

## **Capacités oculomotrices, visuo-attentionnelles et lecture :**

### **Un autre regard sur la dyslexie...**

Mathilde Muneaux <sup>1,2</sup>

Stéphanie Ducrot <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Aix-Marseille Université, CNRS, LPL UMR 7309, 13100, Aix-en-Provence, France.

<sup>2</sup>Centre Hospitalier de Digne-les-Bains, Digne-les-Bains, France

Correspondant :

Mathilde Muneaux

Laboratoire Parole et Langage

CNRS & Université d'Aix-Marseille

5 avenue Pasteur

13100 Aix-en-Provence

04 13 55 36 37/06 21 97 07 33

[mathilde.muneaux@lpl-aix.fr](mailto:mathilde.muneaux@lpl-aix.fr)

## RESUME

Si une grande majorité des enfants scolarisés finit par montrer un comportement de lecture experte, une part non négligeable d'entre eux montre de réelles difficultés dans cet apprentissage voire, dans les cas extrêmes, une impossibilité [32]. On estime en effet qu'aujourd'hui cinq pour cent des enfants d'âge scolaire souffre de dyslexie, trouble spécifique de l'apprentissage du langage 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 [76]. Ainsi, 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 [63]. Cependant, le mot écrit est d'abord un objet visuel avant d'être un signe linguistique. La reconnaissance d'un mot s'appuie sur des processus visuels spécifiques permettant de traiter précisément et simultanément toutes les lettres d'un mot à la bonne position. L'objectif de cet article est de s'intéresser aux capacités oculomotrices et visuo-attentionnelles, particulièrement impliquées dans le traitement visuel de la langue écrite. Une revue de littérature sur ces aspects et leur implication dans la dyslexie nous permettra de saisir leur intérêt non seulement pour aborder cette pathologie spécifique mais aussi pour nombre d'autres pathologies où des difficultés d'entrée dans l'écrit sont aussi présentes, comme par exemple la dyspraxie.

Mots clés : Lecture ; Processus Visuo-attentionnels ; Contrôle Oculaire ; Dyslexie ; Dyspraxie

## **ABSTRACT**

Although a large majority of school children manage in the end to exhibit "expert" reading behavior, a non-negligible number of pupils have real problems learning this skill [32]. Today's estimates indicate that five percent of school children suffer from dyslexia, a specific written-language learning disorder. At the current time, most studies agree about a specific impairment in the representation, storage, and/or retrieval of speech sounds that prevents the proper acquisition of the grapheme-phoneme correspondence in dyslexics [76]. In that vein, most tools available to professionals are designed for the evaluation, diagnosis and remediation of child spoken-language abilities related to the acquisition of meta-phonological skills [63]. However, reading also requires an accurate visual analysis that allows for the precise decoding of the written words. In particular, word recognition involves a reading-specific visual processing mode that relies on the ability to process - simultaneously and in parallel - all the letters of a word in their correct positions. This paper will therefore focus upon those processes related to visual attention and eye movement control and on their potential as explanation of reading behaviour and reading problems. This brief overview of literature would help us to better understand visuo-attentional and oculomotor deficits associated to dyslexia and several other neurodevelopmental disorders such as dyspraxia.

Key words: Reading; Visuo-attentional Processes; Eye Movement; Developmental Dyslexia; Developmental Coordination Disorder

En France, le nombre d'enfants touchés par la dyslexie est généralement estimé à environ 5 % des élèves [32]. Selon l'une des définitions officielles de la dyslexie développementale, fournie par la Classification Internationale des Maladies (CIM10) [67], « la caractéristique essentielle [de la dyslexie] est une altération spécifique et significative de 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 » (F81-0 Trouble spécifique de la lecture).

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 [75]. Ainsi, de nombreux outils, de dépistage, diagnostiques et pédagogiques, se sont focalisés sur la nécessité de maîtriser le langage oral pour aborder la langue écrite [63]. Cependant, ces outils ciblant spécifiquement le langage oral ne se sont pas révélés pleinement satisfaisants pour tous les enfants dyslexiques [12, 23, 36, 42, 72].

Une des raisons de l'hétérogénéité des résultats obtenus sur l'efficacité de ces techniques pourrait être liée au fait que lire requiert aussi, outre des compétences verbales efficaces, un traitement opérant des informations visuelles. Le mot écrit est d'abord un objet visuel avant d'être un signe linguistique. Traiter finement cet objet visuel est nécessaire pour gérer toute la complexité de l'activité de lecture. En effet, contrairement aux autres objets qui nous entourent, les lettres changent d'identité quand elles changent d'orientation (*e.g.*, [n] devient [u]), ou ne diffèrent entre elles que par un seul trait visuel (*e.g.*, [c] et [o]). L'ordre des lettres qui composent le mot (*i.e.*, traitement visuo-spatial) est aussi un aspect incontournable du traitement de l'écrit (*e.g.*, [rien], [rein] et [nier] contiennent les mêmes lettres mais forment trois mots distincts). La reconnaissance d'un mot implique donc un traitement visuel spécifique qui repose sur la capacité à traiter précisément et simultanément toutes les lettres d'un mot à la bonne position. Cette analyse fine permettrait non seulement l'accès en

mémoire à la représentation orthographique correspondante mais aussi la construction même de cette représentation. Un dysfonctionnement de cette analyse aurait alors de fortes chances d'entraver l'accès à la lecture. Dans ce sens, Plaza et Cohen [71] ont montré que les capacités d'attention visuelle, avec les habiletés phonologiques, étaient parmi les meilleurs facteurs prédictifs des aptitudes à la lecture et à l'écriture avant même l'apprentissage formel de ces derniers (*i.e.*, en CP). De même, Franceschini et collaborateurs [35] ont observé que les performances en lecture d'enfants présentant des difficultés d'acquisition de l'écrit en première et deuxième années d'apprentissage de la langue écrite étaient prédites par leurs résultats à des tâches d'attention visuelle à l'école maternelle, un et deux ans plus tôt.

