



## Recherche sur les troubles du développement

Page d'accueil du journal : [www.elsevier.com/locate/redevdis](http://www.elsevier.com/locate/redevdis)



# L'intervention proprioceptive améliore les performances de lecture dans la dyslexie développementale : Une étude oculométrique

Luc Virlet<sup>a,b</sup>, Laurent Sparrow<sup>a</sup>, Jose Barela<sup>c</sup>, Patrick Berquin<sup>d</sup>, Cedrick Bonnet<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup> Univ. Lille, CNRS, UMR 9193 - SCALab - Sciences Cognitives et Sciences Affectives, F-59000 Lille, France

<sup>b</sup> Univ. Lille, D'epartement de m'edecine g'en'rale, Facult'e de m'edecine, F-59000 Lille, France

<sup>c</sup> Institut des biosciences, Université de l'État de Sa'o Paulo, Rio Claro, Brésil

<sup>d</sup> Service de Neurologie P'ediatrique, GRAFMC INSERM U 1105 CHU Amiens, France

## ARTICLE EN FO

**Mots-clés :** Dyslexie  
développementale  
Mouvement oculaire  
Proprioception  
Dysfonctionnement  
proprioceptif Lecture  
Retour à la normale  
Intégration multisensorielle

## ABSTRACT

La dyslexie développementale se caractérise par des difficultés d'apprentissage de la lecture, affectant la cognition et entraînant un échec scolaire. Les interventions auprès des enfants atteints de dyslexie développementale se sont concentrées sur l'amélioration des capacités linguistiques (phonétique, instructions orthographiques et morphologiques), mais la dyslexie développementale s'accompagne d'une grande variété de déficiences sensorimotrices. L'objectif de cette étude était d'examiner les effets d'une intervention proprioceptive sur les performances de lecture et les mouvements oculaires chez des enfants atteints de dyslexie développementale. Dix-neuf enfants diagnostiqués avec une dyslexie développementale ont été assignés de manière aléatoire à une thérapie orthophonique normale (ST) ou à une intervention proprioceptive et orthophonique (PSI), dans laquelle ils recevaient à la fois la thérapie orthophonique habituelle et une intervention proprioceptive visant à corriger leurs déficiences sensorimotrices (lunettes à prisme, neurostimulation orale, semelles et instructions respiratoires). Les performances de lecture silencieuse et les mouvements oculaires ont été mesurés avant et après l'intervention (au bout de neuf mois). Dans le groupe PSI, les performances de lecture se sont améliorées et les mouvements oculaires étaient plus fluides et plus rapides, atteignant des valeurs similaires à celles des enfants ayant des performances de lecture typiques. La reconnaissance des mots écrits s'est également améliorée, ce qui indique un meilleur accès lexical. Ces résultats montrent que l'ISP pourrait constituer un outil précieux pour l'amélioration de la lecture chez les enfants atteints de dyslexie développementale.

### Qu'apporte ce document ?

Nous confirmons que la proprioception joue un rôle crucial dans l'apprentissage de la lecture. Pour la première fois, les mouvements oculaires ont été utilisés pour valider l'amélioration des capacités de lecture d'enfants atteints de dyslexie développementale. L'intervention proprioceptive a amélioré la fluidité de la lecture silencieuse et à haute voix (lecture plus fluide et plus rapide) et la stabilité de la fixation oculaire (moins de saccades et de fixations). Elle a amélioré à la fois les mouvements oculomoteurs et la procédure cognitive (c'est-à-dire l'accès lexical).

\* Auteur correspondant.

Adresse électronique : [cedrick.bonnet@univ-lille.fr](mailto:cedrick.bonnet@univ-lille.fr) (C. Bonnet).

## 1. Introduction

La dyslexie développementale (DD) se caractérise par des difficultés d'apprentissage de la lecture, affectant à la fois la compréhension et l'expression dans toutes les langues et tous les systèmes d'écriture (Richlan, 2020). La DD se manifeste par des difficultés sévères et persistantes en lecture malgré des capacités cognitives adéquates et des opportunités pédagogiques ou environnementales (Snowling, Hulme & Nation, 2020). Le principal problème de la dyslexie concerne les difficultés de traitement phonologique, c'est-à-dire la capacité à segmenter les mots en leurs sons constitutifs et à associer les lettres à leurs sons, ainsi que la conscience phonologique (c'est-à-dire la capacité à segmenter le discours en petites parties, telles que les syllabes), et les plus petites unités sonores, les phonèmes). Les enfants dyslexiques éprouvent des difficultés dans des tâches telles que la discrimination des sons individuels dans les mots (par exemple, que dit "rose" sans le "p" ?), la reconnaissance des mots qui riment ou la reconnaissance du fait que "chat" et "cerf-volant" commencent par le même son. Mais les enfants dyslexiques ont souvent des difficultés à écrire, la lecture étant considérée comme un élément central de l'écriture dans certains modèles cognitifs du développement de l'écriture. La dyslexie peut se manifester de nombreuses façons dans l'écriture, comme une mauvaise orthographe, une mauvaise lisibilité, l'absence de diversité dans les mots, etc. vocabulaire, un mauvais développement des idées et/ou un manque d'organisation. (Richlan, 2020 ; Snowling, Hulme & Nation, 2020). L'impact des difficultés de lecture est critique, affectant plusieurs capacités cognitives et conduisant à l'échec scolaire et à une image négative de soi en tant qu'apprenant (Wilmot et al., 2023).

