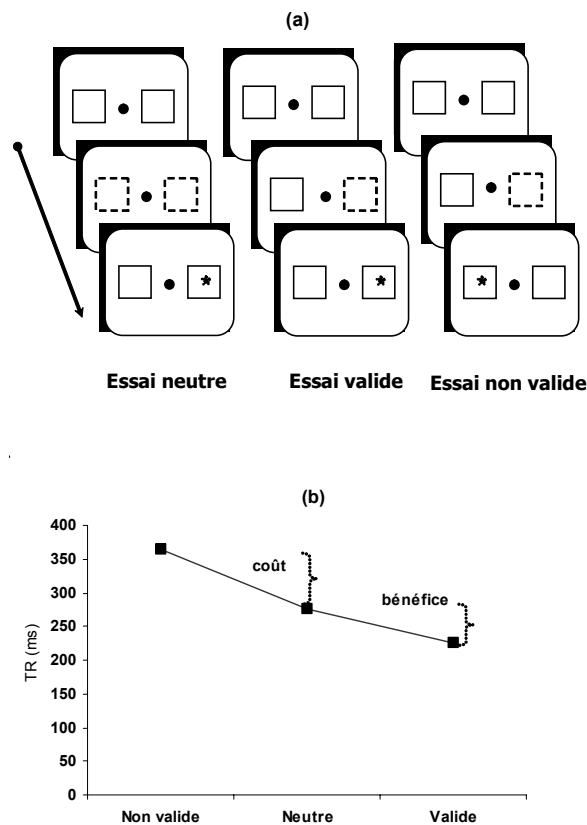


Figure 2.2. Le paradigme original d'indication périphérique (exogène) de Posner (a) et le pattern de résultats typiques mesurés sur les TRs (b) avec un avantage pour la condition valide.

La validité est la probabilité selon laquelle l'indice indique la position où l'indice devrait apparaître. Bien qu'il soit, sur le nombre total des essais, majoritairement valide ; il se présente des cas où il ne l'est pas. Aussi bien pour les indices périphériques que pour les indices centraux, les sujets répondent plus rapidement quand l'indice est valide et ils sont plus lents quand il n'est pas valide.

La majorité des premiers travaux (e.g., Posner, Nissen, & Ogden, 1978; Posner & Snyder, 1975) ont utilisé l'indiçage de la position (*location cueing*) afin d'étudier le bénéfice de l'indiçage valide et les effets négatifs de l'indiçage non valide dans la détection des cibles. L'analyse du bénéfice et du coût a joué un grand rôle dans l'étude des processus attentionnels. Mais des travaux récents ont réussi à démontrer les limites de cette approche (e.g., Jonides & Mack, 1984). En effet, la condition neutre comme ligne de base constitue un problème primordial puisque l'indice neutre est difficile à présenter de façon à ce que la position soit non spécifique (Wright & Ward, 1998). L'élimination de cette condition a permis de mettre en évidence ce que Wright et Richard (1996) appellent la *mesure de l'efficacité de l'indice*.

Des travaux ultérieurs ont montré la différence entre les effets d'indiçage périphérique et central. En effet, quand les indices sont valides pour une proportion faible sur tous les essais, il serait plus avantageux pour les sujets de les ignorer. Cependant, Posner a démontré que si les indices centraux peuvent être ignorés, les indices périphériques ne peuvent pas l'être.

Ces deux types d'indices ont permis de conceptualiser deux systèmes attentionnels différents mais qui interagissent: le système exogène *vs.* le système endogène.

3. Excentricité et lecture

Outre les deux paradigmes déjà mentionnés, nous avons manipulé expérimentalement le facteur de l'excentricité des stimuli et nous considérons cette procédure comme une technique différente de la manipulation de l'attention spatiale. Nous présentons très brièvement dans ce qui suit quelques travaux-clés qui ont attiré l'attention sur l'importance de ce facteur dans la compréhension des propriétés du traitement visuel des objets.

En effet, quand quelqu'un fait bouger ses yeux de la fovéa vers la périphérie, on assiste à un déclin rapide de la densité des photorécepteurs rétiniens (Østerberg, 1935) qui s'explique anatomiquement par une diminution de la densité des cônes (*cone cells*) [sensibles à une stimulation fovéale] et une augmentation de la densité des cellules en bâtonnet (*rod cells*) [sensibles à une stimulation périphérique] (e.g., Curcio & Allen, 1990) (voir Figure 2.3). Cette observation, largement établie et selon laquelle l'acuité visuelle varie en fonction de l'excentricité, a des conséquences importantes sur le traitement de l'information visuelle (Hilz & Cavonius, 1974).

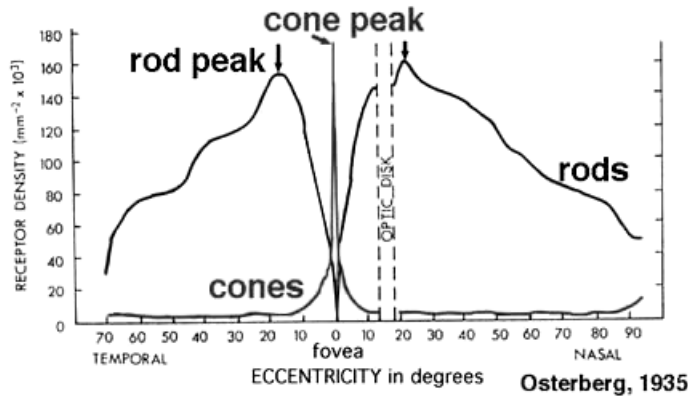


Figure 2.3. Distribution à travers la rétine de la densité des photorécepteurs (cônes et bâtonnets) en fonction de l'excentricité (en degré).

En effet, ce phénomène était constaté en présence de stimuli visuels complexes comme les mots écrits (e.g., Bouma, 1973; Brysbaert, Vitu, & Schroyens, 1996; Lee, Legge, & Ortiz, 2003). Une étude ancienne de Bouma (1970) a montré que l'identification des lettres diminue considérablement avec l'augmentation de l'excentricité. A la même époque, Rayner et Bertera (1979) ont décrit trois régions de l'image rétinienne qui sont impliquées dans la lecture horizontale d'un texte : la fovéa, la parafovea et la périphérie (voir Figure 2.4). La région fovéale est autour de 2° du point de fixation et 10° autour de ce point constitue la parafovea. Toute la région restante constitue la périphérie.

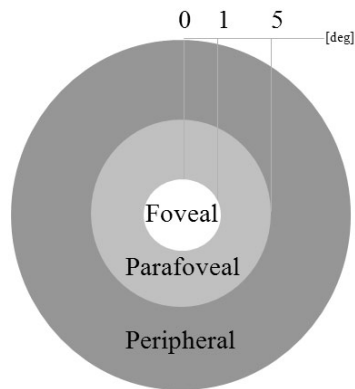


Figure 2.4. Représentation schématique de la fovéa et de l'espace périphérique qui l'entoure en fonction des angles de déviation (en degré) par rapport au centre du champ visuel.

Brysbaert et al. (1996) ont rapporté des effets similaires aux résultats de Bouma (1973) avec les mots : pour une durée fixe d'exposition horizontale du stimulus, plus les mots sont loin du point de fixation, plus difficile sera leur identification. Même de légères manipulations d'excentricité sont capables de produire un traitement coûteux, comme l'ont démontré par des travaux sur la position optimale de fixation (OVP, *Optimal Viewing Position*) (Brysbaert, Vitu, & Schroyens, 1996; Farid &

Les paradigmes

Grainger, 1996; O'Regan & Jacobs, 1992; O'Regan, Levy-Schoen, Pynte, & Brugailière, 1984; Vitu, McConkie, Kerr, & O'Regan, 2001). En outre, Chung, Mansfield et Legge (1998) ont montré que la taille de l'empan visuel décroît de 10 lettres en vision centrale jusqu'à 1.7 lettres à 15° d'excentricité. Chung et al. considèrent ce facteur comme responsable de la réduction de la vitesse de la lecture en vision périphérique.

De même, Abdelnour et Kalloniatis (2001) ont observé que la présentation des stimuli pendant une durée brève de 90 ms sur différentes excentricités rétinienne (0.5; 1; 2; 3; 6 et 8 degrés) présente un déclin rapide de la performance à partir d'un seuil de 2 degrés d'écart par rapport à la fovéa. On peut rajouter aussi que l'effet de fréquence des mots n'interagit pas avec le fait qu'ils soient présentés en vision fovéale ou périphérique (Lee, Legge, & Ortiz, 2003), ce qui signifie que ce facteur psychophysique d'excentricité a moins de chances d'être contaminé par des facteurs linguistiques. Cependant, Lee et al. ont observé que le traitement lexical des mots est plus rapide en région fovéale.

Mises à part ces études expérimentales, des observations neuropsychologiques convergent vers cette conclusion. En effet, les personnes qui ont une baisse d'acuité visuelle (*low vision*) à cause d'une dégénérescence maculaire due à un scotome dans la région centrale du champ visuel (*central-field loss*), présentent, même après entraînement, une performance médiocre en lecture de texte en comparaison de personnes ayant une vision centrale intacte (Faye, 1984; Latham & Whitaker, 1996). Cet argument vient renforcer l'existence d'une grande sensibilité de la fovéa à la tâche de lecture.

A partir de ces travaux qui ont cherché à explorer l'impact de l'excentricité sur l'identification des mots, on peut conclure que la réduction du contraste de l'image rétinienne provoque un rétrécissement de l'empan visuel et, par conséquent, un ralentissement dans la vitesse de la lecture. Ce déclin de la performance affecte particulièrement les positions d'exposition les plus excentrées des mots (e.g., Legge, Ahn, Klitz, & Luebker, 1997; Legge, Mansfield, & Chung, 2001). L'intérêt pour l'excentricité a aussi concerné, outre l'aspect spatial des stimuli, leur aspect temporel. Des travaux ont montré des différences entre la région fovéale et parafovéale quant à la sensibilité aux propriétés temporelles des stimuli (Carrasco, McElree, Denisova, & Giordano, 2003; McKee & Nakayama, 1984).

Ces paradigmes ainsi que leurs différentes possibilités de combinaisons nous procurent une excellente « boîte à outils » qui s'est révélée primordiale dans notre démarche expérimentale.

References

- Abdelnour, O., & Kalloniatis, M. (2001). Word acuity threshold as a function of contrast and retinal eccentricity. *Optometry and Vision Science*, 78, 914-919.
- Bar, M., & Biederman, I. (1998). Subliminal visual priming. *Psychological Science*, 9, 464-469.
- Bouma, H. (1970). Interaction effects in parafoveal letters recognition. *Nature*, 226, 177-178.
- Bouma, H. (1973). Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research*, 13, 767-782.
- Breitmeyer, B. G. (1984). *Visual masking: An integrative approach*. New York: Oxford University Press.
- Breitmeyer, B. G., & Ogmen, H. (2000). Recent models and findings in visual backward masking: A comparison, review, and update. *Perception & Psychophysics*, 62(8), 1572-1595.
- Bruner, J. (1957). On Perceptual Readiness. *Psychological Review*, 65, 14-21.
- Brybaert, M., Vitu, F., & Schroyens, W. (1996). The right visual field advantage and the optimal viewing position: On the relation between foveal and parafoveal word recognition. *Neuropsychology*, 18, 385-395.
- Carrasco, M., McElree, B., Denisova, C., & Giordano, A. M. (2003). Speed of visual processing increases. *Nature Neuroscience*, 6(7), 699-700.
- Cheesman, J., & Merikle, P. M. (1984). Priming with and without awareness. *Perception & Psychophysics*, 36, 387-395.
- Cheesman, J., & Merikle, P. M. (1986). Distinguishing conscious from unconscious perceptual processes. *Canadian Journal of Psychology*, 40, 343-367.
- Chung, S. T. L., Mansfield, S. G., & Legge, G. E. (1998). Psychophysics of reading with a limited number of pixels: The effect of print size on reading speed in normal peripheral vision. *Vision Research*, 38, 2949-2962.
- Curcio, C. A., & Allen, K. A. (1990). Topography of ganglion cells in human retina. *The Journal of Comparative Neurology*, 300, 5-25.
- Dell'Acqua, R., & Grainger, J. (1999). Unconscious semantic priming from pictures. *Cognition*, 73, 1-15.
- Desimone, R. (1996). Neural mechanisms for visual memory and their role in attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 93, 13494-13499.
- Eddy, M., Schmid, A., & Holcomb, P. J. (2006). Masked repetition priming and event-related brain potentials: A new approach for tracking the time-course of object perception. *Psychophysiology*, 43(6), 564-568.
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(9), 345-352.
- Evett, L. J., & Humphreys, G. W. (1981). The use of abstract graphemic information in lexical access. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 33A, 325-350.

Les paradigmes

- Farid, M., & Grainger, J. (1996). How initial fixation position influences visual word recognition: A comparison of French and Arabic. *Brain and Language, 53*, 681-690.
- Faye, E. E. (1984). *Clinical Low Vision*. Boston: Little, Brown.
- Ferrand, L., & Grainger, J. (1992). Phonology and orthography in visual word recognition: Evidence from masked nonword priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 45(A)*, 353-372.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 10*, 680-698.
- Gescheider, G. A. (1997). *Psychophysics the fundamentals* (Third ed.). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Grill-Spector, K., Henson, R., & Martin, A. (2006). Repetition and the brain: neural models of stimulus-specific effects. *Trends in Cognitive Sciences, 10(1)*, 14-21.
- Henson, R. N., & Mouchlianitis, E. (2007). Effect of spatial attention on stimulus-specific haemodynamic repetition effects. *NeuroImage, 35(3)*, 1317-1329.
- Hilz, R. L., & Cavonius, C. R. (1974). Functional organization of the peripheral retina: Sensitivity to periodic stimuli. *Vision Research, 14*, 1333-1337.
- Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2006). On the time-course of visual word recognition: an ERP investigation using masked repetition priming. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18(10)*, 1631-1643.
- Humphreys, G., Evett, L. J., & Quinlan, P. T. (1990). Orthographic processing in visual word identification. *Cognitive Psychology, 22*, 517-560.
- Jacobs, A. M., & Grainger, J. (1991). Automatic letter priming in an alphabetic decision task. *Perception & Psychophysics, 49(1)*, 43-52.
- Jonides, J., & Mack, R. (1984). On the cost and benefit of cost and benefit. *Psychological Bulletin, 96*, 29-44.
- Latham, K., & Whitaker, D. (1996). A comparison of word recognition and reading performance in foveal and peripheral vision. *Vision Research, 36*, 2665-2674.
- Lee, H. W., Legge, G. E., & Ortiz, A. (2003). Is word recognition different in central and peripheral vision? *Vision Research, 43(26)*, 2837-2846.
- Legge, G. E., Ahn, S. J., Klitz, T. S., & Luebker, A. (1997). Psychophysics of reading. XVI. The visual span in normal and low vision. *Vision Research, 37*, 1999-2010.
- Legge, G. E., Mansfield, J. S., & Chung, S. T. L. (2001). Psychophysics of reading XX. Linking letter recognition to reading speed in central and peripheral vision. *Vision Research, 41*, 725-743.
- Li, L., Miller, E. K., & Desimone, R. (1993). The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *Journal of Neurophysiology, 69*, 1918-1929.
- Marcel, A. J. (1983). Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition. *Cognitive Psychology, 15*, 197-237.

- McKee, S. P., & Nakayama, K. (1984). The detection of motion in the peripheral visual field. *Vision Research*, *15*, 25-32.
- Merikle, P. M., & Reingold, E. M. (1990). Recognition and lexical decision without detection: Unconscious perception? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 574-583.
- Moore, T. E. (1989). Subliminal psychodynamic activation and the establishment of thresholds. *American Psychologist*, *44*, 1420-1421.
- Naccache, L., & Dehaene, S. (2001). The priming method: imaging unconscious repetition priming reveals an abstract representation of number in the parietal lobes. *Cerebral Cortex*, *11*, 966-974.
- O'Regan, J. K., & Jacobs, A. M. (1992). Optimal viewing position effect in word recognition: A challenge to current theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *18*, 185-197.
- O'Regan, J. K., Levy-Schoen, A., Pynte, J., & Brugailière, B. (1984). Convenient fixation location within isolated words of different length and structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *10*, 250-257.
- Østerberg, G. A. (1935). Topography of layer rods and cones in the human retina. *Acta Ophthalmology. suppl.*(6), 1-102.
- Peelen, M. V., Heslenfeld, D. J., & Theeuwes, J. (2004). Endogenous and exogenous attention shifts are modified by the same large-scale neural network. *NeuroImage*, *22*(2), 822-830.
- Perea, M., & Rosa, E. (2000). Repetition and form priming interact with neighborhood density at a brief stimulus onset asynchrony. *Psychonomic Bulletin & Review*, *7*, 668-677.
- Peressotti, F., & Grainger, J. (1999). The role of letter identity and letter position in orthographic priming. *Perception & Psychophysics*, *61*, 691-706.
- Petit, J.-P., Midgley, K. J., Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2006). On the time course of letter perception: a masked priming ERP investigation. *Psychonomic Bulletin & Review*, *13*(4), 674-681.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3-25.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). *Attention and performance* (Vol. X). London: Lawrence Erlbaum.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick & I. J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I., & Snyder, C. R. R. (1975). Attention and cognitive control. In R. L. Solso (Ed.), *Information processing & cognition: The Loyola symposium* (pp. 55-85). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Rayner, K., & Bertera, J. H. (1979). Reading without a fovea. *Science*, *206*, 468-469.

Les paradigmes

- Seguì, J., & Grainger, J. (1990). Priming word recognition with orthographic neighbors: effects of relative prime-target frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *16*, 65-76.
- Vitu, F., McConkie, G. W., Kerr, P., & O'Regan, J. K. (2001). Fixation location effects on fixation durations during reading : an inverted optimal viewing position effect. *Vision Research*, *41*(25-26), 3511-3531.
- Wright, R. D., & Richard, C. M. (1996). Inhibition-of-return at multiple locations in visual space. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *50*.
- Wright, R. D., & Ward, L. M. (1998). The control of visual attention. In R. D. Wright (Ed.), *Visual attention*. New York Oxford: Oxford University Press.
- Zhang, X. L., Begleiter, H., Porjesz, B., & Litke, A. (1997). Visual object priming differs from visual word priming: An ERP study. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, *102*, 200-215.

Partie II

*Modulation
attentionnelle
des
mécanismes
d'amorçage
et lettres isolées*

Chapitre 3

La modulation des effets d'amorçage subliminal masqué par indiçage spatial exogène

Résumé. Nous avons combiné dans cette étude le paradigme d'attention spatiale exogène avec le paradigme d'amorçage subliminal avec répétition dans une tâche de décision alphabétique (classification des lettres *vs.* pseudo-lettres). Avec des cibles centrales et des amorces périphériques présentées horizontalement, un bref indice exogène (*abrupt visual onset*) peut être valide ou non valide quant à la position de ces amorces. Dans une analyse ne considérant que les participants qui ont une performance de visibilité des amorces due au hasard, les résultats ont montré la présence d'un effet significatif de l'indiçage spatial exogène dans la modulation des effets inconscients d'amorçage. Ces résultats suggèrent qu'au niveau des premières étapes du traitement de l'information visuelle, un indice exogène amplifie le traitement du signal occupant sa position spatiale, ce qui explique le gain observé dans l'amorçage subliminal. Nos résultats suggèrent aussi que l'indiçage exogène est capable d'affecter la toute première étape du traitement visuel de type « feedforward » dans le cerveau, une voie de traitement considérée comme automatique et inconsciente.

Mots clés : Indiçage exogène; Amorçage masqué avec répétition ; Identification des lettres ; Amorçage subliminal

Abstract. An experiment combined exogenous spatial cueing with masked repetition priming. The task consisted of an alphabetic decision task (letter/pseudo-letter classification) with central targets and peripheral primes that were preceded by a valid or invalid spatial cue in the form of an exogenous abrupt onset. In an analysis including only participants who were not aware of prime stimuli, exogenous location cueing was found to reliably modulate the size of unconscious priming effects. These findings suggest that in early vision the exogenous cue boosts the signal at the location of the cue resulting in a higher gain for the subliminal prime. Our findings therefore suggest that exogenous cueing can affect the first feedforward sweep of information through the brain, a processing stream which is considered to be automatic and unconscious.

Keywords: Exogenous cueing; Masked repetition priming; Letter identification; Subliminal priming



Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming

Yousri Marzouki ^{a,*}, Jonathan Grainger ^b, Jan Theeuwes ^c

^a *Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université de Provence, 3 place Victor Hugo,
13331 Marseille cedex 1, France*

^b *Centre National de la Recherche Scientifique and University of Provence, France*

^c *Cognitive Psychology, Vrije Universiteit Amsterdam, The Netherlands*

Received 29 May 2006; received in revised form 14 November 2006; accepted 16 November 2006
Available online 28 December 2006

Abstract

An experiment combined exogenous spatial cueing with masked repetition priming. The task consisted of an alphabetic decision task (letter/pseudo-letter classification) with central targets and peripheral primes that were preceded by a valid or invalid spatial cue in the form of an exogenous abrupt onset. In an analysis including only participants who were not aware of prime stimuli, exogenous location cueing was found to reliably modulate the size of unconscious priming effects. These findings suggest that in early vision the exogenous cue boosts the signal at the location of the cue resulting in a higher gain for the subliminal prime. Our findings therefore suggest that exogenous cueing can affect the first feedforward sweep of information through the brain, a processing stream which is considered to be automatic and unconscious.

© 2006 Elsevier B.V. All rights reserved.

PsycINFO classification: 2346; 2323; 2340; 2380

Keywords: Exogenous cueing; Masked repetition priming; Letter identification; Subliminal priming

* Corresponding author. Tel.: +33 488 576 892.

E-mail address: yousri.marzouki@up.univ-mrs.fr (Y. Marzouki).

1. Introduction

In the late 1970s and early 1980s, Posner and colleagues (Posner, 1980; Posner & Cohen, 1984; Posner, Snyder, & Davidson, 1980) developed the now classic cueing technique for manipulating spatial attention independently of eye movements. Typically, participants have to detect or discriminate a target and respond manually by pressing the appropriate response keys. The target stimulus is preceded by a cue which provides information about the location of the upcoming target. In a cueing version typically referred to as “endogenous”, a centrally displayed arrow points to the likely target location. Participants are instructed to use the arrow to focus their attention on the cued location before the appearance of the target. In the so-called “exogenous” version of the cueing paradigm, before the appearance of the target, the participant’s attention is pulled to one of the locations by an uninformative peripheral cue (usually an abrupt increase in luminance). The target then appears either at the location of the cue or at the uncued location. The typical finding is that response times are fast and accuracy is high when the cue is valid (i.e., the target appears in the cued location) relative to the condition in which the cue is invalid (the target appears in the uncued location). It is important to note that in exogenous cueing the cue has no predictive value. If, under these circumstances the cue is effective, then the cueing effects are considered the result of a bottom-up and automatic capture of attention (Jonides, 1981; LaBerge, 1981; Theeuwes, 1991; Yantis & Jonides, 1990).

If exogenous cues automatically capture attention, one may ask whether such capture of attention can affect subliminal perceptual processes. In other words, can the allocation of attention affect those perceptual processes that people are not aware of? There is some evidence from neurophysiological investigations that responses to neurons in macaque V4 are enhanced by attracting attention to the location of the stimulus inside the neuron’s receptive field. Appropriate allocation of spatial attention affected neural responses in a manner analogous to increases in contrast luminance (Reynolds, Pasternak, & Desimone, 2000). Similarly, a behavioral study of Carrasco, Ling, and Read (2004) recently showed that location cueing alters apparent stimulus contrast. These findings imply that directing spatial attention results in a greater neuronal sensitivity (i.e., a decreased threshold), changing the strength of the stimulus by increasing its salience. Increased sensitivity following an exogenous spatial cue could also be attributed to a sensory process of focused arousal arising from non-specific sub-cortical (cortico-thalamic) activation (Singer, 1977; Sheer, 1984).

The masked priming paradigm (Forster & Davis, 1984) has proven to be an important tool for investigating subliminal perceptual processes involved in the recognition of complex stimuli such as letters and words. In this paradigm, the prime stimulus is preceded by a pattern mask and followed by a target stimulus that requires a response. Because the prime is presented for a very short duration, participants are typically not aware of the stimulus. Thus, combining masked priming with an attentional cueing procedure allows one to examine whether spatial cueing can influence the processing of subliminally presented stimuli. Several studies using the masked priming paradigm have found evidence that this is indeed the case. Naccache, Blandin, and Dehaene (2002) have shown that a temporal cueing procedure modulates prime processing in a categorical priming experiment with a parity judgment task (odd–even classification of digits). Prime stimuli were either the same (e.g., 3) or different parity (e.g., 4) as target digits (e.g., 7). Significant priming (i.e., same parity advantage) was only obtained when the target appeared at a

predictable moment in time (with the prime in close temporal proximity). This influence of temporal cueing on masked categorical priming has also been found in an event-related potential (ERP) study as a modulation of the size of priming effects on N400 amplitudes (Kiefer & Brendel, 2006). Another behavioral study by Lachter, Forster, and Ruthruff (2004) suggests that the same story holds for spatial cueing. Using standard masked priming and the lexical decision task with word stimuli, they found evidence for repetition priming effects (facilitation when prime and target are the same word compared to when they are different words) only when the prime location was validly cued. Most important for the present study is that in their final experiment Lachter et al. found that a valid exogenous cue was sufficient to generate significant priming when primes and targets occupied distinct spatial locations. There was no difference between the repeated and unrelated primes in the invalid cue condition (see also Besner, Risko, & Sklair, 2005). The results of these studies therefore suggest that in the absence of appropriate cueing (temporal or spatial), masked subliminal prime stimuli do not receive enough processing to subsequently affect target recognition. The spatial cue provides the extra activation input (when the stimulus appears at the cued location) that will allow prime stimuli to be processed to a level that allows appropriate integration with processing of the following target stimulus.

The present study combines a standard exogenous spatial cueing paradigm (Posner & Cohen, 1984) with the fast masked priming paradigm of Forster and Davis (1984) to investigate the modulation of early perceptual processes in the recognition of isolated letters. Following Lachter et al. (2004) Experiment 5 and Besner et al. (2005) Experiment 1, the present experiment aims to provide further support for the modulation of subliminal processing by spatial cues using the masked priming paradigm. Unlike these studies, the present study uses a horizontal rather than vertical displacement relative to fixation. This will allow us to examine the possible interactions of visual hemi-field with attention and priming. Furthermore, in order to increase the likelihood of observing a rapid and accurate shift of spatial attention in such conditions, we chose to use isolated letters rather than word stimuli, since they are more spatially compact.¹ We also opted for a more standard exogenous cueing procedure (compared with the procedure used by Lachter et al., and Besner et al.), using an abrupt onset stimulus manipulation prior to prime presentation. Finally, participants were selected on the basis of their performance in a prime visibility test in order to ensure that none of our participants could process prime stimuli to a level of conscious awareness. We opted for a more conservative measure of prime visibility (i.e., forced-choice performance on prime stimuli) than typically used in masked priming research.

2. Method

2.1. Participants

Twenty-seven individuals (17 females, 10 males, mean age = 23 years), students in psychology, volunteered to participate in the experiment. All participants were right-handed and reported having normal or corrected-to-normal vision. The results of 17 partici-

¹ Recent research in our laboratory has shown that spatial cueing effects are greater with 3-letter compared to 5-letter words.

pants were retained for analysis on the basis of their performance on a visibility test (see below).

2.2. Design and stimuli

Sixteen letters (all consonants) of the Roman alphabet served as targets along with 16 pseudo-letters designed using Font Creator 4.0 software (see Fig. 1 for an example). Each target letter was primed either by the same letter (repetition prime) or a different letter (unrelated prime), defining the two levels of the factor prime relatedness. Target stimuli were always centrally located, and prime stimuli could appear in the right or the left visual field, defining the two levels of the factor prime position. Prior to prime presentation, a cue stimulus appeared either at the same location as the prime (valid cue, 50% of trials) or the opposite location (invalid cue, 50% of trials), defining the two levels of the factor cue validity. It is important to note that since targets appeared centrally, they never appeared at the cued location. Prime relatedness (on 50% of the trials the prime was related to the target) was crossed with prime position and cue validity in a $2 \times 2 \times 2$ factorial design. Sixteen pseudo-letter targets were created for the purposes of the alphabetic decision task. It should be noted that these pseudo-letter targets were distortions of the corresponding letters used as primes (example of related condition with pseudo-letter target: prime: letter b → target: corresponding pseudo-letter b). Each participant was tested in each of the

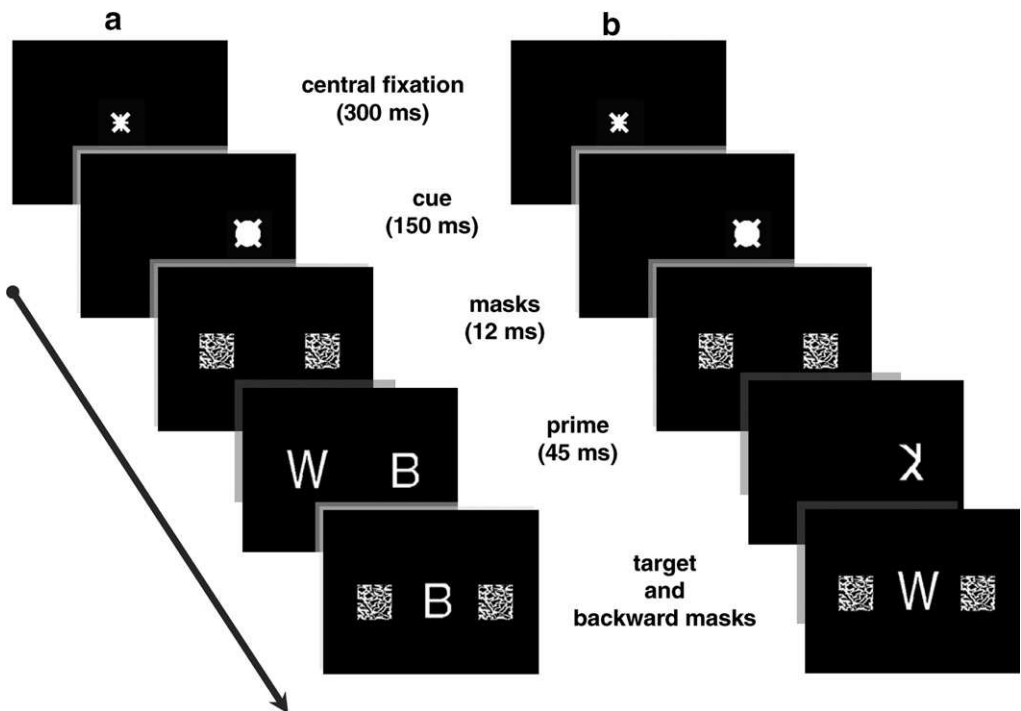


Fig. 1. Structure of a typical trial for the main experiment (a) and the visibility task (b).

eight experimental conditions with the 16 letters and 16 pseudo-letters being repeated eight times during the experiment.

2.3. Procedure

Stimuli were displayed on a computer screen in white on a black background in VGA mode (75 Hz refresh) with constant brightness and contrast of the display. The background luminance of the screen was approximately 1 cd/m^2 and the luminance of all stimuli was approximately 92 cd/m^2 . The procedure is described in Fig. 1a. Each trial began with a central fixation point (an asterisk) for 300 ms. The fixation point was then replaced by a complex geometric form (a cross superimposed upon a filled circle) that constitutes the cue stimulus for 150 ms located at a distance of 3.21° of visual angle at a viewing distance of 80 cm either left or right of fixation. The cue stimulus was replaced by a forward mask consisting of a white square with black crossed stripes which appeared both left and right of fixation at the same eccentricity as the cue for 12 ms. The prime stimulus followed the forward mask and appeared either left or right of fixation accompanied by the letter W in the opposite location. The W opposite stimulus is playing the role of filler to keep similar visual complexity over both left and right visual fields. Prime and W presentation lasted 45 ms and was replaced by the centrally located target stimulus and two peripherally located backward masks that remained on the screen until participants responded.² The experiment was run inside a dimly lit room and was controlled using DMDX software (Forster & Forster, 2003). Participants responded by pressing one of the two joystick triggers with their index fingers: right button for letters and left button for pseudo-letters. Participants first performed a practice session with the complete set of 16 target letters and pseudo-letters, followed by the 256 trials of the main experiment in a random order. After the main experiment, each participant performed a visibility test using exactly the same stimuli and procedure as the main experiment (with manipulations of cue validity and prime position), except that the target stimulus was always the letter W and primes could be letters (on 50% of trials) or pseudo-letters appearing randomly on the right or the left of fixation and with no stimulus on the opposite side (see Fig. 1b). Participants were informed of the presence of prime stimuli appearing right or left of fixation and had to decide if the prime was a letter or a pseudo-letter on every trial (two-alternative forced-choice instructions).

3. Results

3.1. Overall analysis

Before presenting the main analysis involving participants that performed at chance levels (see *visibility test analysis*), we first report an overview of all participants' results. We conducted a repeated measures ANOVA on the RT data for target letters with prime position, cue validity and prime relatedness as factors for the whole group of participants ($N = 27$). There were no significant main effects: cue validity, $F < 1$; prime position,

² The total interval between cue onset and prime offset was 207 ms. This does not allow us to exclude the possible intervention of eye movements, including express saccades, in this type of paradigm (see Findlay & Walker, 1999).

$F(1, 26) = 2.49$, $MSE = 453.8$, $p > .1$; and prime relatedness, $F < 1$. The triple interaction was also not significant, $F < 1$. There was a significant interaction between cue validity and prime relatedness, $F(1, 26) = 4.49$, $MSE = 568.2$, $p < 0.05$ and between prime position and prime relatedness, $F(1, 26) = 9.06$, $MSE = 229.38$, $p = .01$. No significant interaction was observed between cue validity and prime position, $F < 1$. Planned comparisons showed that the priming effect in the presence of a valid cue was not significant ($p > .05$). However, there was a priming effect ($p < 0.05$) for primes presented to the right. The same ANOVA was performed on accuracy data for the whole group and showed no significant simple effect for cue validity, prime position and prime relatedness, $F < 1$. Only the interaction between cue validity and prime relatedness was significant, $F(1, 26) = 5.95$, $MSE = 0.57$, $p < 0.05$.

In order to test for a possible influence of compatibility between cue position (right *versus* left) and response hand (right for letter targets *versus* left for pseudo-letters: i.e., a Simon effect – Simon, 1969) we compared compatible with incompatible conditions. This analysis showed that after averaging across all appropriate conditions with letter and pseudo-letter targets, RTs did not differ significantly when cue position corresponded to the response-hand (RT = 484 ms) compared to when cue position was different from response-hand (RT = 486 ms, $t_{(108)} = -0.86$, $p > 0.1$). We also tested for a possible influence of the compatibility of prime location (right *versus* left) and response hand (right for letters, left for pseudo-letters).³ In a new ANOVA combining the data for letter and pseudo-letter targets, we redefined the factor prime position in terms of whether or not prime position was compatible with response hand. Although RTs were shorter following compatible primes, this main effect was not significant ($F < 1$). Prime position (compatible or incompatible with response hand) interacted with relatedness, $F(1, 26) = 8.56$, $MSE = 402.89$, $p < 0.05$, with greater priming effects in the compatible condition. However, this interaction was only evident with letter targets, $F(1, 26) = 9.06$, $MSE = 229.38$, $p < 0.01$, and was not significant with pseudo-letter targets, $F(1, 26) = 1.99$, $MSE = 705.85$, $p > .1$. Nevertheless, it is possible that part of the right visual field advantage for priming effects with letter targets is due to prime position–response compatibility influencing performance (e.g., Eimer & Schlaghecken, 1998).

3.2. Visibility test

Each participant's response was analyzed using standard signal-detection ROC (receiver operating characteristic) procedure (e.g., Swets, 1996). For each participant we calculated a confidence interval of the area under curve (AUC).⁴ Only 17 participants at chance

³ We thank F. Schlaghecken for pointing this out. We performed the same analysis on the data of the group of participants retained after the visibility analysis, and this produced the same pattern. Furthermore, an analysis of the priming effect sizes obtained with these participants showed that there was no main effect of prime position (compatible or incompatible with response) for pseudo-letters ($F < 1$), and the apparent inhibitory priming effect with invalid cues and incompatible prime position was not robust, neither for letters ($p > .1$) nor for pseudo-letters ($p > .1$).

⁴ Area under the ROC curve, with standard error (Zhou, Obuchowski, & McClish, 2002). When the variable under study cannot distinguish between the two groups, i.e. where there is no difference between the two distributions, the area will be equal to 0.5 (the ROC curve will coincide with the diagonal). When there is a perfect separation of the values of the two groups, i.e. the distributions do not overlap, the area under the ROC curve equals 1 (the ROC curve will reach the upper left corner of the plot).

Table 1
ROC curve parameters

Participants	Sensitivity	Specificity	Criterion	AUC	95% CI ^a
S1	22.2	96.4	≤682	0.553	[0.424; 0.678] ^b
S2	34.8	94.4	≤683	0.622	[0.492; 0.740] ^b
S3	38.2	100	≤1130	0.672	[0.543; 0.784]
S4	43.2	75	≤768	0.522	[0.394; 0.649] ^b
S5	45.8	81.2	≤724	0.557	[0.428; 0.681] ^b
S6	47.9	68.7	>699	0.511	[0.383; 0.638] ^b
S7	49	80	≤824	0.604	[0.474; 0.724] ^b
S8	56.4	72	≤1017	0.653	[0.523; 0.767]
S9	58.8	84.6	≤877	0.693	[0.565; 0.802]
S10	60	70.6	≤1477	0.662	[0.533; 0.775]
S11	60.9	55.6	≤647	0.562	[0.432; 0.685] ^b
S12	61.8	77.8	≤863	0.743	[0.619; 0.844]
S13	61.9	77.3	≤1236	0.704	[0.577; 0.812]
S14	64.9	63	≤745	0.558	[0.428; 0.682] ^b
S15	65.5	100	≤1105	0.780	[0.659; 0.874]
S16	67.3	73.3	≤783	0.690	[0.563; 0.800]
S17	67.6	48.1	≤659	0.505	[0.377; 0.632] ^b
S18	73.9	55.6	>566	0.611	[0.481; 0.730] ^b
S19	75	83.3	≤837	0.769	[0.647; 0.865]
S20	77.5	42.9	>358	0.595	[0.469; 0.712] ^b
S21	78.4	46.2	≤868	0.587	[0.457; 0.708] ^b
S22	80	41	>529	0.563	[0.433; 0.687] ^b
S23	80.6	48.5	>1289	0.537	[0.408; 0.662] ^b
S24	82.8	40	<1010	0.582	[0.452; 0.704] ^b
S25	83.8	40.7	≤1343	0.580	[0.450; 0.702] ^b
S26	87.5	43.7	≤1380	0.611	[0.481; 0.730] ^b
S27	93	42.9	>556	0.640	[0.510; 0.756]

^a The 95% Confidence Interval for the area can be used to test the hypothesis that the theoretical area is 0.5. If the confidence interval does not include the 0.5 value, then this is evidence that discrimination performance is significantly greater than chance.

^b Selected participants at chance level performance.

level performance in the visibility test were retained for the main analysis presented below (see Table 1). We also performed a *t*-test on the accuracy data in order to compare performance on valid (67.4%) versus invalid (68.8%) trials in the visibility test. There was no reliable difference across these conditions, $t_{(53)} = -0.56$, $p > .1$.

3.3. Main analysis

Table 2 provides the mean correct RTs and percent correct responses to letters and pseudo-letters for each condition in the experiment. Letter targets were responded to more rapidly [$F(1, 32) = 6.2$, $MSE = 13616.74$; $p < 0.05$] and not significantly more accurately ($F < 1$) than pseudo-letter targets. The percentage of errors in the task followed the same general trend as the RT data, indicating the speed was not traded for accuracy. We also analyzed separately the RT data for the sub-group of participants ($N = 10$) who were “aware” of prime stimuli. For these participants, there were no significant interactions between: cue validity and prime position, $F < 1$; cue validity and prime relatedness,

Table 2

Mean reaction times (RT in milliseconds) and accuracy (% error) plus or minus standard errors of the mean for letters and pseudo-letters with participants at chance level performance

Cue	Left prime				Right prime			
	Valid		Invalid		Valid		Invalid	
Prime	Related	Unrelated	Related	Unrelated	Related	Unrelated	Related	Unrelated
<i>Letters</i>								
Mean RT	446.1 ± 9.7	464.9 ± 11.9	456.3 ± 9.38	457.2 ± 10.3	453.2 ± 10.7	461.7 ± 12.5	469.2 ± 13.2	458.4 ± 12.0
% Error	3.2% ± 0.8	6.2% ± 1.5	3.2% ± 0.8	3.9% ± 0.9	3.7% ± 0.9	6.7% ± 1.2	5.5% ± 1.3	3.3% ± 0.8
<i>Pseudo-letters</i>								
Mean RT	494.1 ± 9.5	494.1 ± 11.9	500.7 ± 10.3	492.5 ± 11.1	488.9 ± 13.0	496.1 ± 11.4	491.7 ± 11.7	490.1 ± 8.5
% Error	4.5% ± 1.1	4.5% ± 1.1	3.9% ± 0.9	3.2% ± 0.8	4.5% ± 1.1	5.6% ± 1.4	3.9% ± 0.9	3.8% ± 0.9

$F < 1$ and between prime position and prime relatedness, $F(1, 9) = 3.19$, $MSE = 343.59$, $p > .1$. In addition, no significant triple interaction was found, $F < 1$.