Ainsi, prendre en compte les aspects visuels, plus particulièrement visuo-attentionnels, peut permettre d'apporter des perspectives supplémentaires pour s'adapter à un plus grand nombre d'enfants en difficulté de lecture. L'objectif de cet article est donc de s'intéresser aux connaissances actuelles sur ces composantes oculomotrices et visuo-attentionnelles, capacités particulièrement engagées dans le développement et la maîtrise de la langue écrite, ainsi que leur implication dans la dyslexie. Des pistes de réflexions sur les outils permettant de prévenir et de rééduquer un déficit de ces composantes seront ensuite proposées.

## **1. Capacités oculomotrices, visuo-attentionnelles et lecture**

L'œil ne peut voir l'ensemble d'un texte, il ne peut voir que ce qui se trouve autour de ce qu'il fixe. En effet, au centre de la rétine (*i.e.*, région fovéale), des cellules de très haute résolution, les cônes, traitent spécifiquement les informations lumineuses et chromatiques. Ces cellules sont les seules à même de traiter les lettres de manière suffisamment fine pour les reconnaître et les identifier. Autour de cette zone fovéale (*i.e.*, région parafoveale), un autre type de cellules photo-réceptrices, les bâtonnets, est sensible aux contrastes mais a une résolution insuffisamment précise pour permettre l'identification de signes linguistiques [21].

La région fovéale étant trop étroite pour percevoir un mot dans son entier, l'œil est alors contraint d'effectuer des sauts incessants au cours de la lecture (*i.e.*, des saccades). Une saccade oculaire est un bref et rapide mouvement des yeux entre deux positions stables (*i.e.*, les fixations). Le but d'une saccade oculaire est d'amener très rapidement l'image d'un objet sur la fovéa. La saccade peut être suivie d'une saccade de correction en cas d'imprécision vers le but visuel (*i.e.*, une régression). De manière plus générale, les capacités oculomotrices sont engagées dans toute activité d'exploration visuelle allant de la localisation d'un son ou d'une cible dans l'espace à l'activité de lecture [27].

La mobilité du regard, même si elle est forcément impliquée dans l'activité de lecture, n'est toutefois pas la seule compétence engagée : des capacités visuo-attentionnelles fines sont également importantes car un certain nombre de contraintes anatomo-fonctionnelles du système visuel limite la prise d'information [27]. Un déplacement de l'attention, et du regard, serait nécessaire pour focaliser les informations pertinentes sur la zone fovéale, seule zone rétinienne capable d'analyser finement les signes linguistiques (*e.g.*, la différence entre [O] et [Q]). Cependant, même si la lecture est fondée sur d'incessantes saccades, c'est principalement pendant les fixations que l'information visuelle, perçue par la rétine, peut être analysée finement. Un filtre attentionnel permettrait au lecteur d'atténuer l'information présente dans la zone parafovéale, de façon à optimiser le traitement de l'information fovéale. Cette zone de perception, appelée « fenêtre attentionnelle » ou « empan perceptif », serait limitée à la ligne de texte en train d'être lue et s'étendrait approximativement du début du mot fixé à 14-15 caractères à droite<sup>1</sup> [80]. A l'intérieur de cette fenêtre, deux types de traitement seraient effectués. Un traitement très précis et de haute acuité autour de la position fixée par l'œil permettrait l'identification du mot (*i.e.*, traitement fovéal). Un traitement plus large et plus loin de la position fixée renseignerait sur la forme et la longueur des mots suivants pour

---

<sup>1</sup> Cette asymétrie à droite ne serait valable que pour des langues se lisant de gauche à droite.

guider l'œil et déterminer le prochain lieu de fixation (*i.e.*, traitement parafovéal). Dès la première année d'apprentissage de lecture, les lecteurs allouent préférentiellement leur attention sur la droite de la fixation comme le font les lecteurs experts même si leur empan perceptif est plus restreint (du fait qu'ils accordent plus d'attention au traitement fovéal que ne le font les experts) [78].

De nombreuses recherches ont montré que lorsque des lecteurs experts lisent un mot, ils positionnent systématiquement leur œil sur une zone à mi-chemin entre le début et le milieu du mot, appelée position optimale du regard<sup>2</sup> [66, 77]. En effet, la probabilité de reconnaître un mot est maximale lorsque le regard est au centre gauche du mot et diminue au fur et à mesure que l'œil s'éloigne de cette position optimale [66]. Cette position permettrait d'optimiser le traitement et par conséquent l'accès à la représentation du mot écrit stockée en mémoire. D'ailleurs, cette position préférentielle du regard se mettrait très vite en place, dès le second trimestre de CP [1, 29]. Au début de l'apprentissage, l'attention et les yeux se focaliseraient sur les premières lettres du mot pour permettre l'enclenchement de la procédure de décodage grapho-phonémique (*i.e.*, la mise en correspondance d'une lettre ou d'un groupe de lettres avec le son adéquat). Mais très rapidement, avec l'exposition à l'écrit et l'augmentation du stock de connaissances orthographiques, l'attention se déplacerait au centre gauche du mot pour optimiser la lecture (précision et rapidité) en favorisant ainsi l'accès direct à la représentation orthographique stockée en mémoire à long terme. Ainsi, progressivement, lors de l'apprentissage de la lecture, l'enfant finirait par apprendre à positionner son œil correctement sur les mots, à extraire l'information qui est en train d'être fixée, à programmer une saccade pour se positionner sur le mot suivant [30] (cf. figure)...