La lecture est une tâche complexe qui implique plusieurs mouvements oculaires. Les schémas des lecteurs dyslexiques ressemblent à ceux des lecteurs de romans, avec des fixations plus longues et plus nombreuses, des saccades plus courtes et des rétro-saccades plus fréquentes (Bonifacci et al., 2023). Les enfants atteints de dyslexie développementale présentent également un effet de fréquence plus important que les enfants sains en lecture (Rayner, 1998). Ces troubles de la fixation oculaire peuvent entraîner des difficultés de lecture (Kamel et al., 2022), car les enfants atteints de dyslexie développementale peuvent ne pas fixer leur regard dans la position optimale et avoir besoin de fixer à nouveau des parties spécifiques du texte (Aghababian & Nazir, 2000). Cette déficience peut empêcher l'identification fluide et peu coûteuse des mots et nécessiter un effort cognitif plus important pour reconnaître les mots. L'enregistrement des mouvements oculaires est donc utile pour examiner et comprendre les déficits de lecture chez les enfants dyslexiques et pour concevoir des interventions potentielles au niveau oculaire.

Les interventions classiques auprès des enfants atteints de dyslexie développementale se sont concentrées sur l'amélioration des capacités de lecture (phonétique, instructions ortho-graphiques et morphologiques, (Toffalini et al., 2021), essentiellement sans tenir compte des autres déficiences. Cependant, ces enfants ne présentent pas seulement de faibles capacités de lecture : ils sont souvent peu performants dans les tâches sensori-motrices (Nicolson et al., 1999), le contrôle postural (Barela et al., 2011 ; Viana et al., 2013 ; Razuk & Barela, 2014), le traitement des différences visuomotrices (de Freitas et al., 2014) avec un couplage sensoriel et moteur déficient (Barela et al., 2011 ; Viana et al., 2013) et une prédition motrice déficiente (van de Walle de Ghelcke et al., 2021). Un dysfonctionnement proprioceptif a également été observé (Da Cunha & Da Silva, 1986 ; Laprevotte et al., 2021 ; Quercia et al., 2007) en association avec un trouble de l'intégration multisensorielle d'ordre spatial (Roll et al., 1991 ; Quercia et al., 2015) et perceptif (Quercia et al., 2020). Lorsque la proprioception est altérée, comme dans la RD, le tonus musculaire est généralement asymétrique et la posture se détériore progressivement (Barela et al., 2011 ; Viana et al., 2013 ; Razuk & Barela, 2014). Cela entraîne des tensions musculaires, en particulier au niveau des globes oculaires, qui se traduisent par un manque de convergence ou une instabilité de la perception visuelle (Quercia et al., 2020). Enfin, les processus d'accès lexical (Rayner, 1998), qui se mettent en place suite à l'acquisition d'informations visuelles, sont plus susceptibles d'échouer si le percept visuel est dégradé ou instable. Cela explique pourquoi la précision, la fluidité, le décodage, la reconnaissance et même la compréhension sont tous affectés. Les interventions chez les enfants atteints de dyslexie développementale doivent donc se concentrer non seulement sur les troubles de la lecture, mais aussi sur ces autres aspects.

Ces dernières années, en France, des chercheurs et des cliniciens ont proposé une intervention globale appelée intervention proprioceptive (Quercia et al., 2007 ; Quercia et Marino, 2017), qui vise à corriger les troubles de l'intégration multisensorielle spatiale (c'est-à-dire principalement la stimulation du trijumeau et le travail sur la respiration diaphragmatique, (Quercia et al., 2015) au lieu de se concentrer sur les problèmes d'écriture et de lecture. Cette intervention a été examinée par un récent rapport de l'INSERM qui a conclu qu'elle était sûre et qu'elle devrait être testée plus avant (Gueguen et al., 2016). À notre connaissance, aucune étude publiée n'a expliqué la qualité de la lecture en termes de mouvements oculaires et de troubles proprioceptifs. Certaines études se sont intéressées aux mouvements oculaires chez des enfants atteints de dyslexie développementale (Handler et al., 2011 ; Committee on Children With Disabilities American Academy of Pediatrics, 1998), mais pas, à notre connaissance, avec une approche proprioceptive. Quelques autres études se sont penchées sur les interventions visuelles sans résultats convaincants enfants atteints de dyslexie développementale, mais sans approche proprioceptive (Handler et al., 2011 ; Committee on Children With Disabilities American Academy of Pediatrics, 1998). C'est pourquoi nous avons mené cette expérience pour tester l'efficacité d'une intervention proprioceptive en complément de la thérapie orthophonique. Nous avons enregistré les mouvements oculaires pour mesurer la vitesse de lecture silencieuse avant et après les interventions. Sachant que les enfants atteints de dyslexie développementale ont des difficultés à lire à haute voix, nous avons préféré leur demander de ne pas parler, et les mouvements oculaires ont donc été nécessaires pour suivre leur lecture.