3.3.1. Letter targets

A repeated measures ANOVA was performed on the RT data for target letters with prime position, cue validity and prime relatedness as factors. There were no significant main effects: cue validity, $F(1, 16) = 1.75$, $MSE = 276.32$, $p > .1$; prime position, $F(1, 16) = 1.37$, $MSE = 498.32$, $p > .1$; and prime relatedness, $F < 1$. The triple interaction was also not significant, $F < 1$. There was a significant interaction between cue validity and prime relatedness, $F(1, 16) = 5.80$, $MSE = 507.81$, $p < 0.05$. Planned comparisons revealed a significant priming effect in the presence of a valid cue ($p < 0.05$), but not when the cue was invalid ($p > .1$). There was also a significant interaction between prime position and prime relatedness, $F(1, 16) = 5.82$, $MSE = 176.63$, $p < 0.05$. Planned comparisons further revealed a significant priming effect when primes were presented on the right ($p < 0.05$), but not when they appeared on the left ($p > .1$). The accuracy data showed no main effects: cue validity, $F < 1$; prime position, $F(1, 16) = 1.07$, $MSE = 0.47$, $p > .1$; and prime relatedness, $F < 1$. Also, no second order interaction was significant: cue validity \times prime

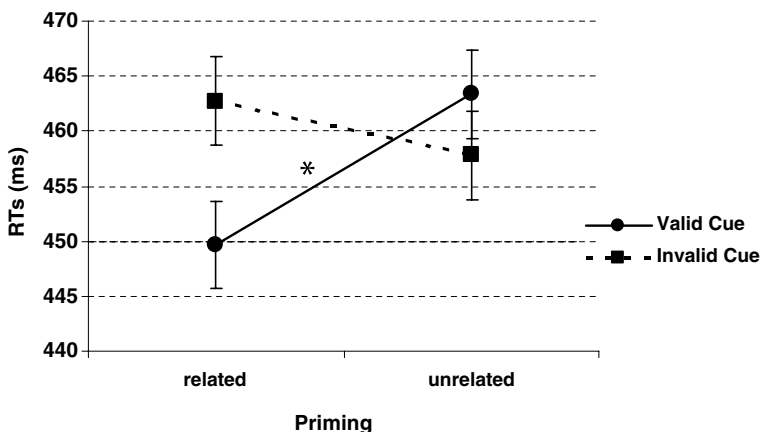


Fig. 2. Interaction between priming and cue validity. Significant priming effect is indicated by asterisk ($*p < 0.05$).

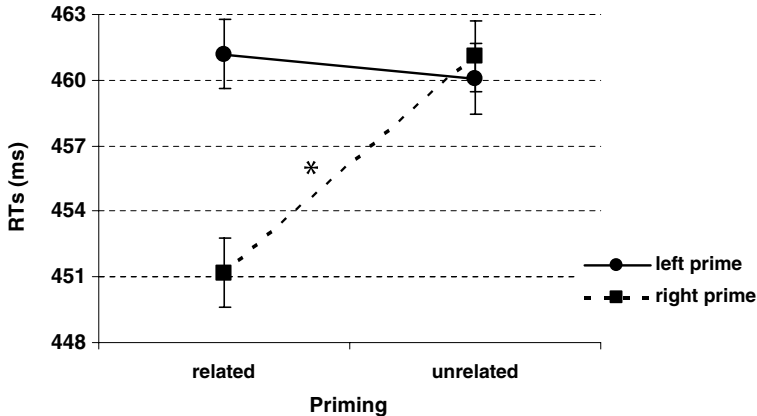


Fig. 3. Interaction between prime position and priming. Significant priming effect is indicated by asterisk ($*p < 0.05$).

position, $F < 1$; and prime position \times prime relatedness, $F(1, 16) = 1.2$, $MSE = 0.73$, $p > .1$; except for the marginally significant interaction between cue validity and prime relatedness, $F(1, 16) = 4.46$, $MSE = 2.94$, $p > .05$. Finally, there was no reliable third order interaction between the three experimental factors, $F(1, 16) = 2.3$, $MSE = 1.06$, $p > .1$ (see Figs. 2 and 3).

3.3.2. Pseudo-letter targets

Analyses on RTs and accuracy data showed no main effects (all $F_s < 1$), and no significant second order or triple interaction.

4. Discussion

It is well known that a visual stimulus that suddenly appears (i.e., an abrupt onset) can capture our attention (Theeuwes, 1991) or even our eyes (Theeuwes, Kramer, Hahn, & Irwin, 1998). The present study demonstrates the effectiveness of exogenous cueing showing a classic exogenous cueing benefit. However, the most important finding of the present study is the demonstration that a location cueing benefit also occurs for stimuli that we are not aware of. In our study, the cueing benefit arose during the processing of subliminally presented prime stimuli. Processing of these unconscious stimuli was improved in the presence of a valid spatial cue, leading to a stronger priming effect in this condition. The fact that exogenous spatial cueing can influence the processing of stimuli that we are not aware of, strongly suggests that this exogenous cueing effect occurs early in processing. Therefore, these results are consistent with previous findings showing that an abrupt onset cue can boost the signal by increasing the effective stimulus contrast (Martinez-Trujillo & Treue, 2002; Reynolds et al., 2000), increase its sensory gain (Hillyard, Vogel, & Luck, 1998) or contrast sensitivity (Carrasco et al., 2004), and hence increase the interfering capacity of a stimulus (Mounts & Tomaselli, 2005). Our results are also in line with a recent event-related fMRI study by (Liu, Pestilli, & Carrasco, 2005) who showed that exogenous cueing (unpredictable abrupt onset cue) produced a large fMRI response in

early visual areas. This enhancement in neural activity progressively increased from striate to extrastriate cortex.

The current findings suggest that in early vision the exogenous cue boosts the signal at the location of the cue resulting in a higher gain for the subliminal prime. This higher gain in prime processing results in a greater priming effect (difference between repeated and unrepeated primes) on the processing of upcoming targets. However, because the prime is immediately masked, the prime remains unconscious. In terms of models that assume that recurrent processing is necessary for awareness (e.g., Lamme, 2001; Lamme & Roelfsema, 2000), the mask disrupts recurrent interaction between higher and lower visual areas (e.g., Enns & Di Lollo, 2000). Because recurrent processing is blocked, the prime cannot enter consciousness. In line with the distinction between feedforward and recurrent processing to explain conscious and unconscious vision (e.g., Lamme, 2003; Lamme & Roelfsema, 2000), our findings suggest that unconscious vision can be affected by exogenous cueing. In other words, exogenous cueing can affect the first feedforward sweep of information through the brain, a processing stream which is considered to be automatic and unconscious. The present findings are therefore consistent with the recent studies of Koivisto and colleagues (Koivisto, Revonsuo, & Lehtonen, 2005; Koivisto, Revonsuo, & Salminen, 2005) showing that early effects of attention are elicited regardless of the presence or absence of awareness.

With respect to research on letter and word perception, the present experiment replicates and extends (to the case of isolated letter stimuli, and horizontal rather than vertical displacement) the findings of Lachter et al. (2004) and Besner et al. (2005) showing a significant modulation of masked repetition priming by an exogenous spatial cue. The present study provides a further confirmation of such spatial cueing effects observed under more tightly controlled experimental conditions, particularly with respect to the evaluation of prime visibility. Note that we only analyzed the data of participants that were at chance level on the prime visibility test, in an attempt to ensure that the primes were indeed processed subliminally.

A further contribution of the present study is that since all targets were centrally located, our results show that peripheral exogenous cueing can override the endogenous cueing effects generated by the target stimuli themselves. Targets were the only relevant stimuli in the experiment; therefore, participants could have successfully performed the experiment with attention focused at the target location. Given our attempt to ensure that primes were not consciously perceived by our participants, it is very unlikely that any of the participants retained for analysis were ever aware that primes were sometimes the same letter as targets.

Finally, the present experiment employed a horizontal manipulation of prime location relative to centrally located targets, and found a significant influence of visual hemi-field. Repetition priming effects were only robust when primes appeared in the right visual field (RVF). Indeed, although the triple interaction was not significant, an inspection of the simple effects shows that the strongest priming arises with a combination of both a valid cue and right visual field presentation. When primes appear on the right but with an invalid cue, then there is no hint of a priming effect. The effects of prime position found with letter targets could be due to the fact that RVF primes were compatible with response hand (right hand for letter targets). However, the effects of compatibility across prime position and response hand were not significant for pseudo-letter targets. Therefore, although perception–action compatibility effects could be partly responsible for the

RVF advantage found in priming with letter targets, it is likely that at least part of the effect is due to an attentional bias in favor of RVF (Ducrot & Grainger, in press; Kinsbourne, 1970; McCann, Folk, & Johnston, 1992; Mondor & Bryden, 1992; Nicholls & Wood, 1998; Ortells, Tudela, Noguera, & Abad, 1998). The attentional bias to the right could be the result of the reading habits of our participants who were all native speakers of French, a language that is read from left-to-right. Thus, a parsimonious explanation for the present pattern of results is that attentional mechanisms underlie both the effects of cueing and the effects of visual field. Spatial attention would be more rapidly and accurately allocated to a location right of fixation than to a location left of fixation.

References

- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *59*(2), 99–108.
- Carrasco, M., Ling, S., & Read, S. (2004). Attention alters appearance. *Nature Neuroscience*, *7*, 308–313.
- Ducrot, S. & Grainger, J., Deployment of spatial attention to words in central and peripheral vision. *Perception & Psychophysics*, in press.
- Eimer, M., & Schlaghecken, F. (1998). Effects of masked stimuli on motor activation: behavioural and electrophysiological evidence. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1737–1747.
- Enns, J. T., & Di Lollo, V. (2000). What's new in visual masking? *Trends in Cognitive Sciences*, *4*(9), 345–352.
- Findlay, J. M., & Walker, R. (1999). A model of saccade generation based on parallel processing and competitive inhibition. *Behavioral and Brain Sciences*, *22*(4), 661–721.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *10*, 680–698.
- Forster, K. I., & Forster, J. (2003). DMDX: a Windows display program with millisecond accuracy. *Behavioral Research Methods: Instruments and Computers*, *35*, 116–124.
- Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences*, *393*, 1257–1270.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 187–203). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Kiefer, M., & Brendel, D. (2006). Attentional modulation of unconscious “automatic” processes: evidence from event-related potentials in a masked repetition paradigm. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(2), 184–198.
- Koivisto, M., Revonsuo, A., & Lehtonen, M. (2005). Independence of visual awareness from the scope of attention: an electrophysiological study. *Cerebral Cortex*, *16*, 415–424.
- Koivisto, M., Revonsuo, A., & Salminen, N. (2005). Independence of visual awareness from attention at early processing stages. *Neuroreport*, *16*, 817–821.
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, *33*, 193–201.
- LaBerge, D. (1981). Automatic information processing: a review. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 173–186). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review*, *111*, 888–913.
- Lamme, V. A. F. (2001). Blindsight: the role of feedforward and feedback corticocortical connections. *Acta Psychologica*, *107*, 209–228.
- Lamme, V. A. F. (2003). Why visual attention and awareness are different. *Trends in Cognitive Sciences*, *7*(1), 12–18.
- Lamme, V. A., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, *23*(11), 571–579.
- Liu, T., Pestilli, F., & Carrasco, M. (2005). Transient attention enhances perceptual performance and fMRI response in human visual cortex. *Neuron*, *45*, 469–477.
- Martinez-Trujillo, J. C., & Treue, S. (2002). Attention changes apparent stimulus contrast in primate visual cortex. *Neuron*, *35*, 365–370.

- McCann, R. S., Folk, C. L., & Johnston, J. C. (1992). The role of spatial attention in visual word processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *18*, 1015–1029.
- Mondor, T. A., & Bryden, M. P. (1992). On the relation between visual spatial attention and visual field asymmetries. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *44A*(3), 529–555.
- Mounts, J. R. W., & Tomaselli, R. G. (2005). Competition for representation is mediated by relative attentional salience. *Acta Psychologica*, *118*, 261–275.
- Naccache, L., Blandin, E., & Dehaene, S. (2002). Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological Science*, *13*(5), 416–424.
- Nicholls, M. E. R., & Wood, A. G. (1998). The contribution of attention to the right visual field advantage for word recognition. *Brain and Cognition*, *38*, 339–357.
- Ortells, J. J., Tudela, P., Noguera, C., & Abad, M. J.-F. (1998). Attentional orienting within visual field in a lexical decision task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *24*(6), 1675–1689.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *41A*, 19–45.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). *Attention and performance* (Vol. X). London: Lawrence Erlbaum.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 160–174.
- Reynolds, J. H., Pasternak, T., & Desimone, R. (2000). Attention increases sensitivity of V4 neurons. *Neuron*, *26*, 416–424.
- Sheer, D. E. (1984). Focused arousal, 40-Hz EEG and dysfunction. In T. Elbert, B. Rockstroh, & N. Birbaumer (Eds.), *Self-regulation of the brain and behaviour* (pp. 64–84). Berlin: Springer.
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 174–176.
- Singer, W. (1977). Control of thalamic transmission by corticofugal and ascending reticular pathways in the visual system. *Physiological Reviews*, *57*, 386–420.
- Swets, J. A. (1996). *Signal detection theory and ROC analysis in psychology and diagnostics: collected papers*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: the effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, *49*, 83–90.
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., & Irwin, D. E. (1998). Our eyes do not always go where we want them to go: capture of the eyes by new objects. *Psychological Science*, *9*, 379–385.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 121–134.
- Zhou, X. H., Obuchowski, N. A., & McClish, D. K. (2002). *Statistical methods in diagnostic medicine*. New York: Wiley.

Chapitre 4

Inhibition de retour dans l'amorçage subliminal des lettres

Résumé. Nous avons combiné dans cette étude le paradigme d'attention spatiale exogène avec le paradigme d'amorçage subliminal avec répétition dans une tâche de décision alphabétique (classification des lettres *vs.* pseudo-lettres). Avec des cibles centrales et des amorces périphériques présentées horizontalement, un bref indice exogène (*abrupt visual onset*) peut être valide ou non valide en fonction de la position de ces amorces. Nous avons aussi eu recours à un délai relativement long séparant l'affichage de l'indice de celui de l'amorce dans le but d'examiner l'effet de l'Inhibition de Retour (IOR) sur le traitement des amorces subliminales masquées. Plus spécifiquement, la présente étude s'intéresse à l'engagement et au désengagement de l'attention spatiale ainsi qu'à ses effets sur l'amorçage masqué des lettres. Les résultats ont révélé un effet significatif de l'IOR (effet d'amorçage plus large en présence d'indication non valide). Ces effets ne concernent que les amorces présentées dans le champ visuel droit. Les amorces présentées dans le champ visuel gauche montrent uniquement des effets d'amorçage dans la condition d'indication valide. Ces résultats sont interprétés en termes de différence de vitesse d'engagement et de désengagement de l'attention vers les hémis-champs visuels droit et gauche pour les stimuli lettres.

Mots clés : Inhibition de retour; Amorçage masqué avec répétition ; Amorçage subliminal

Abstract. The present study combined exogenous spatial cueing with masked repetition priming to study attentional influences on letter perception. Participants performed an alphabetic decision task (letter *vs.* pseudo-letter classification) with central targets and briefly presented peripherally located primes that were either cued or not cued by an exogenous abrupt onset. The present study used a relatively long delay between cue and prime to investigate the effect of inhibition of return (IOR) on the processing of subliminal masked primes. Specifically, the present study investigated the engagement and disengagement of spatial attention and its effect on masked letter priming. Results showed the presence of a reliable IOR effect (greater priming when primes appeared in the invalid location) that was restricted to primes presented to the right visual field. Primes in the left visual field only showed priming in the valid location. The results are interpreted in terms of a differential speed of engagement and disengagement of attention to the right and left visual fields for alphabetic stimuli.

Keywords: IOR; Masked repetition priming; Subliminal priming

Inhibition of Return in Subliminal Letter Priming²

Yousri Marzouki^{a,}, Jonathan Grainger^{a,b}, & Jan Theeuwes^c*

^a Université de Provence

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université d'Aix-Marseille. 3 place Victor Hugo,
13331 Marseille cedex 1

^{a,b} Centre National de la Recherche Scientifique

^c Vrije Universiteit Amsterdam

Short title: IOR and masked priming

** Corresponding author:*

Yousri Marzouki

yousri.marzouki@univ-provence.fr

² *Paper under revision in ACTA PSYCHOLOGICA*

1. Introduction

Since Forster and Davis' (1984) seminal paper, the fast masked-repetition priming paradigm has become a prominent methodological tool for uncovering early perceptual processes involved in the identification of complex stimuli such as letters and words (e.g., Jacobs & Grainger, 1991; Peressotti & Grainger, 1999; Segui & Grainger, 1990). In this paradigm a briefly presented, pattern-masked prime stimulus is followed by a target stimulus that typically requires some behavioral response. A repetition priming effect is obtained when participants are faster and/or more accurate to respond when prime and target are the same stimulus (repeat condition) compared to when prime and target are different stimuli (unrelated condition). Since these priming effects can be obtained with very brief prime durations (where prime stimuli are not available for conscious report), they are thought to reflect the earliest processing phases involved in identifying familiar forms. In several recent studies described below, this priming paradigm has been successfully combined with spatial cueing procedures in order to examine attentional influences on the earliest phases of letter and word perception.

In the late 1970s and early 1980s, Posner and colleagues (Posner, 1980; Posner & Cohen, 1984; Posner, Snyder, & Davidson, 1980) developed a classic cueing paradigm to assess the operation of top-down (endogenous) and bottom-up (exogenous) attention. This technique has the advantage of manipulating spatial attention independently of eye movements. Typically, participants have to detect or discriminate a target in the periphery and respond manually by pressing the appropriate response keys. The target stimulus is preceded by a cue which provides information about the location of the upcoming target. Two modes of spatial attention were postulated (Jonides, 1981; Posner, 1980): endogenous *versus* exogenous. In a cueing version typically referred to as "endogenous", a symbolic central cue points to the likely target location whereas in the so-called exogenous version, participant's attention is pulled to one of the locations by an uninformative peripheral cue (often an abrupt increase in luminance). With this latter mode of cueing the typical finding is that when the cue is valid (i.e., the target appears in the cued location) response times are fast and accuracy is high relative to the condition in which the cue is invalid (the target appears in the uncued location). It is important to note that in exogenous cueing, the cue has no predictive value since targets appear equally often at cued and un-cued locations. Under these circumstances, any cueing effects are presumably due to bottom-up processing, that is, processing which is assumed to be independent of the observer's goal or intention and resulting from automatic capture of attention (Jonides, 1981; LaBerge, 1981; Theeuwes, 1991; Yantis & Egeth, 1999; Yantis & Jonides, 1990).

In order to study the involvement of spatial attention in letter and word perception, some recent studies have combined the masked priming paradigm with an exogenous cueing procedure. Using a standard masked repetition priming manipulation with word stimuli, two studies have reported evidence for a modulation of priming effects by spatial cues (Besner, Risko, & Sklair, 2005; Lachter, Forster, & Ruthruff, 2004). In these studies, prime words were vertically displaced relative to

a central fixation point at which target words appeared, and repetition priming effects were only robust when attention was directed to the prime's location. Marzouki, Grainger, and Theeuwes (2007) found a similar pattern for single letter stimuli and a horizontal rather than vertical displacement of primes. In this study, centrally presented target letters were preceded by masked letter primes that were either the same letter or a different letter and presented either to the left or to the right of fixation. Prime stimuli always appeared with an irrelevant distracter letter at the opposite location. However, prior to prime presentation, an abrupt onset spatial cue appeared either at the same location as the prime or the opposite location. Prime stimuli that appeared in a validly cued location generated stronger repetition priming than primes that appeared at an invalid location. Moreover, priming effects were found to be significantly stronger for primes that appeared in the right visual field compared with primes that appeared in the left visual field. Marzouki et al. interpreted the latter finding as reflecting a general bias toward the right visual field for linguistic stimuli in languages that are read from left-to-right, such that engagement of attention is faster for stimuli that appear to the right of fixation.

The current study provides an extension of the work of Marzouki et al. (2007). With exogenous cues and letter stimuli, the present study introduces a different attentional manipulation - inhibition of return (IOR). IOR is observed in a modification of the standard exogenous cueing procedure whereby a target follows an uninformative peripheral cue after a relatively long cue to target onset asynchrony (around 300 ms). IOR is said to occur when participants are slower to detect targets appearing at the cued location compared to the uncued location (Posner, Rafal, Choates, & Vaughn, 1985). In order to observe IOR, attention must be shifted to a location in space and subsequently disengaged from that location (see Klein [2000] for a review). What is particularly interesting about IOR is that it occurs only after a reflexive shift of attention towards the critical location and is rarely observed when attention is voluntarily allocated to that location (e.g., Posner & Cohen, 1984; Pratt, Kingstone, & Khoe, 1997). Hence, IOR is assumed to be a result of disengagement following an involuntary shift of spatial attention.

The present study combined IOR with masked repetition priming to examine the dynamics of engagement and disengagement of spatial attention and their influence on the processing of subliminal stimuli. If the engagement and disengagement of attention following an exogenous cue reflect the operation of the same basic mechanism (boosting or diminishing processing of stimuli that appear at a particular location), then we expect to observe an influence of IOR on subliminal priming. More precisely, if IOR leads to a decrease in processing efficiency of stimuli appearing at the cued location, then we expect a decrease in repetition priming effects when primes appear in this location compared to when primes appear in the non-cued location. In this way IOR can be used as a tool to investigate the speed of disengagement of attention from a particular location. Given prior evidence for visual field differences in the effects of spatial cueing and subliminal priming (Marzouki et al., 2007), it is hypothesized that the speed of engagement and disengagement of attention will vary as a function of

the location within the visual field, with faster engagement and disengagement for locations in the right visual field. We therefore expect to observe an interaction between priming effects, visual field, and spatial cueing.

The present experiment uses exactly the same stimuli and procedure as in Marzouki et al. (2007) with two notable differences: a 762 ms delay is introduced between cue and prime onset, and a central cue is introduced between the peripheral cue and the prime stimulus. This is the standard procedure for producing inhibition of return, but in the present study it is induced on subliminal prime stimuli rather than on consciously processed targets.

2. Method

2.1. Participants

Thirty-eight individuals (24 females, 14 males, mean age = 23 years), students in psychology, participated in the experiment for course credit. All participants were right-handed and reported having normal or corrected-to-normal vision.

2.2. Design and stimuli

Sixteen letters (all consonants) of the Roman alphabet served as targets along with sixteen pseudo-letters designed using Font Creator 4.0 software (see Figure 4.1 for an example). Each target letter / pseudo-letter was primed either by the same letter (repetition prime) or a different letter (unrelated prime) defining the two levels of the factor Prime Relatedness. It should be noted that pseudo-letter targets were distortions of the corresponding letters used always as primes (example of related condition with pseudo-letter target- *prime*: letter b → *target*: corresponding pseudo-letter b). Target stimuli were always centrally located, and prime stimuli could appear in the right or the left visual field, defining the two levels of the factor Prime Position. Prior to prime presentation, a cue stimulus appeared either at the same location as the prime (50 % were valid trials) or the opposite location (50 % of invalid trials), defining the two levels of the factor Cue Validity. Prime Relatedness was crossed with Prime Position and Cue Validity in a 2 x 2 x 2 factorial design. Each participant was tested in each of the 8 experimental conditions with the 16 letters and 16 pseudo-letters being repeated 8 times during the experiment giving a total of 32 trials per condition per participant.

2.3. Procedure

Stimuli were displayed on a computer screen in white on a black background in VGA mode (75 Hz refresh). The background luminance of the screen was approximately 1 cd/m² and the luminance of all stimuli was approximately 92 cd/m². The procedure is described in Figure 4.1 (a). Each trial began with a central fixation point (an asterisk) for 300 ms. The fixation point was then replaced by a complex geometric form (a cross superimposed upon a filled circle) that constitutes the cue stimulus for 150 ms located either left or right of fixation at a distance of 3.21° of visual angle (for a viewing

distance of 80 cm). The cue stimulus was replaced by an empty screen during 200 ms and followed by a brief (100 ms) reappearance of the cue at the central fixation³ location which was then replaced by a second empty screen during 300 ms. A forward mask consisting of a white square with black crossed stripes which appeared both left and right of fixation at the same eccentricity as the cue for 12 ms. The prime stimulus followed the forward mask and appeared either left or right of fixation accompanied by the letter W in the opposite location. The irrelevant W stimulus is used to maintain a balance in visual information across the two visual fields, such that only the initial cue stimulus can attract attention to the left or right.

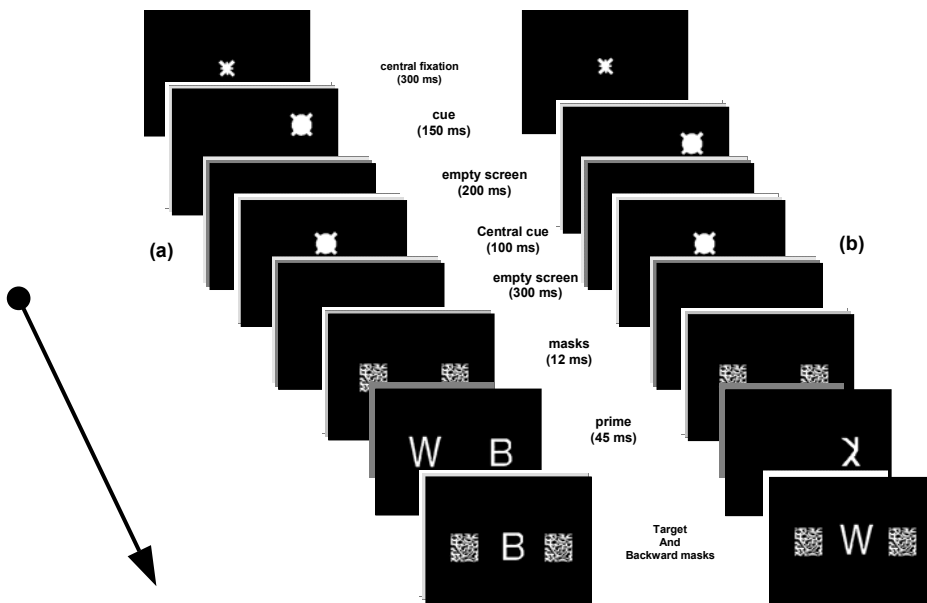


Figure. 4.1. Structure of a typical trial for the main Experiment (a) and visibility task (b).

Prime and W presentation lasted 45 ms and was replaced by the centrally located target stimulus and two peripherally located backward masks that remained on the screen until participants responded.

The experiment was run in a dimly lit room and was controlled using DMDX software (Forster & Forster, 2003). Participants responded by pressing one of two joystick triggers with their index fingers: right button for letters and left button for pseudo-letters. Participants first performed a practice session with the complete set of 16 target letters and pseudo-letters, followed by the 256 trials of the main experiment in random order. After the main experiment, each participant performed a visibility test using exactly the same stimuli and procedure as the main experiment, except that the target stimulus was always the letter W and primes could be letters (on 50% of trials) or pseudo-letters appearing randomly to the right or the left of fixation and with no filler stimulus (i.e., W) on the

³ The central cue acts like another exogenous cue by dragging attention back to the central location, thereby disengaging attention from the peripheral location. This will procedurally allow the occurrence of IOR.

opposite side [see Figure 4.1 (b)]. Participants were informed of the presence of prime stimuli appearing right or left of fixation and had to decide if the prime was a letter or a pseudo-letter on every trial (two-alternative forced-choice instructions).

3. Results

3.1. Main analysis

Table 4.1 provides the mean correct RTs and percent correct responses to letters and pseudo-letters for each condition in the experiment. The RT data were analysed in an ANOVA with Cue Validity, Prime Position, Prime Relatedness, and Target Type (letter *versus* pseudo-letters) as main factors. Letter targets were responded to more rapidly than pseudo-letter targets, $F(1, 74) = 8.91$, $MSE = 18034.09$; $p < .005$. None of the other main effects were significant (all $F_s < 1$).

There was a significant interaction between Prime Relatedness and Target Type, $F(1, 74) = 11.55$, $MSE = 446.13$; $p < .005$. None of the three-way interactions were significant (all $F_s < 1$). Finally, the fourth-order interaction was reliable, $F(1, 74) = 6.57$, $MSE = 407.21$; $p < .05$. This interaction reflects the fact that the triple interaction between Cue Validity, Prime Position, and Prime Relatedness was significant for letter targets, $F(1, 74) = 12.60$, $MSE = 407.21$, $p < .001$, but not for pseudo-letter targets, $F < 1$. The error data showed the same pattern as RTs, indicating an absence of speed-accuracy trade-offs, but there were no main effects or interactions (all $F_s < 1$).

Table 4.1. Mean Reaction Times (RT in milliseconds) and Accuracy (% error) Plus or Minus Standard Errors of the Mean for Letters and Pseudo-Letters.

		Left Prime				Right Prime				
		Cue	Valid		Invalid		Valid		Invalid	
		Prime	related	unrelated	related	unrelated	related	unrelated	related	unrelated
Letters	Mean RT		448.7 ± 7.9	469.5 ± 9.4	451.7 ± 8.3	456.8 ± 8.5	454.3 ± 8.8	452.7 ± 8.1	449.9 ± 8.1	465.5 ± 8.7
	% error		4.0% ± 0.7	5.0% ± 0.8	2.9% ± 0.5	5.0% ± 0.8	5.8% ± 0.9	6.1% ± 1.0	5.8% ± 0.9	5.1% ± 0.8
Pseudo-letters	Mean RT		486.1 ± 8.3	492.5 ± 8.0	491.5 ± 9.8	491.7 ± 9.2	491.1 ± 7.8	488.8 ± 8.6	497.0 ± 9.4	479.1 ± 7.8
	% error		5.1% ± 0.8	5.1% ± 0.8	4.7% ± 0.8	5.4% ± 0.9	4.7% ± 0.8	2.7% ± 0.4	5.9% ± 1.0	4.6% ± 0.7

Giving the peripheral prime presentation (left *vs.* right) and the response hand (right for letter targets *vs.* left for pseudo-letters), a comparison was performed between compatible stimulus-response condition *vs.* the incompatible condition to test a possible occurrence of a Simon effect (Simon, 1969). After averaging across all trials for letters and pseudo-letters, RTs did not differ significantly when the

prime position corresponded to the response-hand (RT= 472.1 ms) compared to when the prime position was different from response-hand (RT = 472.7 ms; $t(303) = 0.32, p > .1$).

3.1.1. Letter analysis

A repeated measures ANOVA was performed on the data for target letters with Cue Validity, Prime Position and Prime Relatedness as factors. There was a main effect of Prime Relatedness, $F(1, 37) = 14.89, MSE= 510.78, p < .0005$, and no effects of either Cue Validity, $F < 1$, or Prime Position, $F < 1$. There was a significant interaction between Cue Validity and Prime Position, $F(1, 37) = 4.26, MSE= 359.91, p < .05$. No reliable interactions were found between Cue Validity and Prime Relatedness, $F < 1$, nor between Prime Position and Prime relatedness, $F(1, 37) = 1.21, MSE= 560.75, p > .1$. However, the triple interaction was significant, $F(1, 37) = 12.41, MSE= 413.5, p < .005$ (see Figure 4.2). The triple interaction reflects the fact that the critical two-way interaction between Cue Validity and Prime Relatedness was significant in the left visual field $F(1, 37) = 6.48, MSE= 358.44, p < .05$, and the right visual field $F(1, 37) = 5.49, MSE= 517.22, p < .05$, but in opposite directions. Post-hoc analyses (Newman-Keuls test) revealed significant priming effects in the valid cue condition when primes appeared on the left ($p < .05$), and in the invalid prime location when primes appeared on the right ($p < .05$).

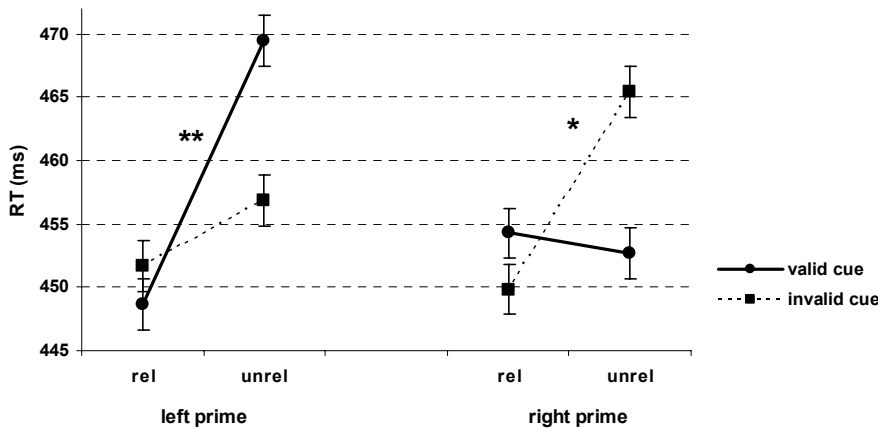


Figure 4.2. Three-way interaction between Cue Validity × Prime Position × Prime Relatedness for all participants. Significant priming effects are indicated by asterisks (* $p < .05$; ** $p < .01$).

In the accuracy data there were no main effects of Cue Validity, $F < 1$, Prime Position, $F < 1$, or Prime Relatedness, $F < 1$. Also, no second-order interactions were significant (Cue validity x Prime Position, $F < 1$; Cue Validity and Prime Relatedness, $F < 1$; Prime Position x Prime Relatedness, $F < 1$). Finally, there was no reliable triple interaction between the three experimental factors, $F(1, 37) = 1.67, MSE= 0.33, p > .1$.

3.1.2. Pseudo-letters analysis

Analyses on RTs showed no main effects of Cue Validity, $F < 1$, Prime Position, $F < 1$, or Prime Relatedness, $F < 1$. No reliable second-order interactions were found (Cue validity and Prime Position, $F < 1$; Cue validity and Prime Relatedness, $F(1, 37) = 1.26$, $MSE = 466.12$, $p > .1$; Prime Position and Prime Relatedness, $F < 1$). Finally, the three-way interaction was not significant, $F < 1$. There were no significant effects in the repeated measures ANOVA on the accuracy data for pseudo-letter targets (Cue Validity, $F(1, 37) = 1.99$, $MSE = 0.42$, $p > .1$; Prime Position, $F < 1$; and Prime Relatedness, $F < 1$). There were no reliable second-order interactions (Cue validity and Prime Position, $F(1, 37) = 1.55$, $MSE = 0.42$, $p > .1$; Cue validity and Prime Relatedness, $F < 1$; Prime Position and Prime Relatedness, $F < 1$), and no significant triple interaction, $F < 1$.

3.2. Visibility test

Each participant's response was analysed using the standard signal-detection ROC (Receiver Operating Characteristic) procedure (e.g., Swets, 1996). For each participant we calculated a confidence interval of the Area Under Curve (AUC)⁴. Twenty-seven participants were at chance level performance (see Table 4.2). An analysis of the RT results for the subgroup of participants at chance level performance showed exactly the same pattern as the whole group (see Figure 4.3).

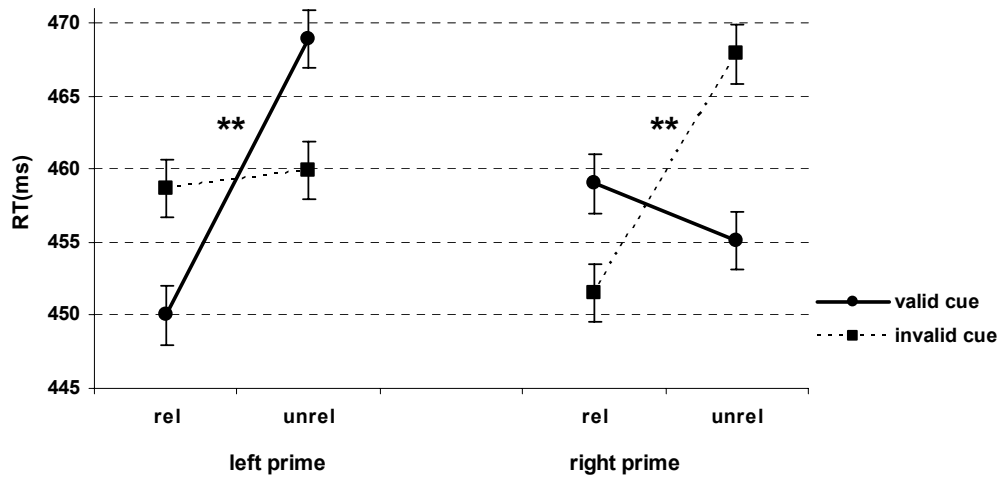


Figure 4.3. Three-way interaction between Cue Validity X Prime Position X Prime Relatedness with participants at chance level of performance in the visibility task. Significant priming effects are indicated by asterisks (** $p < .01$).

⁴ Area Under the ROC Curve, with standard error (Zhou, Obuchowski, & McClish, 2002). When the variable under study cannot distinguish between the two groups, i.e. where there is no difference between the two distributions, the area will be equal to 0.5 (the ROC curve will coincide with the diagonal). When there is a perfect separation of the values of the two groups, i.e. the distributions do not overlap, the area under the ROC curve equals 1 (the ROC curve will reach the upper left corner of the plot).

Table 4.2. ROC curve parameters.

<i>Participants</i>	Sensitivity	Specificity	Criterion	A.U.C	95% C.I. ⁵
S1	100	15.8	>457	.536	[0.407; 0.661]* ⁶
S2	54.2	79.2	≤ 710	.634	[0.529; 0.730]
S3	91.5	25	>415	.497	[0.368; 0.626]*
S4	60.3	54.2	≤ 873	.534	[0.427; 0.638]*
S5	70.0	47.6	≤ 1061	.479	[0.421; 0.684]*
S6	28.6	84.8	≤ 760	.547	[0.438; 0.653]*
S7	54.2	100	≤ 656	.749	[0.623; 0.849]
S8	65.8	79.2	≤ 710	.740	[0.641; 0.824]
S9	88.4	47.4	≤ 1212	.666	[0.535; 0.781]
S10	55.4	65.4	≤ 889	.582	[0.474; 0.684]*
S11	64.7	56.7	>617	.563	[0.433; 0.686]*
S12	80.9	37.9	>501	.511	[0.408; 0.614]*
S13	86.8	63.6	≤ 860	.733	[0.608; 0.836]
S14	48.5	82.8	≤ 716	.676	[0.573; 0.767]
S15	80.5	54.5	≤ 818	.664	[0.533; 0.778]
S16	75.4	36.1	>397	.525	[0.421; 0.627]*
S17	42.9	44.0	≤ 434	.604	[0.469; 0.728]*
S18	52.5	64.7	>726	.564	[0.458; 0.665]*
S19	66.6	66.7	≤ 836	.587	[0.451; 0.714]*
S20	84.7	50.0	>344	.624	[0.519; 0.722]
S21	92.6	30.6	>260	.506	[0.377; 0.634]*
S22	27.6	84.6	>1056	.527	[0.423; 0.629]*
S23	58.1	57.6	>485	.542	[0.413; 0.667]*
S24	47.2	80.0	≤ 582	.591	[0.486; 0.689]*
S25	91.9	40.7	>654	.588	[0.458; 0.689]*
S26	94.2	21.4	≤ 1484	.527	[0.423; 0.629]*
S27	71.1	65.2	>516	.591	[0.458; 0.709]*
S28	35.8	89.7	≤ 706	.590	[0.485; 0.689]*
S29	72.4	53.6	≤ 649	.605	[0.467; 0.732]*
S30	95.1	16.7	≤ 1531	.490	[0.384; 0.597]*
S31	68.4	65.4	>375	.654	[0.525; 0.769]
S32	59.1	56.7	≤ 1001	.540	[0.435; 0.642]*
S33	54.1	65.4	>886	.536	[0.406; 0.662]*
S34	68.7	70.8	≤ 942	.720	[0.616; 0.809]
S35	81.4	52.6	>612	.615	[0.483; 0.736]*
S36	59.4	67.9	≤ 710	.606	[0.501; 0.704]
S37	30.8	82.6	>1201	.491	[0.361; 0.621]*
S38	56.9	59.5	≤ 942	.501	[0.396; 0.605]*

⁵ The 95% Confidence Interval for the area can be used to test the hypothesis that the theoretical area is 0.5. If the confidence interval does not include the 0.5 value, then this is evidence that discrimination performance is significantly greater than chance.