D'autres travaux suggèrent que le traitement des mots se ferait principalement en fonction de la nature du mot traité. Cette fenêtre attentionnelle permettrait en effet de focaliser

---

<sup>2</sup> *Optimal Viewing Position (OVP)*.

l'attention du lecteur sur l'ensemble du mot ou seulement sur une de ses parties constitutives. Cette notion a toutefois été totalement ignorée à ce jour dans la plupart des modèles computationnels de la lecture (à l'exception du modèle de Ans et collaborateurs [2]). En première intention, la fenêtre visuo-attentionnelle engloberait l'ensemble des lettres composant le mot [2]. 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 pseudomot). 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 grapho-phonémique. Dans ce mode, l'empan visuo-attentionnel se réduirait pour traiter les unités sublexicales (*i.e.*, graphèmes ou syllabes) qui composent le mot. Comme l'empan est restreint, de nombreux déplacements de l'œil seraient alors nécessaires pour traiter le mot en son entier. Cette situation, fréquente en début d'apprentissage de la lecture car peu de mots sont connus, se raréfierait avec l'augmentation du stock de représentations orthographiques stockées en mémoire (*i.e.*, avec le niveau d'expertise).

Ces capacités oculomotrices et visuo-attentionnelles pourraient aisément s'intégrer au modèle de lecture actuellement le plus utilisé, le modèle « double voie<sup>3</sup> » de Coltheart [24]. Rappelons que ce modèle repose sur l'hypothèse de deux voies d'accès aux mots stockés dans la mémoire : une voie indirecte et une voie directe. La voie indirecte renverrait à la mise en correspondance exclusive et stricte du code liant les unités graphiques élémentaires (*i.e.*, les lettres ou groupes de lettres appelés graphèmes) et les unités sonores élémentaires (*i.e.*, les phonèmes). Ainsi, un traitement du mot par la voie indirecte requerrait que le système visuo-attentionnel, et oculomoteur, se focalise sur le début du mot, se restreignant sur les unités sublexicales, pour permettre la lecture séquentielle du mot par la mise en correspondance

---

<sup>3</sup> Traduction de l'expression « dual route » utilisée par l'auteur.



successive des signes écrits et des sons adéquats. Ce type de traitement serait lent, coûteux, et inadapté pour les mots dont la lecture ne respecte pas cette correspondance (*e.g.*, monsieur). Il serait préférentiellement utilisé en début d'acquisition de l'écrit et pour des mots qui n'ont pas encore été rencontrés par le lecteur (*e.g.*, un mot rare ou un pseudomot). Le traitement du mot par la voie directe nécessiterait que l'attention et le regard se fixent sur une position permettant de percevoir le plus grand nombre de lettres (*i.e.*, la position optimale du regard). Les lettres seraient ainsi traitées simultanément, en parallèle. L'identité et la position de chacune des lettres seraient ainsi codées (*i.e.*, codage orthographique [39]) rendant alors possible la mise en correspondance directe avec la représentation stockée en mémoire. La mise en place de ce codage orthographique représente donc un processus déterminant pour le développement de la lecture. Ce traitement, rapide et peu coûteux, serait utilisé préférentiellement par le lecteur expert.

Les capacités oculomotrices et visuo-attentionnelles semblent donc indispensables dans l'activité de lecture et ce, dès le début de l'apprentissage. Il est alors envisageable de considérer qu'un dysfonctionnement de ces capacités aurait nécessairement des répercussions sur la maîtrise de la langue écrite.

## **2. Compétences oculomotrices et visuo-attentionnelles chez la personne dyslexique**

Cette idée selon laquelle un déficit d'ordre visuel pourrait entraver l'apprentissage de la lecture est très ancienne [61]. En effet, le tout premier cas d'enfant dyslexique décrit dans la littérature scientifique parlait de « cécité verbale congénitale ». D'ailleurs, il a été fréquemment observé que les enfants dyslexiques ont tendance à confondre des lettres ayant la même forme, telles p/q, b/d et p/d, et ce même à l'âge adulte [5, 69, 84].

Plusieurs études ont rapporté des dysfonctionnements des capacités visuelles et oculomotrices de bas niveau chez les dyslexiques [9]. Les dyslexiques souffriraient ainsi

d'une instabilité de la fixation oculaire engendrant des distorsions, des déplacements et des superpositions de lettres et de mots [18, 82], ainsi que des troubles de la poursuite oculaire, essentiellement de gauche à droite [31]. 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 [15, 83]. Des difficultés de coordination des saccades et des fixations chez les dyslexiques ont aussi été observées en situation d'exploration de peintures [46, 47] et plus récemment de lecture [44].

En parallèle des études précédentes, plusieurs recherches se sont intéressées à l'étude des mouvements oculaires des personnes dyslexiques en situation de lecture. Ces dernières ont montré que les mouvements oculaires de certains dyslexiques dans des épreuves de lecture de mots isolés, de pseudomots ou même de phrases sont 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 [11, 43, 78].

Cependant, même si la motilité oculaire est indispensable pour la lecture, nous avons vu précédemment que les capacités visuo-attentionnelles fines et le contrôle oculaire étaient aussi fortement impliqués dans l'analyse des mots écrits. Par exemple, Prado et collègues [73] ont 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. De plus, des enfants dyslexiques, pourtant exposés depuis plus de deux ans à l'écrit, ne montraient pas de position préférentielle du regard pour identifier un mot, occasionnant inévitablement une augmentation des saccades et des re-fixations [41]. Allant dans ce sens, une distribution anormale de l'attention de part et d'autre du point de fixation est relatée, avec une sensibilité accrue à la distraction à droite du

point de fixation et une réduction de l'attention à gauche du point de fixation, se traduisant par un phénomène de mini-hémi-négligence gauche [33, 34]. 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 un traitement atypique de l'information visuelle hors de la zone fovéale [26, 37, 38]. Geiger et Lettvin [37] ont par exemple montré que les dyslexiques avaient des performances supérieures à leurs pairs dans une tâche d'identification de lettres en périphérie. De même, Ducrot et collaborateurs [26] ont observé une absence de l'asymétrie typique gauche-droite chez les enfants dyslexiques sur le traitement d'un mot écrit. L'absence d'un tel filtrage pourrait conduire à une interférence des informations parafovéales, trop saillantes, sur le traitement du mot 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 », c'est-à-dire au masquage visuel de chaque lettre par celles qui l'entourent [57, 87]. Ainsi, même si l'implication de difficultés visuo-motrices de bas niveau liées à la dyslexie reste sujette à controverse [76], l'ensemble des études présentées suggère que des difficultés visuo-attentionnelles chez certains dyslexiques entraveraient la maîtrise de la lecture. Dans ce contexte, prendre en considération ces capacités pourrait permettre de proposer des techniques de dépistage, de diagnostic, de rééducations ou des aménagements pédagogiques adaptés à un plus grand nombre de personnes ayant des difficultés en lecture.