L'objectif de cette étude était donc d'examiner les effets de l'intervention proprioceptive sur les performances de lecture et les mouvements oculaires chez les enfants atteints de dyslexie développementale.

Notre principale hypothèse était qu'il devrait améliorer les performances de lecture, ce qui devrait être lié à l'amélioration des mouvements oculaires.

## 2. Méthodes

### 2.1. Les participants

Tous les enfants de cette étude étaient de langue maternelle française. Les enfants ayant reçu un diagnostic de dyslexie développementale (American Psychiatric Association, 2013) ont été invités à participer à l'étude par des orthophonistes. En France, le diagnostic de dyslexie développementale est posé par un orthophoniste et nécessite la présence d'un retard de lecture pathologique (déterminé par des tests standardisés, par exemple le test Alouette-R (Lefavrais, 2005), Tim'e 3 (Ecalle, 2004) qui a résisté à l'intervention orthophonique pendant plus d'un an, sans troubles auditifs ou visuels (c'est-à-dire des tests oto-rhino-laryngologiques et ophtalmologiques normaux), une intelligence normale ( $QI > 70$ ) et l'absence de troubles psychiatriques ou neurologiques. Chaque enfant DD a été soumis à un test d'évaluation de suivi standard par l'orthophoniste.

Les DD ont été suivis par un thérapeute (test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005), qui est le gold standard français pour la lecture de texte, voir définition dans la session suivante). Lors de l'inclusion, les DD ont été vus par un médecin formé aux troubles neurodéveloppementaux qui a vérifié les critères d'inclusion des enfants atteints de dyslexie développementale âgés de 9 à 14 ans, la confirmation d'une lecture pathologique de plus de 2 DS, le fait d'avoir bénéficié d'une prise en charge orthophonique.

depuis plus de deux ans, avec une vision normale ou une vision normale corrigée avec une correction inférieure à + /-1,5 dioptries, et la

absence de comorbidité pour les troubles pathologiques du langage (c'est-à-dire la dysphasie), les troubles de l'attention (c'est-à-dire le TDHA), les troubles de la coordination

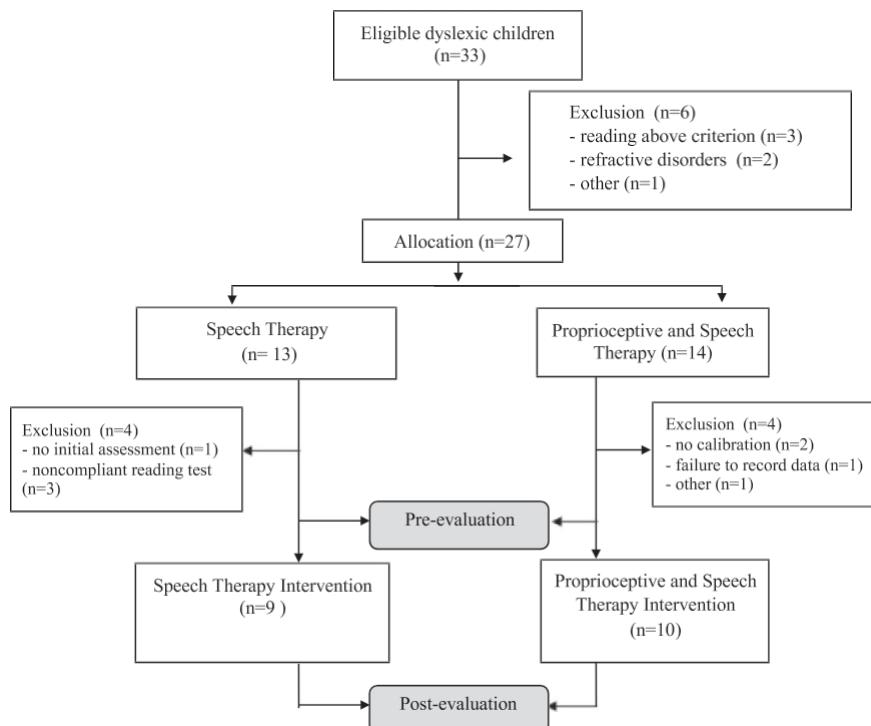
(i.e. DCD), et des troubles psychiatriques ou neurologiques. Trois des 19 enfants inclus n'avaient pas de test d'intelligence, mais l'examen médical d'inclusion et leur capacité à suivre une scolarité normale malgré leur retard de lecture pathologique ont permis d'exclure tout retard intellectuel. Nous avons choisi des critères d'inclusion plus stricts que les critères du DSM-V (APA, 2013), afin de nous assurer qu'il s'agissait bien d'enfants atteints de dyslexie développementale. Un organigramme de la définition et de la répartition de l'échantillon est présenté à la [figure 1](#). Trente-trois enfants diagnostiqués avec une dyslexie développementale ont été retenus pour participer à cette étude. Après la sélection initiale, 27 enfants atteints de dyslexie développementale ont été répartis de manière aléatoire dans l'un des deux groupes suivants : le groupe "orthophonie" (ST) et le groupe "intervention proprioceptive et vocale" (PSI). Cependant, seuls 19 enfants ont suivi l'ensemble de la procédure et ont été considérés comme l'échantillon final ([Fig. 1](#)).

