



HAL
open science

Processus Visuo-attentionnels et Lecture : Une synthèse

Laurie Leibnitz, Jonathan Grainger, Mathilde Muneaux, Stéphanie Ducrot

► **To cite this version:**

Laurie Leibnitz, Jonathan Grainger, Mathilde Muneaux, Stéphanie Ducrot. Processus Visuo-attentionnels et Lecture : Une synthèse. *L'Année psychologique*, 2017, pp.38. hal-01485140

HAL Id: hal-01485140

<https://hal.science/hal-01485140>

Submitted on 31 Jan 2022

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.

Running head: PROCESSUS VISUO-ATTENTIONNELS ET LECTURE

Processus Visuo-attentionnels et Lecture: Une revue critique

Laurie Leibnitz^{1,2}, Jonathan Grainger^{2,4}, Mathilde Muneaux^{1,3}, & Stéphanie Ducrot^{1,4}

¹ Aix Marseille Université, CNRS, LPL UMR 7309, 13100, Aix-en-Provence, France

² Aix Marseille Université, CNRS, LPC UMR 7290, 13331 Marseille, France

³ Centre Hospitalier de Digne-les-Bains, Digne-les-Bains, France

⁴ Brain and Language Research Institute, Aix/Marseille, France

Résumé

Cette revue de littérature propose une synthèse des données disponibles sur les toutes premières étapes de la reconnaissance du mot écrit, de la prise d'information visuelle au traitement des informations orthographiques, à la lumière du cadre théorique proposé par Grainger, Dufau, et Ziegler (2016). Nous examinons la façon dont les processus perceptifs et visuo-attentionnels influencent le traitement des suites de lettres à ce premier niveau de codage orthographique. Cet article permet notamment de souligner le rôle déterminant de ces processus dans l'apprentissage de la lecture, ainsi que dans la compréhension des difficultés observées chez certains enfants dyslexiques.

Mots clés: Lecture, Reconnaissance des mots écrits, Codage Orthographique, Processus Visuo-attentionnels, Mouvements Oculaires, Dyslexie

Abstract

This review article summarizes research examining the very earliest stages of visual word recognition, from the uptake of visual information to sublexical orthographic processing, within the unifying framework of Grainger, Dufau, and Ziegler (2016). Visual and attentional factors are thought to have their main impact on reading at this first level of orthographic processing. We examine the importance of these processes for learning to read, and how they can improve our understanding of the difficulties encountered by a proportion of dyslexic children during reading acquisition.

Keywords : Reading, Visual word Recognition, Orthographic Learning Eye Movements, Visuo-attentional Processes, Dyslexia

Auteur correspondant :

Stéphanie Ducrot,

Aix Marseille Université & CNRS,

Laboratoire Parole et Langage, UMR 7309,

5, avenue Pasteur, 13100 Aix-en-Provence, France.

stephanie.ducrot@univ-amu.fr

1. LECTURE : UNE ACTIVITE VISUELLE

Parmi les troubles des apprentissages, la prévalence des difficultés en lecture en début de scolarité varie de 5% à 15% en France (Expertise collective Inserm, 2007). De fait, une part non négligeable d'apprenti-lecteurs ne parviendrait pas à acquérir des capacités en lecture suffisantes. Que ce soit en primaire ou au collège, les études s'accordent pour reconnaître que 4 à 5% des enfants sont en grave situation d'échec scolaire devant l'écrit et environ 60 à 80% d'entre eux peuvent être considérés comme dyslexiques (Shaywitz et al., 2001).

L'aspect linguistique est généralement mis en avant pour expliquer les déficits du traitement de l'écrit. A l'heure actuelle, l'ensemble de la communauté scientifique s'accorde pour reconnaître la présence d'un déficit de traitement des représentations phonologiques chez les personnes dyslexiques (voir Ramus, 2003 ; Sprenger-Charolles & Colé, 2003, pour des synthèses). En ce sens, la plupart des outils de dépistage, diagnostics et pédagogiques, à disposition des professionnels se centrent sur l'évaluation et la remédiation des difficultés de langage oral des enfants et notamment des difficultés d'acquisition des capacités phonologiques (Muneaux, Ducrot, & Bastien-Toniazzo, 2014). Nul doute que la lecture soit une activité linguistique. La confrontation avec l'écrit chez l'apprenti-lecteur permet le développement de ses connaissances grapho-phonologiques qui fournissent un mécanisme efficace pour acquérir des mots nouveaux (Ziegler, Perry, & Zorzi, 2014). De même, l'exposition répétée avec l'écrit enrichit son réseau sémantique et lui permet de comprendre des énoncés de plus en plus complexes.

Cependant, outre des compétences verbales efficaces, lire requiert aussi un traitement efficace des informations visuelles. Lire consiste à extraire de l'information visuelle à partir d'un texte écrit afin de le comprendre et contrairement à la reconnaissance des mots parlés pour lesquels l'information sensorielle est délivrée séquentiellement, celle des mots écrits est d'emblée disponible entièrement. Les seules contraintes opérant sur la prise d'information proviennent des limitations du système visuel. Ainsi, quel que soit le nombre potentiel de symboles visuels disponibles

simultanément, seul un nombre limité de ces symboles peuvent être identifiés au même moment. Afin de dépasser ces limitations, nous déplaçons constamment nos yeux en lecture de façon à placer la fovéa sur la partie du texte à lire. Une des premières tâches de l'apprenti-lecteur est donc de développer des capacités visuo-attentionnelles lui permettant de se positionner correctement sur les mots pour extraire l'information en fovéa et programmer une saccade pour se positionner sur le mot suivant. Par ailleurs, les capacités visuo-attentionnelles permettent de traiter précisément les informations fovéales (e.g., différencier les lettres comme /o/ et /c/ ou /b/ et /p/) afin d'accéder à la représentation lexicale associée, ainsi que les indices visuo-spatiaux pour le déplacement des yeux.

Afin de pallier les contraintes de notre système visuel, l'enfant développe au cours de l'apprentissage de la lecture des capacités visuo-attentionnelles intervenant à différents niveaux de l'activité de lecture, allant de l'orientation de la prise d'informations visuelles au guidage oculomoteur, en passant par le contrôle de la distribution de l'attention. Plusieurs études ont souligné l'implication des compétences visuo-attentionnelles et perceptives dans l'apprentissage de la lecture en démontrant le rôle prédictif de ces compétences sur le futur apprentissage de la lecture. Plaza et Cohen (2007) ont par exemple observé que les capacités d'attention visuelle sélective, avec les compétences phonologiques, étaient parmi les meilleurs facteurs prédictifs des aptitudes de lecture et d'écriture avant même l'apprentissage formel de ces dernières (*i.e.*, en CP). De même, les travaux de Facoetti et collaborateurs (Facoetti et al., 2010a ; Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli, & Facoetti, 2012) ont souligné l'importance de l'attention visuelle sélective en tant qu'indice prédictif d'un développement ordinaire ou atypique de la lecture. Les principaux résultats ont montré que les enfants qui obtenaient des performances inférieures aux tâches d'attention visuelle en maternelle, présentaient un risque de développer une dyslexie ou développaient des troubles de la lecture par la suite. Dans la partie 5 de ce travail nous reviendrons pour examiner plus en détail les liens possibles entre troubles visuo-attentionnels et dyslexie développementale.

Ces différents travaux, soulignent l'intérêt de prendre en compte les compétences visuo-attentionnelles à la fois pour initier l'apprentissage de la lecture, prévenir les éventuelles difficultés procédant de cet apprentissage par une évaluation précoce, et remédier à ces dernières lorsqu'elles sont installées. L'une des étapes les plus élémentaires de l'apprentissage de la lecture consiste à effectuer un traitement perceptif des lettres composant un mot, avant l'activation des représentations orthographiques, phonologiques, et sémantiques (Coltheart, Rastle, Perry, Langdon, & Ziegler, 2001 ; Grainger & Ferrand, 1994 ; McClelland & Rumelhart, 1981). L'efficacité et la rapidité des procédures de reconnaissance des mots écrits vont dépendre de la qualité des traitements mis en jeu à ce stade, et notamment au niveau du traitement des informations orthographiques. En effet, l'étape du traitement qui consiste à apparier des traits visuels avec les identités des lettres constituantes du mot est une étape charnière entre le traitement des informations visuelles et le traitement des informations linguistiques.