### **Réflexions sur les outils de dépistage, diagnostics, pédagogiques et rééducatifs**

Tout d'abord, le développement de l'évaluation des capacités oculomotrices et visuo-attentionnelles permettrait de compléter les tests actuels de dépistage et de diagnostic de la dyslexie. En effet, nombre de batteries permettent d'évaluer les compétences phonologiques impliquées dans l'acquisition de la lecture (*e.g.*, NEEL [19], BILO [50], L2MA2 [20]). En

comparaison, il n'existe, à notre connaissance, que très peu de tests qui font ce lien entre compétences visuelles et capacités d'entrée dans l'écrit. En effet, même si plusieurs tests neuropsychologiques visent à évaluer la qualité du traitement des objets visuels (*e.g.*, DTVP-3 [40], Reconnaissance de formes du KABC II [49], Localisation de points ou d'images de la CMS [22], Scènes de famille de la CMS [22], Mémoire des figures de la NEPSY II [51]), ces derniers ne concernent pas spécifiquement cet objet visuel particulier qu'est le signe linguistique et impliquent souvent trop d'autres fonctions cognitives (*e.g.*, accès en mémoire sémantique pour reconnaissance de formes du KABC II [49] et scènes de famille de la CMS [22]). Néanmoins, les déficits oculomoteurs, qualifiés de « troubles de regard » par Mazeau [59], commencent à être pris en considération en France. En effet, il existe déjà des batteries diagnostiques créées pour détecter, spécifiquement et précocement, certains de ces troubles dès l'âge de 4 ans [17]. De plus en plus de centres de référence des troubles des apprentissages ou de services spécialisés auprès d'enfants dyslexiques demandent des bilans oculomoteurs voire intègrent dans leur équipe des orthoptistes. En outre, de nombreuses épreuves neuropsychologiques ciblent spécifiquement les compétences visuo-attentionnelles engagées lors du traitement d'objets visuels complexes (*e.g.*, Recherche dans le ciel de la TEA-ch [56], symboles et barrages du WISC IV [86], Attention du K-Classic [48]). Cependant, comme pour les épreuves visuelles citées précédemment, les tests visuo-attentionnels utilisés actuellement ne sont pas pleinement satisfaisants dans la détection de troubles pouvant entraver l'acquisition de l'écrit puisqu'ils ont recourt exclusivement à des objets visuels non linguistiques. Inclure des épreuves évaluant les habilités visuo-attentionnelles spécifiques à la lecture permettrait de repérer un plus grand nombre d'enfants risquant de présenter des difficultés durables d'acquisition de la langue écrite. Dans ce sens, le pouvoir diagnostic d'une épreuve informatisée de « position optimale du regard » est actuellement évalué dans certains centres de référence [28].

Ensuite, il serait aussi intéressant de tenir compte de l'implication des capacités oculomotrices et visuo-attentionnelles dans la prise en charge des enfants en difficultés d'acquisition de la lecture. En effet, dans la pratique clinique, même s'il existe déjà des rééducations entraînant ces capacités (*e.g.*, Attention mes yeux [16], Rééducation cognitive de la lecture [13], Attention et Mémoire [14], Fenêtre attentionnelle [8], Tâches Attentionnelles [25]), leur utilisation reste limitée sur plusieurs aspects. Tout d'abord, ces exercices d'entraînement portent fréquemment sur des objets visuels quelconques et non sur la spécificité du signe linguistique. Ensuite, ces rééducations n'ont pas encore intégré d'outils permettant d'évaluer les effets de ces remédiations sur les capacités entraînées. Ceci pourrait être expliqué par le fait que nombre de rééducations reposent encore sur un support « papier/crayon » ne permettant pas un recueil précis et exhaustif des données. L'informatisation de ces outils pourrait permettre d'avoir accès à ces informations. Enfin, ces remédiations s'appuient majoritairement sur une évaluation qualitative par le praticien des progrès de l'enfant. En effet, il manque encore trop souvent des normes étalonnées (*e.g.*, selon un groupe d'âge, un niveau scolaire, un niveau de lecture) des progrès attendus de l'enfant en fonction de la rééducation proposée. Le développement de tels outils serait d'autant plus intéressant que certains chercheurs ont déjà montré que des rééducations centrées sur l'entraînement des capacités de traitement visuo-attentionnel se sont avérées efficaces chez des enfants dyslexiques [52-54]. Des aménagements adaptés cherchant à atténuer le phénomène d'encombrement perceptif ont aussi permis d'améliorer la lecture de certains dyslexiques. L'utilisation du paradigme de la fenêtre mobile [60], consistant à modifier en temps réel ce qui est présenté du texte en fonction de la position de l'œil, a permis d'améliorer les performances en lecture de personnes dyslexiques [79]. De même, Zorzi et collaborateurs [87] ont augmenté l'espacement des lettres d'un mot et des mots d'un texte. Certains enfants dyslexiques, n'ayant pourtant bénéficié d'aucun entraînement préalable, lisaient en moyenne

20% plus vite et faisaient deux fois moins d'erreurs que lorsqu'ils lisaient un texte avec un espacement standard. D'autres pistes d'aide à la lecture pour les dyslexiques restent encore à découvrir.