Pour comparer l'évolution de la lecture silencieuse au cours des neuf mois, nous avons comparé les mouvements oculaires d'enfants typiques du même âge chronologique avec ceux de nos enfants atteints de dyslexie développementale (c'est-à-dire les groupes ST et PSI). Nous n'avons pas obtenu l'autorisation du comité d'éthique pour mesurer leur QI, ont également été inclus dans l'étude. Les caractéristiques physiques et autres informations concernant les deux groupes dyslexiques et le groupe témoin sont présentées dans le [tableau 1](#).

La procédure expérimentale a été réalisée conformément à la Déclaration d'Helsinki et approuvée par le Comité d'éthique (Comité d'éthique et de protection des personnes du Nord-Ouest IV-français. Enregistré sur [www.clinicaltrials.gov](http://www.clinicaltrials.gov) : NCT03448237). Les participants et leurs parents ont donné leur consentement éclairé par écrit avant l'expérience et ont reçu un compte rendu complet à la fin de l'étude.

## 2.2. Tests utilisés

Le test de l'Alouette-R (Lefavrais, 2005) a été réalisé par les orthophonistes des enfants comme test initial d'inclusion. Les enfants devaient lire à haute voix un texte de 265 mots aussi rapidement que possible, dans un délai de trois minutes. Le texte était composé de mots réels présentés dans des phrases sans signification mais grammaticalement et syntaxiquement correctes. Le test permet de mesurer la vitesse et est normalisé pour les enfants âgés de 9 à 14 ans. Il fournit un score standardisé exprimé en termes d'âge de lecture. Comme critère d'inclusion, les enfants devaient se situer à deux écarts-types en dessous de la moyenne de la population normale.



**Fig. 1.** Organigramme de l'étude.

**Tableau 1**

Âge, niveau de lecture (en écart-type), sexe et quotient intellectuel pour le groupe de logopédie (ST), le groupe d'intervention proprioceptive et vocale (PSI) et le groupe de contrôle.

	Groupe d'orthophonie	Groupe d'intervention proprioceptive et vocale	Groupe de contrôle
Âge (mois)	136.3 $\pm$ 14.2	143.7 $\pm$ 14.7	129.6 $\pm$ 10.75
Hommes (%)	6(66%)	7(70%)	5(55%)
Femmes (%)	3(33%)	3(30%)	4(45%)
Quotient intellectuel	100.28 $\pm$ 9.41	98.87 $\pm$ 12.6	na

### 2.3. Procédures

Après avoir rempli toutes les conditions, les enfants ont été invités à une première visite au cabinet du médecin. Après que leurs parents ont signé le formulaire de consentement éclairé, les enfants ont été invités à une première visite au cabinet du médecin.

Après avoir reçu le formulaire de consentement, ils ont été invités à s'asseoir dans une pièce faiblement éclairée, avec un écran plat CRT SVGA de 19 pouces (résolution d'écran de 1024  $\times$  768 pixels, taux de rafraîchissement de 60 Hz) et un eye-tracker (EyeLink 1000 - SR Research) placé sur une table en face d'eux. Il leur a été demandé de reposer leur tête sur une mentonnière et des instructions écrites ont été affichées sur le moniteur.

Afin de familiariser les enfants avec le dispositif expérimental et les procédures, une séance d'entraînement a été réalisée avec un court texte suivi d'une série de questions, tous deux créés à l'aide d'E-PRIME 2.0 (Richard & Charbonneau, 2009 ; Schneider et al., 2012). Ils avaient pour consigne de lire à un rythme normal, en prêtant attention au sens du texte. Après cette phase de familiarisation, une croix de fixation est apparue dans le coin supérieur gauche et les participants ont été invités à la fixer. Lorsque la position de leurs yeux était alignée avec la croix, cette dernière disparaissait et une courte histoire en français s'affichait à l'emplacement de la croix. Lorsque les participants avaient fini de lire le texte, ils devaient fixer une autre croix dans le coin inférieur droit de l'écran. Lorsque la position de leur œil l'atteignait, le texte disparaissait et l'essai était terminé.