⁶ * Selected participants at chance level performance.

The percentage correct prime classification (letter *vs.* pseudo-letter) obtained in the visibility test were analysed in a 2 (Cue Validity) x 2 (Prime Position) ANOVA (see Table 4.3). The overall analysis with all participants shows no significant main effects of these two factors, $F < 1$, and the interaction was also not reliable, $F(1, 37) = 2.50$, $MSE = 149.82$, $p > .1$. The same analysis was conducted with participants that showed above chance level performance in the visibility test. The repeated measures ANOVA showed similar results with no reliable main effects, $F_s < 1$, and no significant interaction, $F(1, 37) = 1.79$, $MSE = 24.86$, $p > .1$.

Table 4.3. Mean Accuracy (% Correct, 2-AFC) Plus or Minus Standard Errors of the Mean for Letters and Pseudo-Letters in the visibility test with all participants.

	Left Prime		Right Prime	
	Valid Cue ⁷	Invalid Cue	Valid Cue	Invalid Cue
Letters	65.1 % \pm 4.3	57.9 % \pm 4.3	60.9 % \pm 3.9	63.8 % \pm 3.6
Pseudo-letters	68.0 % \pm 3.6	73.0 % \pm 3.6	61.2 % \pm 3.4	64.5 % \pm 3.7

4. Discussion

The present experiment used isolated letter stimuli in a masked repetition priming paradigm with subliminally presented peripherally located primes and an exogenous spatial cueing manipulation. Prior research has shown an influence of exogenous spatial attention on masked repetition priming with word (Besner et al., 2005; Lachter et al., 2004) and letter stimuli (Marzouki et al., 2007). Most relevant for the present study, Marzouki et al. found significant repetition priming only when primes appeared at the cued location. Furthermore, Marzouki et al. only found significant priming effects when primes appeared in the right visual field (RVF), and although the triple interaction between cue validity, visual field, and priming was not significant, the strongest priming effects were clearly observed for primes presented in the RVF following a valid cue.

In the present study we used the same stimuli and procedure as the Marzouki et al. study except that a delay was introduced between offset of the spatial cue and onset of the prime stimulus in order to generate an IOR effect. This manipulation allowed us to further investigate engagement and disengagement mechanisms that are associated with attentional capture, and how such mechanisms influence the processing of masked prime stimuli. The expected IOR effect was obtained for primes presented in the RVF, in that repetition priming was significantly stronger following an invalid cue compared with a valid cue. The occurrence of IOR in a subliminal masked repetition paradigm

⁷ To compare performance on valid *vs.* invalid trials in the visibility test a χ^2 -tests was performed. Results showed absence of significant differences between: valid *vs.* invalid cue for the left letter primes, $\chi^2(1, N = 38) = 0.167$; $p > .1$; and left pseudo-letter primes, $\chi^2(1, N = 38) = 0.05$; $p > .1$ and between: valid *vs.* invalid cue for right letter primes, $\chi^2(1, N = 38) = 0.01$; $p > .1$; and right pseudo-letter primes, $\chi^2(1, N = 38) = 0.01$; $p > .1$

demonstrates that the mechanisms involved in generating IOR can influence the processing of stimuli that are not consciously perceived. The present results and the results of Marzouki et al. (2007) suggest that the engagement of attention following an exogenous cue and its subsequent disengagement following a new exogenous cue can modulate the amount of processing of subliminal prime stimuli. Following engagement of attention at the prime location, prime stimuli benefit from enhanced processing, and the differential influence of related and unrelated primes accrues. Following disengagement of attention from the prime location, prime stimuli suffer from diminished processing and the differential influence of related and unrelated primes decreases. Our results therefore fit well with the proposal (e.g., Handy, Jha, & Mangun, 1999) that IOR modulates processing at a perceptual rather than at a motoric level.

Visual field (LVF *vs.* RVF) strongly influenced whether or not IOR was observed in the present study. Contrary to the IOR effect found for primes presented in the RVF, primes that were presented in the LVF showed a standard cueing benefit with stronger priming effects for primes appearing at the cued location. Thus, in line with the results of Marzouki et al. (2007), the present study also clearly highlights strong visual field differences in the way exogenous attention influences the processing of linguistic stimuli. The strongest priming effects in the Marzouki et al. study were found in the right visual field following a valid cue. This led Marzouki et al. to suggest that speed of allocation of attention following an exogenous cue could be faster to the right than to the left of fixation, given that the stimuli were linguistic in nature and the participants all native speakers of French, a language that is read from left-to-right. This assumption allows us to interpret the visual field differences found in the present study. The presence of a robust effect of IOR requires that attention is already engaged at the prime location when the second disengaging cue appears. This will be the case for cues appearing in the RVF, hence the observed influence of IOR for RVF primes in the present study. However, this might not be the case for cues appearing in the LVF, given the greater time required for attention to be allocated to leftward locations. In this case, the process of attentional engagement to a leftward location might then survive the presence of a central disengaging cue resulting in stronger priming effects when primes appear at the cued location in the LVF.

The present results that show IOR only for RVF primes have important implications for our thinking regarding attentional engagement and disengagement processes. It seems that IOR only occurs when attention is first engaged and later disengaged from the prime location. As noted, on the basis of our previous study (Marzouki et al., 2007), the engagement of attention to the RVF is probably due to the habit of reading from left to right. As noted also, it is generally assumed that IOR at a particular location in space follows only after attention has shifted *reflexively* to that location. Typically, IOR does not follow a shift of attention that is directed voluntarily (Posner & Cohen, 1984; Pratt et al., 1997). The present finding, that the occurrence of IOR is at least to some extent dependent of reading habits, suggests that the radical view that IOR is purely exogenous in nature

needs revision (see also Gibson & Amelio, 2000). Indeed, in line with this conjecture we conducted a follow-up study to examine whether IOR would occur when the cue and prime location were presented vertically (up *vs.* down). This study involving 11 participants showed no reliable IOR effects, suggesting that the occurrence of IOR is indeed tight to the left-to-right reading habit.

We assume that the asymmetrical IOR effect is specific to the processing of linguistic stimuli (i.e., letters and words) and results from a bias generated by reading habits in the processing of written language (Kinsbourne, 1970; McCann, Folk, & Johnston, 1992; Mondor & Bryden, 1992; Nicholls & Wood, 1998; Ortells, Tudela, Noguera, & Abad, 1998). In other words, our participants (who read from left-to-right) appear to be biased to favor new information appearing to the right of fixation, given that this is where the new information is typically located during reading. A recent subliminal cueing study of Mulckhuyse, Talsma, and Theeuwes (2007) is consistent with this idea. They used non-linguistic stimuli such as line orientations and showed subliminal IOR at both sides of the visual field.

Further experimentation comparing linguistic and non-linguistic stimuli, and involving languages that are read from right-to-left, will help answer these important questions. The most important result of the present study is that IOR has been found to modulate priming effects obtained from subliminally presented stimuli, thus demonstrating that this inhibitory attentional mechanism can affect unconscious processing.

References

- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 59*(2), 99-108.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 10*, 680-698.
- Forster, K. I., & Forster, J. (2003). DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavioural Research Methods: Instruments and Computers, 35*, 1257-1270.
- Gibson, B. S., & Amelio, J. (2000). Inhibition of return and attentional control settings. *Perception & Psychophysics, 62*, 496-504.
- Handy, T. C., Jha, A. P., & Mangun, G. R. (1999). Promoting novelty in vision: inhibition of return modulates perceptual-level processing. *Psychological Science, 10*(2), 157-161.
- Jacobs, A. M., & Grainger, J. (1991). Automatic letter priming in an alphabetic decision task. *Perception & Psychophysics, 49*(1), 43-52.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. IX, pp. 187-203). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica, 33*, 193-201.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in Cognitive Sciences, 4*(4), 138-146.
- LaBerge, D. (1981). Automatic information processing: a review. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance IX* (pp. 173-186). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review, 111*(4), 880-913.
- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming. *Acta Psychologica, 126*(1), 34-45.
- McCann, R. S., Folk, C. L., & Johnston, J. C. (1992). The role of spatial attention in visual word processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 18*(4), 1015-1019.
- Mondor, T. A., & Bryden, M. P. (1992). On the relation between visual spatial attention and visual field asymmetries. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 44A*(3), 529-555.
- Mulckhuyse, M., Talsma, D., & Theeuwes, J. (2007). Grabbing attention without knowing: Automatic capture of attention by subliminal spatial cues. *Journal of Vision, 7*(9), 1081a.
- Nicholls, M. E. R., & Wood, A. G. (1998). The contribution of attention to the right visual field advantage for word recognition. *Brain and Cognition, 38*, 339-357.
- Ortells, J. J., Tudela, P., Noguera, C., & Abad, M. J.-F. (1998). Attentional orienting within visual field in a lexical decision task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 24*(6), 1675-1689.

- Peressotti, F., & Grainger, J. (1999). The role of letter identity and letter position in orthographic priming. *Perception & Psychophysics*, *61*, 691-706.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *32*, 3-25.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance* (Vol. X, pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I., Rafal, R. D., Choates, L. S., & Vaughn, J. (1985). Inhibition of return: neural basis and function. *Cognitive Neuropsychology*, *2*, 211-228.
- Posner, M. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, *109*, 160-174.
- Pratt, J., Kingstone, A., & Khoe, W. (1997). Inhibition of return in location- and identity-based choice decision tasks. *Perception & Psychophysics*, *59*, 964-971.
- Seguì, J., & Grainger, J. (1990). Priming word recognition with orthographic neighbors: effects of relative prime-target frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *16*, 65-76.
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, *81*, 174-176.
- Swets, J. A. (1996). *Signal detection theory and ROC analysis in psychology and diagnostics: Collected papers*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: the effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, *49*(1), 83-90.
- Yantis, S., & Egeth, H. E. (1999). On the distinction between visual salience and stimulus-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *25*, 661-676.
- Yantis, S., & Jonides, J. (1990). Abrupt visual onsets and selective attention: voluntary versus automatic allocation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *16*(1), 121-134.
- Zhou, X. H., Obuchowski, N. A., & McClish, D. K. (2002). *Statistical methods in diagnostic medicine*. New York: Wiley.

Chapitre 5

Modulation attentionnelle des effets d'amorçage subliminal par indiçage exogène : Mise en évidence par la technique des potentiels évoqués

Résumé. Dans leur étude précédente, Marzouki et al. (2007) ont montré que l'amorçage masqué avec répétition dans l'identification des lettres est influencé par le déploiement de l'attention spatiale à l'endroit de l'amorce, grâce à un indice exogène. Les effets comportementaux d'amorçage sont obtenus seulement quand l'indice exogène est valide (l'amorce au même endroit que l'indice). La présente étude électrophysiologique (potentiels évoqués) fournit une investigation supplémentaire d'une telle influence exogène de l'indiçage sur l'amorçage masqué. Les résultats ont montré une modulation significative de l'amplitude de la composante P3 générée par les cibles lettres en fonction de la répétition et de la validité de l'indice. La différence d'amplitude entre la condition avec et la condition sans répétition s'est révélée amplifiée en présence de l'indice valide. Les données électrophysiologiques confirment l'influence des indices exogènes sur le traitement des amorces subliminales, de plus que ces effets peuvent être obtenus dans l'absence des mouvements oculaires.

Mots clés : Amorçage subliminal; Indiçage exogène ; P3

Abstract. Marzouki et al. (2007) demonstrated that masked repetition priming of letter identification is affected by the allocation of spatial attention to the prime location by an exogenous cue. Behavioral priming effects were obtained only when the exogenous cue was valid (prime at the same location as the cue). The present ERP study provides a further investigation of such exogenous influences on masked priming. Results showed a significant modulation of the amplitude of the P3 ERP component generated by target letters as a function of repetition priming and cue validity. The amplitude difference between repetition and unrelated primes was found to be enhanced in the presence of a valid exogenous cue. The electrophysiological data therefore confirm the influence of exogenous cues on the processing of subliminally presented prime stimuli, and furthermore show that such effects can be obtained in the absence of any eye movements.

Keywords: Subliminal Priming, Exogenous Cueing, P3

**An ERP Investigation of the Modulation of Subliminal Priming
by Exogenous Cues⁸**

*Yousri Marzouki,^{1, CA} Katherine J. Midgley,^{1,2} Phillip J. Holcomb,²
and Jonathan Grainger^{1 & 3}*

¹ Aix-Marseille University, Marseille, France;

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université d'Aix-Marseille. 3 place Victor Hugo,
13331 Marseille cedex 1

² Tufts University, Medford, Ma USA

³ CNRS, France

Short title: ERPs and subliminal priming

CA Corresponding author:

Yousri Marzouki

yousri.marzouki@univ-provence.fr

⁸ *Manuscript submitted for publication in BRAIN RESEARCH*

1. Introduction

The process of identifying an isolated letter or printed word can be modified by the prior subliminal presentation of the same stimulus relative to a different prime stimulus (masked repetition priming: e.g., Bowers, Vigliocco, & Haan, 1998; Forster & Davis, 1984; Hartmut & Kopp, 1998; Jacobs & Grainger, 1991; Segui & Grainger, 1990; Ziegler, Ferrand, Jacobs, Rey, & Grainger, 2000). Results from recent ERP studies suggest that these subliminal repetition priming effects involve early perceptual processes as well as later integration processes (e.g., Holcomb & Grainger, 2006; Petit, Midgley, Holcomb, & Grainger, 2006). Furthermore, recent behavioral work has shown that the amplitude of masked repetition priming effects can be modified by attentional cueing (Besner, Risko, & Sklair, 2005; Fabre, Lemaire, & Grainger, *in press*; Marzouki, Grainger, & Theeuwes, 2007; Naccache, Blandin, & Dehaene, 2002).

Most relevant for the present study, Marzouki et al. (2007) demonstrated that masked repetition priming of letter identification is affected by the allocation of spatial attention to the prime location by an exogenous cue. Target letters were always presented at a central location (on fixation) and primes appeared randomly to the left or to the right of fixation. Priming only occurred when the exogenous cue appeared at the same peripheral location as the up-coming prime stimulus. Moreover, Marzouki et al. demonstrated that participants could not discriminate letter from pseudo-letter primes above chance in a post-experiment visibility test, strongly suggesting that participants were not aware of prime stimuli during the experiment.

The results of Marzouki et al. (2007) suggest that the presence of a valid exogenous cue facilitates processing of stimuli that are immediately presented at the cued location, even if these stimuli are not consciously processed. This implies that the very earliest perceptual processes are enhanced by attentional cueing, in line with the neurophysiological evidence obtained from monkey studies (e.g., Lee, Williford, & Maunsell, 2007; Luck, Chelazzi, Hillyard, & Desimone, 1997; Reynolds, Chelazzi, & Desimone, 1999). This enhanced processing of subliminal prime stimuli has an observable influence on the processing of upcoming target stimuli to which participants are requested to respond. However, since prime and target stimuli appeared at different locations in the Marzouki et al. study (peripherally located primes, centrally located targets), priming effects are likely to be driven by location-invariant representations of prime and target stimuli and are therefore likely to arise relatively late during target processing. A key question guiding the present research is therefore exactly when such influences from peripherally located primes arise during the processing of centrally located targets. RT measures do not provide this information, hence the use of ERPs in the present work. Furthermore, eye movements were not recorded in Marzouki et al.'s behavioral study; hence it was impossible to evaluate the possible influence of fast saccades to the prime location on presentation of a valid exogenous cue. Some of the cueing effects could therefore have been due to improved visual acuity during prime processing following a valid cue.

The major goal of the present study is to use EEG recordings in order to provide information concerning exactly when prime stimuli influence target processing in the testing conditions used by Marzouki et al. (2007). In one prior study of letter priming with centrally located primes and targets, Petit et al. (2006) combined masked priming with ERP recordings and found a cascade of components that were sensitive to 1) prime-target feature overlap (around 150 ms post-target onset), 2) case-specific priming (around 200 ms post-target onset), and 3) case-independent priming (around 250 ms post-target onset). The fact that primes and targets occupied the same central location in the Petit et al. (2006) study allowed primes to affect early perceptual processing of target letters. In the present study we investigate when such influences arise when primes and targets appear in different locations.

The aims of the present study were therefore twofold: 1) to examine the timing of transfer of information from prime to target stimuli when these occupy distinct spatial locations, and 2) to demonstrate an influence of exogenous cueing on the processing of subliminal stimuli in the absence of eye movements.

2. Method

2.1. Participants

Eighteen native French-speaking students (10 males, mean age = 23 years), were paid to participate in the experiment. All participants were right-handed and reported having normal or corrected-to-normal vision.

2.2. Design and stimuli

Sixteen letters (all consonants) of the Roman alphabet served as targets along with sixteen pseudo-letters designed using Font Creator 4.0 software. Each target letter was primed either by the same letter (repetition prime) or a different letter (unrelated prime), defining the two levels of the factor Prime Relatedness. Target stimuli were always centrally located, and prime stimuli could appear in the right or the left visual field, defining the two levels of the factor Prime Position. Prior to prime presentation, a cue stimulus appeared either at the same location as the prime (valid cue, 50% of trials) or the opposite location (invalid cue, 50% of trials), defining the two levels of the factor Cue Validity. It is important to note that since targets appeared centrally, they never appeared at the cued location. Prime Relatedness (on 50% of trials prime was the same letter as the target) was crossed with Prime Position and Cue Validity in a 2 x 2 x 2 factorial design. It should be noted that we also had pseudo-letters as targets. These pseudo-letter targets were distortions of the corresponding letters used as primes (example of related condition with pseudo-letter target: [prime: letter b → target: corresponding pseudo-letter b]). Each participant was tested in each of the 8 experimental conditions with the 16 letters and 16 pseudo-letters being repeated 8 times during the experiment.

2.3. Procedure

Stimuli were displayed on a computer screen in white on a black background in VGA mode (75 Hz refresh), with constant brightness and contrast of the display, using E-prime 1.1 software. The background luminance of the screen was approximately 0.1 cd/m² and the luminance of all stimuli was approximately 6.5 cd/m². The procedure is described in Fig. 1. Each trial began with a central fixation point (an asterisk) for 300 ms. The fixation point was then replaced by a complex geometric form (a cross superimposed upon a filled circle) that constitutes the cue stimulus for 150 ms located at a distance of 3.21° of visual angle at a viewing distance of 80 cm either left or right of fixation. The cue stimulus was replaced by a forward mask consisting of a white square with black crossed stripes which appeared both left and right of fixation at the same eccentricity as the cue for 12 ms. The prime stimulus followed the forward mask and appeared either left or right of fixation accompanied by the letter W in the opposite location. The letter W was not a target letter and was used as a filler letter to maintain a balance in visual complexity over left and right visual fields. Prime and W presentation lasted 45 ms and was replaced by the centrally located target stimulus and two peripherally located backward masks that remained on the screen until participants responded by indicating if the target was a letter or a pseudo-letter (alphabetic decision). The experiment was run inside a dimly lit room and was controlled using E-Prime 1.1 software. Participants responded by pressing one of two gamepad triggers with their index fingers: right button for letters and left button for pseudo-letters. Participants first performed a practice session with the complete set of 16 target letters and pseudo-letters, followed by 256 randomly ordered trials in each of the 2 blocks, giving a total of 512 trials per participant. The EEG signal (200 Hz sampling rate, bandpass of 0.01 to 40 Hz) was recorded from electrodes attached to the scalp with an elastic cap (see Figure 5.2). We also used two electrodes to detect blinks and eye movements – one below the left eye and one to the right of the right eye. All trials contaminated by eye movements were rejected prior to averaging. Items rejected across participants varied from 0.0% to 16.0% with a mean of 3.1% ($SD = 4.7\%$).

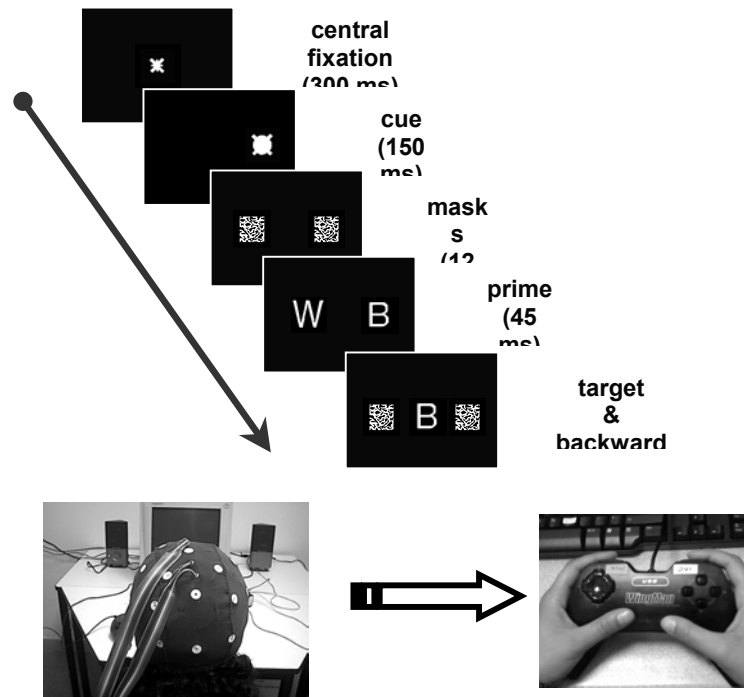


Figure 5.1. Timing of events in a typical trial.

2.4. Data analysis

Participants performed the alphabetic decision task with a high level of accuracy (97.4 % of Hits and 2.6% False Alarms; Mean $d' = 4.1$, $SD = 0.8$)⁹. Averaged ERPs were formed off-line from trials free of artifact and time-locked to the onset of target letters. Averaged ERPs were quantified by calculating the mean amplitude values (relative to a 100 ms pre-target baseline) in four different time windows: 100-200 ms, 200-300 ms and 300-400 ms and 400-500 ms post-target onset. Separate sets of repeated measures ANOVAs were run on the data from each of the four time windows, with Cue Validity (valid *vs.* invalid), Prime Relatedness (related *vs.* unrelated), and Electrode Site as factors. In order to examine distributional effects in the ERPs, electrodes were grouped into columns (Column 1, Column 2, Column 3, Midline: see Figure 5.2) and separate analyses performed per column with within-column electrode site as a factor.

⁹ There were no significant effects in an analysis of the behavioral data (RTs and percentage errors). This is likely due to the unusually large amount of variance in these data, perhaps as a result of the specific requirements of the present experiment - no eye movements or blinking until the blink sign appeared.

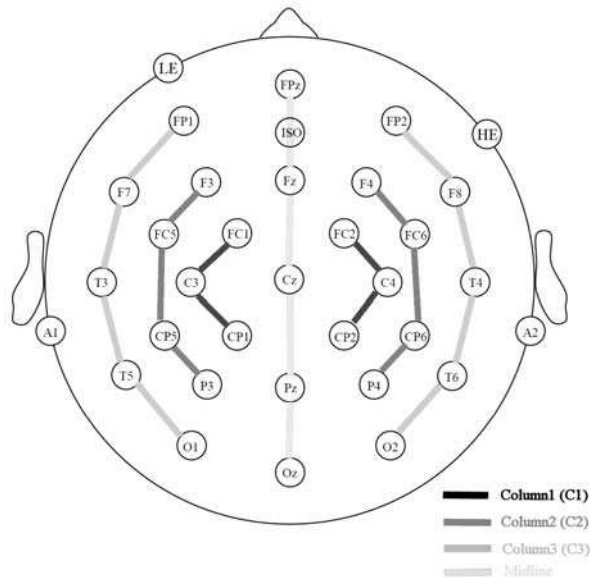


Figure 5.2. Electrode montage and analysis columns. Twenty-nine active tin electrodes were held in place by an elastic cap (Electro-Cap International, Inc., Eaton, OH) and maintained < 5 KOhms. Additional electrodes were placed below the left eye (LE) and beside the right eye (HE) to monitor eye movements and blinks. All electrodes were referenced to the left mastoid (A1) and the right mastoid (A2) was recorded actively to detect left/right mastoid asymmetry (none was detected). The four analysis columns (Column 1, Column 2, Column 3, and Midline) are indicated by the grey bars interconnecting the various anterior/posterior sites.

3. Results

As can be seen in figure 5.3, the ERPs time locked to target letters produced an early negative peak at about 90 ms which was followed by a larger positivity peaking around 180ms, a small negative-going peak at about 220 ms and finally a large positivity between 300 and 500 ms. It can also be seen in figure 3 that there were no effects of peak latency of the P3 component in this study (this was the case for all electrode sites).

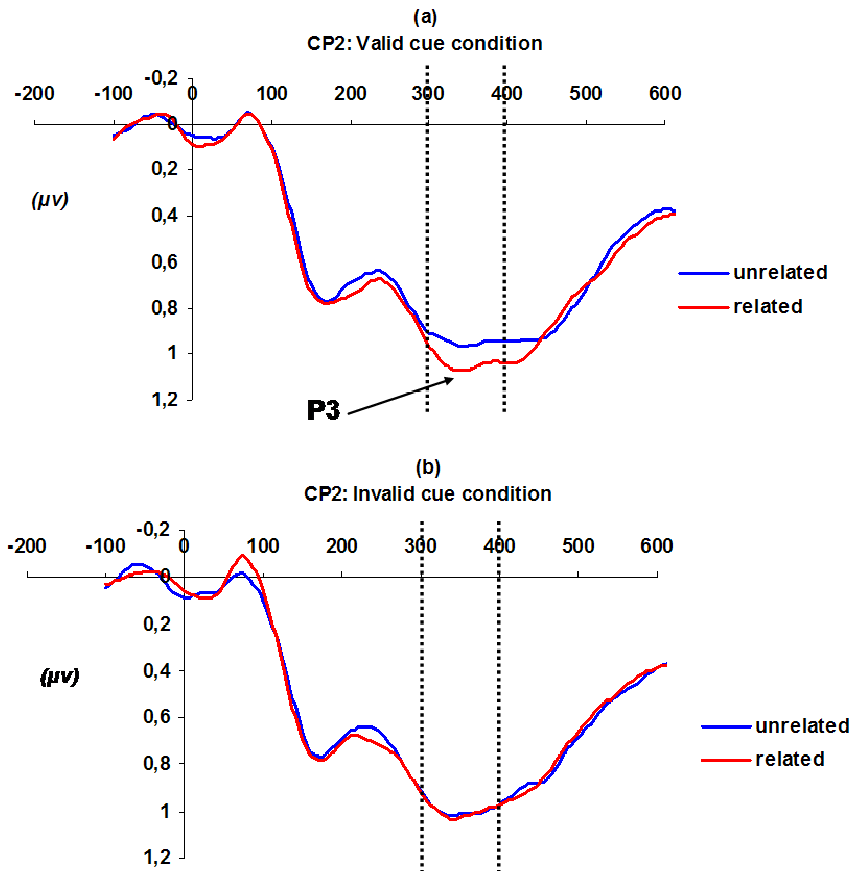


Figure 5.3. Grand-average event-related potential (ERP) waveforms from target letter onset showing effects of repetition priming in the presence of a valid cue (a) and an invalid cue (b) at electrode site CP2.

3.1. 100-200 ms & 200-300 ms.

There were no significant effects in these time windows.

3.2. 300-400 ms.

There was a marginally significant three-way interaction between Cue Validity x Prime Relatedness x Electrodes at **Midline** electrodes: $F(4, 72) = 2.29$, $MSE = 1.44$, $p = .06$. Follow-up analyses revealed that the critical Cue Validity x Prime Relatedness interaction was reliable at Fz: $F(1, 18) = 4.75$, $MSE = 1.28$, $p < .05$ with a significant priming effect in the valid cue condition, $F(1, 18) = 5.70$, $MSE = 1.57$, $p < .05$, and not in the invalid cue condition, $F < 1$; and at Cz: $F(1, 18) = 6.40$, $MSE = 1.34$, $p < .05$ with a significant priming effect in the valid cue condition, $F(1, 18) = 14.84$, $MSE = 0.84$, $p < .002$ and not in the invalid cue condition $F < 1$ (see Figure 5.4). There was a significant two-way interaction between Cue Validity and Relatedness in **Column 1**: $F(1, 18) = 5.23$, $MSE = 6.04$, $p < .05$. This reflected the presence of a significant repetition priming

effect in the valid condition, $F(1, 18) = 9.54$, $MSE = 6.08$, $p < .01$, that was not significant in the invalid condition, $F < 1$. The two-way interaction between Relatedness and Cue Validity was marginally significant at **Column 2**: $F(1, 18) = 3.27$, $MSE = 5.38$, $p = .08$. The effect of relatedness with valid cues was significant at this column, $F(1, 18) = 6.15$, $MSE = 5.87$, $p < .05$, but not with invalid cues, $F < 1$. There were no significant effects at **Column 3**.

3.3. 400-500 ms.

In this time window there was a significant interaction between Priming and Electrodes at **Column 1**: $F(5, 90) = 2.48$, $MSE = 0.47$, $p < .05$ and **Column 2**: $F(7, 126) = 2.11$, $MSE = 0.67$, $p < .05$. The related prime condition generated more negative-going waveforms than the unrelated prime condition, independently of cue validity.

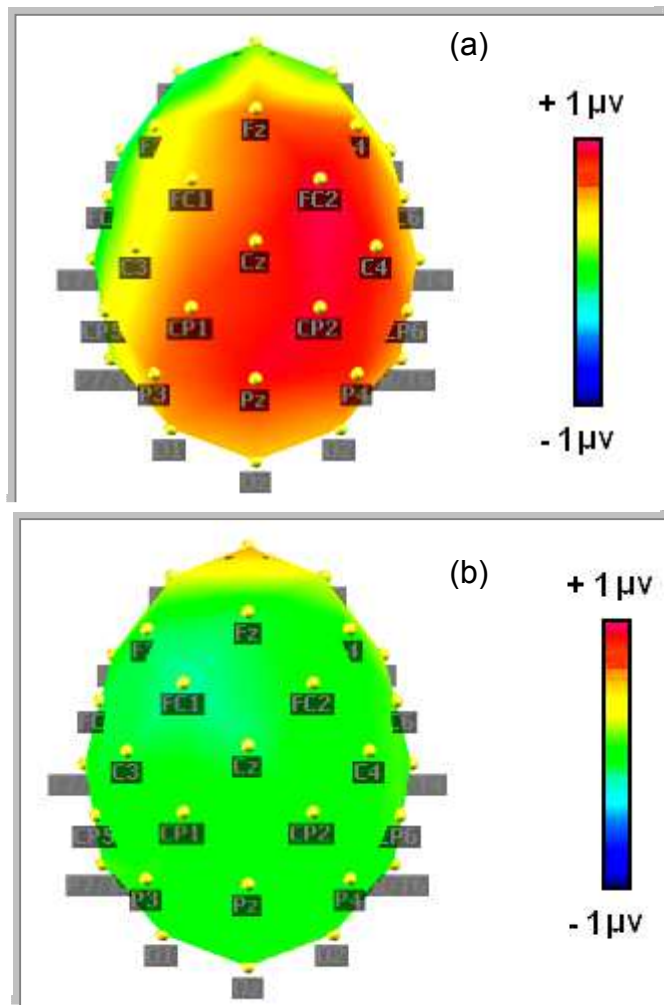


Figure 5.4. Scalp maps for voltage differences (net priming effects) between related and Unrelated primes with valid cue (a) and invalid cues (b) in the 300-400 ms (P3) time window.

4. Discussion

The present study investigated attentional influences on subliminal priming effects with isolated letters using ERP recordings. The results are clear-cut. We found that ERP amplitude was significantly affected by subliminal repetition priming, but only in the presence of a valid spatial cue. Since all trials involving an eye movement were rejected before analysis, this is the first demonstration of an attentional modulation of subliminal priming effects without possible contamination from cue-induced eye movements to the prime location on valid trials.

The major goal of the present study was to use ERP recordings in order to examine the precise timing of subliminal priming effects on target letter processing when prime and target occupy distinct spatial locations. Our priming manipulation was found to affect the amplitude of central-posterior positivity between 300 and 400 ms with related primes producing more positive ERPs than unrelated primes in the valid cue condition. Given the latency range, spatial distribution, and polarity of the effects reported here, it seems likely that the current effect is on the classic P3 ERP component (also referred to as P300).

The P3 is the third major positive-going ERP component peaking at around 400 ms post-target onset for visual targets (Luck, 2005). Prior research has shown that the P3 is sensitive to manipulations of endogenous attention, typically obtained using the “oddball” paradigm (e.g., Mangun & Hillyard, 1995; Polich, 1996). The classic finding is that P3 amplitude increases as stimulus probability decreases, hence the most prominent P3 with “oddball” (low probability) stimuli. Since stimulus probability is defined relative to a given task that participants are instructed to perform, it is therefore inferred that the P3 reflects processing following stimulus categorization. However, there is still much debate as to exactly what processing the P3 does reflect. According to the influential “context updating” account of Donchin and Coles (1988), the P3 reflects a process whereby the contents of working memory are updated upon arrival of new information. One prominent alternative account emphasizes the role of decision-related processes linked to stimulus categorization and response generation in a given task (e.g., Verleger, Jaoekowski, & Wascher, 2005). It remains nevertheless possible that the P3 reflects multiple processes linked to working memory and task-specific response generation, and perhaps more.

Further evidence about the functional significance of the P3 can be found in the recent literature on P3 and the attentional blink (AB). Vogel, Luck, and Shapiro (1998) first reported suppression of the P3 component to inattended items in the AB paradigm (i.e., during the attentional blink). This was taken as evidence in favor of a failure to consolidate the inattended item in working memory (Dell’Acqua, Jolicoeur, Pesciarelli, Job, & Palomba, 2003; Vogel & Luck, 2002). However, the recent study of Sessa, Luria, Verleger, and Dell’Acqua (2007) suggests that P3 amplitude is not so much determined by detection accuracy of target items in the AB paradigm, but rather on the masking conditions of that item (i.e., whether or not the target is followed by another item). These authors found suppression of P3 when targets were followed by a masking item but were still detected at

around 90% accuracy, and suggested that it might rather be response uncertainty that causes the lowering of P3 amplitude. This fits with prior findings from signal detection experiments showing that P3 amplitude increases as a function of the hit rate and confidence rating of detected stimuli (e.g., Kerkhof & Uhlenbroek, 1981). This response uncertainty explanation appears to be in a similar vein to Kok's (2001) proposal that P3 amplitude depends on the ease with which a target stimulus can be categorized according to the demands of the task (event categorization), which in turn has antecedents in the "template matching" account of Squires, Hillyard, and Lindsay (1973). The general idea is that P3 amplitude increases as the match between incoming information and the task-defined response category increases.

The present results fit nicely with this general account of the P3, since targets preceded by related primes generated larger P3 amplitudes than targets preceded by unrelated primes. Appropriately primed targets would be easier to classify as letters as opposed to pseudo-letters in the present study, but only when prime stimuli receive a prior processing boost from a valid spatial cue. Thus it can be argued that the modulation of the P3 component found in the present study reflects the ease with which our participants classified clearly visible target stimuli as being letters or pseudo-letters.

Contrary to the masked letter priming study of Petit et al. (2006), there was no evidence for early repetition effects (i.e., before 300 ms post-target onset) in the present study. This is likely due to the fact that primes and targets occupied distinct spatial locations in the present study, hence suggesting that the early effects found by Petit et al. reflect integration of information across location-specific feature/letter representations. When primes and targets occupy distinct spatial locations there is no evidence for priming effects in the early ERP components described in the Petit et al. study. Marzouki et al. (2007) demonstrated that subliminal priming effects can be obtained when primes and targets occupy distinct spatial locations, and the present study has shown that such influences arise quite late during target processing, probably at the point in time when target letters are being categorized as such. A possible locus of this priming effect would be location-independent letter representations of a phonological (i.e., the letter name) or conceptual nature.

In conclusion, the present study has demonstrated a clear influence of exogenous cueing on the processing of subliminally presented letters. Only in the presence of a valid spatial cue did prime letters influence subsequent target processing. This priming effect took the form of a modulation of P3 amplitude between 300 and 400 ms post-target onset, therefore suggesting a relative late influence of peripheral prime stimuli on the processing of centrally located targets.

References

- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 59*(2), 99-108.
- Bowers, J. S., Vigliocco, G., & Haan, R. (1998). Orthographic, phonological, and articulatory contributions to masked letter and word priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 24*(6), 1705-1719.
- Dell'Acqua, R., Jolicoeur, P., Pesciarelli, F., Job, R., & Palomba, D. (2003). Electrophysiological evidence of visual encoding deficits in a cross modal attentional blink paradigm. *Psychophysiology, 40*, 629-639.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioural and Brain Sciences, 11*, 357-374.
- Fabre, L., Lemaire, P., & Grainger, J. (in press). Attentional modulation of masked repetition and categorical priming in young and older adults. *Cognition*, in press.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition, 10*, 680-698.
- Hartmut, L., & Kopp, B. (1998). Mechanisms of priming by masked stimuli: inferences from event-related brain potentials. *Psychological Science, 9*(4), 263-269.
- Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2006). On the time-course of visual word recognition: an ERP investigation using masked repetition priming. *Journal of Cognitive Neuroscience, 18*(10), 1631-1643.
- Jacobs, A. M., & Grainger, J. (1991). Automatic letter priming in an alphabetic decision task. *Perception & Psychophysics, 49*(1), 43-52.
- Kerkhof, G. A., & Uhlenbroek, J. (1981). P3 latency in threshold signal detection. *Biological Psychology, 13*, 89-105.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology, 38*, 557-577.
- Lee, J., Williford, T., & Maunsell, J. H. R. (2007). Spatial attention and the latency of neuronal responses in macaque area V4. *Journal of Neuroscience, 27*(36), 9632-9637.
- Luck, S. J., Chelazzi, L., Hillyard, S. A., & Desimone, R. (1997). Neural mechanisms of spatial selective attention in areas V1, V2 and V4 of macaque visual cortex. *Journal of Neurophysiology, 77*, 24-42.
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the event-related potential technique*. Cambridge: The MIT Press.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1995). Mechanisms and models of selective attention. In M. D. Rugg & M. G. H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition* (pp. 40-85). New York: Oxford.

- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal priming. *Acta Psychologica*, 126(1), 34-45.
- Naccache, L., Blandin, E., & Dehaene, S. (2002). Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological Science*, 13(5), 416-424.
- Petit, J.-P., Midgley, K. J., Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2006). On the time course of letter perception: a masked priming ERP investigation. *Psychonomic Bulletin & Review*, in press.
- Polich, J. (1996). Meta-analysis of P3 normative aging studies. *Psychophysiology*, 33, 334-353.
- Reynolds, J. H., Chelazzi, L., & Desimone, R. (1999). Competitive mechanisms subserve attention in macaque areas V2 and V4. *Journal of Neuroscience*, 19, 1736-1753.
- Seguì, J., & Grainger, J. (1990). Priming word recognition with orthographic neighbors: effects of relative prime-target frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16, 65-76.
- Squires, K. C., Hillyard, S. A., & Lindsay, P. H. (1973). Cortical potentials evoked by confirming and disconfirming feedback following an auditory discrimination. *Perception & Psychophysics*, 13(1A), 25-31.
- P. Sessa, R., Luria, R., Verleger, R., & Dell'Acqua, R. (2007). P3 latency shifts in the attentional blink: Further evidence for second target processing postponement. *Brain Research*, 1197, 191-199.
- Verleger, R., Jaekowski, P., & Wascher, E. (2005). Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *Journal of Psychophysiology*, 19, 165-181.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 739-743.
- Vogel, E. K., Luck, S. J., & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 24, 1656-1674.
- Ziegler, J., Ferrand, L., Jacobs, A.M., Rey, A., & Grainger, J. (2000). Visual and phonological codes in letter and word recognition: Evidence from incremental priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 53A, 671-692.

Partie III

*Effet de
l'excentricité
sur
l'amorçage
avec répétition*

Chapitre 6

Effet de l'excentricité des mots amorces et cibles sur les mécanismes d'amorçage avec répétition

Résumé. Trois expériences testent l'influence d'une présentation rapide, et dans différentes excentricités, des amorces masquées sur la reconnaissance des mots-cibles. Les amorces peuvent être soit le même mot soit un mot différent de la cible et la position de l'amorce varie horizontalement de part et d'autre du point de fixation central. Les cibles peuvent occuper le même endroit que l'amorce (Expérience 1A) ou être toujours en position centrale (Expérience 1B et Expérience 2). Dans la première expérience, les résultats ont montré un effet standard de l'hémi-champ visuel droit pour l'identification des mots-cibles. De plus, les effets d'amorçage diminuent quand les excentricités des amorces et des cibles augmentent. Quand les cibles sont localisées au centre, les effets d'amorçage se restreignent à la position de la cible. Après contrôle des fixations et mouvements oculaires mais aussi de la visibilité des amorces (Expérience 2), un effet d'hémi-champ visuel droit a été observé même quand les cibles sont centrales. Ces résultats suggèrent l'intervention d'un biais attentionnel endogène dans les effets d'amorçage masqué avec répétition.