L'une d'entre elles pourrait consister à développer un programme d'entraînement ayant déjà fait ses preuves sur une population d'enfants lecteurs débutant [53]. Ce programme vise à entraîner la programmation saccadique d'enfants de 8 ans lors du traitement de la langue écrite. Pour ce, les auteurs utilisaient un système d'enregistrement des mouvements oculaires avec un logiciel nommé « OVP game ». Ce dispositif permettait, pendant l'activité de lecture, de renvoyer aux enfants des informations en temps réel sur la position qu'ils étaient en train de fixer. Il leur était alors demandé d'effectuer un réajustement rapide de leur regard pour optimiser le traitement de l'écrit. Cet entraînement s'est révélé bénéfique sur la lecture de liste de mots mais pas sur le traitement de l'ensemble d'un texte. Même si ce programme reste encore à améliorer, par exemple à l'aide du paradigme de la fenêtre mobile [60], et à adapter dans le cadre de la dyslexie, les résultats obtenus ouvrent de nouvelles perspectives dans la prise en charge des difficultés d'acquisition du langage écrit. Une autre piste serait d'améliorer la technique de lecture « Flash » [55], fréquemment utilisée en rééducation. Cette technique consiste à présenter de manière répétée et brève des mots ou des textes sur un écran d'ordinateur. Il est possible de faire l'hypothèse qu'utiliser cette technique en forçant l'attention, et le regard, à se positionner sur la position optimale du regard (*e.g.*, en attirant l'attention par une caractéristique saillante telle que la couleur ou la surbrillance), permettrait d'améliorer les performances en lecture de dyslexiques souffrant d'un déficit des capacités visuo-attentionnelles.

## **Conclusion et perspectives**

Même s'il est rapporté dans la communauté scientifique que seule une faible part d'enfants dyslexiques présente des troubles oculomoteurs et/ou visuo-attentionnels [76],

prendre en considération les particularités de chaque enfant dyslexique semble primordial pour permettre l'accès à la langue écrite au plus grand nombre. Allant dans ce sens, l'entraînement des capacités visuo-attentionnelles et des aménagements palliatifs ciblés ont déjà montré des résultats encourageants chez certains enfants dyslexiques [52-54, 87].

La prise en considération de ces capacités ainsi que le développement de techniques de remédiation adaptées pourrait permettre d'améliorer les compétences en lecture non seulement d'un plus grand nombre d'enfants dyslexiques mais aussi d'enfants souffrant d'autres troubles neuro-développementaux. Par exemple, l'étude de Pauc [70] rapporte que plus de 50% des enfants porteurs d'un trouble spécifique du développement (*e.g.*, dyspraxie, TDA-H) présentaient aussi des déficits oculomoteurs. Outre les troubles développementaux, l'intégrité des processus visuo-attentionnels a aussi été remise en question dans plusieurs pathologies comme l'épilepsie de l'enfant, la prématurité ou les pathologies de la vision [6, 34, 45, 62]. Certains auteurs, comme Kaplan et collaborateurs [45], ont d'ailleurs avancé l'idée que plusieurs troubles des apprentissages seraient des manifestations variables d'un seul et même syndrome<sup>4</sup>. Dans ce contexte, les déficits attentionnels et oculomoteurs pourraient être considérés comme des marqueurs non spécifiques des pathologies neuro-développementales [64].

L'une de ces pathologies, la dyspraxie développementale<sup>5</sup>, semblerait d'ailleurs particulièrement sensible à ces facteurs visuo-moteurs. En effet, Billard et collaborateurs [10] rapportent qu'un strabisme, une perturbation de la vision binoculaire et une altération de la motricité conjuguée sont souvent présents chez les enfants dyspraxiques. En outre, Mazeau [58] a montré que les prématurés peuvent être atteints de troubles praxiques ou oculomoteurs qui

---

<sup>4</sup> Nommé *Atypical Brain Development*.

<sup>5</sup> Selon Mazeau et Le Lostec [59], les dyspraxies sont « un trouble du développement des apprentissages gestuels. Les gestes sont un ensemble de mouvements (de couplages sensori-moteurs), coordonnés dans le temps et dans l'espace dans l'intention de réaliser une action finalisée. On parle de dyspraxie [...] en l'absence d'une déficience mentale et/ou de trouble psychiatrique, et d'un trouble neuromoteur, neurosensoriel, neuromusculaire, alors que l'enfant a été soumis à un apprentissage habituel ».

sont caractérisés notamment par des difficultés de l'organisation et de la structuration spatiale, des difficultés d'attention visuelle et des déficits oculomoteurs. Dans ce cas, ces « dyspraxies du prématuré » sont fréquemment associées à la présence de leucomacies périventriculaires, anomalies qui seraient liées aux conditions inhabituelles de maturation cérébrale et d'expérience environnementale précoce [65]. En France, l'absence de données de référence et d'évaluation des effets de la prise en compte des aspects visuo-moteurs dans la dyspraxie contraste avec l'intérêt qui leur est porté dans la pratique clinique [10]. En effet, les bilans ophtalmologiques, orthoptiques et/ou neurovisuels sont déjà intégrés dans le dépistage et la prise en charge des enfants dyspraxiques [10]. De plus, des rééducations oculomotrices se sont déjà avérées efficaces chez ces enfants [3, 7]. Cependant, ces bilans et prises en charge « visuels » ne semblent pas entièrement satisfaisants puisqu'ils restent focalisés sur des aspects de très bas niveau et ne permettent pas la recherche d'éventuels troubles visuo-attentionnels fréquemment retrouvés dans la dyspraxie de l'enfant [3]. Il est donc particulièrement intéressant de décrire la nature et la prévalence des difficultés visuo-attentionnelles et oculomotrices dans cette population à risque et d'identifier des caractéristiques communes aux troubles développementaux (dyslexie et dyspraxie). Par ailleurs, la population des enfants nés prématurément ayant fréquemment des problèmes d'acquisition scolaire [81] et de traitement visuel inopérant [68], l'oculométrie pourrait jouer un rôle important dans le cadre du dépistage des troubles secondaires, visuo-spatiaux et oculomoteurs, à la prématurité pouvant entraîner un échec scolaire. Certains auteurs se sont d'ailleurs clairement positionnés en faveur de la prise en compte de l'ensemble de ces facteurs visuels pour aborder les troubles des apprentissages dans la pratique clinique [3]. Les recommandations de l'HAS dans le cadre du dépistage individuel<sup>6</sup> de l'enfant vont aussi dans ce sens [74].