La nouvelle en français contenait 134 mots. Après avoir lu le texte expérimental, les enfants devaient répondre à cinq questions pour vérifier s'ils avaient compris le contenu du texte. Chaque question comportait quatre réponses possibles, dont une seule était exacte.

Suite à cette évaluation initiale, les enfants atteints de dyslexie développementale des groupes ST et PSI ont bénéficié d'une rééducation orthophonique en fonction de leurs besoins, selon les Recommandations de bonnes pratiques (Collège Français d'Orthophonie, 2022) fournies par leurs orthophonistes. Cette thérapie a consisté en un minimum de 25 séances (d'une demi-heure chacune) au cours des neuf mois suivants, soit une séance par semaine, en tenant compte des vacances, conformément à la pratique française. Les orthophonistes traitent les enfants dyslexiques en essayant de augmenter leur capacité à segmenter les mots en sons, c'est-à-dire à accroître leur conscience phonologique. Pour ce faire, ils disposent d'une gamme d'exercices standardisés. Des exemples d'exercices couramment utilisés par les orthophonistes francophones sont présentés dans Pomm'ee et al. (2022). Les enfants du groupe PSI ont bénéficié de la rééducation orthophonique habituelle et ont également reçu une intervention proprioceptive, visant à corriger les troubles de l'intégration multisensorielle spatiale (Quercia et al., 2015 ; Quercia & Marino, 2012). Elle combinait l'utilisation de leurres somatosensoriels agissant par le nerf trijumeau (Chen et al., 2022) par des prismes actifs (Quercia et al., 2015) par neurostimulation orale (Alfredo et al., 1999) ; de leurres somatosensoriels agissant par les chaînes proprioceptives par stimulation tactile avec des semelles proprioceptives (Loureau et al., 2023) ; et des consignes de respiration (Bahamnam et al., 1999). La procédure d'intervention proprioceptive pour les prismes actifs est bien décrite en détail dans "The distinctive vertical heterophoria of dys-lexics". (Quercia et al., 2015, p 1787-1789). Après cette prescription initiale, la correction des troubles de l'intégration multisensorielle spatiale par l'intervention proprioceptive a été vérifiée à deux, quatre et six mois post-intervention. Des corrections ont été effectuées chez trois enfants, deux en adaptant les prismes et un en adaptant la stimulation neurosensorielle orale. Après la période de neuf mois, les enfants des deux groupes ont repassé le test Alouette-R, administré par leur orthophoniste. Ils ont également effectué le test de lecture avec des mesures de suivi oculaire. La procédure était exactement la même que lors du test initial. Pour garantir le respect de l'éthique, l'intervention proprioceptive a été mise à la disposition des enfants du groupe ST à la fin de l'étude.

### 2.4. Variables dépendantes

Après la collecte des données, les résultats du test Alouette-R ont été utilisés pour examiner les performances des enfants en lecture. Le nombre de mots correctement lus pendant la période de trois minutes a été calculé et les valeurs standardisées du test Alouette-R ont été utilisées en fonction de l'âge des enfants. Les résultats ont été calculés en termes d'écart-type des performances de lecture (Lefavrais, 2005) et de gain de performance, c'est-à-dire la différence entre le pré-test et le post-test.

Les mouvements oculaires ont été examinés à l'aide des variables suivantes : durée de la première fixation (DFP), durée du regard (DPS) et amplitude des saccades (AS). La durée de première fixation correspond à la durée de la fixation initiale d'un mot lorsqu'on l'aborde par la gauche (c'est-à-dire lorsque le mot n'a pas encore été sauté), ce qui représente un indice de l'étape visuelle de bas niveau qui sous-tend la lecture et qui n'est pas affectée par la reconnaissance des mots (Pollatsek, Reichle & Rayner, 2006). GD représente la somme de toutes les fixations consécutives de premier passage effectuées sur un mot avant un mouvement oculaire vers un autre mot (c'est-à-dire l'accès lexical, qui correspond au temps de reconnaissance des mots). Enfin, l'AS a été calculée comme la distance parcourue par l'œil entre deux fixations dans le texte. Ces trois variables ont été calculées et obtenues avec le logiciel DataViewer® eye-tracking

(SR-Reseach). Les saccades et les fixations ont été définies en termes de seuils de mouvement, d'accélération et de vitesse, en utilisant les critères par défaut implémentés dans le logiciel EyeLink (un seuil de vitesse de  $30^{\circ}$  /sec et un seuil d'accélération de  $8000^{\circ}$  /sec $^2$  ont été utilisés).