Dans cette revue de questions, l'intérêt des processus visuo-attentionnels pour rendre compte d'une lecture efficiente est examiné à la lumière des résultats issus des études menées chez le lecteur expert et chez l'apprenti-lecteur. Nous examinerons d'abord les contraintes visuelles et attentionnelles qui imposent des limites importantes sur la visibilité des lettres autour du point de fixation oculaire pendant la lecture. Ces contraintes visuelles rendent nécessaire des mouvements oculaires, qui à leur tour, vont déterminer la visibilité relative des lettres et l'efficacité avec laquelle nous identifions les mots. Nous examinerons également les mécanismes impliqués dans le traitement des informations orthographiques qui permettent l'identification des mots écrits. Enfin, nous examinerons l'implication éventuelle des processus visuo-attentionnels dans l'apparition des troubles de l'apprentissage de la lecture.

2. L'empan perceptif et attentionnel

L'acuité visuelle diffère en fonction des zones de la rétine sur lesquelles sont projetés les mots: le traitement visuel de haute acuité, nécessaire pour l'identification des mots, est limité à une petite partie de la rétine, la fovéa et la parafovéa adjacente. Cela explique pourquoi, pour dépasser ces limitations, nous déplaçons constamment nos yeux en lecture de façon à placer la fovéa sur la partie du texte à lire. Le traitement fovéal et le traitement parafovéal sont complémentaires. Le premier permet d'accéder à des informations orthographiques précises nécessaires pour l'identification du mot, tandis que le deuxième apporte des informations plus grossières, sur la forme et la longueur des mots suivants, permettant ainsi d'effectuer un prétraitement et de guider l'œil vers la prochaine fixation. Il a ainsi été montré que les lecteurs, alors qu'ils sont en train de fixer un mot n en vision fovéale, prétraitent souvent les premières lettres (et parfois toutes les lettres) du mot suivant $n+1$ (e.g., Rayner, McConkie, & Zola, 1980 ; Rayner, Well, Pollatsek, & Bertera, 1982 ; Balota, Pollatsek, & Rayner, 1985 ; Inhoff, 1989 ; Vitu, 1991)¹.

La quantité d'informations pouvant être extraite en vision parafovéale est fortement contrainte par l'acuité visuelle (ou le fait que la visibilité d'une lettre diminue avec sa distance du point de fixation) et le masquage latéral ou crowding (la perception d'une lettre est affectée par celles qui lui sont adjacentes, ce phénomène étant d'autant plus important que le stimulus est éloigné en périphérie). La perception des mots écrits est donc restreinte par un empan perceptif, correspondant à la région autour du point de fixation dans laquelle les informations qui sont extraites peuvent influencer le traitement orthographique et le comportement oculaire (voir Figure 1, pour une illustration). La conclusion qui émerge des études manipulant l'affichage du texte lu (i.e., permettant

¹ A noter, il a été montré que les lecteurs experts étaient capables de prétraiter les propriétés orthographiques provenant des mots en parafovéa (Binder, Pollatsek, & Rayner, 1999; Johnson & Dunne, 2012; McConkie & Zola, 1979; voir, Schotter, Angele, & Rayner, 2012, pour une revue) et que les propriétés sous-lexicales (comme la familiarité orthographique par exemple) du mot en parafovéa pouvaient affecter la programmation saccadique (i.e., la position d'arrivée dans le mot parafovéal, Hyönä & Pollatsek, 1998, 2000 ; White, 2008 ; White & Liversedge, 2004, 2006).

de modifier en temps réel ce qui est présenté du texte en fonction de la position de l'œil – la technique dite de « fenêtre mobile »²) est que les lecteurs traitent le texte à partir d'un empan perceptif asymétrique s'étendant approximativement du début du mot fixé à 14-15 caractères sur la droite de la lettre fixée (Rayner & Pollatsek, 1989 ; Rayner et al., 1980). Cette asymétrie est modulée par le sens de lecture, l'empan perceptif pouvant s'inverser et devenir asymétrique sur la gauche, dans le cas de langues lues de droite-à-gauche, comme l'arabe ou l'hébreu (Pollatsek, Bolozky, Well, & Rayner, 1981 ; Jordan, Almabruk, Gadalla, McGowan, White, Abedipour, & Paterson, 2014).

Ic tr gatln dosrtehpb pzte cqunrxudka d'al vrs
 vmapdesd. Lx munat pafise, sti be piwar bleiconae
 gameicos, xenc sembla jamais mcpensde das
 foartes. Ve fose des mots vus et podfhurés ler
 gajise qci, diu om m'ont révélé. Wisni, uaqdn ol
 utapçir upro la pybzore fsuc mpa lofhn (ij pten
 indesaseri spe ome oirav, g'adi ib esdmef opfur

Figure 1. Regardez le centre de l'ellipse sans bouger les yeux, et vous ne remarquerez pas les modifications apportées au texte en dehors de l'ellipse (d'après Pelli, Tillman, Freeman, Su, Berger, & Majaj, 2007).

L'empan perceptif a également été estimé avec une autre procédure, la méthode de trigrammes (Legge, Mansfield, & Chung, 2001). Cette technique consiste à présenter brièvement des séquences de 3 lettres choisies de manière aléatoire, et à manipuler la position de ces trigrammes par rapport à un point de fixation central. Le taux d'identification correcte des lettres varie en fonction de leur excentricité (à droite et à gauche du point de fixation), et la fonction qui lie la précision des réponses et l'excentricité détermine le profil de l'empan visuel pour un sujet donné. Cette méthode

² Dans la technique de la fenêtre mobile, introduite par McConkie et Rayner en 1975, la manipulation consiste à délimiter une zone d'une certaine étendue autour du point de fixation dans laquelle le texte est préservé et à remplacer le restant de la ligne par des symboles ou des lettres au hasard ; la modification de l'affichage s'effectue durant les saccades, de sorte que le lecteur n'en a pas conscience. L'idée sous jacente à cette manipulation est que remplacer les lettres correctes par d'autres caractères ne devrait pas ralentir la lecture si aucune information n'est normalement prélevée à l'emplacement des lettres modifiées.

montre la même asymétrie dans l'empan perceptif que celle observée avec la technique de fenêtre mobile. Cependant, la taille de l'empan estimée par la méthode des trigrammes est réduite par rapport aux estimations obtenues en situation de lecture de textes, et l'asymétrie est moins importante. Cette réduction dans l'asymétrie pourrait être le reflet de différences dans la distribution de l'attention spatiale dans les deux paradigmes, avec un plus grand déploiement vers la droite en situation de lecture de textes. En effet, les travaux de Risse (2014) n'ont pas pu établir un lien entre le degré d'asymétrie à droite de l'empan visuel, mesuré avec la méthode des trigrammes, et des mesures de traitement parafoveal (à droite) pendant la lecture. Par contre, Legge et collaborateurs (2001) ont montré un lien entre vitesse de lecture, mesurée avec une présentation séquentielle de mots (RSVP), et la taille de l'empan visuel.

En accord avec les observations d'une asymétrie dans l'empan perceptif, plusieurs études ont montré, dans les langues lues de gauche à droite, une distribution asymétrique de l'attention dans les champs visuels, les mots présentés dans le champs visuel droit (CVD) étant identifiés plus rapidement et plus exactement comparés aux mots présentés dans le champs visuel gauche (CVG) (voir Brysbaert, Vitu, & Schroyens, 1996, pour une revue). Un tel avantage du CVD a souvent été considéré comme la conséquence de la dominance hémisphérique gauche pour le langage, les informations présentées dans le CVG étant d'abord traitées par des structures neuronales dans l'hémisphère droit (Bradshaw & Nettleton, 1983 ; Bryden & Mondor, 1991; Brysbaert, 1994; Hellige, Bloch, Cowin, Eng, Eviatar, & Sergent, 1994). Une explication alternative serait que l'asymétrie des CV, tout comme l'asymétrie de l'empan perceptif résulteraient de la façon dont l'attention spatiale est allouée dans les CV (Kinsbourne, 1970; McCann, Folk, & Johnston, 1992; Mondor & Bryden, 1992; Nicholls & Wood, 1998; Ortells, Tudela, Noguera, & Abad, 1998). Ainsi, lorsque le sujet se prépare à traiter un mot parafovéal, il existerait un biais attentionnel en faveur du CVD, les lecteurs occidentaux tendant à déployer davantage leur attention sur la droite du point de fixation puisque c'est là qu'ils vont extraire principalement la prochaine source d'information. Ce