Mots clés : Effets d'excentricité; Amorçage masqué avec répétition; Reconnaissance des mots

Abstract. Three experiments examined the influence of briefly presented, pattern-masked prime stimuli on target word recognition at varying eccentricities. Primes were either the same word as targets or a different word, and prime position varied horizontally from a central fixation point. Targets were either in the same location as primes (Experiment 1A) or always centrally located (Experiment 1B & Experiment 2). In Experiment 1A, target word recognition showed a typical right visual field advantage, and priming effects diminished with increasing prime and target eccentricity. With centrally located targets, priming effects tended to be more constrained by prime location. After controlling for eye fixation location and prime visibility (Experiment 2) a right visual field advantage for priming effects was also evident for central targets, suggesting an influence of endogenous attentional biases in masked repetition priming.

Keywords: Eccentricity; Masked repetition priming; Word recognition

**Effects of Prime and Target Eccentricity
on Masked Repetition Priming¹⁰**

Yousri Marzouki & Jonathan Grainger

Université de Provence
Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université d'Aix-Marseille. 3 place Victor Hugo,
13331 Marseille cedex 1
Centre National de la Recherche Scientifique

Short title: Eccentricity and masked repetition priming

** Corresponding author :*

Yousri Marzouki

yousri.marzouki@univ-provence.fr

The authors wish to thank Stéphane Dufau for his help in setting up Experiment 2 and Françoise Vitu for her help in analyzing the eye-movement data of this experiment. Y. Marzouki was supported by a doctoral grant from the French ministry of education

¹⁰ *Paper in press in Psychonomic Bulletin & Review*

1. Introduction

In normal reading, information about the word immediately following the currently fixated word is available before the reader's eyes fixate that word. This has been clearly shown using parafoveal priming techniques and varying the nature of the relation between the parafoveal stimulus and the target word. These studies have shown that the processing of the upcoming target word in the parafovea is facilitated when the parafoveal preview is orthographically and/or phonologically similar to that word (e.g., Pollatsek, Lesch, Morris, & Rayner, 1992; Rayner, 1998).

Most relevant for the present experiments, are the seminal studies of Rayner, McConkie, and Ehrlich (1978) and Rayner, McConkie, and Zola (1980). These authors examined parafoveal priming effects with primes of varying eccentricity and targets that appeared either centrally (with no eye-movement) or at the same location as the parafoveal prime stimulus (such that targets were foveated following an appropriate eye-movement). The results showed a strong influence of prime eccentricity on the size of priming effects, with more eccentric primes generating smaller effects. On the other hand, priming effects did not depend on whether the target word was centrally located or not. In other words, priming did not depend on whether or not the target appeared at the same location as the prime, hence suggesting that the bulk of the priming effect was carried by location-invariant lexical and sublexical representations. However, the pattern of priming effects reported by Rayner et al. (1978; 1980) could be due to the relatively long prime exposures used in these studies (around 190 ms – approximating typical durations of parafoveal previews in normal reading). Also, participants were required to make either vocal (naming task) or manual (semantic categorization task) responses, and there was a large amount of target repetition. In these testing conditions it is likely that the observed effects reflect both the automatic uptake of perceptual information from primes (a process that might well be location-specific) plus some form of strategic processing. The latter type of process would not be location-specific and could therefore be the source of priming effects obtained when targets appeared centrally.

One way to reduce contamination from such strategic factors is to use the masked priming paradigm (Forster & Davis, 1984). Robust masked repetition priming effects with horizontally displaced peripheral primes and central targets were reported by Marzouki, Grainger, and Theeuwes (2007). This study used isolated letter stimuli, and varied the amount of attention directed to the subliminally presented peripheral primes by manipulating the presence of an abrupt onset cue just prior to the prime stimulus, in either the same location as the prime or a different location. However, significant repetition priming was found only in the presence of a valid exogenous cue. Similarly, masked repetition priming effects with word stimuli have been reported by Lachter, Forster, and Ruthruff (2004) with vertically displaced prime stimuli, and again only when primes are preceded by a valid spatial cue (see also Besner, Risko, & Sklair, 2005). Therefore, with brief stimulus presentation (typically 50-60 ms) and pattern-masking procedures, the evidence at present suggests that peripheral

primes do not influence the subsequent processing of centrally located targets unless attention is attracted to the prime location.

The present study provides a further investigation of masked repetition priming with horizontally displaced prime stimuli, while adding a parametric manipulation of prime eccentricity and a manipulation of target location (central or peripheral). In Experiment 1, prime and target stimuli appeared at the same location at varying eccentricities (see Figure 6.1). In Experiment 1A targets appeared at varying eccentricities in the same location as primes, and in Experiment 1B targets always appeared centrally. Experiment 2 controlled for eye movements, eye fixation location, and prime visibility in the same testing conditions as Experiment 1B.

2. EXPERIMENT 1

2.1. Method

2.1.1. Participants

56 participants (19 males, mean age= 22 years), all right-handed native French speakers, volunteered to participate in the experiment. All participants reported normal or corrected-to-normal vision. 21 participated in Experiment 1A and 35 in Experiment 1B.

2.1.2. Design and stimuli

105 French 5-letter words and 105 pronounceable 5-letter pseudo-words served as targets. Each target was preceded either by the same word / pseudo-word or a different word / pseudo-word, defining the two levels of the Repetition factor. Prime and target stimuli could appear at 7 different positions along the horizontal meridian spanning the central fixation point (see Figure 6.1). These positions defined the 7 levels of the Eccentricity factor, and varied from -6° (extreme left) to $+6^\circ$ (extreme right). In Experiment 1A, prime and target stimuli always appeared at the same location. Whereas in Experiment 1B, prime position was manipulated (see Figure 6.1) and targets always appeared centrally. Eccentricity was crossed with Repetition in a 7 x 2 factorial design. Standard counterbalancing with a Latin-square allowed each target to be tested at each of the 7 levels of Eccentricity across participants, with each participant receiving 30 different items (15 words and 15 pseudo-words) at each Eccentricity level. Each word / pseudo-word target was seen twice by each participant, once in the repetition prime condition and once with an unrelated prime.

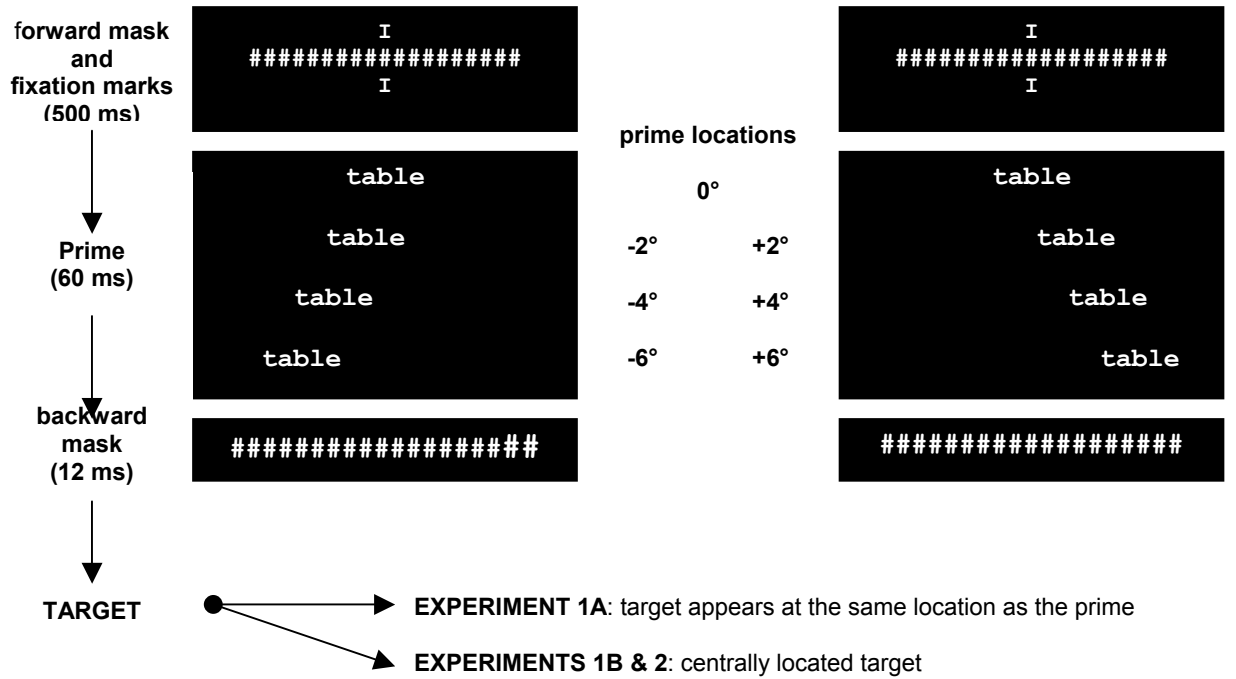


Figure 6.1. Experimental procedure used in the present study. Prime stimuli occupied 7 possible positions (from -6° to $+6^\circ$) defining 7 levels of prime eccentricity. The eccentricity values (degrees of visual angle) represent the distance from fixation to the centre of the prime stimulus. The distance from fixation to the initial/final letter of prime stimuli at the three eccentric locations was 0° , 2° , and 4° .

2.1.3. Procedure

The experiment was run inside a dimly lit room and was controlled using DMDX software (Forster & Forster, 2003). Participants were seated in front of a computer screen on which stimuli were displayed in white on a black background in VGA mode (75 Hz refresh). The background luminance of the screen was approximately 1 cd/m^2 and stimulus luminance was approximately 92 cd/m^2 . The procedure is described in Figure 6.1. Each trial began with a forward mask for 500 ms; formed of a string of hash marks with two vertical bars (I) placed above and below the centre. Prime stimuli appeared immediately after this for a duration of 60 ms, and were followed by a backward mask (a string of hash marks the same length as the forward mask) lasting 12 ms, which in turn was replaced by the target stimulus which remained on the screen until participants' response. Prime and target stimuli were presented in 14-point bold courier new font with each letter subtending 0.9° of visual angle. The width of each letter is 0.4 cm and the height is 0.5 cm. The reported visual angles for each level of eccentricity define the distance between the central fixation location and the center of the stimulus at a viewing distance of 80 cm. Participants were asked to respond as rapidly and as accurately as possible by pressing one of two triggers of a Microsoft SideWinder game pad with their index fingers: right button for words and left button for pseudo-words. Participants first performed a practice session with a set of 15 words and pseudo-words that did not appear in the main experiment,

followed by the 420 trials of the main experiment in random order. Participants were tested in either Experiment 1A or 1B in a session lasting approximately 30 minutes.

2.2. Results

RTs lying outside of the mean plus or minus two standard deviations were removed before analysis (7 % for Experiment 1A and 8.6 % for the Experiment 1B). Table 6.1 provides average correct RT and percent errors for words and Table 6.2 the results for pseudo-words in each experimental condition. The results of each experiment are presented separately before describing the results of a combined analysis.

Table 6.1. Mean Reaction Times (RT in milliseconds) and Percent Errors (% error) Plus or Minus Standard Errors of the Mean for Word Targets in Experiment 1 (A peripheral targets, B central targets).

	Experiment 1A		Experiment 1B	
	Repeat	Unrelated	Repeat	Unrelated
-6°				
Mean RT	748 ± 9.6	756.6 ± 11.8	659.3 ± 14.8	667.8 ± 14
% error	5.1% ± 1.5	6.7% ± 1.7	5.3% ± 1.4	4.2% ± 1
-4°				
Mean RT	703 ± 11.1	725.8 ± 8.4	660.9 ± 15.5	674.6 ± 15.9
% error	6.0% ± 1.7	6.7% ± 1.7	7.8% ± 1.5	6.1% ± 1.3
-2°				
Mean RT	651 ± 12.1	691.7 ± 8.9	640.1 ± 13.9	678.2 ± 15.3
% error	4.8% ± 1.5	5.7% ± 1.5	6.3% ± 1.2	6.3% ± 1.2
0°				
Mean RT	621.1 ± 13.6	669.5 ± 11.3	614.4 ± 16.1	672.7 ± 13.9
% error	3.8% ± 1	3.5% ± 1.4	4.8% ± 1	5.5% ± 1.5
+2°				
Mean RT	624.4 ± 10.2	695.8 ± 8.8	626 ± 16.3	674.6 ± 13.9
% error	4.4% ± 1.1	3.8% ± 1	3.4% ± 1	5.7% ± 0.9
+4°				
Mean RT	674.4 ± 13.6	699.7 ± 9.2	660.9 ± 14.9	669 ± 13.1
% error	4.4% ± 1.2	3.5% ± 1	4.2% ± 1.2	5.3% ± 1.4
+6°				
Mean RT	699.5 ± 12.3	728.8 ± 10.4	656.1 ± 16.3	663.4 ± 12.9
% error	4.8% ± 1	2.9% ± 1	4.8% ± 1.1	5.3% ± 1.4

2.2.1. Experiment 1A

2.2.1.1. Word analyses

Eccentricity (-6°, -4°, -2°, 0°, +2°, +4° and +6°) and Repetition were entered in a repeated measures ANOVA. There were significant main effects of Eccentricity, $F(6, 120) = 45.93$, $MSE= 1263.71$, $p < .0001$, and Repetition, $F(1, 20) = 57.74$, $MSE= 1571.45$, $p < .0001$, and a significant interaction, $F(6, 120) = 4.94$, $MSE= 894.79$, $p < .0005$. As can be seen in Figure 6.2, repetition priming diminished with increasing eccentricity. There were no main effects or interaction in the ANOVA on the accuracy data.

2.2.1.2. Pseudo-word analyses

Analyses on RTs revealed reliable main effects of Eccentricity, $F(6, 120) = 22.98$, $MSE= 1609.51$, $p < .0001$, and Repetition, $F(1, 20) = 80.20$, $MSE= 829.15$, $p < .0001$, but no interaction, $F(6, 120) = 2.03$, $MSE= 1201.09$, $p > .05$. There were no significant effects in the accuracy data (see Table 6.2).

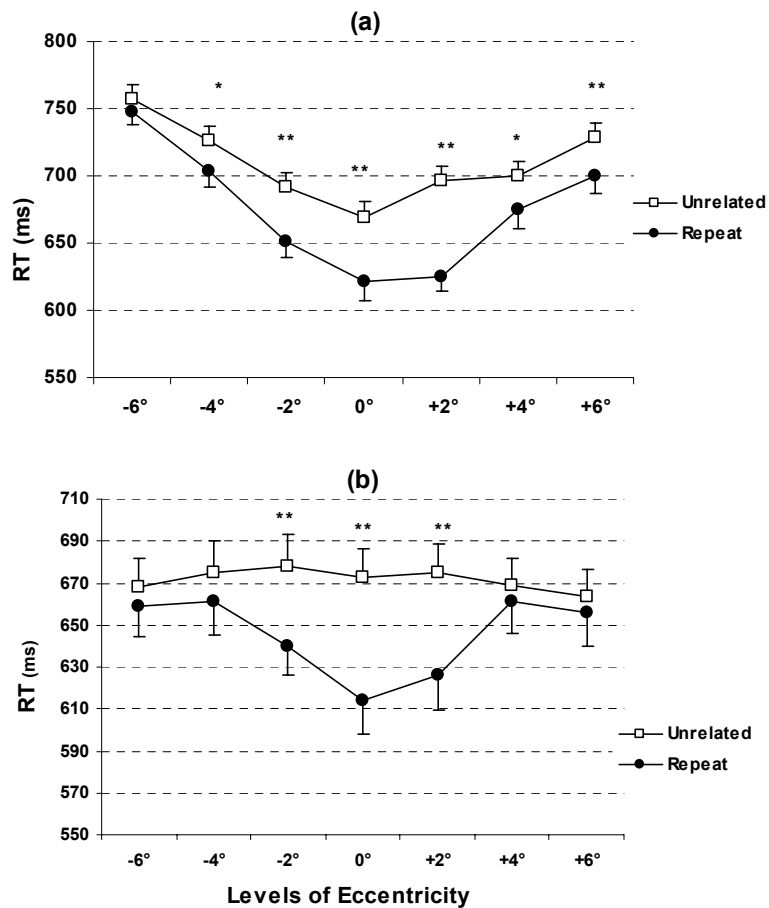


Figure 6.2. Interaction between Priming and Eccentricity in Experiment 1A (panel a: prime and target appeared at the same location) and in Experiment 1B (panel b: peripheral primes and central targets). Significant priming effects for a given level of eccentricity are indicated by asterisks (* $p < .05$; ** $p < .01$).

2.2.2. Experiment 1B

2.2.2.1. Word analyses

A repeated measures ANOVA was performed with the same design as Experiment 1A. RTs increased with increasing eccentricity, $F(6, 204) = 5.21, MSE= 995.68, p < .0001$, and were shorter following a repetition prime compared to unrelated primes, $F(1, 34) = 96.62, MSE= 864.13, p < .00001$. Repetition priming interacted with Eccentricity, $F(6, 204) = 9.58, MSE= 860.98, p < .0001$, with priming effects decreasing as prime eccentricity increased (see Figure 6.2) There were no significant main effects or interaction in the ANOVA performed on the accuracy data.

2.2.2.2. Pseudo-word analyses

Analyses on RTs showed a significant effect of Repetition, $F(1, 34) = 65.49, MSE= 1613.0, p < .0001$, and a significant interaction with Eccentricity, $F(6, 204) = 7.25, MSE= 1299.10, p < .0001$. In the accuracy data there was a reliable main effect of Repetition, $F(1, 34) = 9.22, MSE= 0.60, p < .005$, and a significant interaction, $F(6, 120) = 2.55, MSE= 0.54, p < .05$.

Table 6.2. Mean Reaction Times (RT in milliseconds) and Percent Errors (% error) Plus or Minus Standard Errors of the Mean for Pseudo-Word Targets in Experiments 1 and 2.

		Experiment 1A		Experiment 1B		Experiment 2	
		Repeat	Unrelated	Repeat	Unrelated	Repeat	Unrelated
Levels of Eccentricity	-6°						
	Mean RT	840.8 ± 15.0	858.4 ± 16.4	736.8 ± 20.1	765.0 ± 20.7	662.6 ± 11.6	666.8 ± 12.2
	% error	4.4% ± 1.8	3.2% ± 1.0	3.92% ± 1.0	7.65% ± 1.5	4.3% ± 1.1	5.3% ± 1.6
	-4°						
	Mean RT	815.7 ± 14.8	836.8 ± 17.3	750.2 ± 20.4	756.1 ± 21.7	654.6 ± 11.8	668.4 ± 10.9
	% error	2.9% ± 1.0	3.5% ± 0.9	4.12% ± 1.0	7.45% ± 1.4	6.3% ± 1.6	5.3% ± 1.2
	-2°						
	Mean RT	772.9 ± 16.3	801.7 ± 14.2	724.9 ± 16.9	763.6 ± 18.6	641.8 ± 12.1	663.7 ± 11.4
	% error	2.2% ± 0.8	4.8% ± 1.6	6.27% ± 1.4	4.9% ± 1.0	4.5% ± 1.0	5.7% ± 1.4
	0°						
	Mean RT	737.8 ± 15.9	796.3 ± 14.7	706.7 ± 21.3	781.2 ± 20.3	619.6 ± 12.8	672.7 ± 10.8
	% error	4.8% ± 1.4	3.2% ± 1.0	5.29% ± 1.2	6.86% ± 1.1	6.5% ± 1.6	6.7% ± 1.5
	+2°						
	Mean RT	767.9 ± 18.8	806.8 ± 14.7	735.7 ± 19.6	766.0 ± 20.5	632.7 ± 12.2	658.1 ± 11.8
	% error	3.5% ± 1.1	4.8% ± 1.6	4.71% ± 1	4.9% ± 1.1	6.1% ± 1.0	7.3% ± 1.2
	+4°						
	Mean RT	799.2 ± 19.5	831.0 ± 20.0	736.2 ± 20.0	756.2 ± 19.2	649.9 ± 12.0	660.4 ± 12.1
	% error	5.4% ± 1.3	3.8% ± 1.1	4.12% ± 1	6.47% ± 1.2	5.1% ± 1.3	4.9% ± 1.3
+6°							
Mean RT	826.6 ± 16.8	840.5 ± 14.8	750.6 ± 21.4	758.6 ± 21.4	665.0 ± 10.8	656.8 ± 10.7	
% error	5.7% ± 1.3	3.8% ± 1.1	4.71% ± 0.9	4.51% ± 0.9	4.1% ± 0.8	5.1% ± 1.2	

2.2.3. Combined analysis of Experiments 1A & 1B

In this analysis the variable “Experiment” (Experiment 1A *vs.* Experiment 1B) was introduced as a between-participant factor. The result of the mixed ANOVA showed significant effects of Eccentricity, $F(6, 324) = 46.55$, $MSE = 50970.45$, $p < .0001$, Prime Relatedness, $F(1, 54) = 153$, $MSE = 172289.09$, $p < .0001$, and no effect of Experiment, $F(1, 54) = 3.07$, $MSE = 2087740.61$, $p < .1$. Furthermore, the ANOVA revealed reliable two-way interactions between Experiment and Eccentricity, $F(6, 324) = 23.26$, $MSE = 25473.09$, $p < .0001$, and between Eccentricity and Prime Relatedness, $F(6, 324) = 12.27$, $MSE = 10716.31$, $p < .0001$. Figure 6.2 shows that the interaction between Eccentricity and Experiment is being driven mostly by the unrelated prime condition, given that Eccentricity was only manipulated on the prime stimuli in Experiment 1B. The interaction between Eccentricity and Relatedness reflects the fact that priming effects diminished with increasing prime eccentricity. The critical interaction between Experiment and Relatedness was only marginally significant, $F(1, 54) = 3.33$, $MSE = 3744.67$, $p < .1$, and there was no triple interaction, $F(6, 324) = 1.14$, $MSE = 993.69$, $p > .1$.

An additional ANOVA examined the effects of visual hemi-field on RTs to word targets in the following repeated measures design (with the central position omitted): Visual Field (Left *vs.* Right) x Eccentricity (distal, medial and proximal to fixation) x Repetition (Repeat *vs.* Unrelated) x Experiment (Experiment 1A *vs.* Experiment 1B). The effect of Visual Field was significant, $F(1, 54) = 25.21$, $MSE = 1478.18$, $p < .0001$, and this factor interacted with Experiment, $F(1, 54) = 11.18$, $MSE = 1478.18$, $p < .001$, but not with Eccentricity, $F(2, 108) = 1.38$, $MSE = 1154.82$, $p > .1$. There was a marginally significant interaction between Visual Field and Prime Relatedness, $F(1, 54) = 3.00$, $MSE = 1218.28$, $p < .1$, reflecting the fact that priming effects were numerically larger in the RVF. There was a significant interaction between Experiment and Prime Relatedness, $F(1, 54) = 6.38$, $MSE = 918.78$, $p < .01$, with stronger priming effects in Experiment 1A (peripheral targets) compared with Experiment 1B (central targets). The three- and four-way interactions were not significant.

3. EXPERIMENT 2

Experiment 1 showed repetition priming that varies as a function of prime eccentricity and target location. Priming effects were strongest with the most centrally located primes, and tended to be stronger with peripherally located targets (Experiment 1A), relative to centrally located targets (Experiment 1B). It is possible that some of the priming effects obtained at non-central prime locations in Experiment 1 could have been due to eye-movements triggered upon prime presentation and/or initial non-central eye fixations. Experiment 2 investigated this possibility for the central target location condition of Experiment 1B, and also included a measure of prime visibility in these testing conditions.

3.1. Method

3.1.1. Participants

34 participants (12 males, mean age= 22 years), all were right-handed native French speakers, paid to participate in this experiment. All participants reported normal or corrected-to-normal vision.

3.1.2. Design and stimuli

These were the same as in Experiment 1B.

3.1.3. Procedure

The experiment was run inside a dimly lit room. Stimuli were displayed on a computer screen in VGA mode (75 Hz refresh) using E-prime 1.1 software. The background luminance of the screen was 0.01 cd/m² and stimulus luminance was 5.98 cd/m². Eye-movements were recorded during the experiment with a video-based eye tracker: iView X 1.05 Remote Eyetracking Device. An infrared video-based camera was used to track the pupil position, the pupil diameter and the gaze position of the right eye. Before recording eye-movements a calibration test was performed in which participants were instructed to follow the movement of a yellow dot on a blue screen. Viewing distance was held constant at 80 cm with a chin/head rest. Eye position was sampled every 4 ms and analyzed offline with customized software. Otherwise the procedure of the main experiment was identical to Experiment 1B (see Figure 6.1). After the main experiment, each participant received a further 210 trials using the same stimuli of the main experiment. The target stimulus was always a word and primes could be words (on 50 % of trials) or pseudo-words appearing randomly at each Eccentricity level. Each word target was seen twice by each participant, once primed by a different word and once primed by a pseudo-word. After informing participants of the presence of prime stimuli they were instructed to perform a two-alternative forced-choice task (2-AFC) deciding whether the prime was a word or a pseudo-word on every trial. The main experiment plus the visibility test lasted approximately 45 min.

3.2. Results

Mean RTs and percentage errors per experimental condition are given in Table 6.3 for word targets and Table 6.2 for pseudo-word targets.

Table 6.3. Mean Reaction Times (RT in milliseconds) and Percent Errors (% error) Plus or Minus Standard Errors of the Mean for Word Targets in Experiment 2.

		Experiment 2 (all participants and trials)		Experiment 2 (without eye movements & low prime visibility)	
		Repeat	Unrelated	Repeat	Unrelated
Levels of Eccentricity	-6°				
	Mean RT	604.4 ± 9.9	612.3 ± 9.5	624.8 ± 10.3	649.4 ± 11.8
	% error	10.0% ± 1.5	6.1% ± 1.5	8.8% ± 1.7	6.4% ± 1.8
	-4°				
	Mean RT	599.2 ± 9.5	610.6 ± 10.9	633.7 ± 11.7	636.4 ± 12.5
	% error	10.4% ± 1.4	7.6% ± 1.1	10.9% ± 1.9	8.8% ± 1.4
	-2°				
	Mean RT	575.0 ± 12.6	609.7 ± 10.6	617.1 ± 14.7	641.3 ± 13.4
	% error	10.0% ± 1.4	6.9% ± 1.2	9.6% ± 1.8	6.1% ± 1.4
	0°				
	Mean RT	546.1 ± 13.1	603.4 ± 10.2	568.5 ± 11.3	626.1 ± 9.7
	% error	5.7% ± 1.3	5.7% ± 1.1	6.9% ± 1.6	6.7% ± 1.3
	+2°				
	Mean RT	551.8 ± 12.5	609.3 ± 11.4	591.8 ± 14.5	653.4 ± 11.7
	% error	6.1% ± 1.0	9.4% ± 1.5	5.9% ± 1.4	9.9% ± 1.9
	+4°				
	Mean RT	582.2 ± 12.5	611.6 ± 10.5	628.8 ± 13.3	648.3 ± 12.3
	% error	5.9% ± 1.2	8.8% ± 1.2	6.4% ± 1.4	8.5% ± 1.6
+6°					
Mean RT	608.7 ± 8.5	613.1 ± 11.9	617.7 ± 13.3	648.3 ± 12.3	
% error	9.2% ± 1.4	7.8% ± 1.7	9.9% ± 1.7	7.7% ± 2.2	

Prior to removing trials on which an eye movement occurred and trials with non-central fixation locations, an initial analysis of the RT data of Experiment 2 (using the same data trimming procedure as Experiment 1 with 4.3 % of rejected trials) revealed a replication of the pattern found in Experiment 1B.

There were significant main effects of Eccentricity, $F(6, 198) = 16.28$, $MSE = 746.28$, $p < .0001$, and Repetition, $F(1, 33) = 154.91$, $MSE = 606.68$, $p < .0001$, and a significant interaction, $F(6, 198) = 11.29$, $MSE = 722.41$, $p < .0001$. In an analysis of the data for pseudo-word targets, there were significant main effects of Eccentricity, $F(6, 198) = 4.94$, $MSE = 793.38$, $p < .0001$, and Repetition, $F(1, 33) = 57.63$, $MSE = 614.69$, $p < .0001$, and a significant interaction, $F(6, 198) = 10.17$, $MSE = 627.63$, $p < .0001$. There were no main effects or interaction in the accuracy data for pseudo-words, $F < 1$.

3.2.1. Eye-movement analysis

Prior to analysis, we eliminated all trials in which eye movements were detected. We also eliminated all trials in which eye fixation during prime presentation was outside of a central zone, defined as ± 1 letter from the center of the display. This acceptance criterion corresponds to a pixel interval on the x -axis equal to [482; 542] (see Figure 6.3). After removing trials using these criteria, 4 participants were excluded because of a high rejection rate ($M = 95.2\%$). For the remaining 30 participants, the mean percentage of rejected trials was 14.7% . An ANOVA on the RT data with words following artifact rejection revealed reliable main effects of Eccentricity, $F(6, 174) = 9.78$, $MSE = 1651.76$, $p < .0001$, Repetition, $F(1, 29) = 93.72$, $MSE = 1478.29$, $p < .0001$, and a significant interaction, $F(6, 174) = 3.61$, $MSE = 1603.71$, $p < .005$.

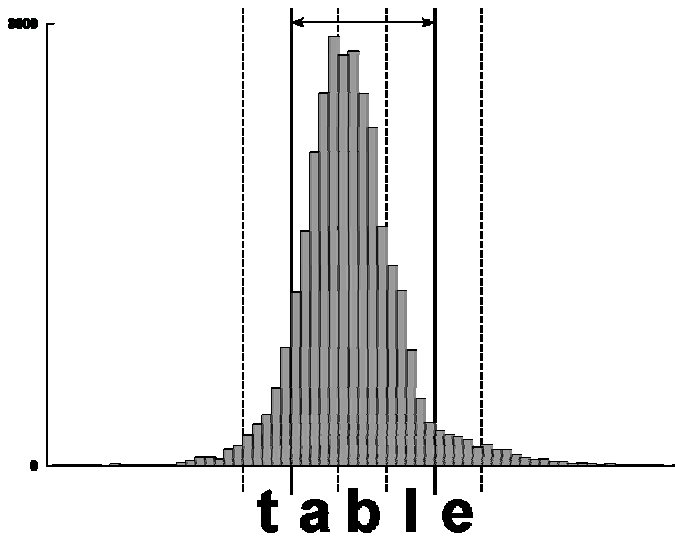


Figure 6.3. Distributions of eye fixation location along the horizontal axis during the presentation of prime words after excluding participants with excessive eye movements ($N = 30$). The double arrow delimits the central fixation zone (± 1 letter from the central letter in foveal position 0°) used to exclude trials with non-central fixations. The distribution is left biased with 60.3% of rejected trials to the left and 39.7% to the right.

3.2.2. Visibility test analysis

An overall estimation of prime visibility (d') was calculated per participant, using the proportions of Hits and False Alarms in the visibility test. Comparison of the d' values for the 30 participants against chance performance (zero) showed a significant difference ($M = 0.13$, $SD = 0.22$, $t(29) = 3.31$, $p < .005$). In order to remove participants with the highest level of prime visibility, d' values were ranked in descending order and successive t -tests were performed after removing participants until the test was not significant. This led to the removal of five participants, hence leaving 25 participants whose prime visibility level did not differ significantly from chance ($M = 0.06$, $SD = 0.16$, $t(24) = 1.93$, $p > .05$).

An ANOVA on the RT data following artifact rejection (eye movements) and only including participants with the lowest level of prime visibility ($N = 25$) showed significant main effects of Eccentricity, $F(6, 144) = 7.22$, $MSE = 1475.99$, $p < .0001$, Repetition, $F(1, 24) = 73.30$, $MSE = 1248.85$, $p < .0001$, and a significant interaction, $F(6, 144) = 3.91$, $MSE = 1429.17$, $p < .005$. After omitting the central position, the analysis including visual field as a factor showed a reliable interaction between Visual Field and Repetition, $F(1, 24) = 4.86$, $MSE = 1854.21$, $p < .05$, with stronger priming effects for primes in the RVF, $F(1, 24) = 37.78$, $MSE = 1517.34$, $p < .0001$, compared with primes in the LVF, $F(1, 24) = 6.49$, $MSE = 1707.50$, $p < .05$. An analysis of the RT data for pseudo-word targets showed a main effect of Repetition, $F(1, 24) = 28.47$, $MSE = 1186.96$, $p < .0001$, no main effect of Eccentricity, $F(6, 144) = 1.27$, $MSE = 2499.73$, $p > .1$, and a reliable interaction, $F(6, 144) = 3.74$, $MSE = 2051.41$, $p < .005$. There were no main effects or interaction in the accuracy data for pseudo-words, $F < 1$.

4. GENERAL DISCUSSION

The present study investigated repetition priming effects using the masked priming paradigm and varying the location of prime and target stimuli (Experiment 1A) or only prime stimuli (Experiments 1B and 2) along the horizontal meridian. Figure 6.4 summarizes the pattern of priming effects across these experiments.

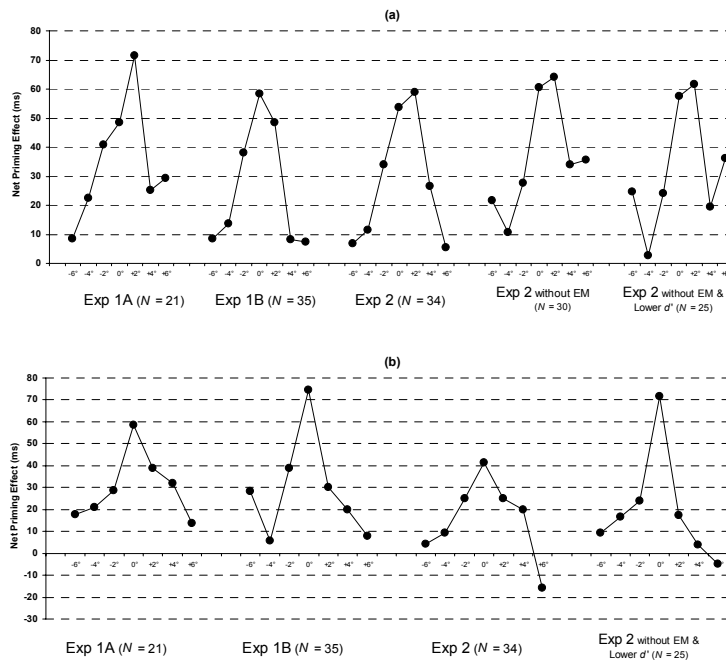


Figure 6.4. Priming effect sizes for word targets (panel a) and pseudo-word targets (panel b) at each level of eccentricity in Experiment 1A, Experiment 1B, Experiment 2 with all trials, Experiment 2 after excluding trials with eye movements and non-central fixations, and Experiment 2 without eye movements and only including participants with the lowest d' values.

Priming effects systematically interacted with eccentricity, with the strongest priming appearing at the most central locations. Priming effects also tended to be more restricted with central targets and stronger for primes in the RVF compared with the LVF.

The present study replicated the robust parafoveal priming effects found for peripheral and central targets in the seminal studies of Rayner and colleagues (Rayner et al., 1978; 1980). In line with these studies our results showed a similar pattern of priming effects for both peripheral targets (with prime and target at the same location) and central targets, although the size of priming effects tended to be smaller in the latter condition. Most important, our experiments show robust priming effects with peripheral primes and centrally located targets in conditions that severely limit prime visibility. This is evidence that location invariant orthographic representations are responsible for at least part of these priming effects. Furthermore, in the present study a similar pattern of priming effects was found for pseudo-word targets (see Figure 6.4). This points to prelexical orthographic representations as a good candidate for achieving the location invariance reflected in our priming effects. The orthographic coding scheme proposed by Grainger and van Heuven (2003; see also Grainger, Granier, Farioli, Van Assche, & van Heuven, 2006) fits the bill. In this scheme, open-bigram representations detect the presence of a given sequence of letters independently of their location along the horizontal meridian.

These priming effects, obtained when primes and targets occupied distinct locations, would appear to contradict prior reports of an absence of masked repetition priming in such conditions (Besner et al., 2005; Lachter et al., 2004). In these studies, priming was only found in the presence of a valid exogenous cue that attracted attention to the prime location. However, one critical difference with respect to the present study is that prime location varied vertically in this prior work, as opposed to the horizontal manipulation used here. The account of location invariant priming mentioned above is only valid for horizontal displacement of stimuli. Furthermore, our horizontal manipulation gave rise to a visual field asymmetry such that priming effects were stronger for primes in the RVF compared with primes in the LVF (after controlling for non-central eye fixations in Experiment 2).

A similar RVF bias was reported by Marzouki et al. (2007) for isolated letter stimuli. Repetition priming for centrally located letter targets was greater when primes appeared to the right of fixation relative to primes appearing to the left. Since priming effects were also affected by exogenous spatial cues in this study, a parsimonious explanation for these results is that attentional mechanisms underlie both the effects of spatial cueing and the effects of visual field. Therefore, the RVF advantage for priming effects in the present study could reflect an endogenous attentional bias toward the right for languages that are read from left-to-right (see Ducrot & Grainger, 2007, for review and recent evidence in favor of this position). This endogenous bias would improve processing of prime stimuli appearing in the RVF hence generating stronger priming effects in this condition. It would therefore appear that both exogenous and endogenous attention can influence the magnitude of masked repetition priming.

References

- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *59*(2), 99-108.
- Ducrot, S., & Grainger, J. (2007). Deployment of spatial attention to words in central and peripheral vision. *Perception & Psychophysics*, *in press*.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *10*, 680-698.
- Forster, K. I., & Forster, J. (2003). DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavioural Research Methods: Instruments and Computers*, *35*, 1257-1270.
- Grainger, J., Granier, J. P., Farioli, F., Van Assche, E., & Van Heuven, W. (2006). Letter position information and printed word perception: The relative-position priming constraint. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *32*, 865-884.
- Grainger, J., & Van Heuven, W. (2003). Modeling letter position coding in printed word perception. In P. Bonin (Ed.), *The Mental Lexicon*. New York: Nova Science.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review*, *111*(4), 880-913.
- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal priming. *Acta Psychologica*, *in press*.
- Pollatsek, A., Lesch, M., Morris, R. K., & Rayner, K. (1992). Phonological codes are used in integrating information across saccades in word identification in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *18*, 148-162.
- Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin*, *124*, 372-422.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Ehrlich, S. (1978). Eye movements and integrating information across fixations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *4*, 529-544.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Zola, D. (1980). Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology*, *12*, 206-226.

Chapitre 7

La modulation des effets d'amorçage avec répétition par l'attention spatiale exogène dépend de la taille des stimuli

Résumé. Dans cette étude, nous avons combiné le paradigme d'attention spatiale exogène avec le paradigme d'amorçage avec répétition dans une tâche de décision lexicale. Avec des cibles centrales et des amorces périphériques présentées horizontalement, un bref indice (abrupt onset) peut être congruent ou non congruent avec la position de ces amorces. Dans cette expérience, la longueur des mots a été manipulée (mots à 3 lettres *vs.* mots à 5 lettres). Les résultats ont révélé un effet de facilitation significatif des amorces validement indicées par l'indice exogène mais seulement limité aux stimuli à 3 lettres. Par contre, un effet inhibiteur a été observé pour les stimuli à 5 lettres. Ces données suggèrent qu'un indice spatial exogène est capable d'activer (*boost*) l'amorce présentée au même endroit que l'indice. C'est ce qui explique le gain observé pour les effets d'amorçage avec répétition. Ce gain ne peut être obtenu avec des stimuli périphériques plus longs, ce qui plaide en faveur du rôle que joue la taille physique de l'information parafovéale afin d'amorcer efficacement une cible centrale.

Mots clés : Indication exogène ; Amorçage masqué avec répétition ; Excentricité du mot

Abstract. An experiment combined both an exogenous spatial cueing with masked repetition priming. Participants performed a lexical decision task (word *versus* pseudo-word classification) with central targets and horizontal peripheral primes that were cued or not by an exogenous abrupt onset. In the present study word length was manipulated (3-letters words *versus* 5-letters words). Results showed a significant facilitation of prime processing by an exogenous valid cue only with 3-letters words whereas with 5-letters words an inhibitory effect was observed. These data indicate that exogenous spatial cue boosts the prime at the location of the cue to explain the higher gain for repetition priming effects. This gain can't be obtained with longer peripheral primes, which indicates the crucial role that plays the physical size of the parafoveal stimulus to prime efficiently a centrally located target.