## 2.5. Analyse statistique

En l'absence d'études antérieures sur l'évaluation des interventions proprioceptives en lecture silencieuse, nous avons utilisé les données de la lecture orale pour évaluer la taille de l'échantillon en fonction de la puissance a priori. Pour la qualité de la lecture dans le test Alouette-R (Lefavrais, 2005), nous avons choisi d'utiliser l'indice C (nombre de mots correctement lus) car il présente la variable la plus affectée par le niveau de lecture. Pour un risque de première espèce de 0,05 et une puissance de 0,90, le nombre de participants par groupe était de 12 (calculé avec epiR package 0.9-30, Stevenson et al., 2017). Nous avons choisi d'exclure certains participants dont les données d'eye tracking et de test Alouette-R n'étaient pas valides, de sorte que sur les 24 initialement prévus, seuls 19 ont été comptabilisés (Fig. 1. Organigramme de l'étude). Nos analyses statistiques ayant fourni des résultats significatifs, nous n'avions aucune raison d'exécuter le nombre de participants requis, comme le suggérait l'analyse de la puissance statistique.

La normalité des échantillons (test de Shapiro-Wilk) et l'homogénéité de la variance (test de Levene) ont été vérifiées pour les variables dépendantes des mouvements oculaires dans les trois groupes (PSI, ST et contrôles). En outre, des tests t ont été utilisés pour examiner les performances lors de la lecture à haute voix.

Pour les données d'oculométrie, une analyse de variance 3 (groupe : STI, ST, C) X 2 (moment du test : pré-test, post-test) a été effectuée sur les variables dépendantes (durée de la première fixation, durée du regard et amplitude de la saccade).

## 3. Résultats

### 3.1. Performance en lecture

En termes de gain de performance, nous avons trouvé une différence dans les résultats du post-test. Les enfants du groupe ST ont eu un gain de performance significativement plus faible (-0,93) que ceux du groupe PSI (+1,16),  $t(17) = -2,23$ ,  $p = 0,042$ ,  $d$  de Cohen = 0,99 (Tableau 2). Ceci montre que les enfants ayant bénéficié de l'intervention proprioceptive ont amélioré leur niveau de lecture mesuré par le test Alouette-R, alors que les enfants ayant bénéficié de l'intervention proprioceptive ont amélioré leur niveau de lecture mesuré par le test Alouette-R.

les enfants qui n'en bénéficient pas stagnent.

### 3.2. Mouvement des yeux

L'examen initial des mouvements oculaires a montré un changement significatif dans les schémas de mouvements oculaires chez les enfants du groupe PSI, mais pas chez les enfants du groupe ST. La figure 2 illustre ce schéma pendant la lecture chez un enfant du groupe PSI avant et après l'intervention. Une analyse qualitative de ce participant a clairement montré que ses mouvements oculaires se sont améliorés après l'intervention proprioceptive. En fait, il/elle a montré des durées de regard beaucoup plus courtes et une plus grande amplitude des saccades, ce qui a permis une lecture beaucoup plus fluide. Fig. 3.

#### 3.2.1. Durée de la première fixation

Au pré-test, le DFP était similaire entre les lecteurs dyslexiques du groupe ST (322 ms) et ceux du groupe PSI (326 ms),  $F(1,25) = 0,01$ ,  $p = 0,9$ , et les deux groupes ont montré un DFP significativement plus long que les lecteurs du groupe de contrôle (235 ms),  $F(1,25) = 10,16$ ,  $p = 0,004$ . Au post-test, le DFP ne différait pas entre les deux groupes de dyslexiques (ST=289 ms et **PSI=274** ms),  $F(1,25) = 0,3$ ,  $p = 0,58$ ),  
bien que les enfants dyslexiques des deux groupes aient présenté un DFP plus court qu'au pré-test. Enfin, aucun des deux groupes de dyslexiques ne diffère des lecteurs normaux ( $F(1,25) = 3,38$ ,  $p = 0,08$ ).

#### 3.2.2. Durée du regard

La figure 4 illustre les résultats globaux de la GD chez les enfants dyslexiques des deux groupes (ST et PSI) au pré-test et au post-test, ainsi que la GD chez les lecteurs normaux. Au pré-test, l'écart général était similaire entre les lecteurs dyslexiques du groupe ST (556 ms) et ceux du groupe PSI (539 ms),  $F(1,25) = 0,07$ ,  $p = 0,7$ , et les deux groupes présentaient un écart général significativement plus long que les lecteurs normaux (319 ms),  $F(1,25) = 18,30$ ,  $p = 0,0002$ ). Au post-test, la GD était plus courte chez les

Les enfants du groupe PSI ont montré un GD plus long (376 ms) que ceux du groupe ST (467 ms),  $F(1,25) = 4,94$ ,  $p = 0,03$ ). En outre, les enfants du groupe ST présentaient toujours un GD plus long que les lecteurs normaux ( $F(1,25) = 13,34$ ,  $p = 0,002$ ), tandis que les enfants du groupe PSI présentaient un GD similaire à celui des lecteurs normaux ( $F(1,25) = 1,91$ ,  $p = 0,18$ ).