biais attentionnel dépendrait ainsi des habitudes de lecture, l'asymétrie de l'empan perceptif étant renversée dans le cas des langues sémitiques, se lisant de droite à gauche (Jordan et al., 2014 ; Pollatsek et al., 1981 ; Siéroff, Dahmen, & Fagard, 2012). Il serait également renforcé par le fait que dans la plupart des systèmes d'écriture, le début des mots est souvent plus informatif que la fin (Grainger & Jacobs, 1993 ; Stevens & Grainger, 2003). Lorsqu'un mot apparaîtrait dans le CVD, il se trouverait donc clairement avantagé, puisque d'une part, les premières lettres du mot particulièrement informatives pour son identification se trouveraient proches du point de fixation et d'autre part le déplacement de l'attention pour l'atteindre s'effectuerait dans les conditions habituelles de la lecture (*i.e.*, de la gauche vers la droite). A l'inverse, lorsqu'un mot serait présenté dans le CVG, il serait désavantagé, à la fois par la distance importante entre le point de fixation et le début du mot et par un déplacement de l'attention en sens opposé, (*i.e.*, de droite à gauche).

Dès la première année d'apprentissage de lecture, les apprenti-lecteurs allouent préférentiellement leur attention sur la droite de la fixation comme le font les lecteurs experts et ils identifient mieux les mots présentés dans le CVD comparés à ceux présentés dans le CVG (Bricout-Tomasi, Billard, & Siéroff, 2010 ; Ducrot, Pynte, Ghio, & Lété, 2013 ; Leclercq & Siéroff, 2016 ; Siéroff & Riva, 2011). Les processus visuo-attentionnels orienteraient très tôt l'empan perceptif de façon asymétrique afin de faciliter la prise d'informations vers la droite (*i.e.*, dans le sens de la lecture). L'empan perceptif des apprenti-lecteurs est néanmoins plus restreint, du fait qu'ils accordent plus d'attention au traitement fovéal que ne le font les experts (Häikiö, Bertram, Hyönä, & Niemi, 2009 ; Rayner, 1986). Lors d'une étude longitudinale suivant les enfants du grade 1 au grade 4, Sperlich, Meixner, et Laubrock (2016) ont mis en évidence un changement significatif dans la taille de l'empan perceptif uniquement entre les grades 2 et 3, suggérant que le développement de ce dernier pourrait être un processus discontinu qui s'étendrait par pallier. Leurs données ont également confirmé l'existence d'un léger décalage temporel entre le développement de l'empan perceptif et les changements dans la vitesse de lecture (voir Sperlich, Schad, & Laubrock, 2015, pour des données

similaires lors d'une étude transversale). Si l'on accepte l'idée que la vitesse de lecture peut être un estimateur des compétences en lecture (décodage phonologique et lexical, e.g., Forster, Ardoin, & Binder, 2013), alors ces données permettent de faire l'hypothèse que le développement de l'empan perceptif (et donc les capacités de traitement en parafovéa) sont dépendants de la maturation des processus de base en lecture (Sperlich et al., 2015, 2016). Allant dans ce sens il a été montré que les enfants de grade 1 et 2 prétraient peu voire pas d'informations en parafovéa et que des difficultés de traitement lexical entraînaient une utilisation réduite des informations parafovéales (Reichle, Liversedge, Drieghe, Blythe, Joseph, White, & Rayner, 2013).

3. Position du regard dans le mot, visibilité des lettres, et perception des mots écrits

Les saccades ont pour objectif de déplacer le regard, du mot en train d'être lu vers le prochain mot à lire. De nombreuses recherches ont montré que les lecteurs experts utilisent l'information concernant la longueur des mots parafoveaux, ainsi que la présence d'espaces entre les caractères de ces derniers pour positionner systématiquement leur œil sur une zone à mi-chemin entre le début et le milieu du mot (*Preferred Landing Position* ou *PLP*, en anglais, Rayner, 1979 ; Ducrot & Pynte, 2002). Plus récemment il a été montré que très rapidement au cours de l'apprentissage de la lecture, les enfants tendaient à atterrir à la *PLP*; cette position étant néanmoins modulée par le niveau scolaire. Les apprenti-lecteurs faisaient des saccades plus courtes, susceptibles de traduire une difficulté dans le contrôle de la programmation saccadique ou d'être le reflet de la mauvaise qualité de leurs représentations lexicales (Ducrot et al., 2013; Huestegge, Radach, Corbic, & Huestegge, 2009; Joseph, Liversedge, Blythe, White, & Rayner, 2009 ; Vorstius, Radach, & Lonigan, 2014). Il est également possible que ce changement dans la distribution des positions d'arrivée soit le reflet du passage d'une lecture séquentielle, analytique à un traitement parallèle des lettres composant les mots (voir, Massendari, Grainger, Bellocchi, Danna, Muneaux, & Ducrot, en préparation, pour une discussion des liens entre contrôle oculaire et automatisation de la lecture).

Le déplacement progressif de la *PLP* vers le milieu du mot optimise la visibilité de l'ensemble des lettres le composant. En effet, un facteur déterminant pour la reconnaissance des mots écrits pendant la lecture est la position du regard dans le mot. L'effet de position optimale du regard (*Optimal Viewing Position* ou *OVP*) correspond à l'avantage observé dans des tâches de dénomination et de décision lexicale lorsque le mot est présenté de telle sorte que le point de fixation est imposé sur la lettre située légèrement à gauche du centre du mot (Brysbaert & Nazir, 2005 ; O'Regan, Lévy-Schoen, Pynte, & Brugailière, 1984 ; O'Regan & Jacobs, 1992 ; Ducrot et al., 2013). Les principaux résultats ont montré que si la première fixation était imposée à cette position, alors le temps de réponse et les temps de fixation observés étaient minimaux. O'Regan et Jacobs (1992) ont étayé ces résultats en montrant que le temps de réponse augmentait de 20 ms à chaque déviation d'une lettre de l'*OVP*. Deux facteurs principaux permettent de rendre compte de cet effet d'*OVP*: (1) la visibilité des lettres composant le mot, et (2) l'information véhiculée par ces lettres (Clark & O'Regan, 1999; Legge, Klitz, Tjan, 1997; Stevens & Grainger, 2003). Si l'on considère que, dans les langues comme le français ou l'anglais, la 1^{ère} lettre d'un mot est la lettre la plus informative (Dandurand, Grainger, Duñabeitia, & Granier, 2010 ; Grainger & Jacobs, 1993), alors fixer au centre gauche des mots va permettre à la fois au lecteur d'avoir accès au début des mots, dont l'informativité est la plus contraignante pour la sélection lexicale, tout en optimisant la visibilité de l'ensemble des lettres composant le mot fixé (Stevens & Grainger, 2003).

L'effet *OVP* a été observé chez l'apprenti-lecteur francophone dès la fin du CP dans une tâche d'identification de mots, composés de 4 et 6 lettres, présentés isolément (Aghababian & Nazir, 2000 ; Ducrot, Lété, Sprenger-Charolles, Pynte, & Billard, 2003 ; Ducrot & Lété, en préparation) ainsi que dans une tâche de décision lexicale (Ducrot et al., 2013). L'émergence de l'*OVP* pendant la 1^{ère} année d'apprentissage de la lecture pourrait être le reflet du passage progressif d'un traitement analytique, séquentiel à un traitement simultané des lettres, sans réorientation du regard ni de l'attention à la recherche des premières lettres; confortant ainsi l'idée que le comportement oculaire

des apprenti-lecteurs s'ajusterait en fonction du développement de leurs capacités dans le traitement des informations orthographiques (Reichle et al., 2013 ; Mancheva, Reichle, Lemaire, Valdois, Ecalle, & Guérin-Dugué, 2015).