Keywords: Exogenous cueing; Masked repetition priming; Word eccentricity

1. Introduction

Le rôle de l'attention spatiale dans la reconnaissance des mots demeure jusqu'à aujourd'hui controversé au sein d'une large littérature qui couvre séparément les deux concepts. Depuis les travaux de McCann, Folk, et Johnston (1992) qui plaident explicitement en faveur de l'implication précoce des processus attentionnels, il n'y a pas eu une mise en évidence systématique de ce constat avec différents outils et paradigmes expérimentaux. La présente étude essaie d'examiner cette question à l'aide du paradigme d'amorçage avec répétition dans le but d'explorer les processus perceptivo-attentionnels précoces impliqués dans la reconnaissance des mots.

Il est largement admis que le rôle essentiel de l'attention spatiale sélective est de nous aider à mieux percevoir les positions pertinentes des différents stimuli présentés simultanément dans notre champ visuel (e.g., Duncan, 1984; Posner, Nissen, & Ogden, 1978; Treisman & Gelade, 1980) mais *le comment* et *le où* de ce rôle reste encore une question difficile à aborder. L'étude initiale conduite par McCann et al. (1992) est considérée comme une étude pionnière dans le sens où elle a tenté : 1) d'intégrer la technique de l'indilage spatial dans la reconnaissance des mots 2) d'essayer de déterminer si cette attention spatiale est reliée à une sélection précoce *vs.* tardive.

2. Attention spatiale et reconnaissance des mots

On peut décrire deux points de vue divergents concernant le rôle que peut jouer l'attention spatiale dans la reconnaissance des mots. On distingue d'une part une approche qui donne plus de crédit à l'attention, et selon laquelle la reconnaissance visuelle des mots requiert systématiquement une orientation de l'attention spatiale au même endroit que les stimuli mots (McCann et al. (1992); Stolz, 1996; Stolz & McCann, 2000); d'autre part, une approche qui exclut le rôle de l'attention et considère que la reconnaissance visuelle des mots peut être déclenchée même en l'absence d'attention spatiale (Brown, Gore, & Carr, 2002).

Ayant recours de façon variée au paradigme original d'indilage spatial, quelques anciens travaux n'ont pas réussi à obtenir des effets de pré-indilage spatial dans des tâches d'identification des mots (e.g., Hardyck, Chiarello, Dronkers, & Simpson, 1985; Siéroff & Posner, 1988). Néanmoins cet échec n'a pas freiné les recherches prétendant réfuter le constat selon lequel l'attention spatiale n'est pas impliquée dans la reconnaissance des mots.

Dans leur influente étude, McCann et al. (1992) ont rapporté la présence d'interactions significatives entre la validité de l'indice et la fréquence des mots, et entre la validité de l'indice et la « lexicalité ». Ces résultats suggèrent que l'attention spatiale doit être allouée au bon endroit afin de déclencher l'identification visuelle des mots, une interprétation déjà avancée par Johnston et Dark (1986). On note au passage que McCann et al. ont manipulé verticalement la présentation des stimuli et ont utilisé un paradigme d'amorçage sémantique.

Dans la même logique, Dark, Vochatzer, et Voorhis (1996) ont examiné la relation entre les mécanismes sélectifs de l'attention spatiale et l'amorçage sémantique. Les auteurs ont montré un net effet d'amorçage sémantique dû à l'indication spatiale. Ce résultat a été observé à l'identique, que ce soit dans une condition d'attention divisée ou dans une condition d'attention focalisée. En effet, les amorces brièvement présentées, et qui sont sémantiquement associées aux mots cibles, sont traitées de façon sélective contrairement au mot amorce non pertinent (*odd prime word*). Dans les trois expériences décrites par Dark et al. (1996) la durée des amorces est de 200 ms et la manipulation des stimuli était verticale. Malgré cette durée relativement longue, les auteurs donnent une explication en termes de sélection attentive précoce des effets d'amorçage sémantique. Une investigation plus en profondeur de ces propriétés serait plus judicieuse en recourant à un paradigme alternatif et capable de mieux analyser les propriétés plus (*bottom-up*) perceptuelles que sémantiques des mots présentés. Il s'agit du paradigme d'amorçage masqué.

3. Attention spatiale, reconnaissance des mots et amorçage masqué

Dans des études récentes, certains chercheurs ont combiné avec succès la technique d'amorçage masqué avec la procédure d'indication spatiale. Lachter, Forster, et Ruthruff (2004) ont mis en évidence à travers une série d'expériences l'existence d'une modulation attentionnelle des effets d'amorçage avec répétition. Leurs résultats montrent que ces effets n'apparaissent que quand l'attention est allouée au même endroit que celui occupé par l'amorce. Lachter et al. ont montré qu'un indice exogène est suffisant pour attirer l'attention sur la position de l'amorce et générer un effet d'amorçage significatif quand l'amorce et la cible n'ont pas la même localisation spatiale.

En réaction au débat qui a opposé d'une part les tenants de l'absence du rôle de l'attention (Brown, Gore, & Carr, 2002) *versus* ceux qui la considèrent primordiale dans le traitement des processus lexicaux (McCann et al., 1992; Stolz, 1996; Stolz & McCann, 2000), Besner, Risko, et Sklair (2005) ont réalisé une expérience dans laquelle ils ont essayé de vérifier à quel point l'hypothèse de Brown et al. (2002) était valide. Cette hypothèse prédit que le traitement des amorces dans une localisation spatiale non indiquée devrait produire un effet d'amorçage. Les auteurs ont manipulé la validité de l'indice (200 ms) et la répétition de l'amorce (50 ms) comme dans Marzouki et al. (2007) (voir **chapitre 3**). Il faut noter que Besner et al. ont présenté verticalement les stimuli, ce qui ne leur permet pas d'analyser les différences hémisphériques, surtout en présence d'un matériel verbal. Besner et al. (2005) ont observé une interaction significative entre l'attention spatiale et l'amorçage en faveur de la position validement indiquée et occupée par une amorce reliée.

En utilisant comme stimuli des lettres isolées, Marzouki et al. (2007) ont trouvé le même pattern de résultats que celui obtenu par Besner et al. (2005). Marzouki et al. ont observé un effet d'amorçage avec répétition significatif seulement quand la position de l'amorce a été indiquée de façon valide (en comparaison avec la position non valide). Outre ce résultat, et grâce à une présentation horizontale des stimuli, leur effet significatif d'amorçage est seulement généré du côté droit comparé

au côté gauche, suggérant également la présence d'un effet de supériorité du champ visuel droit avec l'amorçage subliminal. Un effet que Marzouki et al. interprètent comme reflétant un biais vers la droite dû aux stimuli linguistiques pour des lecteurs qui lisent de gauche à droite.

Ce qu'on peut conclure à partir de la présentation de ces travaux clés combinant à la fois la technique d'amorçage et celle d'indiciage c'est que l'attention spatiale est un facteur déterminant dans les processus de reconnaissance des mots écrits. En effet, l'indice spatial fournit une activation supplémentaire s'affichant au même endroit, lui permettant ainsi d'accéder à un niveau de traitement capable de déclencher une intégration appropriée avec le stimulus cible à venir.

Les quelques travaux qui ont montré une modulation de l'attention spatiale à l'aide de la technique d'amorçage, ont systématiquement manipulé l'affichage des stimuli de façon verticale. En analysant attentivement la méthodologie adoptée, on en infère une sorte de précaution prise par les auteurs quant à la présentation horizontale des amorces périphériques. Cette précaution tient certainement compte de certaines contraintes neurobiologiques du système visuel limitant la performance à une zone plus fovéale (e.g., Battista, Kalloniatis, & Metha, 2005; Lavidor & Walsh, 2004; Lindell & Nicholls, 2003).

4. La présente étude

Dans le **chapitre 3**, une note de bas de page fait référence à une recherche conduite dans notre laboratoire et qui a montré que les effets d'indiciage spatial apparaissent plutôt avec les mots courts qu'avec les mots longs. Nous rapportons dans ce chapitre les détails de cette étude qui a pour objectif de tester le rôle que joue la taille de l'information périphérique sur les cibles centrales. L'un des arguments de l'étude rapportée dans le **chapitre 3** concerne l'augmentation de la probabilité d'un changement rapide et précis de l'attention spatiale, vu qu'on utilise des lettres isolées. Il va de soi que plus l'information spatiale utilisée est compacte, plus les effets d'amorçage ont des chances d'émerger. Cette hypothèse sera mise à l'épreuve dans cette étude qui n'est autre que la réplication du même paradigme utilisé dans le **chapitre 3** avec des stimuli mots à la place des stimuli lettres.

A l'aide des deux paradigmes d'amorçage masqué avec répétition (Forster & Davis, 1984) et d'indiciage spatial (Posner & Cohen, 1984), on essaiera d'examiner le rôle de l'attention spatiale dans la modulation des effets d'amorçage en tenant compte de la taille des stimuli périphériques. Grâce à cette étude, nous essaierons aussi d'élucider en partie le problème empirique de l'échec systématique à obtenir un effet d'amorçage avec répétition quand on présente des cibles toujours centrales avec des amorces parafovéales (i.e. périphériques). En utilisant des stimuli lettres, qui sont spatialement plus compacts que les mots, Marzouki et al. (2007) ont voulu maximiser, dans leur étude, la possibilité d'observer un effet d'amorçage en réduisant la taille de l'information périphérique. Leurs résultats montrent de façon claire que les effets d'amorçage peuvent être modulés par l'attention spatiale.

Dans une première expérience, la procédure simule une situation normale de lecture pour une langue latine, où l'amorce et la cible apparaissent au même endroit. Les auteurs ont trouvé un effet

classique en faveur du champ visuel droit avec un effet d'amorçage plus prononcé à droite. Dans leur deuxième expérience, les auteurs ont présenté une cible toujours centrale mais la position de l'amorce varie suivant 7 localisations. Les résultats ont montré un rétrécissement de l'étendue des effets d'amorçage qui s'est limitée uniquement aux positions les plus centrales : -2° ; 0° et $+2^\circ$. Au-delà de cette zone, le même échec à pouvoir générer des effets de répétition a été constaté. Marzouki et Grainger (2007) ont affiné la description du champ récepteur fonctionnel (Functional Receptive Field, e.g., Bouma, 1971) des effets d'amorçage masqué tout en tenant compte des contraintes de présentation parafovéale des amorces.

Dans la présente étude, l'excentricité a été également manipulée en adoptant la même échelle paramétrique que Marzouki et Grainger (2007). A partir de cette échelle, deux positions seulement ont servi pour la présentation périphérique des indices exogènes et des amorces ; il s'agit de la position -4° pour la présentation à gauche et de $+4^\circ$ pour la présentation à droite. Ces deux positions sont, comme il a été signalé plus haut, en dehors de la fenêtre fonctionnelle optimale pour obtenir des effets d'amorçage.

Nous examinons dans cette expérience les effets d'indiciage spatial par-delà les limites de ce qui a été défini comme champ récepteur fonctionnel pour savoir si l'absence (voire l'insuffisance) d'amorçage en dehors de la zone fovéale peut être ou non compensée par l'amplification supplémentaire (*extra-boost*) fournie par l'attention spatiale exogène telle que démontrée avec les lettres isolées (voir Marzouki et al., 2007). Elle adresse aussi la question de l'importance de l'information physique, et probablement cognitive, de l'information parafovéale sous le contrôle d'un mécanisme attentionnel exogène

5. Méthode

5.1. Participants

32 participants (8 sujets masculins, âge moyen = 20 ans) étudiant de l'Université de Provence, tous droitiers, ayant le français pour langue maternelle ont volontairement participé à l'expérience. Tous les participants présentent une vision normale ou corrigée à la normale.

5.2. Design et stimuli

80 stimuli courts (de 3 lettres) et 80 stimuli longs (de 5 lettres) constituent les 160 mots français utilisés dans l'expérience (voir annexe 2)¹¹. La même longueur a été aussi adoptée pour le choix des 160 pseudo-mots prononçables. Ces 320 stimuli constituent les cibles. Avant l'apparition de l'amorce, un indice apparaît soit à la même position que l'amorce (condition valide, avec 50% des

¹¹ Les listes des mots de 3 vs. 5-lettres étaient choisies à partir de la base de données **Lexique 3** (New, avril 2006; New, Brysbaert, Veronis, & Pallier, *in press*). Les fréquences des items étaient calculées sur la base des lemmes. La comparaison des fréquences des mots de 3-lettres et de 5-lettres n'a pas montré de différences significatives aussi bien par rapport au critère *Livres*: $t(107) = -1.20$, $p > .1$ que *Films*: $t(107) = -1.31$, $p > .1$.

essais) ou en position opposée (condition non valide, avec 50% des essais), ce qui définit les deux modalités du facteur validité de l'indice. Les stimuli amorces apparaissent soit dans l'hémi-champ visuel gauche, soit dans l'hémi-champ visuel droit, définissant ainsi les deux niveaux du facteur position de l'amorce. Enfin, le facteur amorçage est aussi défini par deux niveaux : pour la condition reliée, chaque mot (pseudo-mot) -cible est précédé par le même mot (pseudo-mot) en amorce. Dans la condition non-reliée, chaque cible (mot ou pseudo-mot) est amorcée par une amorce (mot ou pseudo-mot) non identique. Les stimuli amorces apparaissent tout au long de l'axe horizontal à 4°¹² d'excentricité des deux côtés du point de fixation avec toujours une cible centrale (voir Figure 7.1). La validité de l'indice (valide *vs.* non valide) croisée avec la longueur des mots (3 lettres *vs.* 5 lettres) croisée avec la position de l'amorce (gauche *vs.* droite) et condition d'amorçage (reliée *vs.* non-reliée) définissent un plan factoriel de type 2 x 2 x 2 x 2. Un contre-balancement standard avec un carré latin permet à chaque cible d'être testée dans chaque condition expérimentale entre les participants. Chaque participant reçoit 20 items différents (10 mots et 10 pseudo-mots) dans chaque condition du plan. Chaque cible mot / pseudo-mot est vue deux fois par chaque participant, une fois dans la condition reliée et une fois dans la condition non reliée.

5.3. Procédure

L'expérience était conduite dans une pièce faiblement éclairée et pilotée par le logiciel d'expérimentation DMDX version 3.0.2.5 (Forster & Forster, 2003). Les participants étaient assis à une distance de 80 cm de l'écran d'ordinateur, sur lequel les stimuli étaient affichés en blanc sur un fond noir en mode VGA (75 Hz refresh). La luminance du fond d'écran était approximativement de 1 cd/m² et celle des stimuli était approximativement de 92 cd/m². Que ce soit avec les stimuli à 3 ou à 5 lettres, chaque essai commençait par l'affichage durant 300 ms d'un point de fixation au centre de l'écran. La fixation était immédiatement remplacée pour une durée de 150 ms par un indice placé soit à gauche soit à droite. Un pré-masque de 12 ms formé d'une série de dièses [« ### » pour les stimuli de 3 lettres, voir Figure 7.1 (b) *vs.* « ##### » pour les stimuli de 5 lettres, voir Figure 7.1 (a)] venait remplacer l'indice des deux côtés du point de fixation.

¹² La valeur rapportée de 4° de l'angle visuel définit la distance séparant le point de fixation au milieu de l'écran et la lettre centrale du mot amorce périphérique.

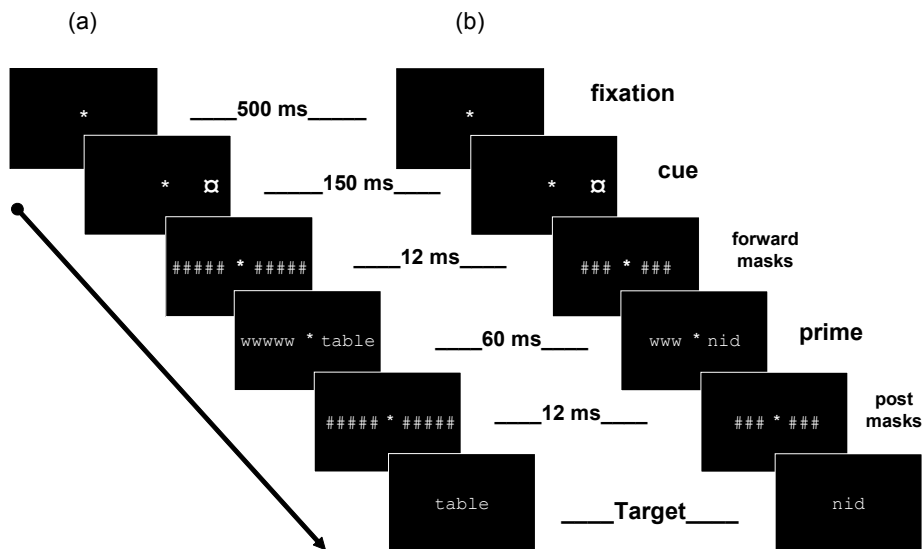


Figure 7.1. Description d'un essai typique de la condition où la longueur des stimuli est de 5 lettres (a) versus celle où la longueur est de 3 lettres (b).

L'amorce apparaissait immédiatement après pour une durée de 60 ms, soit à gauche, soit à droite de la fixation toujours accompagnée de l'amorce complémentaire « www » au côté opposé dans la condition mot court et celle de « wwwwww » dans la condition mot long. L'amorce et la série de « w » complémentaire étaient post-masquées par le même pattern du pré-masque durant 12 ms qui était à son tour suivi de la cible qui restait affichée jusqu'à ce que le sujet réponde. Tous les stimuli étaient affichés en caractère « Courier New » gras de taille 14. Les stimuli périphériques (indice, masques et amorces) occupaient une position de 4° d'angle visuel, calculé sur la base des distances euclidiennes, séparant le point de fixation et la lettre centrale de l'amorce (5.5 cm) et le centre de l'écran de l'œil du sujet (80 cm).

Les participants étaient invités à répondre le plus rapidement possible et en évitant au maximum de faire des erreurs en appuyant avec leur index sur l'une des deux gâchettes d'un joystick Microsoft SideWinder Plug & Play Game Pad® : gâchette droite pour les mots et gâchette gauche pour les pseudo-mots. Les sujets passaient d'abord une session d'entraînement, contenant un ensemble complet de 16 mots et pseudo-mots, suivie par les 320 essais aléatoirement présentés de la session principale. La durée totale de l'expérience était approximativement de 30 mn.

6. Résultats

6.1 Analyse des mots

Les tableaux 7.1 et 7.2 nous donnent la moyenne des temps de réaction (TRs) pour les bonnes réponses ainsi que les pourcentages d'erreurs par condition respectivement pour les mots de 3 lettres et pour les mots de 5 lettres. La réponse des participants face aux mots est plus rapide, $F(1, 62) = 32.02$, $MSE = 42237.77$, $p < .0001$ mais pas plus précise que celle face aux pseudo-mots, $F < 1$. Le pourcentage des erreurs dans la tâche suit la même tendance que les données des TRs, suggérant l'absence d'un effet de la balance vitesse-précision (*speed-accuracy trade-off*).

Une ANOVA à mesures répétées a été conduite sur les données des TRs relatives aux stimuli mots avec la validité de l'indice, la longueur des mots, la position des amorces et la répétition comme facteurs d'analyse. L'ANOVA a révélé des effets simples significatifs de : la longueur des mots, $F(1, 31) = 33.68$, $MSE = 1672.54$, $p < .0001$, de la position des amorces, $F(1, 31) = 8.94$, $MSE = 898.27$, $p < .005$ et de la répétition, $F(1, 31) = 17.5$, $MSE = 1812.93$, $p < .0005$. Il n'y a pas d'effet de la validité de l'indice, $F < 1$. Les interactions de second ordre entre : la validité de l'indice et la longueur des mots, $F(1, 31) = 1.56$, $MSE = 3508.28$, $p > .05$; la validité de l'indice et la position des amorces, $F < 1$; la validité de l'indice et la répétition, $F < 1$, la longueur des mots et la position des amorces, $F < 1$; et entre la position des amorces et la répétition, $F < 1$, ne sont pas significatives. La seule triple interaction robuste est celle entre la validité de l'indice x la longueur des mots x la position des amorces, $F(1, 31) = 4.64$, $MSE = 2582.21$, $p < .05$. L'interaction entre la validité de l'indice x la longueur des mots x la répétition n'est pas significative, $F(1, 31) = 2.17$, $MSE = 1232.88$, $p > .1$ ainsi, que celle entre la longueur des mots x la position des amorces x la répétition, $F < 1$. Finalement l'interaction d'ordre quatre n'est pas significative, $F(1, 31) = 1.59$, $MSE = 1588.64$, $p > .1$.

Tableau 7.1. Moyennes des TRs (en ms) et des erreurs (en %) ± 1 erreur-type de la moyenne pour les mots de 3 lettres.

Mots à 3 lettres								
Position Amorce	amorce à gauche				amorce à droite			
	valide		non valide		valide		non valide	
Indice	reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée
Moyenne TR	577.8	597.1	575.9	597.7	558.3	577	581.4	583
	± 10.7	± 10.7	± 10.1	± 9.8	± 9.8	± 9.5	± 11.9	± 9.7
% erreurs	7.8%	11.3%	7.2%	10.6%	8.1%	6.6%	6.9%	9.1%
	± 0.1	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.1	± 0.2

Tableau 7.2. Moyennes des TRs (en ms) et des erreurs (en %) ± 1 erreur-type de la moyenne pour les mots de 5 lettres.

		Mots à 5 lettres							
		amorcer à gauche				amorcer à droite			
Position Amorce	Indice	valide		non valide		valide		non valide	
Amorce		reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée
Moyenne TR		595 ± 12.6	607 ± 10.5	599.1 ± 14.4	614.1 ± 9.3	604.5 ± 12.8	613.8 ± 13.1	577.2 ± 11.2	605.4 ± 9.6
% erreurs		4.4% ± 0.1	5% ± 0.1	6.6% ± 0.2	7.2% ± 0.2	5.3% ± 0.1	7.8% ± 0.2	5% ± 0.1	5.3% ± 0.1

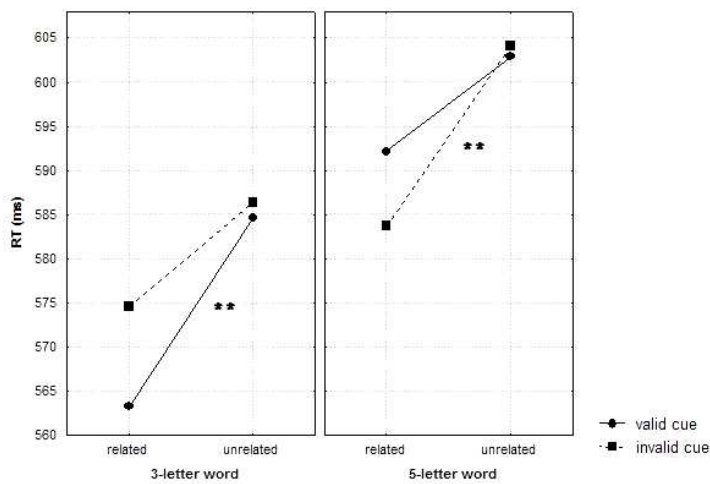


Figure 7.2. Graphe de la triple interaction : validité de l'indice x longueur des mots x répétition. Les effets d'amorçage significatifs sont indiqués par un astérisque ($p < .01$).**

Les résultats présentés dans la figure 7.2 ont été analysés à l'aide de comparaisons post-hoc (Newman-Keuls Test) dans le but de tester l'effet de validité de l'indice sur les effets de l'amorce.

Malgré une triple interaction non significative, les résultats montrent un effet facilitateur des effets d'amorçage par l'indication valide mais seulement quand les mots sont courts ($p < .01$) mais pas quand ils sont longs ($p > .1$). Aucun effet n'a été observé quand l'indication est non valide avec les mots de 3 lettres ($p > .1$) contrairement aux mots longs où on a observé un effet facilitateur quand l'indice est non valide ($p < .01$).

Les résultats de l'ANOVA appliquée sur les bonnes réponses n'ont pas montré d'effets simples de la validité de l'indice, $F < 1$ et de la position de l'amorce, $F(1, 31) = 1.54$, $MSE = 0.46$, $p > .1$; par contre l'ANOVA a montré des effets simples significatifs de la longueur des mots, $F(1, 31) = 21.45$, $MSE = 0.41$, $p < .0001$ et de la répétition, $F(1, 31) = 4.73$, $MSE = 0.56$, $p < .05$. Les interactions de second, de troisième et de quatrième ordre ne sont pas significatives, $F < 1$.

6.2. Analyse des pseudo-mots

Les analyses sur les TRs (voir Tableaux 7.3 et 7.4) ont révélé un effet simple significatif de la longueur des pseudo-mots, $F(1, 31) = 236.80$, $MSE = 5940.47$, $p < .0001$. Nous n'avons pas observé d'effet significatif de la validité de l'indice, $F < 1$, de la position de l'amorce, $F < 1$ et de la répétition, $F(1, 31) = 2.77$, $MSE = 2074.44$, $p < .1$. Les double, triple et quadruple interactions ne sont pas significatives, $F < 1$, sauf celle entre la longueur des stimuli et de la répétition, ($p > .05$).

Tableau 7.3. Moyennes des TRs (en ms) et des erreurs (en %) ± 1 erreurs-types de la moyenne pour les pseudo-mots de 3 lettres.

Pseudo-mots à 3 lettres								
Position Amorce	amorce à gauche				amorce à droite			
	valide		non valide		valide		non valide	
Indice	reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée
Moyenne TR	617.5	618.6	606.1	608.3	604.5	606.8	621.4	610.9
	± 9.9	± 7.7	± 11.3	± 8.15	± 9.5	± 9.9	± 10.3	± 10.4
% erreurs	3.5%	1.3%	4.5%	2.6%	2.3%	4.2%	2.9%	3.2%
	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.1	± 0.2	± 0.1

Tableau 7.4. Moyennes des TRs (en ms) et des erreurs (en %) ± 1 erreur-type de la moyenne pour les pseudo-mots de 5 lettres.

Pseudo-mots à 5 lettres								
Position Amorce	amorce à gauche				amorce à droite			
	valide		non valide		valide		non valide	
Indice	reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée	reliée	non reliée
Moyenne TR	707.9	732.2	699.1	722.1	721.8	715.2	708.3	726.3
	± 13.6	± 16.4	± 14.9	± 11.7	± 16.9	± 15.7	± 13.4	± 17.7
% erreurs	11%	10%	11.6%	10.6%	10%	11%	11.6%	11.3%
	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.3	± 0.2

7. Discussion

La présente étude examine l'effet de la taille physique des stimuli périphériques sur les effets d'amorçage en combinant le paradigme d'indiciage spatial de Posner avec celui d'amorçage rapide masqué avec répétition. La procédure consiste en une présentation soit à gauche soit à droite du point de fixation d'un indice qui peut être valide avec la position de l'amorce pour 50% des cas ou non valide pour 50% des cas. Les amorces périphériques sont horizontalement et brièvement présentées pendant 60 ms à des excentricités de -4° pour l'hémi-champ gauche et de $+4^\circ$ pour l'hémi-champ droit. Les cibles étaient toujours centrales. Nous avons aussi manipulé la longueur des stimuli : 3-lettres vs. 5-lettres.

Les résultats ont révélé un effet robuste de facilitation des effets d'amorçage en présence d'un indice valide avec les mots à 3-lettres. Par contre, ce même effet de facilitation a été observé avec les mots à 5 lettres mais en présence d'un indice non valide. Le résultat que nous observons avec les mots courts est consistant avec celui qui a été observé par Marzouki et al. (2007) avec les lettres isolées, et montre qu'un indiciage précoce facilite le traitement d'une information subliminale qui apparaît au même endroit que l'indice et explique le gain observé pour les effets d'amorçage avec répétition.

Dans la présente étude, nous avons utilisé la même définition paramétrique de l'excentricité que celle utilisée dans Marzouki et Grainger (2007) et avec une approche plus « standard » d'indiciage spatial. En effet, au-delà de la zone optimale d'indiciage il serait difficile de produire des effets d'amorçage à l'aide d'amorces périphériques sauf si un mécanisme d'indiciage vient moduler le traitement de cette information parafovéale.

Il est vrai que le sens modulateur de ce mécanisme est difficile à inférer empiriquement en une seule étude : cette expérience montre qu'il a tendance à être plus facilitateur avec les mots courts. Ce résultat était attendu vu la facilité avec laquelle cet effet a été observé par Marzouki et al. (2007) avec les lettres isolées. Les deux résultats convergent puisque que c'est l'aspect compact de l'espace qu'occupe une amorce périphérique qui est susceptible d'augmenter la probabilité d'observer des effets facilitateurs d'amorçage.

Dans certaines conditions expérimentales, cet effet modulateur peut s'avérer inhibiteur. On démontre en l'occurrence ici qu'il l'est avec les mots longs. L'effet vient mimer en quelque sorte un effet classique d'inhibition de retour (IOR). Ce dernier résultat a fait l'objet d'un article (voir Marzouki et al., 2007) qui a porté sur des effets similaires d'inhibition avec des SOA plus longs et des lettres isolées.

Nous pensons que le sens de la modulation est médiatisé par la taille de l'amorce : plus la taille est compacte, plus l'effet est facilitateur et meilleurs seront les effets d'amorçage et nous pensons que c'est l'inverse qui se produit : plus la taille est large, plus l'effet est inhibiteur et moins importants sont les effets d'amorçage.

Le modèle nROUSE (*“a neural mechanism for Responding Optimally with Unknown Sources of Evidence”*) théorique a été proposé par Huber et O'Reilly (2003) pour expliquer certains mécanismes

inhibiteurs impliqués dans les paradigmes d'amorçage. Selon ce modèle, l'activation d'une région par un indice génère un effet bi-phasique sur le traitement des stimuli qui vont apparaître au même endroit. Cet effet bi-phasique consiste en une sommation de la persistance et de l'accommodation. La persistance opère en facilitant plus les stimuli brièvement présentés et moins les stimuli présentés lentement. Simultanément, l'accommodation met en jeu une inhibition compétitive causée par une forte activation du stimulus qui inhibera des compétiteurs semblables. Au vu de nos résultats, ce sont les stimuli courts qui constituent un compétiteur pour les stimuli longs. Du fait que nos amorces sont périphériques, le déplacement de l'attention est tributaire de son désengagement du point de fixation central vers la périphérie, et dans ce cas, les stimuli courts ont plus de chances d'être détectés rapidement que les mots longs.

References

- Battista, J., Kalloniatis, M., & Metha, A. (2005). Visual function: the problem with eccentricity. *Clinical and Experimental Optometry*, 88(5), 313-321.
- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 59(2), 99-108.
- Bouma, H. (1971). Visual recognition of isolated lower-case letters. *Vision Research*, 11, 459-474.
- Brown, T. L., Gore, C. L., & Carr, T. H. (2002). Spatial attention and word recognition in Stroop color naming: Is word-recognition automatic? *Journal of Experimental Psychology: General*, 131, 220-240.
- Dark, V. J., Vochatzer, K. G., & VanVoorhis, B. A. (1996). Semantic and Spatial Components of Selective Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 22(1), 63-81.
- Duncan, J. (1984). Selective attention and the organization of visual information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 501-517.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 10, 680-698.
- Forster, K. I., & Forster, J. (2003). DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavioural Research Methods: Instruments and Computers*, 35, 1257-1270.
- Hardyck, C., Chiarello, C., Dronkers, N. F., & Simpson, G. V. (1985). Orienting attention within visual fields: How efficient is inter-hemispheric transfer? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 11, 650-666.
- Huber, D. E., & O'Reilly, R. C. (2003). Persistence and accommodation in short-term priming and other perceptual paradigms: temporal segregation through synaptic depression. *Cognitive Science*, 27, 403-430.
- Johnston, W. A., & Dark, V. J. (1986). Selective attention. *Annual Review of Psychology*, 37, 43-75.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review*, 111(4), 880-913.
- Lavidor, M., & Walsh, V. (2004). The nature of foveal representation. *Nature Neuroscience*, 5, 729-735.
- Lindell, A. K., & Nicholls, M. E. R. (2003). Cortical representation of the fovea: implications for visual half-field research. *Cortex*, 39, 111-117.
- Marzouki, Y., & Grainger, J. (2007). Effects of prime and target eccentricity on masked repetition priming. *Psychonomic Bulletin & Review*, In press.
- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming. *Acta Psychologica*, 126(1), 34-45.

- McCann, R. S., Folk, C. L., & Johnston, J. C. (1992). The role of spatial attention in visual word processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 18(4), 1015-1019.
- New, B. (avril 2006). *Lexique 3 : Une nouvelle base de données lexicales*. Paper presented at the Conférence Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN 2006), Louvain, Belgique.
- New, B., Brysbaert, M., Veronis, J., & Pallier, C. (in press). The use of film subtitles to estimate word frequencies. *Applied Psycholinguistics*.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance* (Vol. X, pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick & I. J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Siéoroff, E., & Posner, M. I. (1988). Cueing spatial attention during processing of words and letter strings in normals. *Cognitive Neuropsychology*, 5, 451-472.
- Stolz, J. A. (1996). Exogenous orienting does not reflect an encapsulated set of processes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 187-201.
- Stolz, J. A., & McCann, R. S. (2000). Visual word recognition: Re-attending to the role of spatial attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1320-1331.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.

Partie IV

Modélisation

Chapitre 8

Un modèle mathématique des effets de l'excentricité des amorces et des cibles sur l'amorçage masqué avec répétition

Résumé. Nous proposons dans cet article deux modèles mathématiques. Le premier modèle (Local-Priming) représente une lecture mathématique du modèle de codage orthographique en bigrammes de Grainger et van Heuven (2003) qui est basé sur l'idée de la spécificité localisationnelle des effets d'amorçage. Selon des travaux récents, l'attention spatiale joue un rôle important dans la modulation des effets d'amorçage, ce qui nous a amené à proposer un deuxième modèle (Attention-to-Prime) qui tient compte de ce facteur attentionnel qui a été négligé par les autres modèles de la spécificité localisationnelle de l'amorçage. Les simulations des deux modèles ont été réalisées à partir des données comportementales issues de trois expériences manipulant l'excentricité des amorces et des cibles. Les résultats ont montré que le modèle Attention-to-Prime peut surpasser le modèle Local-Priming, une conclusion qui sera discutée à la lumière de l'approche basée sur le codage orthographique en bigrammes et une version révisée du modèle de Grainger-van Heuven sera proposée.

Mots clés : Effets d'excentricité ; Codage orthographique en bigrammes ; Amorçage masqué avec répétition ; Modélisation mathématique

Abstract. We report in this paper on two mathematical models. The first model (Local-Priming model) is a mathematical interpretation of the Grainger-van Heuven Parallel Open-Bigram model (2003) based on location-specificity for repetition priming. However, according to recent results, spatial attention plays a robust role on modulating priming effects. Hence, we suggested a second model (Attention-to-Prime model) that takes into consideration attentional deployment at the location of the prime in the absence of any cueing procedure. This factor was missing in previous location-specific priming models. The two models were fit to the data of Marzouki and Grainger (in press) and tested in a new series of three behavioural experiments independently manipulating both prime and target eccentricities. Results showed that Attention-to-Prime model fits well the data and showed that prime and target location need not overlap for priming to occur. We concluded that Attention-to-Prime can supersede Local-Priming model, a finding that will be discussed within the Open-Bigram coding approach and a revised version of Grainger-van Heuven model is suggested.

Keywords: Eccentricity; Open Bigram-coding; Masked repetition priming; Mathematical modelling

A Mathematical Model for Effects of Prime and Target Eccentricity on Masked Repetition Priming:¹³

Yousri Marzouki,^{1, CA} Martijn Meeter,² and Jonathan Grainger^{1 & 3}

¹ Aix-Marseille University, Marseille, France;

Laboratoire de Psychologie Cognitive, Université d'Aix-Marseille. 3 place Victor Hugo,
13331 Marseille cedex 1

² Department of Cognitive Psychology, Vrije Universiteit Amsterdam

³ CNRS, France

Short title: Modelling the role of attention in masked priming

^{CA} *Corresponding author:*

Yousri Marzouki

yousri.marzouki@univ-provence.fr

¹³ *Manuscript in preparation for submission*

1. Introduction

The masked priming paradigm was initially introduced as a tool for investigating subliminal processes. Marcel's (1983) findings of semantic priming effects without conscious access to primes triggered a major debate on the possibility of unconscious processing of semantics. But the same paradigm has attracted less controversy when used to explore the process of orthographic processing. The seminal study was conducted by Forster and Davis (1984). These authors combined a very brief presented masked prime with lexical decision on a target that is presented for a longer duration. A robust priming effect was found when prime and target are repetitions of or similar to one another, compared to unrelated condition when prime and target are two different words. Since its inception in the early 80s (e.g., Evett & Humphreys, 1981), the masked repetition priming paradigm has been a robust tool in the investigation of perceptual processes involved in early letter- and words recognition (e.g., Holcomb & Grainger, 2006; Humphreys, Evett, & Quinlan, 1990; Jacobs & Grainger, 1991; Marzouki & Grainger, *in press*; Segui & Grainger, 1990).

In masked priming studies, prime and target are typically presented both at fixation. In a recent study Marzouki and Grainger (*in press*) investigated repetition priming effects while parametrically manipulating prime and target eccentricity. Marzouki and Grainger placed either prime and target stimuli (Experiment 1A) or only prime stimuli (Experiments 1B and 2) at several positions along the horizontal meridian. Times to identify stimuli generally increased with eccentricity. Priming effects were found to also vary with eccentricity, with the strongest priming appearing at the most central locations. Priming effects tended to be more restricted with central targets than when targets appeared at the same peripheral location as the primes. They were stronger for primes in the right visual field (RVF) compared with the left visual field (LVF). Furthermore, a similar pattern of priming effects was found for pseudo-word targets as for word targets.

The last finding corroborates models that place priming at the level of pre-lexical orthographic representations that are partly location-invariant (e.g., Grainger & van Heuven, 2003). However, the results seem to argue against these representations being wholly location-invariant. In particular, the fact that priming is stronger for peripheral primes if target and prime are at the same location than when targets are central seems to argue for some location specificity. In this paper, we further investigate the role of location in the strength of priming. We will first discuss a model of reading that has been used to investigate orthographic processing. We then discuss two ways in which the results of Marzouki and Grainger (*in press*) could be understood within this model. First, priming could rely on representations that are to some extent location-specific. Second, apparent location-specificity could result from a restricted attentional spotlight that modulates priming. We will discuss and formalize both ideas in a mathematical summary model. Finally, we will present data to discriminate between these alternatives.

2. Grainger-van Heuven’s Parallel Open-Bigram Model (POB-Model)

Grainger and Van Heuven (2003; see also Grainger, Granier, Farioli, Van Assche, & van Heuven, 2006) suggested an open-bigram based neural network model to understand orthographic processing. It belongs to large family of what are called spatial coding scheme models (see, for extensive review, Davis & Bowers, 2004; Grainger & van Heuven, 2003; Perea & Lupker, 2004). The model suggested that priming depends on the relative position of letters relative to one another, and not on the absolute position of letters or their position relative to onset as in McClelland and Rumelhart’s (1981) interactive activation model. This idea of a role for relative-position in priming was first demonstrated by Humphreys et al. (1990). The main idea in Grainger and van Heuven’s model is that there are sub-lexical representations that code for the presence of contiguous and non-contiguous letter sequences. The word “TABLE” is coded as all combinations of two letters that follow one another, either directly or with one or more letters in between: TA, TB, TL, TE, AB, AL, AE, BL, BE, LE (see Figure 8.1). Such codes are called open bigrams. Grainger and van Heuven called this coding procedure: open-bigram coding.

Figure 8.1 presents the functional architecture for orthographic processing proposed by Grainger and van Heuven (2003). A letter string is first processed by a bank of alphabetic character detectors (the alphabetic array). The next level of processing contains the open bigram representations. These combine information from different processing slots in the alphabetic array to provide a relative position code for letter pairs. These relative position-coded letter pairs control activation at the level of whole-word orthographic representations via bidirectional excitatory connections between a word representation and the representation of the open bigrams it contains.