---

<sup>6</sup> *Préconisations faites aux médecins généralistes, pédiatres, médecins de l'Éducation Nationale, médecins scolaires et médecins des centres de PMI.*



Rappelons que des difficultés en lecture en début de scolarité seraient présentes chez 5% à 15% des élèves en France [32]. Or, la maîtrise de la lecture est essentielle pour une scolarité réussie puis pour une bonne intégration sociale et professionnelle à l'âge adulte. Ainsi, repérer précocement les enfants susceptibles de présenter des difficultés en lecture permettrait de proposer à ces derniers des pédagogies et des rééducations spécifiques visant à prévenir l'installation de troubles des apprentissages. En vue d'une telle prévention, il est nécessaire d'identifier le maximum de processus conditionnant le bon développement de la lecture. Il existe aujourd'hui nombre d'outils de dépistage évaluant de manière complète le langage oral (*e.g.*, BSEDS [4], ODEDYS [85]). D'ailleurs, actuellement, le programme scolaire sur les pré-requis à la lecture à l'école maternelle repose massivement sur l'entraînement des habilités phonologiques. Compléter les outils actuels de dépistage et de pédagogie en prenant en considération les compétences oculomotrices et visuo-attentionnelles pourrait permettre au plus grand nombre des enfants scolarisés d'accéder à la maîtrise de la langue écrite.

## REFERENCES

1. Aghababian, V., & Nazir, T. (2000). Developing normal reading skills : Aspects of the visual processes underlying word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 123-150.
2. Ans, B., Carbonnel, S., & Valdois, S. (1998). A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 105, 678-723.
3. Arents, A., Berger Martinet, A., Blanc, S., & Niessen, F. (2012). Évaluation ophtalmopédiatrique et orthoptique de l'enfant dyspraxique. *Journal français d'ophtalmologie*, 35, 651-660.
4. Azzano, V., Jacquier-Roux, M., Lepaul, D., Lequette, C., Pougeer, G., & Zorman, M. (2011). *BSEDS Version 4 : Bilan de Santé Evaluation du Développement pour la Scolarité 5 à 6 ans*. Cogni-Sciences IUFM de Grenoble.
5. Badian, N.A. (2005). Does a visual-orthographic deficit contribute to reading disability ? *Annals of Dyslexia*, 55, 28-52.
6. Barkley, R.A. (1997). Behavioral inhibition, sustained attention and executive functions : constructing a unifying theory of ADHD. *Psychological Bulletin*, 121, 65-94.
7. Barray, V., Picard, A., & Camos, V. (2008). Etude comparative de la dyspraxie : évaluation neuropsychologique d'enfants porteurs d'une dyspraxie développementale ou consécutive à la prématurité. *Annales de réadaptation et de médecine physique*, 51, 161-168.
8. Basset-Reyne, P., Metral, E., & Pinazo, A. (2007). *Fenêtre Attentionnelle*. [www.gerip.com](http://www.gerip.com).

9. 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*, 452-460.
10. Billard, C., de Villèle, A., Sallée, A.-S., & Delteil-Pinton, F. (2013). Interprétation du dépistage sensoriel dans les troubles des apprentissages ? Sensory disorders screening in learning disabilities. *Archives de pédiatrie, 20*, 103-110.
11. Biscaldi, M., Gezeck, S., & Stuhr, V. (1998). Poor saccade control correlates with dyslexia. *Neuropsychologia, 36*, 1189-1202.
12. Bishop, D.V.M., Adams, C., Lehtonen, A., & Rosen S. (2005). Effectiveness of computerised spelling training in children with language impairments: a comparison of modified and unmodified speech input. *Journal of Research in Reading, 28*, 144-157.
13. Bois-Parriaud, F. (2006). *Rééducation cognitive de la lecture – voie lexicale & voie phonologique*. Isbergues, France : Ortho Edition.
14. Boutard, C., & Bouchet, M. (2008). *Attention et Mémoire*. Isbergues, France : Ortho Edition.
15. 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.
16. Carret Goutte-Broze, C., Derrier-Coulougnon, C., & Icher-Poulaillon (2005). *Attention mes yeux ; Rééducation du champ visuel fonctionnel avec systématisation des stratégies*. Isbergues, France : Ortho Edition.
17. Cavézian, C., Vilayphonh, M., de Agostini, M., Vasseur V., Watier L., Kazandjian S., Laloum L., & Chokron S. (2010). Assessment of visuo-attentional abilities in young children with or without visual disorder : toward a systematic screening in the general population. *Research in Developmental Disabilities, 31*(5), 1102-1108.