Cette idée, selon laquelle la capacité à traiter simultanément un ensemble de lettres, est importante pour l'apprentissage de la lecture rejoint également les travaux de Valdois et collaborateurs portant sur l'empan visuo-attentionnel³ (Bosse & Valdois, 2009 ; Lobier, Zoubrinetzky, & Valdois, 2012). Dans le modèle MTM (*Multi Trace Memory* en anglais, Ans, Carbonnel, & Valdois, 1998), la capacité d'attention visuelle est opérationnalisée par une fenêtre visuo-attentionnelle de traitement dont le déploiement dépendrait de la nature du mot traité. Cette fenêtre permettrait en effet de focaliser l'attention du lecteur sur l'ensemble du mot ou seulement sur une de ses parties constitutives. En première intention, la fenêtre visuo-attentionnelle engloberait l'ensemble des lettres composant le mot. Mais, ce mode de traitement global échouerait lorsqu'aucune représentation du mot lu ne serait stockée en mémoire (e.g., un mot inconnu ou un pseudo-mot). Alors, le système basculerait en mode analytique, l'attention visuelle se porterait préférentiellement sur le début des mots puis se déplacerait de gauche à droite favorisant ainsi l'utilisation du code graphophonémique. La fenêtre est alors réduite à la taille des unités sublexicales (i.e., graphèmes ou syllabes), entraînant ainsi de nombreux déplacements de l'œil pour traiter le mot en son entier. Bosse et collaborateurs (2007) ont ainsi montré que la taille de l'empan visuo-attentionnel augmentait avec l'apprentissage de la lecture (et l'augmentation du stock de représentations orthographiques stockées en mémoire).

4. Processus visuo-attentionnels et codage orthographique

Le codage orthographique fait référence au traitement des informations concernant l'identité et la position des lettres qui composent le mot écrit, et constitue ainsi la toute première étape du

³ La notion d'empan visuo-attentionnel, défini comme le nombre maximal d'éléments visuels pouvant être traités en parallèle, a été introduit par Bosse, Tainturier, et Valdois (2007).

traitement des informations linguistiques pendant la lecture, et une interface clef entre le traitement des informations visuelles et les informations linguistiques. En tant que tel, le mot présente des caractéristiques qui lui confèrent un statut spécifique par rapport aux autres objets visuels (voir Grainger & Hannagan, 2014, pour une revue). Dans un système alphabétique, l'acquisition de la lecture débute par l'apprentissage de l'alphabet, c'est-à-dire l'association des noms de lettres avec leur forme visuelle. Ainsi, une première particularité du mot, en qualité d'objet visuel, vient du fait que l'enfant apprend à en maîtriser les éléments constitutants (*i.e.*, les lettres) avant d'apprendre à reconnaître l'objet visuel dans son ensemble (*i.e.*, le mot). Chez le lecteur expert, la reconnaissance du mot dans son ensemble implique un traitement en parallèle des informations orthographiques. L'apprenti lecteur doit progressivement abandonner une lecture « lettre-par-lettre », qui lui permet d'effectuer un recodage phonologique d'une séquence de lettres, pour mettre en place un système de traitement en parallèle des lettres.

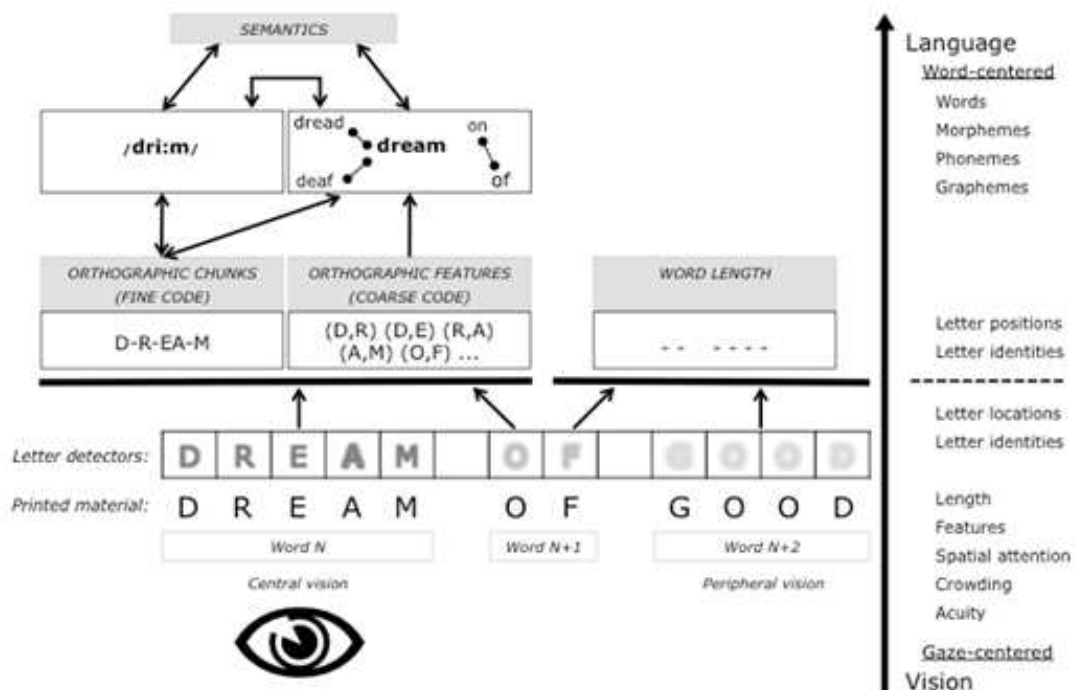


Figure 2. Cadre théorique proposé par Grainger, Dufau, et Ziegler (2016) pour faire le lien entre processus perceptifs, codage orthographique, et lecture de mots dans une phrase.

Selon Grainger et van Heuven (2003 ; voir aussi Grainger & Ziegler, 2011 ; Grainger et al., 2016), le traitement en parallèle des informations orthographiques s'effectue par un ensemble de détecteurs de lettres qui captent des informations visuelles présentes sur le méridien horizontal (pour les systèmes alphabétiques alignés horizontalement). Chacun de ces détecteurs de lettres capte des informations visuelles en provenance d'une partie spécifique du méridien horizontal définie par sa position relative au point de fixation oculaire. Ainsi, ce système permet de savoir que telle lettre se situe à telle distance à gauche ou à droite du point de fixation et d'obtenir ces informations en parallèle pour l'ensemble de lettres du mot regardé. En combinant ces informations avec celles concernant la localisation des espaces autour du mot, le système de codage orthographique peut ensuite inférer l'ordre des lettres dans le mot et ainsi identifier le mot en tant qu'objet orthographique unique (Figure 2).

A ce premier niveau du codage orthographique, les chiffres et les lettres seraient traités par le même mécanisme. De fait, Tydgat et Grainger (2009) proposent d'étendre l'hypothèse d'une « matrice alphabétique » à une « matrice alphanumérique ». De plus, c'est à ce niveau que l'influence de facteurs perceptifs, tel que l'acuité visuelle et l'environnement perceptif, affecterait le traitement des suites de lettres (Grainger et al., 2016). En effet, une lettre dans un mot est typiquement entourée d'autres lettres, chacune générant des interférences, créant ainsi une situation d'« encombrement perceptif » (*crowding*, en anglais). Cette situation induit des effets de masquage latéral, provoquant une diminution de la capacité à identifier une lettre (Pelli, Palomares, & Majaj, 2004). C'est également ce premier niveau du codage orthographique qui est influencé par l'attention spatiale, focalisant ainsi tous les processus visuo-attentionnels à un même niveau de représentation des informations orthographiques (Grainger et al., 2016).

Nous faisons l'hypothèse que l'apprentissage de la lecture implique une adaptation spécifique des processus visuo-attentionnels pour optimiser le traitement en parallèle des lettres à ce premier niveau de codage orthographique. Cette adaptation permet de pallier les contraintes visuelles

inhérentes à l'environnement perceptif associé au traitement des mots écrits, en réduisant les interférences en provenance des lettres les unes envers les autres. Elle a été mise en évidence chez le lecteur expert via les variations entre les effets de masquage latéral observés pour les lettres et ceux observés pour les formes/symboles. Lors d'une tâche d'identification d'une cible parmi une séquence de stimuli (lettres, chiffres, symboles), la fonction qui relie le taux d'identification correcte à la position de la cible dans la séquence est similaire pour les lettres et les chiffres – une fonction en W – et différente pour les symboles – une fonction en V-inversé (Tydgat & Grainger, 2009). On notera également un avantage supplémentaire pour la première position dans la chaîne pour les stimuli lettres et chiffres (Marzouki & Grainger, 2014 ; Scaltritti & Balota, 2013).