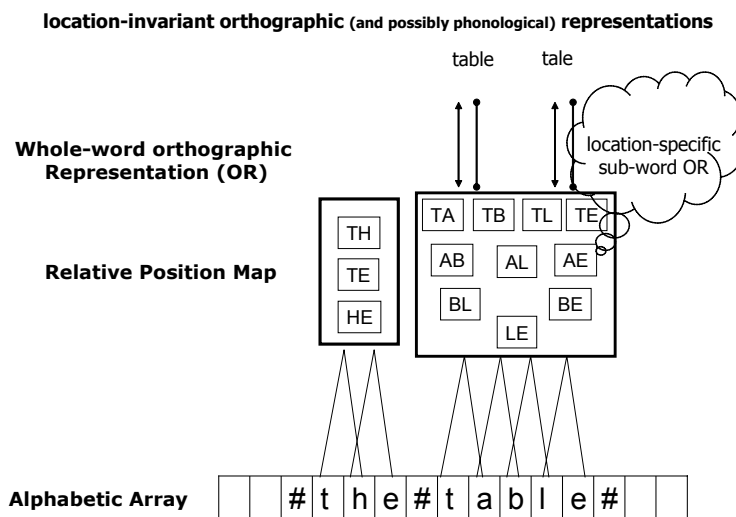


Figure 8.1. Functional architecture of Grainger and van Heuven’s (2003) Parallel Open Bigram Model (POB)

3. Model 1: Location-specific priming and asymmetrical acuity

The orthographic coding scheme proposed by Grainger and van Heuven (2003) would not on itself explain the data observed in Marzouki and Grainger (in press). It could do so, however, with small additions that do not violate the spirit of the model. First, the effect of decreasing visual acuity with increasing eccentricity could be incorporated by decreasing the activity of the alphabetic character detectors located at eccentric positions. Second, location-specific priming could be incorporated by assuming that the open bigram representations are somewhat location-specific, with for example one “TL” bigram representation for “TL” letter sequences appearing in the right periphery, one for TL sequences in left parafoveal locations, etc.

Functionally, this would mean that the time needed to identify a certain word would be a function of the eccentricity at which it was presented. Priming would be a function of the eccentricity of the prime, but also of the distance between prime and target location. This is so because the overlap of bigram representations activated by prime and target would be a function of this distance, and it is activation of bigram representations by the prime that produces priming effects in the Grainger and van Heuven (2003) model. We have formalized these ideas into an additive model for reaction time (RT) to fit results from Marzouki and Grainger (in press), and the experiments reported here (see predicted curves in Figure 8.2 (graphs a and b) and parameter estimation in Table 8.1). In the first mathematical model, which we call Local-Priming, RT is determined as:

$$RT = base-RT + \beta_1 d_1^{r_1|\theta_t|} - \beta_2 \left(\frac{1}{d_1}\right)^{r_1|\theta_p|} - \beta_3 d_2^{r_2|\theta_t - \theta_p|} \quad (\text{Eq. 1})$$

Here, RT is a function of the following additive terms:

- **Base-RT**: a term to capture all factors not included in the model, such as visual processing, phonological access, and motor response time.
- **First term** the effect of target eccentricity on RT. For the effects of eccentricity, we have chosen a power function. This function is widely used in earlier psychophysical researches to describe functional links between stimulus properties and behavioural performance (e.g., Guilford, 1954; Luce, 2002; Stevens, 1957), and indeed produced better fits than some alternatives such a linear effects.
- **Second term**: the effect of priming. This effect is also a power function of eccentricity. We have used the same parameters, assuming that visual acuity determines perception of the prime, which itself determines the effect of the prime on target identification (although with inversed base as RT increases with target eccentricity but priming is assumed to *decrease* with increase eccentricity).
- **Third term**: the modulation of priming by the distance between target and prime locations.

The second and third terms are only present in conditions with related primes; they are negative because priming results in a reduction of RT. All three terms contain an **asymmetry** parameter r . This parameter modulates the effects of eccentricity in the RVF. In essence, the parameter allows a rescaling of eccentricity on the right side, so that acuity is either higher or lower on the right side than on the left side at the same eccentricity.

Using the simplex algorithm, we fitted the Local-Priming Model to the data of Marzouki and Grainger (in press). Results are given in Figure 8.2. Both the Local-Priming Model and the Attention-to-Prime model (to be described below) were fitted using one set of parameters. Some parameters only play a role in one experiment, however, as in experiment 1A target-prime distance was always zero (i.e., last term of the model was a constant), and in experiment 1B target eccentricity was always 0 (making the first term in the model a constant). In experiment 1A (left panel), the model reproduced the RVF advantage observed with behavioural data. The parameter r_1 ($= 0.7$) in the first and second terms, reflects an attenuated eccentricity effect for stimuli in the RVF. For experiment 1B, the model produces strong priming mainly for primes presented in the most central eccentricities [see Figure 8.2(b)]. It also produced an even stronger asymmetry in priming benefiting the RVF as shown also by behavioural data. The model predicts for the unrelated prime condition a constant RT.

Table 8.1. Parameters estimation for generating predicted RT values with Local-Priming model.

Parameter	Interpretation	Marzouki & Grainger (in press)	Marzouki & Grainger including data from Experiment 2
Base 1	Base RT when prime & target eccentricity variable	492.7	576.8
Base 2	Base RT when target central, prime variable position	441.9	440.2
β_1	strength of eccentricity effect	-45.7	-138.6
β_2	strength of priming effect	32.8	21.6
β_3	effect of distance between prime and target	-3.1	-8.8
d_1	base of eccentricity effect	0.9	1.0
d_2	base of priming asymmetry	0.1	0.1
r_1	asymmetry in eccentricity effect (RVF advantage if <1)	0.7	0.8
r_2	asymmetry in prime-target distance effect (effect smaller on right if <1)	11.3	11.3

4. Model 2 (Attention-to-Prime): Asymmetrical distribution of spatial attention

Model 1 fails to take into account a factor that clearly affects priming, namely “the attention deployed at the location of the prime”. Two experiments (Besner, Risko, & Sklair, 2005; Lachter, Forster, & Ruthruff, 2004) found priming when prime location does not coincide with the target

location, but not when attention was deployed elsewhere. Recently, Marzouki, Theeuwes, and Grainger (2007) also found that masked repetition priming can be modulated by spatial attention. The authors presented in an alphabetic decision task target letters that were always presented at a central location and primes appeared to the left or to the right of fixation. In this critical condition when prime and target are presented in different locations. Marzouki et al. (2007) showed that letter identification is affected by the allocation of spatial attention to the prime location by an exogenous cue. Priming only occurred when the exogenous cue appeared at the same peripheral location ($\pm 3.2^\circ$) as the up-coming prime stimulus. Furthermore, their results showed a significant influence of visual hemi-field where repetition priming effects are only robust when primes appeared in the RVF. These results show clearly the attentional influences on priming, a factor neglected by Grainger-van Heuven's POB-Model, and the Local-Priming model. Might it be that a model taking into account the spread of attention across the visual field can be as an alternative to this location-specific oriented approach?

To investigate this, we constructed a second model based on the assumption that priming is strongly modulated by the amount of attention deployed at the prime location. As a second assumption, we added that attention is asymmetrically distributed. RT in this second model, which we refer to as the Attention-to-Prime model is a function as follows:

$$RT = base-RT + \beta_1 d_1^{|\theta_t|} - \beta_2 d_1^{|\theta_p|} d_2^{r|\theta_p|} + \beta_3 d_2^{r|\theta_p|} (1 - \delta(\theta_p - \theta_t)) \quad (\text{Eq. 2})$$

Here, again RT is a function of base RT (defined as in the Local-Priming Model) and three additive terms:

- **The first term** reflects the effect of target eccentricity. Acuity is assumed to be a power function of eccentricity, as in the Local-Priming Model. However, no asymmetry in acuity is assumed.
- **The second term** gives the effect of priming (only present in conditions in which the prime is related to the target). This is a function of the acuity at the eccentricity of the prime (same function as first term), of the attention given at the location of the prime, and effect size parameter β_2 . Attention is assumed to be focused at fixation, tapering off as a power function of eccentricity. The assumed asymmetry in attention is captured in the parameter r , which is 1 if there is no asymmetry, smaller than 1 if attention tails off faster to the left than to the right, and larger than 1 if the opposite is true.
- **The third term** gives the effect of the capture of attention by the prime if prime and target are not on the same location (this is given by the *Dirac function*¹⁴ in the term). If target and

¹⁴ The δ Dirac function is very useful as an approximation for functions that show graphically a tall narrow spike (the impulse). This function presents the following properties: $\delta(x) = \begin{cases} \infty, & x=0 \\ 0, & x \neq 0 \end{cases}$ The Dirac function can be used as a distribution or as a measure, the latter is the considered case in our model.

prime are not at the same location, RT is longer. The benefit for RT when target and prime are at the same location is left implicit in this formula. The effect is also a function of the distribution of attention (modulated by the asymmetry parameter r), and of a third strength parameter β_3 .

4.1. Model 2 simulation

The Attention-to-Prime model was fit to the same data from Marzouki and Grainger (in press); see predicted curves in Figure 8.2 (graphs c and d) and parameter estimation in Table 8.2.

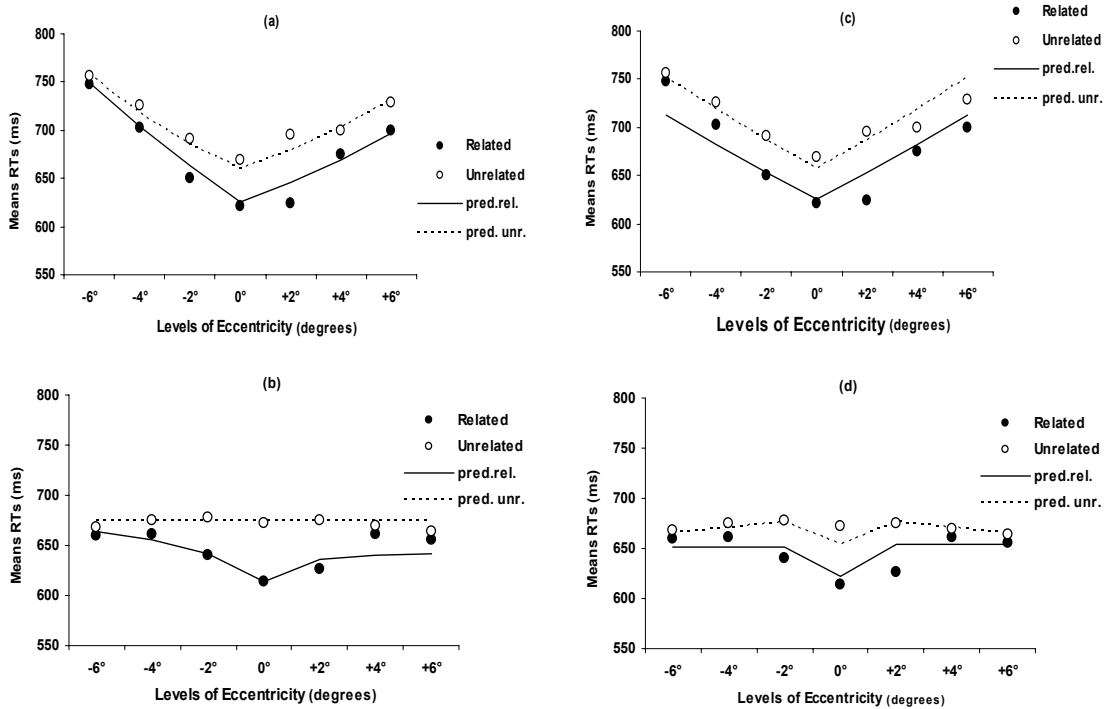


Figure 8.2. Reaction time (RT) for identification of a target word, as a function of the eccentricity of the prime and target (left panel) or of the prime (right panel), and fits of Local-Priming model (graphs a & b) and Attention-to-Prime Model (graphs c & d). Solid circles contain the data for the related prime conditions, full lines giving models fits of these conditions. Open circles give conditions with unrelated primes. Dashed lines are models fits of these conditions. Data from Marzouki and Grainger (in press); Experiment: 1A & 1B.

Table 8.2. Parameters estimation for generating predicted RT values with Attention-to-Prime model.

Parameter	Interpretation	Marzouki & Grainger (in press)	Data from Exp 1a & 1b	
		Without exp 2 data	Without exp. 2 data	With exp. 2
Base 1	Base RT when prime & target eccentricity variable	200.0	200.0	272.5
Base 2	Base RT when target central, prime variable position	436.6	436.6	430.1
Base Exp. 2	Base RT in Exp. 2, where prime and target location vary independently of one another		245.9	247.2
β_1	strength of eccentricity effect	246.6	246.6	169.6
β_2	strength of priming effect	28.4	28.4	24.4
β_3	effect of attentional capture by prime	3.5	3.5	20.5
d_1	base of eccentricity effect	1.0	1.0	1.0
d_2	base of spread of attention over field	0.8	0.8	0.8
r	asymmetry in spread of attention (if <1 , drop slower in LVF)	1.1	1.1	0.6

The parameter for attentional asymmetry, r , was estimated at 1.1 and it is greater than 1 which indicates that attentional disengagement is faster from the central position to the RVF than to the LVF. The same parameter modulates also benefit for RT when target and prime are not at the same location (see Figure 8.2, Exp 1b).

Both models produce a similar goodness-of-fits when fitting the data (the fit of the Local-Priming model was slightly better, but it also has one parameter more than the Attention-to-Prime model). They do so, however, on the basis of different assumptions. In fitting Experiment 1B the Local-Priming model assumes that priming is smaller for eccentric prime locations because the distance between prime and target locations is large, leading to little overlap in the representations that support priming. The Attention-to-Prime model, on the other hand, assumes that attention is centred at fixation (where the observer expects the target), and that the lack of attention paid to the periphery is the cause of low levels of priming for eccentric primes. These two mechanisms would lead to different predictions were prime eccentricity and prime-target distance to vary independently. Consider the case in which target and prime occur at the same eccentricity, either in the same or in different hemifields. The Local-Priming model would predict that priming would be larger when target and prime occur in the same, as opposed to different hemifields. The Attention-to-Prime model, on the other hand, would predict that priming would be the same in both situations.

Here, we set out to test these predictions. We chose to do so using letters instead of words, as with letters the eccentricity can be more precisely manipulated (words occupy a larger horizontal space and thus have only an average eccentricity). Before we test the predictions of the model in Experiment 2, we first ascertained that the effects found by Marzouki and Grainger (in press) with words can also be found with letters.

5. Experiments 1a and 1b

In experiments 1a and 1b we replicated with letters the experiments conducted with word stimuli in Marzouki and Grainger (in press).

5.1. Method

5.1.1. Participants

Fifteen individuals in experiment 1a (mean age = 24 years) and sixteen individuals in experiment 1b (mean age = 21 years), psychology students, voluntarily participated in the study. All participants were right-handed in Experiment 1a and only one left-handed participant in Experiment 1b and were reported having normal or corrected-to-normal vision.

5.1.2. Design and stimuli

Sixteen letters (all consonants) served as targets along with sixteen pseudo-letters designed using Font Creator 4.0 software. Each target letter / pseudo-letter was primed either by the same letter / pseudo-letter (repetition prime) or a different letter pseudo-letter (unrelated prime), defining the two levels of the factor Prime Relatedness. Prime and target stimuli could appear at 7 different positions along the horizontal meridian: -7° (extreme left); -4.7° ; -2.3° ; 0° (foveal position); $+2.3^\circ$; $+4.7^\circ$ to $+7^\circ$ (extreme right). In Experiment 1a, prime and target stimuli always appeared at the same location. In Experiment 1b, prime position was manipulated and targets always appeared centrally. Eccentricity was crossed with Repetition in a 7×2 factorial design. Each letter / pseudo-letter target was seen twice by each participant, once in the repetition prime condition and once with an unrelated prime, for a total of 448 trials.

5.1.3. Procedure

The experiment was run inside a dimly lit room and was controlled using DMDX software (Forster & Forster, 2003). Participants were seated in front of a computer screen on which stimuli were displayed on a computer screen in white on a black background in VGA mode (75 Hz refresh). The background luminance of the screen was approximately 0.01 cd/m^2 and the luminance of all stimuli was approximately 5.1 cd/m^2 . The procedure is described in Figure 8.3. Each trial began with a central fixation point (a cross) for 2000 ms. The fixation point was then replaced by a forward mask for 10 ms consisting of a string of 7 hash marks, each mark occupying one of the 7 eccentricity

positions. Prime stimuli appeared immediately after this for a duration of 50 ms, and were followed by a backward mask (similar to the forward mask) lasting 10 ms. This was replaced by the target stimulus, which remained on the screen until participants' response. The reported visual angles for each level of eccentricity define the distance between the central fixation location and the center of the stimulus at a viewing distance of 80 cm. Participants were asked to respond as rapidly and as accurately as possible by pressing one of two joystick triggers with their index fingers: right button for letters and left button for pseudo-letters. Manual response was counterbalanced across participants in order to avoid any stimulus-response compatibility effect (i.e. Simon effect- Simon, 1969). Participants first performed a practice session with a set of 16 letters and pseudo-letters, followed by the 448 trials of the main experiment in random order. Participants were tested in either Experiment 1a or 1b in a session lasting approximately 30 minutes (see Figure 8.3).

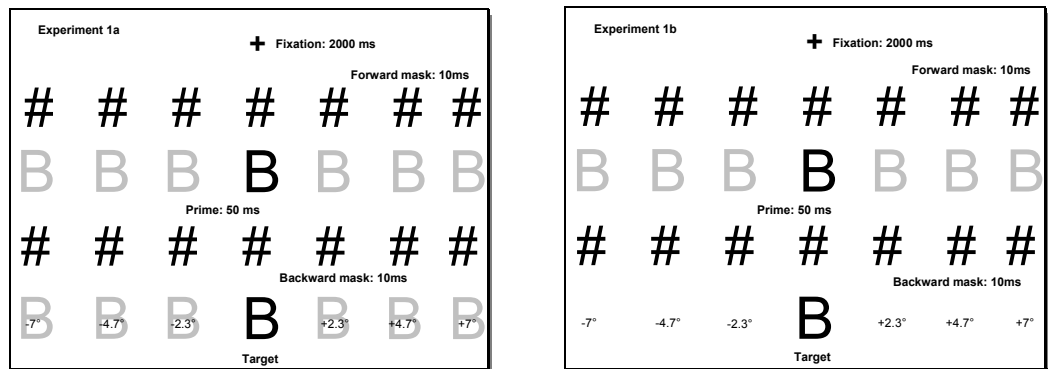


Figure 8.3. Experimental procedure used in the Experiment 1a where prime and target appear at the same location and in Experiment 1b where target is always centrally located. Prime stimuli occupied 7 possible positions (from -7° to $+7^\circ$) defining 7 levels of prime eccentricity. The eccentricity values (degrees of visual angle) represent the distance from fixation to the centre of the prime / target stimulus.

5.2. Results

We report mean reaction times and predicted curves of the Experiments 1a and 1b with letters in Figure 8.4. Below we describe statistical results for average correct RT in each condition for both experiments. Participants respond with high level of accuracy in both experiments (4% error rate in experiment 1a and 2% error rate in experiment 1b).

5.2.1. Behavioural Results in experiment 1a

Eccentricity and repetition were entered in repeated measures ANOVA. There were main effects of eccentricity, $F(6, 84) = 3.72$, $MSE = 1348.77$, $p < .002$, and Repetition, $F(1, 14) = 78.41$, $MSE = 551.18$, $p < .0001$, but no interaction, $F(6, 84) = 1.1$, $MSE = 557.65$, $p > .1$. Post hoc analyses showed significant differences between repeat and unrelated conditions at the following eccentricities:

-2.3° ($p < .05$); 0° ($p < .05$); +2.3° ($p < .003$); +4.7° ($p < .05$) and +7° ($p < .005$). There were no main effects or interaction in the ANOVA on the accuracy data.

5.2.2. Behavioural Results in experiment 1b

A repeated measures ANOVA was performed with the same design as Experiment 1a. RTs increased with increasing eccentricity, $F(6, 90) = 2.76$, $MSE = 520.92$, $p < .05$. There was an effect of repetition, $F(1, 15) = 2.76$, $MSE = 584.26$, $p < .0002$. Moreover, repetition interacted with eccentricity, $F(6, 90) = 2.77$, $MSE = 525.26$, $p < .05$, with priming effects decreasing as prime eccentricity increased. Post hoc analyses showed only robust priming effects in foveal position 0° ($p < .05$) and in +2.3° ($p < .002$). No significant main effects or interaction are observed with ANOVA on the accuracy data.

There were only minor differences in the patterns observed with letters and by Marzouki and Grainger (in press) with words. Both mathematical models fit the data about equally well (see Figure 8.4). This confirms the consistency of the effects independently of the type or size of stimuli (more spatially compact information with letters compared to words).

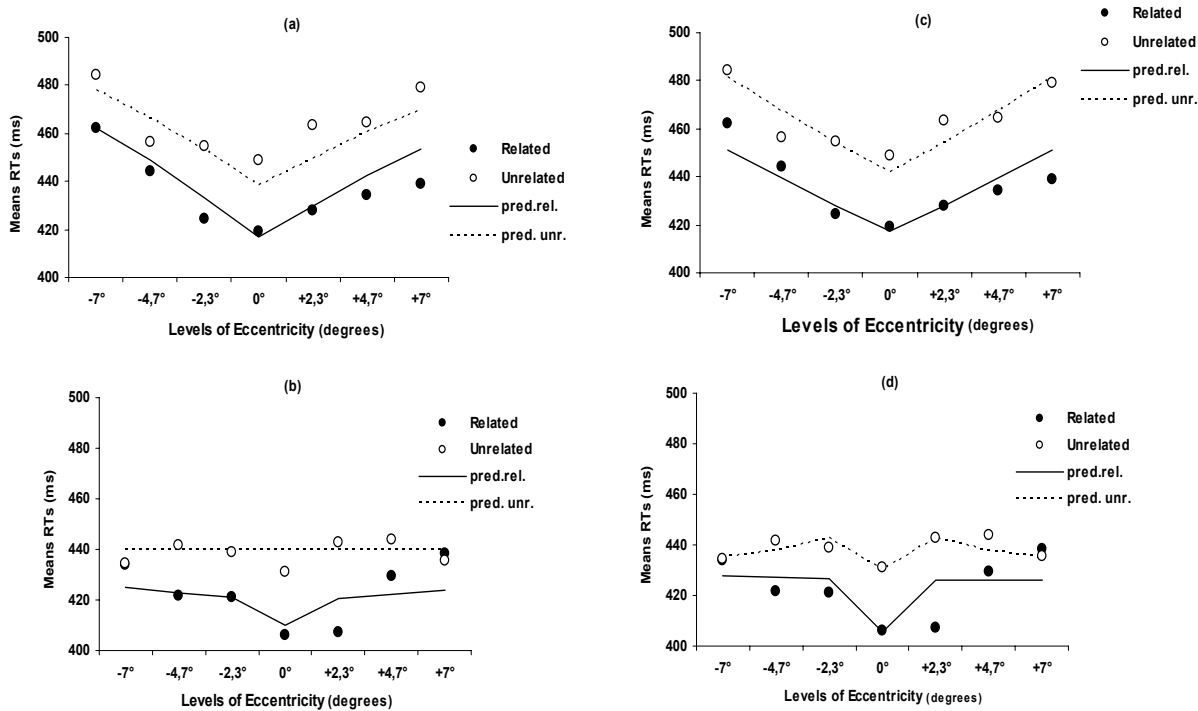


Figure 8.4. Reaction time (RT) for identification of a target letter, as a function of the eccentricity of the prime and target (left panel) or of the prime (right panel), and fits, including data from experiment 2, of Local-Priming Model (graphs a and b) and Attention-to-Prime Model (graphs c and d). Solid circles contain the data for the related prime conditions, full lines giving models fits of these conditions. Open circles give conditions with unrelated primes. Dashed lines are models fits of these conditions. Data from Experiments with letters: 1a and 1b.

6. Experiment 2

In Experiment 2, we dissociated the confounding factors of prime eccentricity and prime-target distance.

6.1. Method

6.1.1. Participants

Ten individuals (mean age = 23 years), psychology students, voluntarily participated in the study. All participants were right-handed and reported having normal or corrected-to-normal vision.

6.1.2. Design and stimuli

Stimuli are the same as Experiments 1a and 1b. Prime and target stimuli could appear at 3 different positions along the horizontal meridian (see Figure 8.5). Three factors were manipulated in this experiment: Prime Eccentricity (-2.3° ; 0° ; and $+2.3^\circ$), Target Eccentricity (-2.3° ; 0° ; and $+2.3^\circ$), and Repetition (repeated vs. unrelated prime) in $3 \times 3 \times 2$ factorial design.

6.1.3. Procedure

The procedure was the same as Experiments 1a and 1b except that primes and targets had independently varying locations in Experiment 2, whereas in Experiment 1A primes and targets were always at the same location and in Experiment 1B, only prime location was varied (see Figure 8.5).

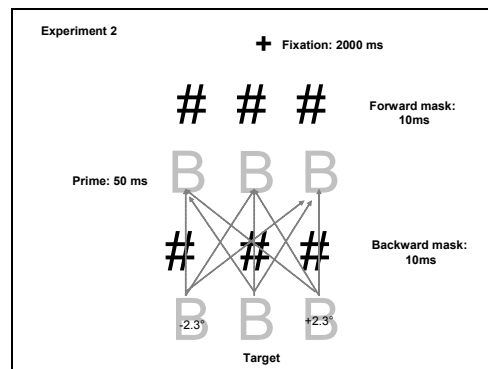


Figure 8.5. The structure of the experimental procedure of Experiment 2. Six different locations for stimuli: 3 for primes and 3 for targets. Arrows indicate positions' matching between each target and prime stimulus eccentricities.

6.2. Results

We report mean reaction times and predicted curves of the Experiments 2 in Figure 8.6. Below we describe statistical results for average correct RT in each condition. Participants respond with high level of accuracy with an error rate of 3.7%.

6.2.1. Behavioural Results in experiment 2

Figure 8.6 shows the patterns of mean reaction time. A repeated measures ANOVA was performed on RTs with the following design: Prime Eccentricity (-2.3°, 0°, +2.3°) x Target Eccentricity (-2.3°, 0°, +2.3°) x Repetition (repeat *vs.* unrelated). Results showed marginally significant effects for both prime, $F(2, 18) = 3.09, MSE = 3.09, p = .07$; and target eccentricity, $F(2, 18) = 3.37, MSE = 2825.27, p = .06$, with faster RTs at 0° and +2.3°. Participants responded more rapidly in to repeated than to unrelated stimuli, $F(1, 9) = 33.23, MSE = 421.54, p < .0001$, regardless of prime and target locations, interactions $F < 1$. Only the interaction between target and prime eccentricities was significant, $F(4, 36) = 5.56, MSE = 554.67, p < .001$. There was no triple interaction between these three factors, $F < 1$. The interaction between prime and target location suggests that primes can automatically attract attention due to their abrupt onset on a specific location in visual field; and this in the absence of any attentional cueing manipulation. This effect is strong at the 0 and +2.3 positions, but weak for the -2.3 position.

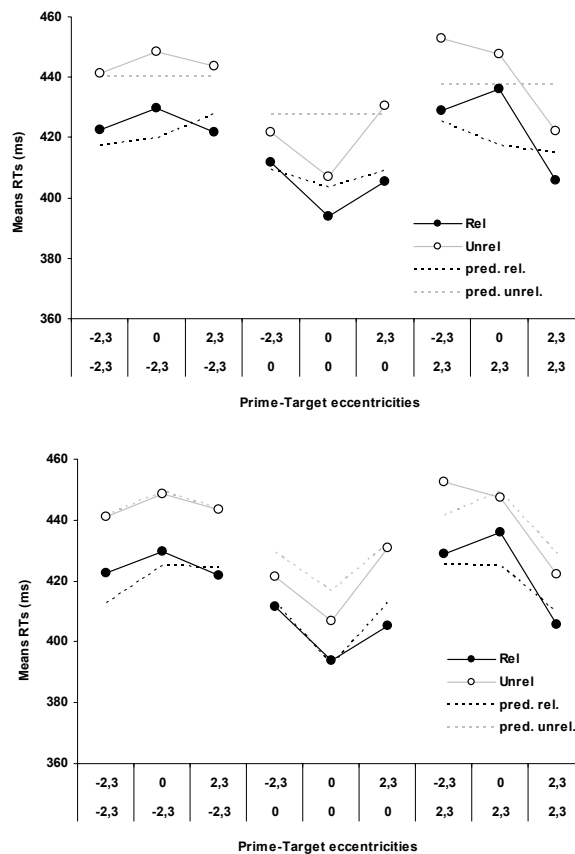


Figure 8.6. Reaction time (RT) for target identification as a function of prime-target distance. Fits of Experiment 2 data with Local-Priming model (Left panel), and with Attention-to-Prime model (right panel). In the abscissa, the first line refers to the target eccentricity while the second line refers to the prime eccentricity. Solid circles contain the data for the related prime conditions, full lines giving models fits of these conditions. Open circles give conditions with unrelated primes. Dashed lines are models fits of these conditions.

Fitting the two models to experiment 2 revealed that only the Attention-to-Prime model can explain the observed data. The Local-Priming model predicts that priming would be larger when prime and target locations match than when they do not. That was not observed. The model can also not reproduce a finding that was observed, namely that reaction times are lower for unrelated and related conditions when target and prime location are the same. The Attention-to-Prime model can account for these findings, because it assumes that attention is drawn by the prime, which hurts performance if the target is presented in a different location than the prime.

7. General discussion

We presented two mathematical models to fit priming data from experiments in which prime and target were presented at varying locations. The Local Priming model which is based on the idea of location-specific priming as adopted by Grainger and van Heuven (2003) is an additive model for RT. The fits obtained by this model of Marzouki and Grainger (in press) data (Experiment 1A and 1B) and its replication with letters in the present paper (Experiments 1a and 1b), reproduce observed RVF advantage with behavioural data (1A), and the stronger priming effect in central eccentricities (1B).

The Local-Priming model fails to take into account the attention deployed at the location of the prime, a factor that has been recently showed to affect priming (Lachter et al., 2004; Marzouki et al., 2007; Benser et al., 2005). This is a weakness of the Grainger and van Heuven model as well. Thus we suggested a second mathematical model, the Attention-to-Prime model that stipulates that attention spread out across the visual field.

Both models were about equivalent in their ability to fit the data of Marzouki and Grainger. The fact that the Attention-to-Prime model assumes that attention is initially focused on fixation; entails a lack of attention allocated to peripheral primes and consequently weak repetition priming effects for these eccentric primes. We then presented data from three experiments using letters as primes and targets. In experiment 1a and 1b, we replicated the data of Marzouki and Grainger using letters as stimuli instead of words. In the critical Experiment 2, we varied cue and target location independently. We showed that prime and target location need not overlap for priming to occur. Only the Attention-to-Prime model can explain priming effects obtained with independently varying locations for prime and target. The latter takes into account the capacity of the prime to attract spatial attention to its location especially in the critical condition when prime and target occupy distinct locations. Despite the task instruction inviting participants to focus their attention on the central position, peripheral primes can play the role of visual abrupt onsets and generate attentional effects overriding the endogenous effects generated by the target locations.

Both behavioural (see Experiment 2) and simulations results refuted the predictions of the Local-Priming model that priming would be larger when target and prime occur in the same, as opposed to different hemifields. The Attention-to-Prime model, assumes that attention is drawn by

the prime location when target is not only centrally located and that explains the high repetition priming effects regardless of prime and target positions.

We discuss this finding within the neural-network model proposed by Grainger and van Heuven (2003). In figure 8.7, we described a new version of the same model presented in figure 8.1. This model is still a feedforward model with a starting layer coding for different stimulus locations that feeds a second layer for different bigram sets. Each bigram set contains the number of bigrams obtained from the pairs of letter combinations following the right letters-order in the word. Finally, the upper layer codes for abstract orthographic representation that is considered to be location independent. In the new version presented in figure 8.7, we consider the presence of an attentional bias that modulates the weight for prime and target coding. Such an attentional beam can enhance the processing of the prime due to many attentional factors including:

- The capacity of prime to automatically attract attention to its location when it is peripherally presented
- The modulation of prime processing due to the presence of a spatial cue that automatically increases the relevance of the prime position
- The presence of an endogenous attentional factor due to reading habits allowing a faster disengagement of attention from the fovea to peripheral primes in the right visual field.

The systematic horizontal manipulation of stimuli in Marzouki et al. studies (Marzouki and Grainger; Marzouki et al. 2007), identification performance is better at mimicking normal reading situation than in Lachter et al. (2004) and Benser et al. (2005) studies where primes are vertically presented. Hence, priming can be biased by endogenous attentional factor that explain at least part of the RVF superiority and this is due to reading habits. Indeed, our participants are French native speakers a language read from left to the right. In the same line, RVF field superiority is also shown by Marzouki, Grainger and Theeuwes (In prep.) with IOR manipulation. Their results showed presence of IOR effect in RVF compared to left visual field where they only observed a priming facilitation by valid cues. Despite the fact that it is generally assumed that IOR at a particular location in space follows only after attention has shifted reflexively to that location and not voluntarily (Posner & Cohen, 1984; Pratt, Kingstone, & Khoe, 1997), Marzouki et al. observed that IOR is at least to some extent dependent of reading habits. One way to test these hypotheses is by replicating the same experiments with other languages read from right to the left (e.g., Arabic, Hebrew...).

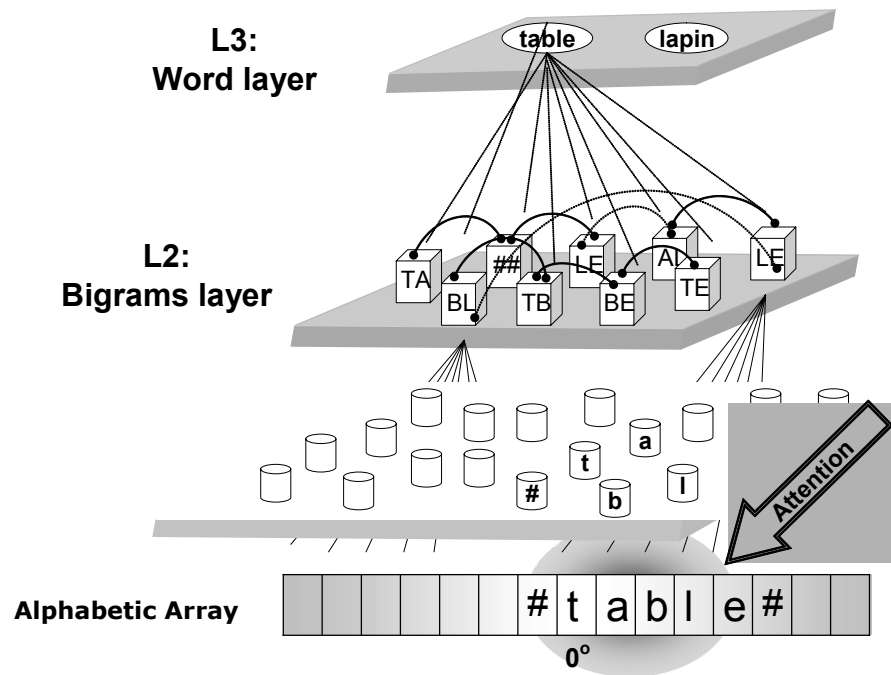


Figure 8.7. Neural network model of open-bigram coding with the attentional beam at the input level.

References

- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *59*(2), 99-108.
- Davis, C. J., & Bowers, J. S. (2004). What do letter migration errors reveal about letter position coding in visual word recognition? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *30*, 923-941.
- Evett, L. J., & Humphreys, G. W. (1981). The use of abstract graphemic information in lexical access. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *33A*, 325-350.
- Forster, K. I., & Davis, C. (1984). Repetition priming and frequency attenuation in lexical access. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, *10*, 680-698.
- Forster, K. I., & Forster, J. (2003). DMDX: A Windows display program with millisecond accuracy. *Behavioural Research Methods: Instruments and Computers*, *35*, 1257-1270.
- Gibson, B. S., & Amelio, J. (2000). Inhibition of return and attentional control settings. *Perception & Psychophysics*, *62*, 496-504.
- Grainger, J., & van Heuven, W. (2003). Modeling letter position coding in printed word perception. In P. Bonin (Ed.), *The Mental Lexicon*. New York: Nova Science.
- Guilford, J. P. (1954). *Psychometric methods*. New York: McGraw-Hill.
- Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2006). On the time-course of visual word recognition: an ERP investigation using masked repetition priming. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *18*(10), 1631-1643.
- Humphreys, G., Evett, L. J., & Quinlan, P. T. (1990). Orthographic processing in visual word identification. *Cognitive Psychology*, *22*, 517-560.
- Jacobs, A. M., & Grainger, J. (1991). Automatic letter priming in an alphabetic decision task. *Perception & Psychophysics*, *49*(1), 43-52.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review*, *111*(4), 880-913.
- Luce, R. D. (2002). A psychophysical theory of intensity proportions, joint presentations, and matches. *Psychological Review*, *109*, 520-532.
- Marcel, A. J. (1983). Conscious and unconscious perception: Experiments on visual masking and word recognition. *Cognitive Psychology*, *15*, 197-237.
- Marzouki, Y., & Grainger, J. (2007). Effects of prime and target eccentricity on masked repetition priming. *Psychonomic Bulletin & Review*, *In press*.
- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming. *Acta Psychologica*, *126*(1), 34-45.
- Marzouki, Grainger, J., and Theeuwes, J. (2007). *Inhibition of return in subliminal letter priming*. Manuscript submitted for publication.

- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part1. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88(5), 375-407.
- Perea, M., & Lupker, S. J. (2004). Can Caniso activate Casino? Transposed-letter similarity effects with nonadjacent letter positions. *Journal of Memory and Language*, 51, 231-246.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance* (Vol. X, pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Pratt, J., Kingstone, A., & Khoe, W. (1997). Inhibition of return in location- and identity-based choice decision tasks. *Perception & Psychophysics*, 59, 964-971.
- Segui, J., & Grainger, J. (1990). Priming word recognition with orthographic neighbors: effects of relative prime-target frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 16, 65-76.
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 174-176.
- Stevens, S. S. (1957). On the psychophysical law. *Psychological Review*, 64, 153-181.

Appendix

1. Mathematical Formulas of the Prime-Location model:

$$RT = base-RT + \beta_1 d_1^{r_1|\theta_t|} - \beta_2 \left(\frac{1}{d_1}\right)^{r_1|\theta_p|} - \beta_3 d_2^{r_2|\theta_t - \theta_p|} \quad (\text{Eq. 1})$$

- When prime and target occupy the same position

$$RT_{(\text{repeat})} = base-RT + \beta_1 d_1^{r_1|\theta_p|} - \beta_2 \left(\frac{1}{d_1}\right)^{r_1|\theta_p|} \quad (\text{Eq. 1.1})$$

$$RT_{(\text{unrelated})} = base-RT + \beta_1 d_1^{r_1|\theta_t|} \quad (\text{Eq. 1.2})$$

- When prime appears at different locations and centrally located target

$$RT_{(\text{repeat})} = base-RT - \beta_2 \left(\frac{1}{d_1}\right)^{r_1|\theta_p|} - \beta_3 d_2^{r_2|\theta_t - \theta_p|} \quad (\text{Eq. 1.3})$$

$$RT_{(\text{unrelated})} = base-RT \quad (\text{Eq. 1.4})$$

2. Mathematical Formulas of the Attention-to-Prime model:

$$RT = base-RT + \beta_1 d_1^{|\theta_t|} - \beta_2 d_1^{|\theta_p|} d_2^{r|\theta_p|} + \beta_3 d_2^{r|\theta_p|} (1 - \delta(\theta_p - \theta_t)) \quad (\text{Eq. 2})$$

- When prime and target occupy the same position

$$RT_{(\text{repeat})} = base-RT + \beta_1 d_1^{|\theta_t|} - \beta_2 d_1^{|\theta_p|} d_2^{r|\theta_p|} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

$$RT_{(\text{unrelated})} = base-RT + \beta_1 d_1^{|\theta_t|} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

- When prime appears at different locations and centrally located target

$$RT_{(\text{repeat})} = base-RT - \beta_2 d_1^{|\theta_p|} d_2^{r|\theta_p|} + \beta_3 d_2^{r|\theta_p|} (1 - \delta(\theta_p - \theta_t)) \quad (\text{Eq. 2.3})$$

$$RT_{(\text{unrelated})} = base-RT + \beta_3 d_2^{r|\theta_p|} (1 - \delta(\theta_p - \theta_t)) \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Partie V

Discussion Générale

Discussion générale

1. Aperçu général

Le point de départ de cette thèse consiste à étudier profondément à travers plusieurs techniques le rôle que peut avoir l'attention spatiale sur les effets d'amorçage avec répétition. La difficulté empirique à pouvoir générer des effets de répétition avec des mots amorces périphériques et des cibles toujours en position fovéale a constitué l'une des motivations pour ce travail. Dans une première étape, nous avons eu recours à des lettres et des pseudo-lettres (voir annexe 1) de l'alphabet latin afin de maximiser la probabilité d'obtenir des effets d'amorçage vu l'aspect spatial compact de ces stimuli comparé à celui des mots.