18. Chase, C., & Stein, J. (2003). Visual magnocellular deficits in dyslexia. *Brain*, 126(Pt 9), E2; author reply E3.
19. Chevrie-Muller, C., & Plaza, M. (2001) *N-EEL : Nouvelles épreuves pour l'examen du langage (enfants de 4 à 8 ans)*. Paris : ECPA.
20. Chevrie-Muller, C., Maillart, C., Simon, A.M., & Fournier, S. (2010). *L2MA2 : Batterie langage oral, langage écrit, mémoire, attention – 2ème édition*. Paris : ECPA.
21. Chokron, S., & Marende, C. (2010). *Comment voyons-nous ?* Paris : Le Pommier.
22. Cohen, M.J. (2001). *Echelle de mémoire pour enfants*. Paris : ECPA.
23. Cohen, W., Hodson, A., O'Hare, A., Boyle, J., Durrani, T., McCartney, E., Matthey, M., Naftalin, L., & Watson J. (2005). Effects of computer-based intervention through acoustically modified speech (Fast ForWord) in severe mixed receptive-expressive language impairment: outcomes from a randomized controlled trial. *Journal of Speech Language Hearing Research*, 48, 715-729.
24. Coltheart, M. (1978). Lexical access in simple reading tasks. In Geoffrey Underwood, *Strategies of information processing*. London : Academic Press, 151-216.
25. Cornu-Leyrit, A., & Ruiz-Reixs, C. (2008). *Tâches attentionnelles*. Isbergues, France : Ortho Edition.
26. Ducrot, S. Lété, B., Sprenger-Charolles, L., Pynte, J., & Billard, C. (2003). The viewing position effect in beginning and dyslexic readers. *Current Psychology Letters : Behaviour, Brain and Cognition*, 10(1), 1-13.
27. Ducrot, S., & Lété, B. (2008). Attention et contrôle oculaire en lecture experte. In Michael G. (Ed). *Neurosciences cognitives de l'attention visuelle* (pp. 229-664). Marseille : Solal.

28. Ducrot, S., & Lété, B. (2010). Le développement des capacités visuo-attentionnelles au cours de l'acquisition de la lecture. *Symposium Neuropsychologie de l'Attention de la SFP, Lille, France*, 270-271.
29. Ducrot, S., Lété, B., & Sana, S. (2004). Developmental Changes in the Optimal Viewing Position Effect. *Abstract of the Architectures and Mechanisms for Language Processing Conference* (pp. 73-74), La Baume, France.
30. 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, 287-298.
31. 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.
32. Expertise collective de INSERM. (2007). *Dyslexie, dysorthographe, dyscalculie : bilan des données scientifiques*, Paris : INSERM.
33. Facoetti, A., & Molteni, M. (2001). The gradient of visual attention in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 39, 352-357.
34. Facoetti, A., Lorusso, M.L., Paganoni, P., Cattaneo C., Galli, R., & Mascetti, G.G. (2003). Auditory and visual automatic attention deficits in developmental dyslexia. *Cognitive Brain Research*, 16(2), 185-191.
35. 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), 814-819.
36. Friel-Patti, S., Frome, Loeb D., & Gillam R.B. (2001). Looking ahead : An introduction to five exploratory studies of Fast Forward. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 10, 195-202.

37. Geiger, G., & Lettvin, J. Y. (2000). Developmental dyslexia : A different perceptual strategy and how to learn a new strategy for reading. *Child developmental and disabilities, 26*, 73-89.
38. Geiger, G., Lettvin, J. Y., & Zegarra Moran, O. (1992). Task-determined strategies of visual process. *Cognitive Brain Research, 1*, 39-52.
39. Grainger, J. (2008). Cracking the orthographic code: An introduction. *Language and Cognitive Processes, 23*, 1-35.
40. Hammill, D.D., Pearson, N.A., & Voress, J.K. (2013). *DTVP-3 : Developmental Test of Visual Perception – Third Edition*. Austin : PRO-ED. Inc.
41. Hawelka, S., Gagl, B., & Wimmer H. (2010). A dual-route perspective on eye movements of dyslexic readers. *Cognition, 115*, 367-379.
42. Hook, P.E., Macaruso, P., & Jones S. (2001). Efficacy of fast forward training on facilitating acquisition of reading skills by children with reading difficulties - a longitudinal study. *Annals of Dyslexia, 51*, 75-96.
43. Hutzler, F., & Wimmer, H. (2004). Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language, 89*(1), 235-242.
44. Jainta, S., & Kapoula, Z. (2011). Dyslexic children are confronted with unstable binocular fixation while reading. *PlosOne, 6*, 1-10.
45. Kaplan, B.J., Wilson, B.N., Dewey, D., & Crawford, S.G. (1998). DCD may not be a discrete disorder. *Human Movement Science, 17*, 471-490.
46. Kapoula, Z., Bucci, M.P., Ganem, R., Poncet, S., Daunys, G., & Brémond-Gignac, D. (2008). Free exploration of painting uncovers particular loose yoking of saccades in dyslexic readers. *Dyslexia, 15*(3), 243-259.
47. Kapoula, Z., Bucci, M.P., Jurion, F., Ayoun, J., Afkhami, F., & Brémond-Gignac, D. (2007). Evidence for frequent divergence impairment in French dyslexic children, Deficit