D'après Tydgat et Grainger (2009), lors de l'apprentissage de la lecture, les contraintes imposées par un traitement parallèle des suites de lettres provoquent une adaptation des processus perceptifs de bas niveau pour réduire les effets d'encombrement perceptif. Dans le cadre théorique présenté dans la Figure 2, cette adaptation s'opère au niveau des détecteurs de lettres. Une réduction dans la taille des champs récepteurs de ces détecteurs de lettres permettrait de réduire les interférences en provenance des lettres voisines. Tydgat et Grainger (2009) ont également proposé une autre type d'adaptation mise en œuvre pour augmenter la visibilité de la première lettre de mots. C'est cette dernière qui apporte le plus d'informations concernant l'identité du mot et qui doit être recodée phonologiquement en premier pour une lecture à voix haute efficace. Or, dans les langues qui sont lues de gauche-à-droite, lorsque les yeux fixent le centre du mot, la première lettre est doublement handicapée par son excentricité et sa position dans l'hémi-champ visuel gauche. En effet, sa localisation à gauche fait que les informations visuelles utilisées pour l'identifier doivent transiter par l'hémisphère droit avant d'arriver aux aires cérébrales spécialisées pour le codage orthographique et la lecture et situées dans l'hémisphère gauche. Pour contrer ce double handicap, Grainger et collaborateurs (Chanceaux & Grainger, 2012 ; Tydgat & Grainger, 2009) ont avancé l'hypothèse selon laquelle non seulement la taille mais également la forme des champs récepteurs

des détecteurs de lettres pourraient être modifiées au cours de l'apprentissage de la lecture. Plus spécifiquement, il a été proposé que les champs récepteurs pour les lettres, localisées à gauche de la fixation, aient une forme exagérément allongée vers la gauche accompagnée d'une extension réduite vers la droite. Cette forme permettrait de limiter davantage les effets d'encombrement perceptif pour la première lettre du mot. Cette hypothèse permet de rendre compte de la meilleure visibilité de la première lettre dans une chaîne de lettres observée chez les lecteurs experts (Johnson & Eisler, 2012 ; Marzouki & Grainger, 2014 ; Scaltritti & Balota, 2013), ainsi que l'augmentation plus importante de la performance pour identifier la première lettre dans une séquence aléatoire de consonnes, chez l'apprenti-lecteur (Grainger, Lété, Bertrand, Beyersmann, & Ziegler, soumis).

5. Processus visuo-attentionnels et dyslexie⁴

La recherche de caractéristiques visuelles ou visuo-motrices particulières chez le dyslexique a pris un nouvel essor après la découverte d'anomalies du système magnocellulaire (i.e., système permettant le traitement des basses fréquences spatiales - contours des mots par exemple - et les informations temporelles rapides) au sein des voies visuelles lors d'autopsie de cerveau de dyslexiques (Stein, 2014 ; Stein & Walsh, 1997). Les dyslexiques souffriraient ainsi d'une instabilité de la fixation oculaire engendrant des distorsions, des déplacements et des superpositions de lettres et de mots (Chase & Stein, 2003 ; Stein, 2001), ainsi que des troubles de la poursuite oculaire, essentiellement de gauche à droite (Eden, Stein, Wood & Wood, 1994). De plus, il a été montré que des personnes dyslexiques avaient des difficultés de convergence et des anomalies de divergence tant en vision de près qu'en vision de loin, dues vraisemblablement à un défaut de coordination des saccades oculaires des deux yeux (Bucci, Brémond-Gignac, & Kapoula, 2008 ; Stein, Riddell, & Fowler, 1988). Il est cependant important de noter que l'implication de difficultés visuo-motrices de

⁴ Rappelons que la dyslexie est une pathologie développementale entravant l'acquisition de la lecture, non imputable exclusivement à un âge mental bas, à des troubles de l'acuité visuelle ou à une scolarisation inadéquate (CIM-10).

bas niveau liées à la dyslexie reste sujette à controverse (Goswami, 2015 ; Ramus, Rosen, Dakin, Day, Castellote, White, & Frith, 2003).

Une autre caractéristique importante du système visuel magnocellulaire est sa capacité à traiter, outre les faibles fréquences spatiales, le mouvement et les changements rapides ; les cellules magnocellulaires communiquent très rapidement toute information de mouvement au cortex visuel via les couches magnocellulaires du corps genouillé latéral, du thalamus et au colliculus supérieur pour le contrôle des mouvements oculaires, permettant ainsi de guider les yeux vers un point précis, tout en filtrant les informations non pertinentes. De nombreuses études, ont montré que les mouvements oculaires de sujets dyslexiques dans des tâches de lecture de mots isolés, de pseudo-mots ou même de phrases étaient différents par rapport à ceux d'une population de même âge: les fixations sont plus longues et plus nombreuses, les saccades plus courtes, la proportion de régressions est supérieure, et les mouvements de retour à la ligne sont souvent erratiques (Biscaldi, Gezeck, & Stuhr, 1998 ; Hutzler & Wimmer, 2004 ; Rayner, 1986). Les dyslexiques présentent également un empan perceptif un peu plus petit que les normo-lecteurs (Rayner, Pollatsek, & Bilsky, 1995) ainsi qu'une PLP proche du début des mots, accompagnée de nombreuses refixations (Ducrot, et al., 2013; Hawelka, Gagl, & Wimmer, 2010). Il semble pourtant que le patron atypique des mouvements oculaires le plus souvent observé chez les dyslexiques ne soit pas la cause, mais plutôt la conséquence, de leurs difficultés de lecture. Ainsi, on retrouve une configuration de mouvements identiques (saccades plus courtes, fixations plus longues, régressions) chez des enfants plus jeunes de même niveau de lecture (Häikiö et al., 2009; Rayner, 1986) ou encore lorsqu'on présente au lecteur expert un texte difficile à lire (Henderson & Ferreira, 1990; Rayner, Slattery, & Belanger, 2010) ; ce qui plaide clairement pour un manque d'exposition à l'écrit (Goswami, 2015).

La voie magnocellulaire/dorsale est également impliquée dans le traitement visuo-spatial, ce dernier désignant la capacité à organiser, au niveau cognitif, l'information visuelle de façon cohérente (Vidyasagar & Pammer, 2010). L'attention spatiale est nécessaire dans le décodage

phonologique pour les apprenti-lecteurs. Acquérir des mots nouveaux par application de règles de correspondance graphèmes-phonèmes nécessite, en effet, que l'enfant échantillonne correctement l'information fixée, ce qui implique de passer d'une attention distribuée à une attention plus focalisée, afin de favoriser la mise en place de connexions directes entre les codes orthographiques et sémantiques par auto-apprentissage (e.g., Ruffino et al., 2010 ; Ziegler, Perry, & Zorzi, 2014). Plusieurs études ont montré que les enfants dyslexiques présentaient un déficit dans le traitement visuo-spatial (voir, Gori & Facoetti, 2015 et Valdois, Bosse, & Tainturier, 2004, pour des synthèses). Prado, Dubois, et Valdois (2007) ont par exemple montré qu'un groupe de dyslexiques présentant une fenêtre attentionnelle réduite ne pouvait traiter que quelques lettres à chaque fixation et était dans l'incapacité d'augmenter le nombre de lettres à traiter dans une épreuve de lecture. Une étude récente en IRMf a mis en évidence des déficits à la fois de la voie dorsale et ventrale dans le traitement des séquences de lettres, chiffres et symboles chez des enfants dyslexiques (Boros, Anton, Pech-Georgel, Grainger, Szwed, & Ziegler, 2016). Selon Grainger et collaborateurs (2016), il est possible que le déficit magnocellulaire observé chez les dyslexiques soit lié à une diminution dans la capacité à utiliser efficacement l'attention spatiale pour segmenter les séquences de lettres en graphèmes. Dans ce sens, le trouble de l'orientation de l'attention visuo-spatiale en contexte dyslexique a souvent été retrouvé associé à un déficit phonologique (Facoetti et al., 2006 ; Facoetti, Corradi, Ruffino, Gori, & Zorzi 2010b) ; ce qui pourrait également signifier, comme le suggère Goswami (2015), que c'est une quantité d'exposition à la lecture insuffisante qui serait à l'origine de ce type de déficit attentionnel (voir, Lobier & Valdois, 2015, pour un point de vue différent).