Ces stimuli lettres ont servi comme matériel d'expériences dans les **chapitres 3 ; 4 ; 5 et 8**. Dans le **chapitre 3**, nous avons eu recours à une procédure originale qui consiste à combiner à la fois le paradigme classique de l'amorçage rapide avec répétition et une version du paradigme d'indication spatiale de Posner. Les résultats de cette expérience ont montré que, pendant les étapes précoces du traitement visuel, un indice exogène peut faciliter de façon robuste le traitement de l'information subliminale localisée au même endroit que l'indice. Ceci suggère que l'attention exogène peut affecter le premier balayage dans le traitement de type feedforward de l'information visuelle subliminale, un processus qui est considéré automatique et inconscient.

La réplication dans le **chapitre 6** de cette même expérience comportementale avec enregistrement des potentiels évoqués (PE) vient corroborer le résultat de cette première expérience concernant la précocité des effets modulateurs de l'attention spatiale. En effet, les résultats électrophysiologiques ont révélé la présence d'une onde positive P3 qui est significativement modulée par un effet robuste d'amorçage uniquement en présence d'indication valide.

Dans l'expérience rapportée dans le **chapitre 4**, nous avons eu recours aux mêmes stimuli et à la même procédure que dans le **chapitre 3**, avec, en plus, un délai séparant l'affichage de l'indice de celui de l'amorce dans le but de générer un effet d'inhibition de retour (IOR). L'effet attendu de l'IOR n'a été obtenu qu'avec les amorces présentées dans le champ visuel droit où les effets de répétition sont robustes seulement en présence d'indication non valide. L'apparition de l'IOR dans l'amorçage subliminal prouve que les mécanismes impliqués dans la génération de l'IOR peuvent influencer le traitement des stimuli perçus de façon inconsciente.

Ces résultats et ceux de Marzouki et al. (2007) suggèrent que l'engagement de l'attention généré par un indice exogène et son désengagement subséquent provoqué par un autre indice exogène peuvent moduler la quantité de traitement alloué à l'amorce subliminale. Les amorces bénéficient progressivement, de façon différentielle, d'une facilitation de traitement en fonction de la localisation de l'attention et selon que ces amorces sont reliées ou non reliées. En effet, une fois que l'attention

s'est désengagée loin de la position de l'amorce, cette dernière souffre d'une diminution de traitement et la différence entre amorces reliées et non reliées s'affaiblit. Ces résultats viennent conforter l'idée selon laquelle l'IOR module le traitement de l'information à un niveau perceptif plutôt que moteur (e.g., Handy, Jha, & Mangun, 1999).

La manipulation spatiale horizontale des amorces nous a amenés à étudier plus finement l'influence de l'excentricité des stimuli amorces et cibles sur les effets d'amorçage. Dans le **chapitre 6**, nous avons présenté cette fois-ci des mots amorces et cibles soit au même endroit soit à des emplacements différents avec une amorce à excentricité variable et une cible toujours fixe au centre. La définition paramétrique de l'excentricité adoptée est un contrôle méthodologique original comparé à celui utilisé précédemment dans les travaux sur l'amorçage avec répétition et amorces périphériques. Les résultats de la première manipulation, où les amorces et les cibles apparaissent au même endroit, ont montré des effets latéralisés de répétition tout au long de l'axe horizontal sauf pour l'extrême position excentré gauche avec un net avantage de l'hémi-champ droit. Avec la deuxième manipulation où les amorces sont variables et les cibles toujours centrales, les effets de répétition sont significatifs uniquement dans les trois positions les plus centrales (-2° , 0° and $+2^\circ$). Ce résultat constitue une confirmation plus solide des effets d'amorçage parafovéal observés dans un paradigme similaire par Rayner et ses collaborateurs (Rayner, McConkie, & Ehrlich, 1978; Rayner, McConkie, & Zola, 1980). Il révèle aussi la présence d'une limite dans l'intégration de l'information à travers l'amorce et la cible quand elles occupent des positions très éloignées dans l'espace.

Le but de l'expérience rapporté dans le **chapitre 7** est de montrer que l'absence d'amorçage au-delà de la région (-2° ; 0° , $+2^\circ$) pourrait être compensée soit par une amorce de taille plus petite soit par un indiçage exogène au même endroit que celui de l'amorce périphérique, soit les deux ensemble. Afin de montrer que le rôle de la taille physique des stimuli (e.g., lettre *vs.* mot) importe dans ce genre de manipulations expérimentales, nous avons présenté dans cette expérience des mots courts à trois lettres *vs.* mots longs à 5 lettres. Dans cette expérience, les cibles apparaissent toujours au centre et les amorces sont périphériques. En outre, l'endroit de présentation des amorces périphériques correspond exactement aux positions -4° et $+4^\circ$ de la même échelle paramétrique que celle adoptée dans le **chapitre 6**. Les amorces étaient systématiquement précédées d'un indice spatial exogène ayant la même taille que celle des lettres des stimuli. Les résultats viennent confirmer l'hypothèse de la taille et de l'indiçage avec un effet facilitateur de l'indice observé en présence des mots courts. Cet effet est similaire à celui observé avec les lettres dans le **chapitre 3**, mais aucune facilitation n'est observée avec les mots longs.

Finalement, nous avons tenté de décrire, dans le **chapitre 8**, le contenu de ces résultats à l'aide de deux modèles mathématiques. En effet, le premier modèle (Location-Prime) se base sur une approche de la spécificité localisationnelle de l'amorçage ; le deuxième (Attention-to-Prime) est plutôt axé sur l'allocation des ressources attentionnelles vers l'endroit de l'amorce. Afin de tester la plausibilité de ces deux modèles, nous avons réalisé trois expériences comportementales avec pour

stimuli des lettres isolées. Les deux premières constituent une réplique exacte de la procédure expérimentale utilisant des stimuli mots **du chapitre 6** et les résultats viennent aussi reproduire les mêmes résultats observés avec les mots. A cet égard, aussi bien pour les expériences menées avec les lettres que pour celles avec les mots, les deux modèles s'ajustent avec un degré de vraisemblance similaire aux données. Dans le but de tester lequel des deux modèles offre une meilleure explication que l'autre, nous avons manipulé, dans la troisième expérience avec les lettres, l'excentricité de l'amorce indépendamment de l'excentricité de la cible. Nous trouvons que c'est le deuxième modèle avec allocation attentionnelle s'ajuste mieux aux données. Ces résultats montrent que les effets attentionnels générés par l'apparition soudaine des amorces expliquent en partie les effets d'amorçage périphérique et un modèle qui se base uniquement sur la spécificité localisationnelle des effets d'amorçage est insuffisant pour rendre compte de ces résultats en l'absence d'un biais attentionnel (exogène ou endogène) pondérant la force du traitement des amorces.

2. Rôle de l'attention spatiale dans la modulation des effets d'amorçage subliminal

Il a été démontré à travers plusieurs travaux que l'apparition soudaine d'un stimulus visuel (i.e., *abrupt visual onset*) peut capturer de façon automatique l'attention (Theeuwes, 1991; Theeuwes, Kramer, Hahn, & Irwin, 1998). Le résultat original de l'étude décrite dans le **chapitre 3** est que non seulement on démontre l'efficacité de l'indice exogène mais aussi que le bénéfice de l'indication de la position apparaît en présence de stimuli subliminaux qui échappent à notre conscience. Le traitement de ces stimuli est facilité quand l'indice spatial est valide, ce qui a entraîné des effets d'amorçage plus robustes dans cette condition. L'apparition de tels effets montre que l'indication exogène spatiale influence les mécanismes d'amorçage pendant les étapes précoces du traitement.

Ce résultat vient conforter une série de travaux comportementaux récents qui montrent que l'amplitude des effets d'amorçage masqué avec répétition peut être modifiée par un indice attentionnel (Besner, Risko, & Sklair, 2005; Fabre, Lemaire, & Grainger, 2007; Marzouki, Grainger, & Theeuwes, 2007; Naccache, Blandin, & Dehaene, 2002). Cette efficacité de l'indice exogène, outre son action à un niveau subliminal, a aussi été observée dans d'autres travaux en augmentant le contraste du stimulus effectif (Martinez-Trujillo & Treue, 2002), son bénéfice sensoriel (Hillyard, Vogel, & Luck, 1998), sa sensibilité de contraste (Carrasco, Ling, & Read, 2004) ou sa capacité interférente (Mounts & Tomaselli, 2005).

Notre résultat sur l'action très précoce de l'indice exogène est aussi étayé par de récents travaux en IRMf (Liu, Pestilli, & Carrasco, 2005). Ces travaux ont montré qu'un indice exogène (*onset* bref d'un indice non prédit) produit un large champ de réponse de l'IRMf au niveau des aires visuelles primaires. Cette amplification de l'activité neuronale augmente progressivement des aires corticales striées jusqu'aux aires extrastriées du cortex visuel.

En effet, quand une image est présentée au système visuel, l'activité neuronale est rapidement orientée vers un nombre important d'aires visuelles. Cependant, l'activation des neurones corticaux

n'est pas seulement déterminée par un premier traitement de type feedforward. Des connexions corticales horizontales et provenant des aires supérieures assurent, grâce à un mécanisme de feedback, une modulation dynamique de ce premier traitement feedforward. En effet, cette différence entre traitement feedforward vs. récurrent (e.g., Lamme & Roelfsema, 2000) s'est avérée essentielle dans la distinction entre vision attentive vs. « pré-attentive » de même qu'entre vision consciente vs. inconsciente.

2.1. Corrélats électrophysiologiques de la modulation attentionnelle

L'objectif central de l'expérience rapportée dans le **chapitre 5** consistait à utiliser la technique d'EEG afin d'étudier avec précision le déroulement temporel des effets d'amorçage subliminal quand l'amorce et la cible occupent deux positions spatiales distinctes. Les effets d'amorçage ont un effet robuste sur l'amplitude de la positivité sur l'axe postérieur médian entre 300 et 400 ms. Cette positivité est reflétée par des potentiels évoqués plus positifs dans la condition d'amorçage relié, et seulement en présence d'indiciage valide. Au vu de la distribution spatiale des fenêtres temporelles et de la polarité des effets, cette positivité s'ajuste plus avec la composante P3. Malgré sa présence évidente dans nos résultats, cette composante du potentiel évoqué n'était pas facile à interpréter.

En effet, cette composante était interprétée différemment dans la littérature : comme apparition d'une composante PE spécifique après présentation des cibles visuelles (Luck, 2005), comme composante sensible à des manipulations de l'attention endogène observée habituellement dans le paradigme d'« *oddball* » (e.g., Mangun & Hillyard, 1995; Polich, 1996). Selon les travaux sur l'*oddball* (i.e., le stimulus qui a la plus faible probabilité d'occurrence), la composante P3 diminue quand la probabilité du stimulus augmente. La ségrégation perceptive, dans la tâche, des stimuli les plus vs. les moins attendus laisse aussi penser que la P3 peut être associée à des processus de catégorisation. Selon l'approche de la mise à jour contextuelle (*contextual updating*) Donchin et Coles (1988) pensent aussi que la P3 reflète le processus par lequel le contenu de la mémoire de travail (MDT) est remis à jour lors de l'arrivée de nouvelles informations. Une autre alternative propose que la P3 reflète des processus décisionnels impliqués dans une tâche spécifique comme la décision lexicale ou alphabétique (e.g., Verleger, Jaoekowski, & Wascher, 2005). Toutefois, malgré ces conclusions diverses, le débat est encore ouvert concernant ce que peut refléter la P3.

Afin de bien cibler notre cadre interprétatif, nous nous sommes référés aux travaux conduits sur les mécanismes attentionnels et l'importance fonctionnelle de la P3 et, plus précisément, les travaux récents sur le clignement attentionnel (AB, *Attentional Blink*). Voel, Luck et Shapiro (1998) ont été les premiers à rapporter une suppression de la P3 en présence de stimuli inattendus pendant le « *blink* » attentionnel. Ce résultat a été considéré comme une preuve en faveur d'une défaillance de consolidation des items inattendus en MDT (Dell'Acqua, Jolicoeur, Pesciarelli, Job, & Palomba, 2003; Vogel & Luck, 2002). Récemment, Sessa, Luria, Verleger, et Dell'Acqua (2007) ont suggéré que l'amplitude de P3 n'est pas totalement déterminée par l'exactitude dans la détection des cibles dans le

paradigme d'AB, mais plutôt par les conditions de masquage de ces items. Ces auteurs ont constaté une suppression de la P3 quand les cibles ont été masquées, même quand elles étaient détectées avec environ 90% de précision. Ce résultat a permis à ces auteurs d'interpréter la réduction massive de la P3 en termes d'incertitude des participants dans leurs réponses (voir aussi Kerkhof & Uhlenbroek, 1981 sur la relation entre la P3 et la détection de signal).

Cette incertitude est concordante avec l'explication donnée par Kok (2001), selon laquelle la P3 dépend de la facilité avec laquelle une cible peut être classée en fonction des exigences de la tâche (catégorisation d'événements). En d'autres termes, l'amplitude de la P3 augmente à mesure que la correspondance entre l'information entrante et la réponse requise pour une catégorie dans la tâche augmente. Nos résultats rendent compte de ce constat, du moment où la P3 est observée avec les cibles reliées aux amorces qui semblent plus faciles à classer quand elles sont des lettres que des pseudo-lettres, mais seulement en présence d'un indice valide qui vient amplifier le traitement de ces stimuli.

2.2. Le modèle de la compétition biaisée et l'effet modulateur de l'attention

Le cadre théorique de la compétition biaisée (*biased-competition framework*) (Desimone, 1998; Kastner & Ungerleider, 2001; Moran & Desimone, 1985; Rolls & Deco., 2002) constitue une alternative très intéressante pour discuter certains de nos résultats. Cette approche rend compte de la façon selon laquelle la position indiquée peut générer une influence précoce sur le traitement perceptif durant la reconnaissance de l'objet (en l'occurrence, des lettres). Dans cette perspective, l'attention sert à amplifier l'efficacité du stimulus à traiter. Dans le cas de l'attention spatiale, les stimuli présentés à la localisation attendue vont bénéficier d'un plus important *input* sensoriel que les stimuli présentés à la localisation inattendue. Cet *input* supplémentaire va par conséquent biaiser le processus d'identification compétitive en faveur du stimulus situé dans la localisation attendue, ce qui vient aussi conforter l'effet classique de l'indication (e.g., Posner, 1980).

3. Sur l'apport nouveau du rôle de l'excentricité dans la compréhension des mécanismes d'amorçage masqué avec répétition

Le **chapitre 6** a permis de conclure qu'en présence de stimuli brièvement affichés (typiquement entre 50-60 ms) et avec une procédure du masquage de pattern, des amorces périphériques ne peuvent pas influencer le traitement subséquent des cibles centrales à moins que l'attention soit allouée aux emplacements des amorces. Cette étude menée avec les mots amorces périphériques avait pour objectif d'explorer davantage les mécanismes d'amorçage masqué mais en utilisant une manipulation paramétrique de l'excentricité des amorces (voire des cibles).

Nous avons pu répliquer dans ce travail les effets robustes d'amorçage parafovéal trouvés par Rayner et al. (1978; 1980). Nous démontrons aussi, avec cette expérience, que l'excentricité joue un rôle précoce dans la reconnaissance des mots et que la supériorité de la position fovéale (e.g.,

Brysbaert, 1994a; Lavidor & Walsh, 2004) était observée très tôt durant le traitement d'une information subliminale.

Malach, Levy et Hasson (2002) ont proposé une interprétation neuroanatomique reliant des aspects fonctionnels de la performance visuelle chez l'être humain et la vision fovéale *vs.* périphérique. Ils justifient ce lien par la présence d'une topographie hiérarchique des aires du cortex visuel allouées au traitement des objets que le biais d'excentricité influence de façon ordonnée. En effet, les processus visuels, qui vont activer différemment la carte rétinienne, impliquent différentes ressources pour chaque niveau d'acuité. Malach et al. (2002) proposent deux cartes d'excentricité. D'une part, une carte postérieure dorsale localisée dans le cortex occipital latéral, associée aux stimuli qui impliquent essentiellement une représentation fovéale; les visages et les mots écrits en sont des exemples. D'autre part, il y a une autre carte, ventrale, située dans le cortex occipito-temporal ventral et associée aux informations qui impliquent souvent des distances rétiniennes périphériques (e.g., les bâtiments).

3.1. Spécificité localisationnelle *vs.* invariance localisationnelle du locus de l'amorçage

Nos résultats ont montré un pattern similaire d'effets d'amorçage aussi bien pour les cibles périphériques (amorces et cibles dans la même position) que pour les cibles fovéales. De façon plus originale, nos résultats ont révélé des effets de répétition robustes avec des amorces périphériques et des cibles centrales observées dans des conditions minimales de visibilité de l'amorce. Ceci nous montre que les effets d'amorçage observés au moins sont en partie sous-tendus par l'invariance localisationnelle de la représentation orthographique (*location invariant orthographic representation*). La présence du même effet avec les pseudo-mots suggère que la représentation orthographique prélexicale est un bon candidat permettant de générer l'invariance de la localisation que reflètent nos effets d'amorçage. Le déplacement minimal ($\pm 2^\circ$, voir Exp. 2A **chapitre 6**) qui continue à produire un effet significatif d'amorçage devrait correspondre à une taille du champ récepteur (e.g., Bouma, 1973) de la représentation qui sous-tend l'amorçage masqué de répétition.

Le modèle de Grainger et Van Heuven (2003; voir aussi Grainger, Granier, Farioli, Van Assche, & Van Heuven, 2006) est un modèle qui s'ajuste à ces données vu qu'il propose des représentations orthographiques prélexicales capables de détecter la présence d'une séquence de lettres indépendamment de leur position sur l'axe horizontal (voir aussi Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005). Il est intéressant de signaler que Bar et Biederman (1998) ont donné la même interprétation en ce qui concerne l'invariance de translation de l'amorçage subliminal obtenu avec des images d'objets présentés en différents quadrants d'un champ circulaire et avec 4.9° de translation entre l'amorce et la cible.

Par rapport aux lettres et contrairement à l'étude en EEG de Petit, Midgley, Holcomb, et Grainger (2006) sur l'amorçage masqué des lettres isolées, rien n'indique la présence précoce d'effets de répétition (avant 300 ms après l'apparition de la cible) dans notre étude électrophysiologique

présentée au **chapitre 5**. Ceci peut être dû au fait que les amorces et les cibles occupent deux endroits distincts alors que dans Petit et al. Tous les stimuli apparaissent au centre. Ainsi, les effets d'amorçage très précoces qu'ils ont observés (avant 300 ms) doivent refléter une intégration de l'information à travers une spécificité localisationnelle des représentations des traits visuels et des lettres. Dans notre étude électrophysiologique, nous avons démontré que les effets d'amorçage subliminal peuvent être obtenus même quand les amorces et les cibles occupent deux positions spatiales différentes. Ce résultat peut nous suggérer qu'un éventuel locus de ces effets d'amorçage devrait être supporté par des représentations (orthographique, phonologique et même conceptuelle sur la catégorie) indépendantes de la localisation spatiale.

Une telle constatation au niveau comportemental est confortée par des travaux récents en neurobiologie qui ont montré que les neurones du cortex visuel (V1) répondent au départ de façon plus spécifique avec des champs récepteurs plus restreints et que, plus le flux du traitement de l'information visuelle progresse dans la voie ventrale, plus ces champs récepteurs deviennent élargis (e.g., Kobatake & Tanaka, 1994). Arrivés au bout de la voie ventrale et, plus précisément, au niveau du cortex inféro-temporal (IT), les neurones montrent toujours une efficacité de leur excitation en réaction à des transformations de stimuli comme les changements de l'échelle (taille) et de la position (e.g., Logothetis & Sheinberg, 1996; Tanaka, 1996)

3.2. Interaction de l'indication et de l'amorçage périphériques avec les effets d'hémi-champ visuel

Afin de rester dans des conditions de lecture relativement naturelles, nous avons systématiquement manipulé une présentation horizontale des stimuli ; ce qui nous a amené par conséquent à analyser les différences entre les hémis-champs visuels. Dans toutes nos expériences, nous avons démontré une supériorité du champ visuel droit, un phénomène observé dans les expériences classiques de présentation latéralisée des mots (Kinsbourne, 1970; McCann, Folk, & Johnston, 1992; Mondor & Bryden, 1992; Nicholls & Wood, 1998; Ortells, Tudela, Noguera, & Abad, 1998). L'originalité de nos résultats est attribuable d'une part à la précocité de cet effet et, d'autre part, à la possibilité qu'il soit « généré » (au moins en partie) ou modulé par des mécanismes attentionnels. En effet, en présence d'indication, les effets d'amorçage les plus robustes ne s'observent uniquement qu'en présence d'indice valide pour une présentation du côté droit de l'amorce. Ces effets s'annulent en présence d'un indice non valide (voir Marzouki, Grainger, & Theeuwes, 2007). Un effet similaire a été reproduit par Marzouki et Grainger (2007, *in press*) mais avec les mots cibles au centre et des amorces périphériques. Le fait que ces effets du champ visuel sont obtenus de façon subliminale avec les lettres et les mots (suite à des tests conservateurs de visibilité des amorces) montre l'influence précoce des mécanismes attentionnels durant la perception des stimuli complexes.

Dans le **chapitre 4** nous montrons aussi que les effets de champ visuel influencent de façon robuste le traitement des amorces et ceci en présence ou non de L'IOR. Contrairement à l'effet de

l'IOR observé avec les amorces présentées dans le champ visuel droit, les amorces présentées du côté gauche montrent un bénéfice attentionnel classique avec un effet d'amorçage plus robuste pour les amorces apparaissant dans la localisation valide. Ce résultat converge avec les autres effets de champ observés dans toute notre étude et montre encore une fois la prégnance des différences entre les hémichamps visuels dans la façon avec laquelle l'attention spatiale exogène exerce une influence sur le traitement des stimuli linguistiques.

Ce résultat répliqué avec l'IOR est une démonstration de l'hypothèse émise par Marzouki et al. (2007) selon laquelle la vitesse de l'allocation attentionnelle à la suite d'un indiçage exogène valide devrait être plus rapide à se déplacer vers la droite que vers la gauche par rapport à la fixation centrale. En effet, la présence d'un effet robuste d'IOR exige que l'attention soit déjà engagée vers l'endroit de l'amorce quand le deuxième indice (central) de désengagement apparaît. C'est effectivement le cas des indices apparaissant du côté droit mais non pour ceux apparaissant du côté gauche du champ visuel, vu le long délai requis pour l'attention spatiale à se déplacer vers la gauche. Cette constatation rend compte du fait que l'engagement de l'attention vers l'hémi-champ gauche peut « supporter » son désengagement vers le centre en générant des effets classiques d'amorçage pour les amorces valides.

Une des interprétations courantes de cet avantage en faveur du champ visuel droit est la présence d'une asymétrie cérébrale dans le traitement des stimuli verbaux. En effet, les stimuli présentés à droite du champ visuel vont avoir un accès direct à l'hémisphère gauche où sont localisées les aires du langage ; par contre, les stimuli verbaux présentés à gauche vont subir un retard du traitement équivalent au temps nécessaire pour faire basculer l'information de l'hémisphère droit vers l'hémisphère gauche (Bryden & Mondor, 1991; Brysbaert, 1994b; Kimura, 1966). Plus pertinente aussi pour nos résultats est l'interprétation attentionnelle de cet avantage qui met l'accent sur la façon avec laquelle l'attention spatiale se distribue sur le champ visuel (Ducrot & Grainger, 2007; McCann et al.; Mishkin & Forgays, 1952; Nicholls & Wood, 1998; Ortells et al. 1998). Selon cette interprétation c'est la présence d'un biais attentionnel dû aux habitudes de lecture qui serait à l'origine de l'avantage du champ droit. Nos sujets ont le français comme langue maternelle, une langue latine lue de gauche à droite, ce qui veut dire que ce genre de biais est largement facilité par de telles habitudes qui attirent de façon automatique le système attentionnel vers la droite. Pour tester cette hypothèse, serait la réplique de ces expériences avec un matériel issu d'une langue lue de droite à gauche comme la langue arabe.

Il est généralement admis que l'IOR observée à un endroit spécifique du champ visuel suit simplement un déplacement réflexif de l'attention à cet endroit. De façon standard, l'IOR ne suit pas un déplacement volontairement orienté de l'attention (Posner & Cohen, 1984; Pratt, Kingstone, & Khoe, 1997). Le fait que nous montrions dans cette étude qu'au moins en partie les effets de l'IOR peuvent être générés par les habitudes de lecture suggère que le postulat radical selon lequel l'IOR est purement et naturellement un phénomène exogène nécessite d'être révisée (voir Gibson & Amelio, 2000).

3.3. Modélisation du rôle de l'attention et excentricité des amorces

Nos résultats ont montré une nette asymétrie dans les effets d'amorçage qui sont plus robustes dans l'hémi-champ droit comparés à l'hémi-champ gauche. Cette même observation a aussi été constatée avec les pseudo-mots (voir **chapitre 6**). Ces résultats viennent corroborer les modèles qui placent les effets d'amorçage au niveau des représentations orthographiques pré-lexicales qui sont en partie indépendantes de la localisation des amorces (e.g., Grainger & van Heuven, 2003). Néanmoins, les résultats semblent infirmer le fait que ces représentations soient exclusivement pourvues d'invariances localisationnelles. Le fait que l'amorçage soit plus robuste pour les amorces périphériques quand les amorces et les cibles sont au même endroit que quand les cibles sont centrales, semble être en faveur d'une certaine spécificité localisationnelle. Dans le **chapitre 8**, nous avons présenté deux façons de rendre compte des effets observés dans le **chapitre 6**. Premièrement, il faut que l'amorçage repose sur des représentations qui présentent une spécificité localisationnelle et, deuxièmement, cette apparente spécificité localisationnelle doit résulter de la présence d'un faisceau attentionnel restreint qui module les effets d'amorçage. En effet, les deux modèles mathématiques proposés pour ajuster les données d'amorçage à partir d'expériences où les amorces et les cibles sont présentées dans différentes positions constituent deux modèles additifs décomposant le TR. Le modèle Local-Priming a échoué à rendre compte du facteur de déploiement de l'attention à l'endroit de l'amorce qui a été démontré dans des travaux récents (Besner, Risko, & Sklair, 2005; Lachter, Forster, & Ruthruff, 2004; Marzouki et al., 2007) ce qui constitue aussi une faiblesse dans le modèle de Grainger et van Heuven (2003).

Par conséquent, le modèle Attention-to-Prime qui se base sur l'idée d'une diffusion de l'attention à travers le champ visuel s'est avéré meilleur que le modèle Local-Priming quand il s'agit d'ajuster des données issues d'une expérience manipulant le facteur d'excentricité de l'amorce indépendamment de l'excentricité des cibles. En outre, les positions de l'amorce et de la cible n'ont pas besoin de se chevaucher pour obtenir des effets de répétition. Ce modèle de l'attention sur l'amorce tient compte de la capacité des amorces à attirer l'attention vers leurs localisations, surtout quand elles occupent des emplacements distincts de ceux des cibles. Ces effets interviennent malgré une consigne dans la tâche qui oblige les participants à focaliser leur attention sur le point de fixation central. A cet égard, les amorces jouent le rôle d'apparitions visuelles soudaines en engendrant des effets attentionnels capables de contrecarrer les effets endogènes générés par les positions des cibles.

A la lumière de ces nouvelles observations, nous avons présenté dans la figure 8.7 du **chapitre 8** une nouvelle lecture du modèle proposé par Grainger et van Heuven (2003) avec, en plus, la présence d'un faisceau attentionnel qui agit en modulant le codage des amorces et des cibles tout en augmentant le niveau de traitement soit *i)* à travers la capacité des amorces périphériques à attirer les ressources attentionnelles de façon exogène vers leurs localisations, *ii)* par modulation du traitement de l'amorce causée par la présence d'un indice spatial exogène qui entraîne une saillance de la position de l'amorce périphérique, *iii)* par la présence de facteurs attentionnels endogènes doublement générés

soit par la tâche, soit aussi par les habitudes de lecture permettant un désengagement plus rapide de l'attention vers la droite que vers la gauche du champ visuel (voir aussi **chapitres 3 et 4**). Ce modèle de l'attention que nous proposons permet aussi de faire des prédictions concernant les effets d'amorçage avec les langues qui se lisent de droite à gauche comme l'arabe ou l'hébreu.

4. Conscience perceptive (visuelle) et attention visuelle

Avant de discuter ces relations complexes entre : perception / attention, perception / conscience et attention / conscience, nous attirons l'attention du lecteur sur le problème empirique de la mesure de la performance perceptive inconsciente. La méthodologie adoptée pour une bonne partie de ce travail consiste à montrer en un premier temps les influences d'un effet indirect (les effets d'amorçage issus d'un premier test) en l'absence de tout effet direct (la performance des sujets dans les tâches de visibilité). Cette technique est connue sous le nom du paradigme de dissociation (Reingold & Merikle, 1988). Un des critères avancés par Reingold et Merikle exige une comparabilité maximale entre la mesure indirecte et la mesure directe pour pouvoir inférer la performance qui est due à une réelle cognition inconsciente ; sinon, nous sommes confrontés à un problème de sous- ou de surestimation de la performance perceptive des participants. Bien que certains travaux considèrent que l'expérience subjective de la perception est en soi une mesure directe et fiable de la conscience perceptive (e.g., Chalmers, 1996), Draine et Greenwald (1998), tout en nuancant ces propos, pensent que la technique soustractive (*indirect-without-direct data pattern*) est la bonne technique objective à considérer pour l'étude de la discrimination visuelle et que l'indice (d') est le critère fiable pour mesurer cette sensibilité perceptive.

Tout en adoptant la technique soustractive fondée sur des critères plus conservateurs propres à la théorie de détection de signal (AUC, élimination pas-à-pas, etc.), nous avons aussi eu recours, en guise de contrôle méthodologique, à de brefs questionnaires post-session expérimentale pour évaluer verbalement (*self verbal report*) (e.g., Merikle, 1992) la conscience subjective des sujets quant à la présentation des amorces. Systématiquement, une proportion de 98% des sujets rapportent ne rien percevoir derrière les cibles affichées et entre 5 et 9 % pensent avoir vu des flashes sans aucune identification précise de leur contenu.

L'attention comme préliminaire de la conscience perceptive est un fait démontré dans de nombreux travaux classiques, même dans la perception de l'information mnésique (e.g., Cowan, 1995) pourvu que cette information ne soit pas en dehors de notre focus attentionnel (e.g., Posner & Boies, 1971). Dans deux récentes revues de question (Dehaene, Changeux, Naccache, Sackur, & Sergent, 2006; Koch & Tsuchiya, 2007), un éclairage très intéressant a été porté sur le rôle des neurosciences pour déblayer un peu le terrain autour de cette question historique. Deux taxonomies sont proposées et qui croisent de façon plus ou moins similaire la conscience avec l'attention et dont les contenus par rapport à l'amorçage sont résumés dans le tableau 9.1.

Tableau 9.1. Taxonomies de croisement des états de la conscience avec le type d'attention.

Kock et Tsuchiya (2007)		Dehaene et al. (2006)	
Attention top-down requise	Attention top-down non requise	Attention top-down présente	Attention top-down absente
Ne déclenche pas Un accès conscient	(b)	Activation bottom-up Faible ou interrompue	amorçage faible ou absent
Peut déclencher un accès conscient	Amorçage	Activation bottom-up Forte ou suffisante	

Par rapport à la taxonomie proposée par Kock et Tsuchiya (2007) nous émettons une réserve par rapport à l'absence de possibilité d'effet d'amorçage quand l'attention *top-down* n'est pas requise et quand les stimuli ne déclenchent pas un accès conscient (voir case b, Tableau 9.1). Quant à la deuxième partie du tableau 9.1, la case de jonction entre absence de l'attention *top-down* avec une activation faible, voire interrompue, du stimulus peut, en fait, générer des effets robustes d'amorçage modulés par des mécanismes attentionnels exogène.

Dans un deuxième tableau, nous proposons une relecture de ces taxonomies (voir Tableau 9.2) en fonction de ce que nous avons pu dégager comme résultat sur le rôle modulateur de l'attention exogène sur les effets d'amorçage subliminal avec répétition.

Nous avons croisé aussi dans ce tableau les mêmes variables (attention x nature de stimulus) avec les nuances suivantes : nous avons évité de faire une distinction de type tout ou rien (fortement vs. faiblement présent) et nous avons considéré la force du masquage comme critère d'accessibilité à la conscience perceptive.

Tableau 9.2. Taxonomie alternative

	Forte attention top-down	Forte attention bottom-up
Stimulus fortement visible	Effet massif de l'attention endogène sur l'amorçage	Effet massif de l'attention exogène sur l'amorçage
Stimulus fortement masqué	?	Effet modulateur de l'amorçage subliminal
	Biais attentionnel et IOR	

Le croisement de ces critères a pu générer une case qu'on qualifie, au vu de ce que nous connaissons de la littérature comme « case manquante » pour une raison empirique peut-être. Le résultat observé avec l'IOR et son interaction avec le biais attentionnel lié aux habitudes de la lecture est potentiellement un candidat mais cette observation demeure sans la présence d'une forte attention de type *top-down*.

Pour rendre compte des différentes étapes d'accès à la conscience, nous proposons dans la figure 9.1 un recouplement entre trois modèles de l'attention et de la conscience.

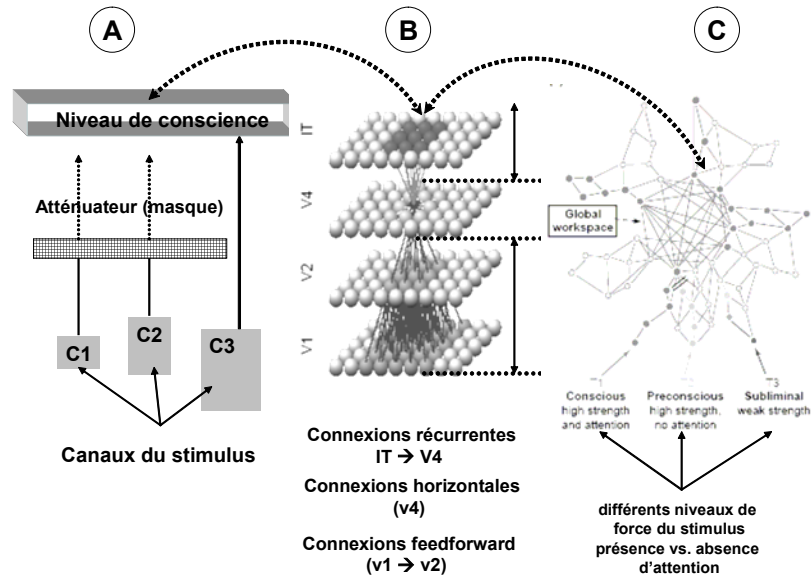


Figure 9.1. Parallélisme entre le modèle de l'atténuation attentionnelle de Treisman (1964) (A), celui de Lamme et Roelfsema (2000) (B) et celui de Dehaene et al. (2006) (C).

Selon le modèle (B), le premier traitement de type feedforward agit en groupant des constellations de traits visuels qui sont câblées dans le cerveau qui, jusque là, est probablement encore incapable de produire une conscience visuelle. Le traitement récurrent (feed-back) est nécessaire avant que les traits visuels d'un objet soient consciemment groupés et que le stimulus ait accès à la conscience (Lamme, 2001; Lamme & Roelfsema, 2000). Le rôle de l'atténuateur du modèle (A) (Treisman, 1964) peut être simulé par celui du « backward » masque dans notre paradigme. Selon Lamme et Roelfsema, le masque réduit considérablement la visibilité du stimulus et entraîne, sur le plan neuronal, le blocage de son traitement au niveau des aires corticales de V1 et empêche ainsi les connexions de type feedforward d'atteindre V4. Il en résulte que, d'après ce modèle, tout accès à la conscience nécessite l'intervention des connexions récurrentes (de type feedback). Ce cas de figure correspond au cas du traitement T3 (i.e. traitement subliminal et à poids faible) dans le troisième modèle « *workspace* » (C) (Dehaene et al. 2006).

En guise d'extension, nous présentons dans ce qui suit une réflexion épistémologique sur la nécessité de disposer d'un modèle hybride pour l'attention. En partant de la dichotomie classique opposant les théories de la cause *vs.* les théories de l'effet de l'attention, nous avons argumenté en faveur d'un modèle combinant les deux approches (i.e. cause et effet). Ce modèle permet de rendre compte des résultats, aussi bien comportementaux que neurobiologiques, observés dans ma thèse mais aussi dans d'autres travaux dont les problématiques sont relativement similaires.

References

- Bar, M., & Biederman, I. (1998). Subliminal visual priming. *Psychological Science, 9*, 464-469.
- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology, 59*(2), 99-108.
- Bouma, H. (1973). Visual interference in the parafoveal recognition of initial and final letters of words. *Vision Research, 13*, 767-782.
- Bryden, M. P., & Mondor, T. A. (1991). Attentional factors in visual field asymmetries. *Canadian Journal of Psychology, 45*, 427-447.
- Brysbaert, M. (1994a). Interhemispheric transfer and the processing of foveally presented stimuli. *Behavioural Brain Research, 64*, 151-161.
- Brysbaert, M. (1994b). Lateral preferences and visual field asymmetries: Appearances may have been overstated. *Cortex, 30*, 413-429.
- Carrasco, M., Ling, S., & Read, S. (2004). Attention alters appearance. *Nature Neuroscience, 7*, 308-313.
- Chalmers, D. J. (1996). *The conscious mind*. New York: Oxford University Press.
- Cowan, N. (1995). *Attention and memory: An integrated framework*. New York: Oxford University Press.
- Dehaene, S., Changeux, J.-P., Naccache, L., Sackur, J., & Sergent, C. (2006). Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in Cognitive Sciences, 10*(5), 204-211.
- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, M., & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends in Cognitive Sciences, 9*, 335-341.
- Dell'Acqua, R., Jolicoeur, P., Pesciarelli, F., Job, R., & Palomba, D. (2003). Electrophysiological evidence of visual encoding deficits in a cross modal attentional blink paradigm. *Psychophysiology, 40*, 629-639.
- Desimone, R. (1998). Visual attention mediated by biased competition in extrastriate visual cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 353*, 1245-1255.
- Donchin, E., & Coles, M. G. H. (1988). Is the P300 component a manifestation of context updating? *Behavioural and Brain Sciences, 11*, 357-374.
- Draine, S. C., & Greenwald, A. G. (1998). Replicable unconscious semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: General, 127*, 286-303.
- Ducrot, S., & Grainger, J. (2007). Deployment of spatial attention to words in central and peripheral vision. *Perception & Psychophysics, 69*(4), 578-590.
- Fabre, L., Lemaire, P., & Grainger, J. (2007). Attentional modulation of masked repetition and categorical priming in young and older adults. *Cognition, 105*(3), 513-532.
- Gibson, B. S., & Amelio, J. (2000). Inhibition of return and attentional control settings. *Perception & Psychophysics, 62*, 496-504.

Discussion générale

- Grainger, J., Granier, J. P., Farioli, F., Van Assche, E., & van Heuven, W. (2006). Letter position information and printed word perception: The relative-position priming constraint. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *32*, 865-884.
- Grainger, J., & van Heuven, W. (2003). Modeling letter position coding in printed word perception. In P. Bonin (Ed.), *The Mental Lexicon*. New York: Nova Science.
- Handy, T. C., Jha, A. P., & Mangun, G. R. (1999). Promoting novelty in vision: inhibition of return modulates perceptual-level processing. *Psychological Science*, *10*(2), 157-161.
- Hillyard, S. A., Vogel, E. K., & Luck, S. J. (1998). Sensory gain control (amplification) as a mechanism of selective attention: electrophysiological and neuroimaging evidence. *Philosophical Transactions of the Royal Society: Biological Sciences*, *393*, 1257-1270.
- Kastner, S., & Ungerleider, L. G. (2001). The neural basis of biased competition in human visual cortex. *Neuropsychologia*, *39*, 1263-1276.
- Kerkhof, G. A., & Uhlenbroek, J. (1981). P3 latency in threshold signal detection. *Biological Psychology*, *13*, 89-105.
- Kimura, D. (1966). Dual functional asymmetry of the brain in visual perception. *Neuropsychologia*, *29*, 877-888.
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, *33*, 193-201.
- Kobatake, E., & Tanaka, K. (1994). Neural selectivities to complex object features in the ventral visual pathway of the macaque cerebral cortex. *Journal of Neurophysiology*, *71*, 856-867.
- Koch, C., & Tsuchiya, N. (2007). Attention and consciousness: two distinct brain processes. *Trends in Cognitive Sciences* *11*(1), 16-22.
- Kok, A. (2001). On the utility of P3 amplitude as a measure of processing capacity. *Psychophysiology*, *38*, 557-577.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review*, *111*(4), 880-913.
- Lamme, V. A. F. (2001). Blindsight: the role of feedforward and feedback corticocortical connections. *Acta Psychologica*, *107*, 209-228.
- Lamme, V. A. F., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, *23*(11), 571-579.
- Lavidor, M., & Walsh, V. (2004). The nature of foveal representation. *Nature Neuroscience*, *5*, 729-735.
- Liu, T., Pestilli, F., & Carrasco, M. (2005). Transient attention enhances perceptual performance and fMRI response in human visual cortex. *Neuron*, *45*, 469-477.
- Logothetis, N. K., & Sheinberg, D. L. (1996). Visual object recognition. *Annual Review of Neuroscience*, *19*, 577-621.
- Luck, S. J. (2005). *An Introduction to the event-related potential technique*. Cambridge: The MIT Press.