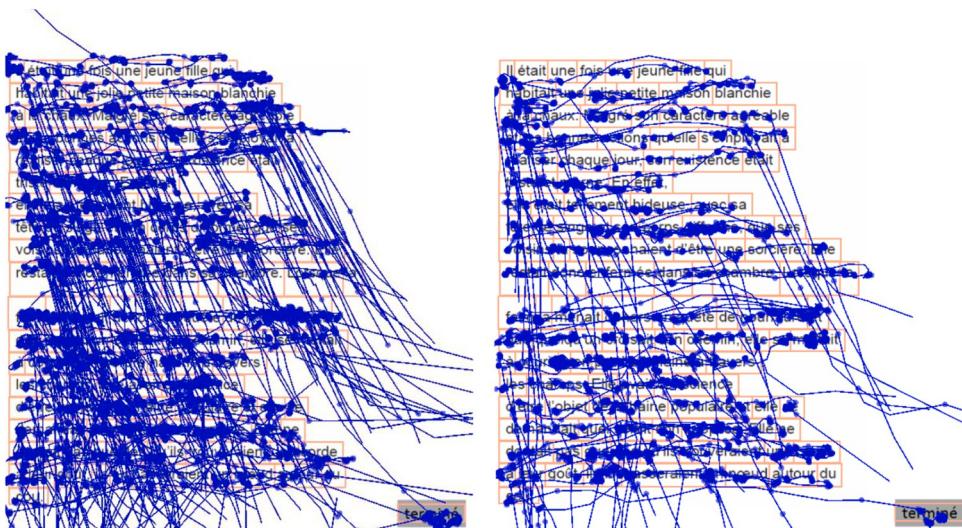
#### 3.2.3. Amplitude de la saccade

La figure 5 illustre l'amplitude des saccades dans les deux groupes d'enfants atteints de dyslexie développementale (ST et PSI) avant et après le test, ainsi que chez les lecteurs normaux. Au pré-test, l'amplitude des saccades était similaire entre les lecteurs dyslexiques des groupes ST (2,87°) et PSI (2,93°),  $F(1,25) = 0,11$ ,  $p = 0,74$ , et elle était significativement plus faible dans les deux groupes que chez les lecteurs normaux (3,34°,  $F(1,25) = 18,30$ ,  $p = 0,001$ ). Au post-test, l'AS était plus grande dans le groupe PSI (3,42°) que dans le groupe ST (2,94°,  $F(1,25) = 4,94$ ,  $p = 0,05$ ). Alors que les enfants du groupe ST présentaient toujours une amplitude de saccade inférieure à celle du groupe témoin ( $F(1,25) = 5,11$ ,  $p = 0,03$ ), les enfants du groupe PSI présentaient un GD similaire à celui du groupe ST ( $F(1,25) = 4,94$ ,  $p = 0,05$ ).

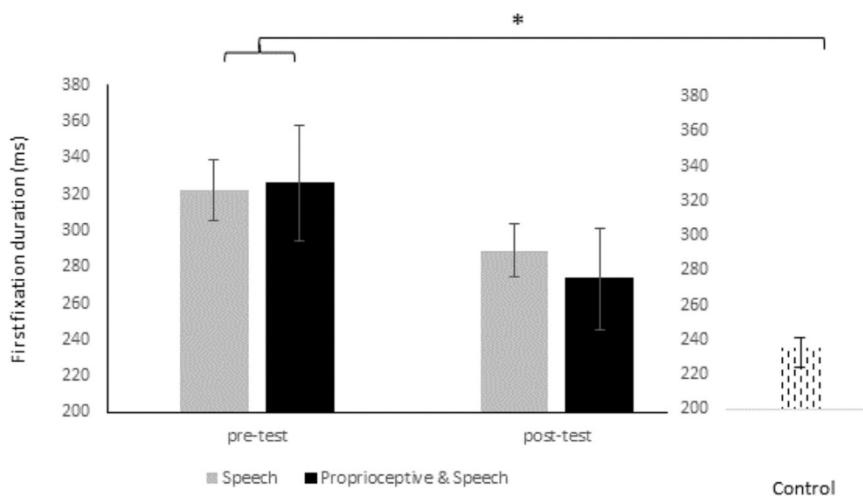
## Tableau 2

Moyenne et écart-type des performances en lecture (écart-type du test C-index Alouette-R) et gain de performance dans le groupe orthophonie et dans le

	Groupe d'orthophonie	Groupe d'intervention proprioceptive et vocale	p	Cohen's d
Pré-test	-2.830.65	-2.992.22	0834	0098
Post-test	-3.76 1.87	-1.83 1.92	0050	0967
Gain de performance	-0.93.56	+ 1.16 <b>±2.47</b>	0044	0999



**Fig. 2.** Mouvements oculaires d'un enfant du groupe d'intervention proprioceptive et vocale pendant la lecture avant (panneau de gauche) et après (panneau de droite) l'intervention.



**Fig. 3.** Moyenne et erreur standard de la première fixation chez les enfants dyslexiques des groupes orthophonie et intervention proprioceptive et vocale lors des évaluations pré et post-test. Moyenne et erreur standard pour la première fixation dans le groupe témoin (à droite).

observée chez les lecteurs normaux ( $F(1,25) = 0,01$ ,  $p = 0,90$ ).