Pour traiter un mot écrit, l'enfant doit également être capable d'inhiber les lettres et mots autour de la fixation afin de réduire le masquage latéral – i.e., l'interférence générée par les stimuli visuellement proches – et optimiser l'identification de lettres composant le mot (Tydgate & Grainger, 2009). Chez l'enfant dyslexique, une distribution anormale de l'attention de part et d'autre du point de fixation est relatée, avec une inhibition inégalement répartie entre les deux champs visuels, se

traduisant par un phénomène de mini-héminégligence gauche (Facoetti & Molteni, 2001 ; Facoetti et Turatto, 2000). Les enfants dyslexiques ne parviendraient pas à contrôler la distribution de l'attention par une stratégie habituellement mise en place par les bons lecteurs pour restreindre le faisceau attentionnel en vision périphérique, entraînant alors un déficit de filtrage attentionnel hors de la région fovéale⁵ (Geiger, Lettvin, & Zegarra Moran, 1992 ; Geiger & Lettvin, 1999 ; Facoetti et Turatto, 2000 ; Lorusso, Facoetti, Pesenti, Cattaneo, Molteni, & Geiger, 2004, voir Bellocchi, Muneaux, Bastien-Toniazzo, & Ducrot, 2013, pour une revue). Dans ce sens, Ducrot et collaborateurs (2003) ont observé une absence de l'asymétrie typique gauche-droite chez les enfants dyslexiques sur le traitement d'un mot écrit. Rayner, Murphy, Henderson et Pollatsek (1989) ont également mis en évidence, en utilisant le paradigme de la fenêtre mobile, une meilleure performance des dyslexiques lorsque la fenêtre était petite et donc que l'information délivrée correspondait uniquement à l'information traitée en fovéa. Ce phénomène de supériorité du traitement parafovéal chez les dyslexiques est une des hypothèses qui pourrait expliquer la grande sensibilité de cette population clinique au phénomène « d'encombrement perceptif » (Perea, Panadero, Moret-Tatay, & Gómez, 2012 ; Spinelli, De Luca, Judica, & Zoccolotti, 2002 ; Zorzi et al., 2012).

6. Conclusions et perspectives

Partant du principe que le codage orthographique chez le lecteur expert implique un traitement parallèle de l'ensemble des lettres composant le mot, nous avons examiné comment les processus perceptifs et attentionnels entraînent en jeu afin d'adapter le traitement des informations visuelles aux spécificités inhérentes à ce premier niveau de traitement de suites de lettres. Cette revue de questions montre que rapidement, l'apprenti-lecteur mettrait en place, au moins en partie, des stratégies visuo-attentionnelles et perceptives spécifiques afin d'optimiser le traitement des suites de

⁵ L'absence d'un tel filtrage pourrait conduire à une interférence des informations parafovéales, trop saillantes, sur le traitement du mot en fovéa.

lettres. De plus, les études menées auprès des enfants dyslexiques soulignent l'importance de ces stratégies pour une lecture efficiente. D'autres travaux étayant ces résultats sont particulièrement importants, notamment afin de caractériser plus précisément les conditions de mise en place et de spécialisation des processus perceptifs (voir Goswami, 2015, pour une revue).

D'autre part, les processus visuo-attentionnels et perceptifs impliqués dans la mise en place du codage orthographique pourrait représenter un point d'entrée supplémentaire pour aborder la question de la prédiction des futures capacités en lecture. Le codage orthographique mettant en jeu des processus indépendants de l'apprentissage explicite de la lecture, il est possible d'évaluer ces processus dès la maternelle, chez les enfants pré-lecteurs. Quelques études ont ainsi mis en évidence leur rôle prédictif pour l'apprentissage de la lecture (Franceschini et al., 2012 ; Gori, Seitz, Ronconi, Franceschini, & Facoetti, 2015 ; Kevan & Pammer, 2008, 2009). Une première piste pour dépister les enfants susceptibles de développer des difficultés en lecture serait de repérer les enfants présentant des difficultés visuo-attentionnelles et perceptives. En effet, un dysfonctionnement précoce des ces processus pourraient entraver la spécialisation de ces derniers, requise pour la mise en place du codage orthographique. La seconde piste pourrait consister à observer si cette spécialisation est initiée dès la maternelle, c'est-à-dire développée avant l'apprentissage formel de la lecture. Si c'est le cas, il serait intéressant de déterminer si le développement précoce des stratégies visuo-attentionnelles et perceptives constitue un prédicteur de l'apprentissage de la lecture.

Références

- Aghababian, V., & Nazir, T. A. (2000). Developing normal reading skills: aspects of the visual processes underlying word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology, 76*(2), 123–50.
- Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review, 105*(4), 678–723.
- Balota, D. A., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1985). The interaction of contextual constraints and parafoveal visual information in reading. *Cognitive Psychology, 17*, 364-390.
- Bellocchi, S., Muneaux, M., Bastien-Toniazzo, M., & Ducrot, S. (2013). I can read it in your eyes: What eye movements tell us about visuo-attentional processes in developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities, 34*(1), 452–60.
- Binder, K. S., Pollatsek, A., & Rayner, K. (1999). Extraction of information to the left of the fixated word in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19*, 1162-1172.
- Biscaldi, M., Gezeck, S., & Stuhr, V. (1998). Poor saccade control correlates with dyslexia. *Neuropsychologia, 36*, 1189-1202.
- Boros, M., Anton, J. L., Pech-Georgel, C., Grainger, J., Szwed, M., Ziegler, J. C. (2016). Orthographic processing deficits in developmental dyslexia: Beyond the ventral visual stream. *NeuroImage, 128*, 316-327.
- Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition, 104*(2), 198–230.
- Bosse, M.-L., & Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance: a cross-sectional study. *Journal of Research in Reading, 32*(2), 230–253.

- Bradshaw, J. L., & Nettleton, N. C. (1983). *Human cerebral asymmetry*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bricout-Tomasi, L., Billard, C., & Siéroff, E. (2010). Absence of right visual field attentional bias in reading in dyslexic children. *Behavioural Neurology*, *23*, 189–191.
- Bryden, M. P., & Mondor, T. A. (1991). Attentional factors in visual field asymmetries. *Canadian Journal of Psychology*, *45* (4), 427-447.
- Brysbaert, M. (1994). Lateral preferences and visual field asymmetries: Appearances may have been overstated. *Cortex*, *30*, 413-429.
- Brysbaert, M., & Nazir, T. (2005). Visual constraints on written word recognition: Evidence from the optimal viewing position effect. *Journal of Research in Reading*, *28*, 216-228.
- Brysbaert, M., Vitu, F., & Schroyens, W. (1996). The right visual field advantage and the optimal viewing position effect: On the relation between foveal and parafoveal word recognition. *Neuropsychology*, *10*(3), 385-395.
- Bucci, M. P., Brémond-Gignac, D., & Kapoula, Z. (2008). Latency of saccades and vergence eye movements in dyslexic children. *Experimental Brain Research*, *188*(1), 1-12.
- Chanceaux, M., & Grainger, J. (2012). Serial position effects in the identification of letters, digits, symbols, and shapes in peripheral vision. *Acta Psychologica*, *141*(2), 149–158.
- Chase, C., & Stein, J. (2003). Visual magnocellular deficits in dyslexia. *Brain*, *126*(Pt 9), E2; author reply E3.
- Clark, J. J., & O'Regan, J.K. (1999). Word ambiguity and the optimal viewing position in reading. *Vision Research*, *39*, 843-857.
- Coltheart, M., Rastle, K., Perry, C., Langdon, R., Ziegler, J. C. (2001). DRC : A dual route model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review*, *108* (1), 204-256.