- of convergence relaxation or of divergence per se ? *Graefe's Archives for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 245, 931-936.
48. Kaufman, A.S., & Kaufman, N.L. (2007). *K-Classic, Evaluation informatisée des capacités cognitives et attentionnelles*. Paris : ECPA.
  49. Kaufman, A.S., & Kaufman, N.L. (2008). *KABC II, Batterie pour l'examen psychologique de l'enfant - deuxième édition*. Paris : ECPA.
  50. Khomsi, A., Pasquet, F., & Parbeau-Gueno (2007). *BILO : Bilan informatisé du langage oral. Manuel, matériel, protocoles de notation*. Paris : ECPA.
  51. Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. (2012). *NEPSY II, Bilan neuropsychologique de l'enfant, seconde édition*. Paris : ECPA.
  52. Launay, L., & Valdois S. (2004). Evaluation et prise en charge cognitive de l'enfant dyslexique et/ou dysorthographique de surface, in S. Valdois, P. Coléet, D. David (Eds), *Apprentissage de la lecture et dyslexies développementales : de la théorie à la pratique*, (pp. 209-232). Marseille : Solal.
  53. Lehtimäki, T.M., & Reilly, R.G. (2005). Improving eye movement control in young readers. *Artificial Intelligence Review*, 24, 477-488
  54. Lobier, M., & Valdois S. (2010). Prise en charge des dyslexies développementales : critères d'évaluation. *Revue de Neuropsychologie*, 1, 102-109.
  55. Lorusso M.L., Facoetti A., Paganoni P., Pezzani M., & Molteni M. (2006). Effects of visual hemisphere-specific stimulation versus reading-focused training in dyslexic children. *Neuropsychological Rehabilitation*, 16, 194-212.
  56. Manly, T., Robertson, I.H., Anderson, V., & Mimmo-Smith, I. (2004). *Tea-ch, Test d'évaluation de l'attention chez l'enfant*. Paris : ECPA.
  57. Martelli, M., Di Filippo, G., Spinelli, D., & Zoccolotti, P. (2009). Crowding, reading, and developmental dyslexia. *Journal of Vision*, 9(4), 1-18.

58. Mazeau, M. (1995). *Déficits visuo-spatiaux et dyspraxies chez l'enfant*. Paris : Masson.
59. Mazeau, M., & Le Lostec, C. (2010) *L'enfant dyspraxique et les apprentissages*. Paris : Masson.
60. McConkey, G.W., & Rayner, K. (1975). The span of the effective stimulus during a fixation in reading. *Perception & Psychophysics*, 17, 578-586.
61. Morgan, W. P. (1896). A case of congenital word blindness. *British Medical Journal*, 7, 1378.
62. Muneaux, M. & Ducrot, S. (sous presse). Traitement visuel chez l'enfant prématuré et atteinte du système magnocellulaire/dorsal : Synthèse et Perspectives. *Revue de neuropsychologie française*.
63. Muneaux, M., Ducrot, S., & Bastien-Toniazzo, M. (sous presse). Apprentissage scolaire et handicap : prendre en compte la variété des troubles dyslexiques, une nécessité ! In M. Bastien & M. Jover (Eds.), *Regards croisés : Psychologie et Handicaps*. Presses Universitaires de Provence.
64. Nicolson R.I., & Fawcett A.J. (2007). Procedural learning difficulties: reuniting the developmental disorders? *Trends in Neurosciences*, 30,135-141.
65. Niel-Bernard V. (2011). Troubles visuo-spatiaux de l'enfant né prématurément. *Développements*, 7, 47-52.
66. 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.
67. Organisation Mondiale de la Santé (OMS), CIM-10. (1994). *Classification internationale des troubles mentaux et des troubles du comportement : descriptions cliniques et directives pour le diagnostic*. Paris : Masson.



68. Ortibus, E.L., De Cock, P.P., & Lagae, L.G. (2011). Visual Perception in Preterm Children: What Are We Currently Measuring? *Pediatric Neurology*, 45(1), 1-10.
69. Orton, S. (1937). *Reading, writing and speech problems in children*. New York : Norton.
70. Pauc, R. (2008). The occurrence, identification and treatment of convergence failure in children with dyslexia, dyspraxia, attention deficit disorder (ADD), attention deficit hyperactive disorder (AD/HD), obsessive compulsive disorder (OCD) and Tourette's syndrome. *Clinical Chiropractic*, 11, 130-137.
71. Plaza, M., & Cohen, H. (2007). The contribution of phonological awareness and visual attention in early reading and spelling. *Dyslexia*, 13, 67-73.
72. Pokorni, J.L., Worthington, C.K., & Jamison, J. (2004). Phonological awareness intervention : Comparison of Fast ForWord, Earobics, and LiPS. *Journal of Educational Research*, 97, 147-157.
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.
74. Propositions portant sur le dépistage individuel chez l'enfant de 28 jours à 6 ans, destinées aux médecins généralistes, pédiatres, médecins de PMI et médecins scolaires. (2005). téléchargeable sur [www.has-sante.fr](http://www.has-sante.fr).
75. Ramus, F. (2003). Dyslexie, quoi de neuf? La théorie phonologique... *Ortho Magazine*, 44, 9-13.
76. 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.
77. Rayner, K. (1979). Eye guidance in reading : Fixation location within words. *Perception*, 8, 21-30.

78. Rayner, K. (1986). Eye movements and the perceptual span in beginning and skilled readers. *Journal of Experimental Child Psychology*, 41, 211-236.
79. Rayner, K., Murphy, L.A., Henderson, J.M., & Pollatsek, A. (1989). Selective attentional dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 6(4), 357-378.
80. Rayner, K., Well, A.D., Pollatsek, A. (1980). Asymmetry of the effective visual field in reading. *Perception & Psychophysics*, 27, 537-544.
81. Sayeur, M.S., McKerral, M., & Lassonde, M. (2011) Les troubles cognitifs, comportementaux et d'apprentissage chez les enfants nés prématurément : une revue de littérature. *Neuropsychologia Latinoamericana*, 3(2), 14-22.
82. Stein, J. (2001) The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12-36.
83. Stein, J.F., Riddell, P.M., & Fowler, S. (1988). Disordered vergence control in dyslexic children. *British Journal of Ophthalmology*, 72(3), 162-166.
84. Terepocki, M., Kruk, R.S., & Willows D.M. (2002). The incidence and nature of letter orientation errors in reading disability. *Journal of Learning Disabilities*, 35, 214-233.
85. Valdois, S., Jacquier, M., & et Zorman, M. (2009). *ODEDYS version 2 : Outil de Dépistage des Dyslexies*. Laboratoires Cogni-Sciences IUFM de Grenoble.
86. Wechsler, D. (2005). *Echelle d'intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents, quatrième édition*. Paris : ECPA.
87. 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 Science*, doi: 10.1073/pnas.1205566109.