- Malach, R., Levy, I., & Hasson, U. (2002). The topography of high-order human object areas. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 177-184.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1995). Mechanisms and models of selective attention. In M. D. Rugg & M. G. H. Coles (Eds.), *Electrophysiology of mind: Event-related brain potentials and cognition* (pp. 40-85). New York: Oxford.
- Martinez-Trujillo, J. C., & Treue, S. (2002). Attention changes apparent stimulus contrast in primate visual cortex. *Neuron*, 35, 365-370.
- Marzouki, Y., & Grainger, J. (2007). Effects of prime and target eccentricity on masked repetition priming. *Psychonomic Bulletin & Review*, *In press*.
- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming. *Acta Psychologica*, 126(1), 34-45.
- McCann, R. S., Folk, C. L., & Johnston, J. C. (1992). The role of spatial attention in visual word processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 18(4), 1015-1019.
- Merikle, P. M. (1992). Perception without awareness: Critical issues. *American Psychologist*, 47, 792-795.
- Mishkin, M., & Forgays, D. G. (1952). Word recognition as a function of retinal locus. *Journal of Experimental Psychology*, 43, 43-48.
- Mondor, T. A., & Bryden, M. P. (1992). On the relation between visual spatial attention and visual field asymmetries. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 44A(3), 529-555.
- Moran, J., & Desimone, R. (1985). Selective attention gates visual processing in the extrastriate cortex. *Science*, 229, 782-784.
- Mounts, J. R. W., & Tomaselli, R. G. (2005). Competition for representation is mediated by relative attentional salience. *Acta Psychologica*, 118, 261-275.
- Naccache, L., Blandin, E., & Dehaene, S. (2002). Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological Science*, 13(5), 416-424.
- Nicholls, M. E. R., & Wood, A. G. (1998). The contribution of attention to the right visual field advantage for word recognition. *Brain and Cognition*, 38, 339-357.
- Ortells, J. J., Tudela, P., Noguera, C., & Abad, M. J.-F. (1998). Attentional orienting within visual field in a lexical decision task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 24(6), 1675-1689.
- Petit, J.-P., Midgley, K. J., Holcomb, P. J., & Grainger, J. (2006). On the time course of letter perception: a masked priming ERP investigation. *Psychonomic Bulletin & Review*, 13(4), 674-681.
- Polich, J. (1996). Meta-analysis of P300 normative aging studies. *Psychophysiology*, 33, 334-353.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.
- Posner, M. I., & Cohen, Y. (1984). Components of visual orienting. In H. Bouma & D. G. Bouwhuis (Eds.), *Attention and performance* (Vol. X, pp. 531-556). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Discussion générale

- Pratt, J., Kingstone, A., & Khoe, W. (1997). Inhibition of return in location- and identity-based choice decision tasks. *Perception & Psychophysics*, *59*, 964-971.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Ehrlich, S. (1978). Eye movements and integrating information across fixations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *4*, 529-544.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Zola, D. (1980). Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology*, *12*, 206-226.
- Reingold, E. M., & Merikle, P. M. (1988). Using direct and indirect measures to study perception without awareness. *Perception & Psychophysics*, *44*, 563-575.
- Rolls, E. T., & Deco, G. (2002). *Computational neuroscience of vision*. New York: Oxford University Press Inc.
- Sessa, P. R., Luria, R., Verleger, R., & Dell'Acqua, R. (2007). P3 latency shifts in the attentional blink: Further evidence for second target processing postponement. *Brain Research*, *1197*, 191-199.
- Tanaka, K. (1996). Inferotemporal cortex and object recognition. *Annual Review of Neuroscience*, *19*, 109-139.
- Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: the effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, *49*(1), 83-90.
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., & Irwin, D. E. (1998). Our eyes do not always go where we want them to go: capture of the eyes by new objects. *Psychological Science*, *9*, 379-385.
- Treisman, A. M. (1964). Verbal cues, language and meaning in selective attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *40A*, 201-237.
- Verleger, R., Jaockowski, P., & Wascher, E. (2005). Evidence for an integrative role of P3b in linking reaction to perception. *Journal of Psychophysiology*, *19*, 165-181.
- Vogel, E. K., & Luck, S. J. (2002). Delayed working memory consolidation during the attentional blink. *Psychonomic Bulletin & Review*, *9*, 739-743.
- Vogel, E. K., Luck, S. J., & Shapiro, K. L. (1998). Electrophysiological evidence for a postperceptual locus of suppression during the attentional blink. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *24*, 1656-1674.

Toward a hybrid model of attention:

An epistemological analysis of an emergent Scientific Research Program¹⁵

Yousri Marzouki

Abstract:

The widely accepted distinction between Cause *vs.* Effect theories of attention may be insufficient to give an account of many empirical results. As two Scientific Research Programmes, the two theories are compared on the basis of Lakatos' epistemological methodology. We argue, based on some empirical arguments from repetition and subliminal priming studies that a hybrid model (e.g., biased competition theory) is necessary and more likely to supersede these two approaches given its ability to generate a wide range of heuristics essentially "fittable" with neuro-scientific findings.

Key words: Attentional metaphors; Scientific Research Programmes; Biased competition theory

¹⁵ *Manuscript in preparation for submission*

1. Introduction

An outline of scientific theories under the topic of *attention* yields, in majority, a “bunch” of dichotomies to describe and discuss results involving attentional factors: pre-attentive *vs.* attentive (e.g., Joseph, Chun, & Nakayama, 1997; Theeuwes, 1995; Treisman & Gelade, 1980); early *vs.* late (e.g., Broadbent, 1982; Deutsch & Deutsch, 1963; Treisman & Gelade, 1980); automatic *vs.* voluntary (e.g., Jonides, 1981; LaBerge, 1981; Shiffrin & Schneider, 1977); conscious *vs.* unconscious (e.g., Chalmers, 1996; Cheesman & Merikle, 1986; Koch & Tsuchiya, 2007); exogenous *vs.* endogenous (e.g., Peelen, Heslenfeld, & Theeuwes, 2004; Posner, 1980; Posner & Boies, 1971; Theeuwes, 1991); object-based *vs.* space-based (e.g., Mozer & Vecera, 2005); parallel *vs.* serial (e.g., Treisman, 1988); internal *vs.* external (e.g., Milner, 1974).

Since decades, social and cognitive anthropological studies had shown that a strong binary mental bias influences human cognitive categorization of many social objects surrounding us (e.g., D'Andrade, 1995; Levi-Strauss, 1958). Assimilated to a mental category a scientific theory (or rather a scientific belief) is suffering from the same sensitivity to this kind of cognitive bias. We try in this paper to estimate the influence of such bias on the way cognitive psychologists think about attentional theories and why they stick to this pair-conceptual opposites' method to theorize attention. It's intriguing to notice that all suggested dichotomies cited above are steady binary entities, which contrasts sharply with the dynamic characteristic of the measured online cognitive process. This first close brings us to a dilemma between a very restrictive and static description based on this alleged fundamental binary organizer in one hand and the dynamic aspects of human cognition in another hand. This dilemma is worthy to be diagnosed in details; hence the aim of this paper is twofold:

- Examining the relevance of such binary theorization under the dichotomy between cause *vs.* effect theory.
- Estimating the need of an alternate approach of attention to fit recent empirical data from studies manipulating attention as explanatory factor to other cognitive abilities.

We decided to take one specific domain and try through it to generalize conclusions to be drawn in respect with our assumptions. This domain is about the modulating role of spatial attention for priming effects. Numerous studies can be studied under the topic of priming, but we will focus on word and letter perception studies using fast masked repetition priming. We believe that our analysis and its following conclusions can be generalized for others studies manipulating attention and priming.

2. Attention and priming in word and letter recognition

2.1. Is attention a dependent or independent variable?

Maybe the question addressed about possible relations between written words (letters) recognition and attentional processes is not so innovative but one may look for a clear definition between these two topics. The claim becomes more interesting when we consider the involved bottom-up processes when participants perform a task that combines some kind of attentional cueing and masked repetition (subliminal) priming.

By adopting the logical demonstration of Fernandez-Duque and Johnson (2002) we will try in this section to situate the status of spatial attention. These authors analysed the now admitted theoretical distinction in literature between cause theories *vs.* effect theories of attention. Unlike a prominent weight attributed by many authors to cause theories (Dark, Vochatzer, & VanVoorhis, 1996; Johnston & Dark, 1986) the philosophical debate in the background is still irresolvable. The first one (*cause theories*) assumes that attention has a modulating role of the ongoing processing of information whereas the opponent one (*effect theory*) can not consider attention more than a result or a by-product liable to be an epiphenomenon of a cognitive processing. What makes the consensus harder to set up is that arguments for or against one approach are derived from data solely under the topic of attention. A specific case will be examined in this paper and a potential alternative will be raised at the end. The idea here is to find out which issue is more likely relevant according to the empirical and logical manipulation of attention as an independent variable to modify the feature of processing involved in different dependent variables, for instance word recognition. In other words, we need to determine what useful preliminaries for building optimally a general theory of attention more efficient to explain the observed performance when we evaluate early processes involved in word and letter perception. It is obvious that this specific case of word recognition is an underestimation of the general theory we suggest but it's simply a starting point for more general set that needed to be extended to a large panel including other specific cognitive functions.

2.2. The level on which spatial attention intervenes

It's interesting to notice that one of the first empirical attempts to show that selection occurs via priming by Dark et al. (1996) stated that spatial cueing is a mechanism that ties to cause theory whereas semantic priming is associated with effect theory. Hence, spatial attention is basically an independent variable being manipulated experimentally to build a functional link with the dependant variable, for instance priming. Indeed, some theories highlight the fact that spatial attention contributes, with other processes, like priming to information selection. In Bundesen's theory of visual attention TVA (1990) and its current version Neural-TVA (Bundesen, Habekost, & Kyllingsbæk, 2005) priming is a key-parameter to explain spreading activation within the system network. The same conclusion is drawn by Duncan and Humphreys (1989) about the relevance of priming in the activation of representations is visual short term memory.

Toward a hybrid model of attention

Since McCann, Folk and Johnston's (1992) study the repeated claim is that spatial attention is a preliminary factor for word recognition. This claim must not entail a wrong idea by considering priming as an epiphenomenon lying on attention facilitation. A series of recent empirical studies can enlighten us since they used some sort of spatial cueing and masked repetition priming. These researches genuinely showed a facilitatory role of spatial attention for repetition priming effects¹⁶ (Besner, Risko, & Sklair, 2005; Lachter, Forster, & Ruthruff, 2004; Marzouki, Grainger, & Theeuwes, 2007). Indeed, strongest priming effects are only observed under validly cued conditions, even in presence of subliminal primes (see Marzouki et al., 2007).

Furthermore, many neurobiological arguments suggested that the magnocellular system is likely to be the common activated region for written word and letter processing, spatial automatic attentional mechanisms and visual masking (e.g., Chase, Ashourzadeh, Kelly, Monfette, & Kinsey, 2003; Lamme & Roelfsema, 2000; Omtzigt & Hendriks, 2004; Omtzigt, Hendriks, & Kolk, 2002; Steinman, Steinman, & Lehmkuhle, 1997). This will enhance the plausibility of these automatic processes to occur under the same circumstances.

3. Conceptual inventory

An appropriate theoretical tool that would help us to delve into the background of the dichotomy between “*cause*” vs. “*effect*” theories is the epistemological stand by Lakatos (Lakatos, 1970, 1977). According to Lakatos, there is a confrontation between two scientific research programmes (SRPs) or, by extension, two metaphors (Lakoff & Johnson, 1980).

3.1. Scientific Research Program (SRP) and related concepts

According to the proposal of methodology of SRPs, there exists a *hard core* set of propositions that are held to be irrefutable. In order to avoid the hard core to be attacked from without a *protective belt* formed by a set of auxiliary hypotheses will surround tightly this hard core. Amongst this protection we distinguish two strategies: *i*) the first is called *positive heuristics* and it is linked to what we have to pursue and means to suggest a new explicative and predictive hypotheses to complete the hard core *ii*) the second strategy is called *negative heuristics* and aimed to protect the hard core from falsification by auxiliary hypotheses (not ad hoc) in a shell nut it is what we have to avoid.

In respect with Lakatos a SRP is progressive, thus researchers keep changing auxiliary hypotheses in order to preserve the hard core from anomalies and inconsistencies. Nevertheless, if SRP declines, then it will be unable to stand the competition from alternate approaches which will jeopardize its survival. The vulnerability of the SRP entails its falsification and will be superseded by a better research program.

¹⁶ RT difference between the condition when prime and target are the same or different words.

3.2. Attention: a model or a metaphor?

If the traditional distinction between literal *vs.* metaphorical uses of language holds, then it will be really difficult to put the label of metaphor on a scientific theory. Since what we need in scientific thought is basically a factual and accurate language to describe phenomena what metaphors are useful for? To avoid such dilemma the use of metaphor in science is more than linguistic better than it is conceptual (Lakoff, 1993). Cognitive sciences and psychology evolve with a wide range of concepts to figure-out the nature of mental categories, representations or behaviour. In the absence of any physical evidence that can be helpful to track or/and to uncover the online processing, scientists within this area deliberately used metaphorical mappings between miscellaneous domains to depict the mental dynamics of our brain (or mind).

“The new view of metaphor asserts that our everyday language is replete with metaphors that we use without being conscious of their metaphorical character. These are called conventional metaphors, or preferably, conceptual metaphors, to distinguish them from the novel construction found in fiction, poetry, and scientific theories” (Brown, 2003, p. 32).

This specific tool called conceptual metaphor is proposed by Lakoff and Johnson (1980) in an influential book where authors gave a thorough description of the way our embodied experiences influence the structure and the spatial background of conceptual metaphors. The starting point for building a metaphor is to find out the appropriate *source domain*, which is generally a physical structure of the metaphor. Once this source domain is already clear the matching work can begin between this source and what is called the *target domain*. As much as the source was properly selected, better will be the parallelism between the two domains. Our embodied experience is very helpful in such circumstances to grab the logic of the matching (e.g., Johnson, 1997), and then the metaphor can be a genuine and autonomous entity able to compete with any theoretical model. According to Gibbs (1996; 2006) metaphor is a tool allowing us to transfer our intuitive phenomenological senses and experiences to understand abstract domains.

It's a sociological context of science that will encourage the use of the new born metaphor and broadcast its relevance. In this line of idea, attention is the major cognitive domain that has been described and theorized with conceptual metaphors. In fact, many usages of such metaphors appeared: for example Hirst and Kalmar (1987) used three metaphors to describe attentional resources: fuel, structure, and skills. Fernandez-Duque and Johnson (1999) have checked off the main metaphors that constitute the whole psychological theories about attention. Indeed, we found: 1- the filter metaphor, 2- the spotlight metaphor, and 3- the spotlight-in-the-brain metaphor. We quote them:

“We will present evidence that these metaphors are essential to the cognitive psychology of attention. They define entire research programs, circumscribing which attentional phenomena are studied, how they are studied, and what counts as evidence. ” (Fernandez-Duque & Johnson, 1999, p. 83).

3.3. Cause vs. effect theories: SRPs confrontation

In table 10.1 we suggest a number of criteria on which comparison between the two approaches can be based using Lakatos' epistemological methodology.

Table 10.1. Comparison between the cause vs. effect theories of attention based on Lakatos' SRP methodology.

		Scientific Research Programmes	
		Cause theories	Effect theories
Criteria			
The hard core (common shared idea)	<i>Ontological property</i>	phenomenon	epiphenomenon ¹⁷
	<i>Main architecture</i>	Homunculus-like ¹⁸	K-winners-take-all network ¹⁹
The protective belt (auxiliary hypotheses)	<i>Available metaphors (models)</i>	Spotlight; zoom lens; filter; gradient model; limited resources	Competition metaphors, biased-competition framework
Positive heuristics (To pursue)	<i>Main active system state</i>	dual processing activation	Dynamic likelihood between current state of the system and the stimulus properties
	<i>Processing</i>	Under central executive control	Domain-specific feed-back loops control ²⁰
	<i>Mechanisms</i>	Strong top-down influences	By-product of bottom-up processing
Negative heuristics (To avoid)	<i>Neuroscience framework</i>	explanatory gap	more plausible

¹⁷ It refers to the fact that mental phenomena are caused by physical phenomena (neuronal interactions), and not caused by abstract entities. Epiphenomenon in cognitive science is a result of the multiplicity of relatively simple interactions within complex systems (e.g., brain connectivity).

¹⁸ Homunculus refers here to theoretical components like for example executive functions; supervisory attentional system; for managing action control (*the hom*) (e.g., Hommel, Ridderinkhof, & Theeuwes, 2002) and not to homunculus argument or problem, commonly used in philosophy of mind, for testing the fallacy of cognitive theories.

¹⁹ Grossberg (1980) suggested the concept of cluster winner-take-all. Each neuron within this cluster excites itself and inhibits all other units. A winner-take-all neural network is an implementation of the race-based attentional competition. There's a K space for this competition (e.g., VSTM according to Bundessen et al., 2005) and the K-winners-take-all mechanism maintains neural activity for race winners. In this sense that effect theories consider the whole functional architecture of the cognitive system.

²⁰ As opposed to domain-general, which is a characteristic of a cognitive architecture under the control of one master component which heading slave-systems.

4. The conceptual ambiguity and the necessity of a hybrid theory

When some difficulties arise from unclear claims, an accurate explanation of a theory becomes harder. This kind of danger is detrimental to the hard core of the general SRP of attention as an influential psychological construct and the protective belt will be inherently (logically) a hybrid theory more flexible to explain and to predict clearly empirical results.

By including priming (repetition and subliminal priming) as observed phenomena, we enlarge the domain of the alleged metaphors, thus their falsification become more challenging than studying solely attentional mechanisms. The role of attention on modulating, even by attenuation or by suppression, the amount of the visual signal being subliminally primed and processed will be helpful to understand the status of attention and to situate the role of such metaphors in unravelling the ambiguity around concepts. Such adopted analysis will prevent any extreme taken position for one or another theoretical approach. Since various data in the literature cannot be exclusively explained either by effect or by cause theory, this will yield us to a new approach that comes out from these previous ones and are more likely fittable with data.

4.1. The hybrid model

Recently, “winners-take-all” models have been successfully used to implement and predict the behaviour of neurons in the visual cortex particularly to explain the neuronal modulation induced by selective attentional mechanisms (Bundessen et al., 2005; Desimone & Duncan, 1995; Lee, Itti, Koch, & Braun, 1999). Consequently, the competition metaphors have begun to gain importance among theories in the field of visual attention. Indeed, a neuro-computational model based on biased competition idea has been recently suggested to implement visual neglect syndrome (Deco & Zihl, 2004).

The hardcore of such framework is the concept of competition. In fact, stimulus being attended by the system are more likely to win the competition, other irrelevant information are tossed out of the race. According to some authors competition can evolve to consciousness which is in turn considered as an emergent property as well and a result of some strong inputs able to reach a high level of processing complexity (Dennet, 1991).

This same model can fit also the modulator role of attentional selective mechanism and the higher gain for masked repetition priming effects. Lachter et al. (2004) considered biased competition as the best candidate to explain their result instead of the two old and opponent attentional metaphors: filtering (Broadbent, 1958) and facilitation (Neisser, 1967). Indeed, quoting Lachter et al.:

“Our view is that although both of these metaphors are useful, neither should be taken too literally. The truth may be closer to Desimone and Duncan’s (1995; Desimone, 1998; Reynolds et al., 1999) biased competition model in which networks representing features of a particular object facilitate each other and inhibit features of other objects, resulting in

Toward a hybrid model of attention

a competition where the stable states of the system are those in which only one object is represented” (Lachter et al., 2004, p. 907)

If the first account of the biased conception is aimed to explain a number of studies about the visual search paradigm (e.g., Cohen & Huston, 1994; Vecera, 2000), there’s an increasing interest in this framework for other attentional paradigms, for instance spatial cueing.

The biased competition is hybrid in that sense that it considers attention as an emergent property on the one hand but on the other hand this theory considers important top-down feed-backs loops. These loops are assimilated to small homunculi working actively as continuous top-down stream to modulate the incoming inputs. This kind of parallelism between homunculus-like theories and competition theories can disturb at some point proponents of the emergent property of attention. However, we consider this as an asset for the biased-competition approach, since we link attention with other cognitive domains (repetition priming) attention cannot be only a by-product as a modulator but also as a cause generated by many endogenous factors. Regarding word recognition and repetition priming, Marzouki et al. (2007) and Marzouki and Grainger (2007) showed that reading habits can interfere with exogenous cueing to generation repetition priming effects and here we quote Fernandez-Duque and Johnson (2002):

“In other words, “attention as a cause” cannot be reduced to “attention as an effect”, because the top-down modulation, should be somewhat independent from bottom-up factors. Otherwise, behaviour would be entirely stimulus driven” (p. 161).

5. General discussion

Recent efforts try to group together theories of attention in two big categories: cause *vs.* effect theories. We tried to oppose in this paper these two SRPs in order to diagnose which theory is weak to stand the epistemological race. A new approach (biased-competition framework²¹) that can be directly linked to effect theories and indirectly associated with cause theories emerges as alternative of these two SRPs. Many metaphors are suggested to describe attention but few of these metaphors considered the relationship that attention can have with other constructs and phenomena in cognition.

5.1. On the limits of “isotropy” to build a cognitive theory

We used in this section the term “isotropy” in the same sense that has been used by Fodor (1983) in his epistemological description of central systems of mind. Isotropy means in this context the confirmation proofs that a scientific theory can benefit from another deductive or empirical truth in different scientific domains. This is indeed the discussed case in this paper with regard to all

²¹ We suggest after demonstrating the flexibility of biased-competition model to fit different experimental data not to use “framework” since this concept refers to modular conception of the scientific thought which is isolated in some extent from other scientific languages. Popper (1994) warns of the danger of being trapped inside the framework in order to prevent scientific sterility.

incoming metaphors explaining the functioning of our cognitive system. Such idea of isotropy is considered helpful especially in the lack of palpable empirical data to explain and predict the performance.

But the basic definition of isotropy as a characteristic of the system to be direction-invariant holds also. Hence, our analysis is based on the way we consider the direction of attention as a dependent or independent factor. Giving this constraint, attention in our theoretical conception is something that can play different roles depending on the experimental context on which it can be placed. We suggest putting the label of “**anisotropic**” on attentional construct which literally refers to a system properties that differ based on its measured direction.

5.2. Conclusion

In order to summarize our reflection on the hybrid model and its connections with other theoretical approaches the mathematical notion (set theory) of Venn diagram can be helpful (see Figure 10.1). The Venn diagram below presents a combination of three major sets {a, b, c} with: **a** (cause theory), **b** (effect theory) and **c** (a third construct about priming)²². The intersections between these sets yield the following sub-sets:

- **a ∩ b**: The combined area between sets **a** and **b** gives set **d** and it contains properties from these two sets. The latter represents the space for possible hybrid models as a combination between cause and effect theories.
- **a ∩ c**: the union between a and c, it's sub-set **g** and refers to the top-down influence on priming (see Eimer & Schlaghecken, 2002; Klaver et al., 2007 for a new evidence of the top-down control influence on repetition priming). Empirically, this intersection still with small amount of evidence in presence of subliminal priming.

²² We consider that this graphical representation is also suitable if we replace priming by any other external cognitive.

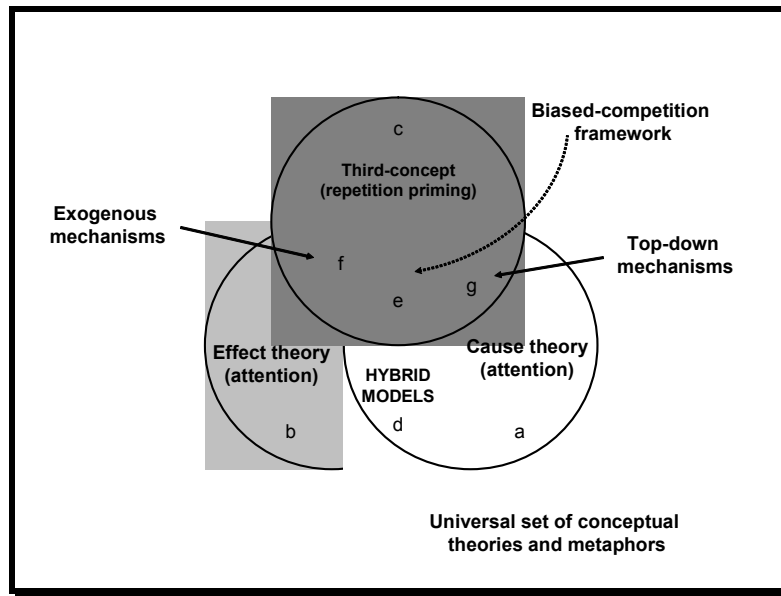


Figure 10.1. Venn diagram summarizing the complex relations between Effect vs. Cause theories and a third construct for instance repetition priming.

- **b ∩ c**: the union of set b with c is sub-set **f** and refers to the exogenous mechanisms influence on priming. Generally this intersection can refer to priming effects in the absence of prime consciousness (e.g., Cheesman & Merikle, 1984; Dell'Acqua & Grainger, 1999; Draine & Greenwald, 1998). Specifically this intersection refers to the presence of attentional modulation of (subliminal) priming by exogenous factors. This influence is being recently investigated by many studies (Besner, Risko, & Sklair, 2005; Lachter, Forster, & Ruthruff, 2004; Marzouki et al. 2007; Naccache, Blandin, & Dehaene, 2002)
- **a ∩ b ∩ c**: After including set **c**, the three sets overlap to generate set **e**. it's the three-level intersection and it's the final results of the functional relationship between all categories. As a good candidate of hybrid model, biased-competition has also in common with **b**, bottom-up modulation, with **a**, top-down modulation and with **c**, priming effects enhancement.

References

- Besner, D., Risko, E. F., & Sklair, N. (2005). Spatial attention as a necessary preliminary to early processes in reading. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *59*(2), 99-108.
- Broadbent, D. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Broadbent, D. (1982). Task combination and selective intake of information. *Acta Psychologica*, *50*, 253-290.
- Brown, T. L. (2003). *Making truth: metaphor in science*. Urbana and Chicago: University of Illinois Press.
- Bundesen, C. (1990). A theory of visual attention. *Psychological Review*, *97*, 523-547.
- Bundesen, C., Habekost, T., & Kyllingsbæk, S. (2005). A neural theory of visual attention: bridging cognition and neurophysiology. *Psychological Review*, *112*(2), 291-328.
- Chalmers, D. J. (1996). *The conscious mind*. New York: Oxford University Press.
- Chase, C., Ashourzadeh, A., Kelly, C., Monfette, S., & Kinsey, K. (2003). Can the magnocellular pathway read? Evidence from studies of color. *Vision Research*, *43*(10), 1211-1222.
- Cheesman, J., & Merikle, P. M. (1984). Priming with and without awareness. *Perception & Psychophysics*, *36*, 387-395.
- Cheesman, J., & Merikle, P. M. (1986). Distinguishing conscious from unconscious perceptual processes. *Canadian Journal of Psychology*, *40*, 343-367.
- Cohen, J. D., & Huston, T. A. (1994). Progress in the use of interactive models for understanding attention and performance. In C. Umiltà & M. Moscovitch (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. XV, pp. 453-476). Cambridge, MA: MIT Press.
- D'Andrade, R. (1995). *The development of cognitive anthropology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dark, V. J., Vochatzer, K. G., & VanVoorhis, B. A. (1996). Semantic and Spatial Components of Selective Attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, *22*(1), 63-81.
- Deco, G., & Zihl, J. (2004). A biased competition based neurodynamical model of visual neglect. *Medical Engineering & Physics*, *26*, 733-743.
- Dell'Acqua, R., & Grainger, J. (1999). Unconscious semantic priming from pictures. *Cognition*, *73*, 1-15.
- Dennet, D. (1991). *Consciousness Explained*. Boston: Little, Brown, and London: Allen Lane.
- Desimone, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanisms of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, *18*, 193-222.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, *93*, 283-321.
- Draine, S. C., & Greenwald, A. G. (1998). Replicable unconscious semantic priming. *Journal of Experimental Psychology: General*, *127*, 286-303.

Toward a hybrid model of attention

- Duncan, J., & Humphreys, G. W. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Eimer, M., & Schlaghecken, F. (2002). Links between conscious awareness and response inhibition: Evidence from masked priming. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(3), 514-520.
- Fernandez-Duque, D., & Johnson, M. L. (1999). Attention metaphors: how metaphors guide the cognitive psychology of attention. *Cognitive Science*, 23(1), 83-116.
- Fernandez-Duque, D., & Johnson, M. L. (2002). Cause and effect theories of attention: the role of conceptual metaphors. *Review of General Psychology*, 6(2), 153-165.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge: The MIT Press.
- Gibbs, R. W. (1996). Why many concepts are metaphorical. *Cognition*, 61(3), 309-319.
- Gibbs, R. W. (2006). *Embodiment and Cognitive Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Grossberg, S. (1980). How does a brain build a cognitive code? *Psychological Review*, 87, 1-51.
- Hirst, W., & Kalmar, D. (1987). Characterizing Attentional Resources. *Journal of Experimental Psychology: General*, 116(1), 68-81.
- Hommel, B., Ridderinkhof, K. R., & Theeuwes, J. (2002). Cognitive control of attention and action: Issues and trends. *Psychological Research*, 66, 215 - 219.
- Johnson, C. (1997). Metaphor vs. conflation in the acquisition of polysemy: the case of SEE. In M. K. Hiraga, C. Sinha & S. Wilcox (Eds.), *Cultural, typological, and psychological issues in cognitive linguistics*. Amsterdam: John Benjamins.
- Johnston, W. A., & Dark, V. J. (1986). Selective attention. *Annual Review of Psychology*, 37, 43-75.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over the mind's eye's movement. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. IX, pp. 187-203). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Joseph, J. S., Chun, M. M., & Nakayama, K. (1997). Attentional requirements in a 'preattentive' feature search task. *Nature*, 387, 805-807.
- Klaver, P., Schnaidt, M., Fell, J., Ruhlmann, J., Elger, C. E., & Fernández, G. (2007). Functional dissociations in top-down control dependent neural repetition priming. *NeuroImage*, 34(4), 1733-1743.
- Koch, C., & Tsuchiya, N. (2007). Attention and consciousness: two distinct brain processes. *Trends in Cognitive Sciences* 11(1), 16-22.
- LaBerge, D. (1981). Automatic information processing: a review. In J. B. Long & A. D. Baddeley (Eds.), *Attention and performance IX* (pp. 173-186). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Lachter, J., Forster, K. I., & Ruthruff, E. (2004). Forty-five years after Broadbent: still no identification without attention. *Psychological Review*, 111(4), 880-913.
- Lakatos, I. (1970). Falsification and the methodology of scientific research programmes. In I. Lakatos & A. Musgrave (Eds.), *Criticism and the growth of the knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Lakatos, I. (1977). The methodology of scientific research programmes. In *Philosophical Papers* (Vol. 1). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lakoff, G. (1993). The contemporary theory of metaphor In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and thought* (pp. 202-228). Cambridge: Cambridge University Press.
- Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. Chicago: University of Chicago Press.
- Lamme, V. A. F., & Roelfsema, P. R. (2000). The distinct modes of vision offered by feedforward and recurrent processing. *Trends in Neurosciences*, 23(11), 571-579.
- Lee, D. K., Itti, L., Koch, C., & Braun, J. (1999). Attention activates winner-take-all competition among visual filters. *Nature Neuroscience*, 2, 375-385.
- Levi-Strauss, C. (1958). *Anthropologie structurale*. Paris: Plon.
- Marzouki, Y., Grainger, J., & Theeuwes, J. (2007). Exogenous spatial cueing modulates subliminal masked priming. *Acta Psychologica*, 126(1), 34-45.
- McCann, R. S., Folk, C. L., & Johnston, J. C. (1992). The role of spatial attention in visual word processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance*, 18(4), 1015-1019.
- Milner, P. (1974). A model for visual shape recognition. *Psychological Review*, 81, 521-535.
- Mozer, M. C., & Vecera, S. P. (2005). Space- and object-based attention. In G. Itti, G. Rees & J. Tsoto (Eds.), *Neurobiology of attention* (pp. 130-134). San Diego: Elsevier.
- Naccache, L., Blandin, E., & Dehaene, S. (2002). Unconscious masked priming depends on temporal attention. *Psychological Science*, 13(5), 416-424.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive Psychology*. New York: Appeltion-Century.
- Omtzigt, D., & Hendriks, A. W. (2004). Magnocellular involvement in flanked-letter identification relates to the allocation of attention. *Vision Research*, 44(16), 1927-1940.
- Omtzigt, D., Hendriks, A. W., & Kolk, H. H. J. (2002). Evidence for magnocellular involvement in the identification of flanked letters. *Neuropsychologia*, 40(12), 1881-1890.
- Peelen, M. V., Heslenfeld, D. J., & Theeuwes, J. (2004). Endogenous and exogenous attention shifts are modified by the same large-scale neural network. *NeuroImage*, 22(2), 822-830.
- Popper, K. (1994). *The myth of the framework*. Routledge: Mark Notturmo.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M. I., & Boies, S. J. (1971). Components of attention. *Psychological Review*, 78, 391-408.
- Shiffrin, R. M., & Schneider, W. (1977). Controlled and automatic human information processing: II. Perceptual learning, automatic attending and a general theory. *Psychological Review*, 22, 127-190.
- Steinman, B. A., Steinman, S. B., & Lehmkuhle, S. (1997). Research Note Transient Visual Attention is Dominated by the Magnocellular Stream. *Vision Research*, 37(1), 17-23.
- Theeuwes, J. (1991). Exogenous and endogenous control of attention: the effect of visual onsets and offsets. *Perception & Psychophysics*, 49(1), 83-90.
- Theeuwes, J. (1995). Temporal and Spatial Characteristics of Preattentive and Attentive Processing. *Visual Cognition*, 2(2/3), 221-233.

Toward a hybrid model of attention

Treisman, A. M. (1988). Features and objects: The fourteenth Bartlett memorial lecture. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40(A), 201-237.

Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97-136.

Vecera, S. P. (2000). Toward a biased competition account of object-based segregation and attention. *Brain and Mind*, 1, 353-384.

Annexe 1 : Les stimuli lettres et pseudo-lettres

B	ϣ	L	⌒
C	⋈	M	∩
D	⊔	N	∩
F	⌒	R	ϣ
G	⋈	P	ϣ
H	⌒	V	λ
J	⋈	S	⌒
K	λ	T	⌒

Annexe 2 : Les stimuli mots

Liste des stimuli mots

abîme	bible	frein	major	refus	vêtir	île	vol
acier	bûche	frîre	malin	reine	vexer	jet	vue
adieu	bidet	fugue	malle	rendu	vider	jeu	
agité	bidon	fuite	maman	repas	vieux	jus	
aimer	boire	fusée	mardi	revue	villa	lac	
année	bombe	fusil	mater	rival	ville	lie	
arbre	bourg	galop	matin	ronde	vingt	lit	
aride	brave	garer	mener	rouge	vitre	loi	
armée	bravo	garni	merci	rugir	vocal	lot	
asile	brute	génie	mural	russe	voile	mal	
assez	bulle	géole	nager	sable	volet	mer	
assis	butin	gérer	nappe	sabot		mie	
astre	dater	gitan	nasal	saint	âge	mot	
avant	datte	gradé	nuire	salle	air	mue	
avare	débit	grain	oasis	salon	ami	nez	
avide	début	grise	objet	saper	arc	nid	
avion	déchu	guêpe	odeur	sauce	art	nom	
avril	décor	haché	ogive	savon	axe	oie	
azote	dégât	haine	oisif	semer	bal	pas	
cache	démon	heure	olive	série	bar	pic	
cadet	désir	hibou	ombre	sobre	bec	pli	
cadre	dîner	honte	ordre	somme	blé	pot	
câlin	dogme	huile	orgie	stock	bol	pou	
calme	dorer	hymne	orgue	super	bus	pré	
cargo	doser	image	orner	taire	but	rat	
cause	doter	issue	otage	talon	cap	riz	
chair	douer	jarre	ourse	tenir	car	roc	
champ	échec	jeune	outil	terne	cil	roi	
chute	écran	joint	pacte	tigre	clé	rue	
cirer	effet	jouet	panne	toile	col	sac	
clore	éloge	juger	parti	tonus	cou	sel	
coeur	errer	jupon	patte	torse	cri	sol	
connu	essai	juron	pêche	total	don	son	
corps	essor	juste	pêche	trace	dos	sou	
coton	étang	lacet	peine	tribu	eau	sud	
coude	étude	lâche	phase	trier	épi	tas	
coupe	exact	laine	piano	tueur	été	thé	
crépu	fable	lance	place	tuyau	fée	tir	
bague	fauve	libre	plein	tyran	fer	ton	
bande	femme	liste	prose	union	feu	tri	
barbu	fille	livre	quête	unité	fil	val	
bâtir	final	louer	radio	vache	fin	ver	
bazar	fossé	lueur	rafle	veine	fou	vie	
béton	foutu	magie	ravin	verni	gaz	vif	
biais	franc	maire	recul	vertu	gel	vin	

Liste des stimuli pseudo-mots

adone	dable	islilm	motne	potir	tufar	lyf	nig
adure	daler	itale	mucal	potre	vater	daf	ons
alide	darin	jalot	mudon	poune	xante	tur	
amade	daver	jater	mugen	rache	ximar	lyx	
amail	diabe	jodir	muger	rader	zalin	lod	
amane	disir	julon	munin	radol	zamon	orp	
amari	docre	kaman	musel	ratir	zanon	ned	
apave	dolfe	kamol	nange	raudi	zemil	pag	
arade	dotir	kifre	naser	recet	ziron	gil	
arime	dovil	kilte	nekte	riter	ziter	rac	
atune	duler	kmare	nimpe	rofil	zufal	ige	
avali	dumer	kolan	nirer	ronte		rof	
badon	durce	korte	nisan	rotif	cip	iob	
bager	embeau	larne	nocin	ruage	rup	jop	
baner	enveu	lical	norse	salan	nir	icu	
barce	falin	limpe	nouse	salbe	alk	vuc	
barde	famon	linte	nuter	salfe	ize	alm	
basle	fater	lomer	obale	salil	ime	noc	
bater	fatin	lovin	oblot	salor	vru	alc	
bazir	fenin	lufte	obuse	salte	lic	dof	
bicle	ferne	mabri	ofbod	samar	elg	ube	
bidin	finin	mader	ojare	samte	rik	oga	
biger	finon	madon	oland	sanon	ceb	zat	
bilte	firfi	majir	olave	saumi	eud	zir	
bilzi	forbe	makne	olche	simar	sug	ouc	
bimer	frine	malon	olgue	simer	ezo	nod	
binte	fuger	marde	omble	siron	imo	til	
birer	fumel	marte	omite	sirse	uli	ous	
blane	fusel	masne	omule	smote	duf	ipe	
blore	garne	maste	ontre	sofir	ril	sip	
bolde	gidet	mebin	osafe	sogme	lup	alb	
bosef	gidin	melin	osart	sorme	isc	xar	
cafne	gital	micle	ovile	stane	lec	olc	
calon	godel	mifer	panal	suade	erm	tum	
camot	goune	migue	perin	subin	sul	ofy	
canti	grode	milfe	perne	sumin	afe	aze	
ciner	hadre	milte	piace	tabib	nif	sod	
claix	hiche	mired	pidre	tamon	iro	uby	
corbe	hiler	mirfi	pilpe	taril	oje	umo	
corer	icane	misif	pivat	telbe	oru	tob	
corin	ifale	mison	plabe	tiche	uxe	ohi	
cotin	ikrid	mitin	plite	timat	jeb	leb	
crape	imace	molfe	polin	tiner	oxe	cob	
crope	imale	moran	polte	tinsi	ury	ady	
daber	infid	morer	poner	tolme	upo	reb	

REPROGRAPHIE CRILLON

1, Rue Crillon 13005 MARSEILLE
Tél. 04.91.48.65.12. - repro.crillon@wanadoo.fr