- Dandurand, F., Grainger, J., Duñabeitia, J. A., & Granier, J. P. (2011). On coding non-contiguous letter combinations. *Frontiers in Cognitive Science*, 2, 136, 1-12.
- Ducrot, S., & Lété, B. (in prep.). Developmental Changes in the Optimal Viewing Position Effect.
- Ducrot, S., & Pynte, J. (2002). What determines the eyes' landing position in words? *Perception & Psychophysics*, 64(7), 1130–1144.
- Ducrot, S., Lété, B., Sprenger-Charolles, L., Pynte & J., Billard, C. (2003). The Optimal Viewing Position Effect in Beginning and Dyslexic Readers. *Current psychology letters*, 10(1), 1–9.
- Ducrot, S., Pynte, J., Ghio, A., & Lété, B. (2013). Visual and linguistic determinants of the eyes' initial fixation position in reading development. *Acta Psychologica*, 142(3), 287–298.
- Eden, G. F., Stein, J. F., Wood, H. M., & Wood, F. B. (1994). Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision Research*, 34(10), 1345-1358.
- Facoetti, A., & Molteni, M. (2001). The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 39, 352-357. Facoetti et al., 2006
- Facoetti, A., & Turatto, M. (2000). Asymmetrical visual fields distribution of attention in dyslexic children: a neuropsychological study. *Neuroscience Letters*, 290(3), 216–8.
- Facoetti, A., Corradi, N., Ruffino, M., Gori, S., & Zorzi, M. (2010b). Visual spatial attention and speech segmentation are both impaired in preschoolers at familial risk for developmental dyslexia. *Dyslexia*, 16, 226–239.
- Facoetti, A., Trussardi, A. N., Ruffino, M., Lorusso, M. L., Cattaneo, C., Galli, R., Molteni, M., & Zorzi, M. (2010a). Multisensory spatial attention deficits are predictive of phonological decoding skills in development dyslexia. *J. Cogn. Neurosciences*, 22, 1011–1025.

- Facoetti, A., Zorzi, M., Cestnick, L., Lorusso, M. L., Molteni, M., Paganoni, P., Umiltà, C., & Mascetti, G. G. (2006). The relationship between visuo-spatial attention and nonword reading in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, *23*(6), 841-55.
- Foster, T., Ardoin, S., & Binder, K. (2013). Underlying changes in repeated reading: An eye movement study. *School Psychology Review*, *42*, 140–156.
- Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. *Current Biology*, *22*(9), 814–9.
- Geiger, G. & Lettvin, J. Y. (1999). How Dyslexics See and Learn to Read Well. In J. Everatt (Ed.), *Reading and Dyslexia: Visual and attentional processes* (pp. 64-90), London and New-York : Routledge.
- Geiger, G., Lettvin, J. Y., & Zegarra Moran, O. (1992). Task-determined strategies of visual process. *Cognitive Brain Research*, *1*, 39-52.
- Gori, S., & Facoetti, A. (2015). How the visual aspects can be crucial in reading acquisition? The intriguing case of crowding and developmental dyslexia. *Journal of Vision*. *15*, 8. <http://dx.doi.org/10.1167/15.1.8>
- Gori, S., Seitz, A. R., Ronconi, L., Franceschini, S., Facoetti, A. (2015). Multiple Causal Links Between Magnocellular-Dorsal Pathway Deficit and Developmental Dyslexia. *Cerebral Cortex*, doi: 10.1093/cercor/bhv206
- Goswami, U. (2015). Sensory theories of developmental dyslexia: three challenges for research. *Nature Reviews Neuroscience*, *16*(1), 43-54.
- Grainger, J., Bertrand, D., Lété, B., Beyersmann, L., & Ziegler, J.C. (submitted). A developmental investigation of the first-letter advantage.

- Grainger, J., Dufau, S., & Ziegler, J. C. (2016). A vision of reading. *Trends in Cognitive Sciences*, 1529, 1-9.
- Grainger, J., & Ferrand, L. (1994). Phonology and orthography in visual word recognition: Effects of masked homophone primes. *Journal of Memory and Language*, 33, 218-233.
- Grainger, J., & Hannagan, T. (2014). What is special about orthographic processing? *Written Language & Literacy*, 17, 225-252.
- Grainger, J., & Jacobs, A. M. (1993). Masked partial-word priming in visual word recognition: Effects of positional letter frequency. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 951-964.
- Grainger, J., & Van Heuven, W. J. B. (2003). Modeling Letter Position Coding in Printed Word Perception. In P. Bonin (Ed.), *The Mental lexicon* (pp. 1-24). New York : Nova Science Publishers.
- Grainger, J., & Ziegler, J. C. (2011). A dual-route approach to orthographic processing. *Frontiers in Psychology*, 2, 54.
- Häikiö, T., Bertram, R., Hyönä, J., & Niemi, P. (2009). Development of the letter identity span in reading: Evidence from the eye movement moving window paradigm. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102, 167-181.
- Hawelka, S., Gagl, B., & Wimmer, H. (2010). A dual-route perspective on eye movements of dyslexic readers. *Cognition*, 115, 367-379.
- Hellige, J. B., Bloch, M. I., Cowin, E. L., Eng, T. L., Eviatar, Z., & Sergent, V. (1994). Individual variation in hemispheric asymmetry: Multitask study of effects related to handedness and sex. *Journal of Experimental Psychology: General*, 123, 235-256.

- Henderson, J. M., & Ferreira, F. (1990). Effects of foveal processing difficulty on the perceptual span in reading: Implications for attention and eye movement control. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 417-429.
- Hyönä, J., & Pollatsek, A. (1998). Reading Finnish compound words: eye fixations are affected by component morphemes. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *24*, 1612-1627.
- Hyönä, J., & Pollatsek, A. (2000). Processing of Finnish compound words in reading. In A. Kennedy, R. Radach, D. Heller, & J. Pynte (Eds.), *Reading as a perceptual process* (pp. 65-87). Oxford: Elsevier.
- Huestegge, L., Radach, R., Corbic, D., & Huestegge, S. M. (2009). Oculomotor and linguistic determinants of reading development: A longitudinal study. *Vision Research*, *49*, 2948-2959.
- Hutzler, F., & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language*, *89*(1), 235-242.
- Inhoff, A.W. (1989). Parafoveal processing of words and saccade computation during eye fixations in reading. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 544-555.
- Inserm. (2007). Dyscalculie et troubles de l'apprentissage de l'arithmétique. *Dyslexie, Dysorthographe, Dyscalculie: Bilan Des Données Scientifiques*, 291-342.
- Johnson, R. L., & Eisler, M. E. (2012). The importance of the first and last letter in words during sentence reading. *Acta Psychologica*, *141*(3), 336-351.
- Jordan, T. R., Almabruk, A. A. A., Gadalla, E. M., McGowan, V. A., White, S. J., Abedipour, L., & Paterson K. B. (2014). Reading direction and the central perceptual span: Evidence from Arabic and English. *Psychonomic Bulletin & Review*, *21*, 505-511.

- Joseph, H., Liversedge, S. P., Blythe, H. I., White, S. J., & Rayner, K. (2009) Word length and landing position effects during reading in children and adults. *Vision Research*, 49(16), 2078-2086.
- Kevan, A., & Pammer, K. (2008). Visual deficits in pre-readers at familial risk for dyslexia. *Vision Research*, 48(28), 2835–9.
- Kevan, A., & Pammer, K. (2009). Predicting early reading skills from pre-reading measures of dorsal stream functioning. *Neuropsychologia*, 47(14), 3174–81.
- Kinsbourne, M. (1970). The cerebral basis of lateral asymmetries in attention. *Acta Psychologica*, 33, 193-201.
- Leclercq, V., & Siéoff, E. (2016). Attentional Processing of Letter Strings by Children. *Child Neuropsychology*, 22(1), 110-132.
- Legge, G. E., Klitz, T. S., & Tjan, B. S. (1997). Mr Chips: An ideal-observer model of reading. *Psychological Review*, 104, 524–553.
- 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.
- Lobier, M., & Valdois, S. (2015). Visual attention deficits in developmental dyslexia cannot be ascribed solely to poor reading experience. *Nature Reviews Neuroscience*, 16, 225.
- Lobier, M., Zoubrinetzky, R., & Valdois, S. (2012). The visual attention span deficit in dyslexia is visual and not verbal. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 48(6), 768–773.

- Lorusso, M. L., Facoetti, A., Pesenti, S., Cattaneo, C., Molteni, M., & Geiger, G. (2004). Wider recognition in peripheral vision common to different subtypes of dyslexia. *Vision Research*, *44*, 2413–2424.
- Mancheva, L., Reichle, E., Lemaire, B., Valdois, S., Ecalle, J., & Guérin-Dugué, A. (2015). An analysis of reading skill development using E-Z Reader. *Journal of Cognitive Psychology*, *27*(5), 657-676.
- Marzouki, Y., & Grainger, J. (2014). Effects of stimulus duration and inter-letter spacing on letter-in-string identification. *Acta Psychologica*, *148*, 49–55.
- Massendari, D., Grainger, J., Bellocchi, S., Danna, J., Muneaux, M., & Ducrot, S. (in prep.). An analysis of reading skill development using landing-position distributions.
- 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.
- McClelland, J. L., & Rumelhart, D. E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: I. An account of basic findings. *Psychological Review*, *88*, 375–407.
- McConkie, G. W., & Rayner, K. (1975). The span of effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, *17*, 578-586.
- McConkie, G. W., & Zola, D. (1979). Is visual information integrated across successive fixations in reading? *Perception & Psychophysics*, *25*, 221-224.
- Mondor, T. A., & Bryden, M. P. (1992). On the relation between visual spatial attention and visual field asymmetries. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *44A*, 529-555.

- Muneaux, M., Ducrot, S. & Bastien-Toniazzo, M. (2014). La variété des troubles dyslexiques, une réalité à prendre en compte. In Jover, M. *Psychologie et handicap* (pp. 89-103). Aix-en-Provence: PUP.
- 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.
- 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 and Performance*, 18(I), 185–197.
- O'Regan, J. K., Lévy-Schoen, A., Pynte, J., & Brugailière, B. (1984). Convenient fixation location within isolated words of different length and structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10(2), 250–257.
- Ortells, J. J., Tudela, P., Noguera, C., & Abad, M. (1998). Attentional orienting within visual field in a lexical decision task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 1675-1689.
- Pelli, D. G., Palomares, M., & Majaj, N. J. (2004). Crowding is unlike ordinary masking: Distinguishing feature integration from detection. *Journal of Vision*, 4(12), 1136–1169.
- Pelli, D. G., Tillman, K. A., Freeman, J., Su, M., Berger, T. D., & Majaj, N. J. (2007). Crowding and eccentricity determine reading rate. *Journal of Vision*, 7(2): 20, 1-36.
- Perea, M., Panadero, V., Moret-Tatay, C., & Gómez, P. (2012). The effects of inter-letter spacing in visual-word recognition: Evidence with young normal readers and developmental dyslexics. *Learning and Instruction*, 22, 420-430.
- Plaza, M., & Cohen, H. (2007). The contribution of phonological awareness and visual attention in early reading and spelling. *Dyslexia*, 13, 67-73.

- Prado, C., Dubois, M., & Valdois, S. (2007). Eye movements in reading aloud and visual search in developmental dyslexia : impact of the VA span. *Vision Research*, *47*, 2521-2530.
- Pollatsek, A., Bolozky, S., Well, A. D., & Rayner, K. (1981). Asymmetries in the perceptual span for Israeli readers. *Brain and Language*, *14*, 174–180.
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, *13*, 212–218.
- Ramus, F., Rosen, S., Dakin, S. C., Day, B. L., Castellote, J. M., White, S., & Frith, U. (2003). Theories of developmental dyslexia : Insight from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, *126*, 841-865.
- Rayner, K. (1979). Eye guidance in reading: Fixation location within words. *Perception*, *8*, 21-30.
- Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, *41*, 211-236.
- Rayner, K., McConkie, G. W., & Zola, D. (1980). Integrating information across eye movements. *Cognitive Psychology*, *12*, 206-226.
- Rayner, K., Murphy, L. A., Henderson, J. M., & Pollatsek, A. (1989). Selective attentional dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, *6*, 357-378.
- Rayner, K., & Pollatsek, A. (1989). *The Psychology of Reading*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Rayner, K., Pollatsek, A., & Bilsky, A. B. (1995). Can a temporal processing deficit account for dyslexia? *Psychonomic Bulletin & Review*, *3*, 238-244.
- Rayner, K., Slattery, T. J., & Bélanger, N. N. (2010). Eye movements, the perceptual span, and reading speed. *Psychonomic Bulletin & Review*, *17*, 834-839.

- Rayner, K., Well, A. D., Pollatsek, A., & Bertera, J. H. (1982). The availability of useful information to the right of fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, *31*, 537-550.
- Reichle, E. D., Liversedge, S. P., Drieghe, D., Blythe, H. I., Joseph, H. S. S. L., White, S. J., & Rayner, K. (2013). Using E-Z Reader to examine the concurrent development of eye-movement control and reading skill. *Developmental Review*, *33*, 110–149.
- Risse, S. (2014). Effects of visual span on reading speed and parafoveal processing in eye movements during sentence reading. *Journal of Vision*, *14*(8), 11, 1-13.
- Ruffino, M., Trussardi, A. N., Gori, S., Finzi, A., Giovagnoli, S., Menghini, D., Benassi, M., Molteni, M., Bolzani, R., Vica, S., & Facoetti, A. (2010). Attentional engagement deficits in dyslexic children. *Neuropsychologia*, *48*(13), 3793-3801.
- Scaltritti, M., & Balota, D. A.. (2013). Are all letters really processed equally and in parallel? Further evidence of a robust first letter advantage. *Acta Psychologica*, *144*(2), 397–410.
- Schotter, E. R., Angele, B., & Rayner, K. (2012). Parafoveal processing in reading. *Attention, Perception, & Psychophysics*, *74*, 5–35.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Mencl, W. E., Constable, R. T., ... & Gore, J. C. (2001). The neurobiology of dyslexia. *Clinical Neuroscience Research*, *1*, 291–299.
- Siéoff, E., Dahmen, R., & Fagard, J. (2012). Mechanisms of attention in reading parafoveal words: A cross-linguistic study in children. *Neuropsychology*, *26*(3), 334–346.
- Siéoff, E., & Riva, M. (2011). Attention and the identification of parafoveal words in school-age children and adults. *Journal of Neurolinguistics*, *24*(4), 420–434.
- Sperlich, A., Meixner, J., & Laubrock, J. (2016). Development of the perceptual span in reading: A longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, *146*, 181-201.

- Sperlich, A., Schad, D. J., & Laubrock, J. (2015). When preview information starts to matter: Development of the perceptual span in German beginning readers. *Journal of Cognitive Psychology*, 27, 511-530.
- Sprenger-Charolles, L., & Colé, P. (2003 réédité en 2006). *Apprentissage de la lecture et dyslexie : Des recherches aux implications pratiques*. Paris: Dunod.
- Spinelli, D., De Luca, M., Judica, A., & Zoccolotti, P., (2002). Crowding effects on word identification in developmental dyslexia. *Cortex*, 38, 179–200.
- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12-36.
- Stein, J. (2014). Dyslexia: the role of vision and visual attention. *Curr Dev Disord Rep.*, 1, 267–280.
- Stein, J. F., Riddell, P. M., & Fowler, S. (1988). Disordered vergence control in dyslexic children. *British Journal of Ophthalmology*, 72(3), 162-166.
- Stein, J., & Walsh, V. (1997). To see but not to read: the magnocellular theory of dyslexia. *Trends in Neuroscience*, 20, 147-152.
- Stevens, M., & Grainger, J. (2003). Letter visibility and the viewing position effect in visual word recognition. *Perception & Psychophysics*, 65(1), 133–151.
- Tydgat, I., & Grainger, J. (2009). Serial position effects in the identification of letters, digits and symbols. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35, 480-498.
- Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). Cognitive correlates of developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional deficit. *Dyslexia*, 10, 1-25.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: A deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in Cognitive Science*, 14, 57–63.

- Vitu, F. (1991). The existence of a center of gravity effect during reading. *Vision Research*, *31*(7/8), 1289-1313.
- Vorstius, C., Radach, R., & Lonigan, C.J. (2014). Eye movements in developing readers: A comparison of silent and oral sentence reading. *Visual Cognition*, *22*(3/4), 458–485.
- White, S. J. (2008). Eye movement control during reading: Effects of word frequency and orthographic familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *34*, 205-223.
- White, S. J., & Liversedge, S. P. (2004). Orthographic familiarity influences initial eye fixation positions in reading. *European Journal of Cognitive Psychology*, *16*, 52-78.
- White, S. J., & Liversedge, S. P. (2006). Linguistic and nonlinguistic influences on the eyes' landing positions during reading. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *59*, 760–782.
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Zorzi, M. (2014). Modelling reading development through phonological decoding and self-teaching: implications for dyslexia. *Philosophical Transactions of the Royal Society London B Biological Sciences*, *369*(1634), 20120397.
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Bravar, L., George, F., Pech-Georgel, C., & Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(28), 11455–9.