### 3.3. Réponses aux questions

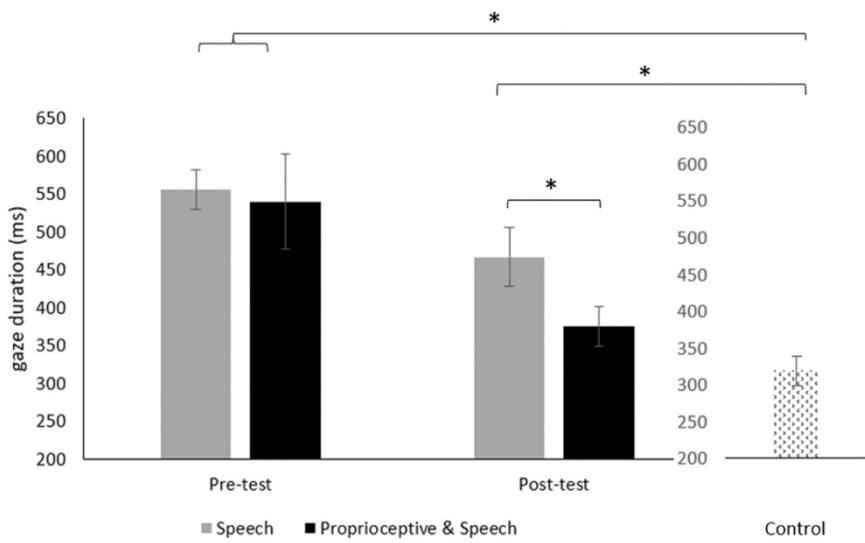
Le taux de réponses correctes aux cinq questions après la lecture est resté statistiquement inchangé pour les groupes ST (57 % à 47 %,  $t(7) = 0,9$ ,  $p = 0,38$ ) et PSI (53 % à 41 %,  $t(8) = 0,88$ ,  $p = 0,39$ ), à la fois avant et après l'intervention. Ces résultats étaient inférieurs à ceux des lecteurs normaux, qui ont obtenu un taux beaucoup plus élevé de réponses correctes (91 %, tous les  $p = 0,005$ , pour toutes les comparaisons d'enfants avec dyslexie développementale et les témoins au pré-test et au post-test).

### 3.4. Événements indésirables

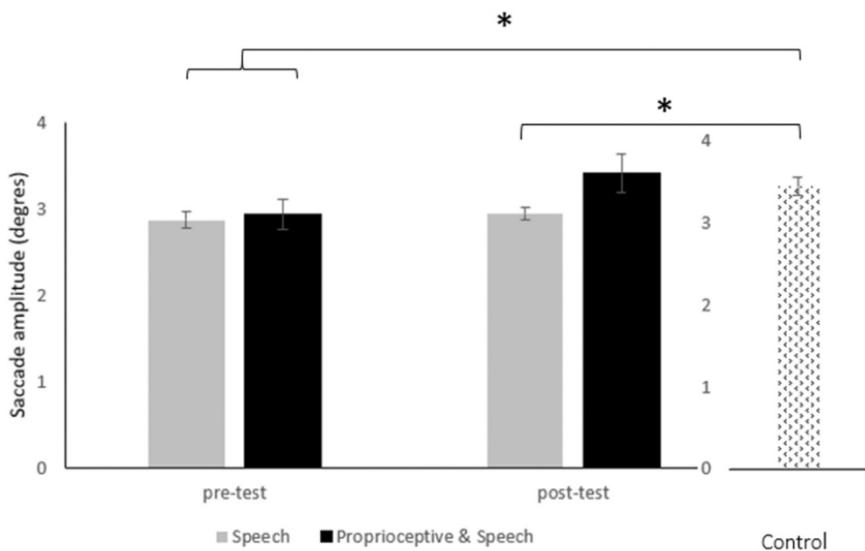
Nous n'avons pas identifié d'événements indésirables, ni constaté d'abandon de la part des enfants.

## 4. Discussion

L'objectif de cette étude était de tester les effets d'une intervention proprioceptive sur les performances de lecture et les mouvements oculaires chez les enfants de moins de 18 ans.



**Fig. 4.** Moyenne et erreur standard de la durée du regard chez les enfants dyslexiques des groupes orthophonie et intervention proprioceptive et orthophonique lors des évaluations pré et post-test. Moyenne et erreur standard de la durée du regard dans le groupe témoin (à droite).



**Fig. 5.** Moyenne et écart-type de l'amplitude des saccades chez les enfants dyslexiques des groupes orthophonie et intervention proprioceptive et vocale lors des évaluations avant et après le test. Moyenne et écart-type de l'amplitude des saccades dans le groupe témoin (à droite).

enfants atteints de dyslexie développementale. Nos résultats ont validé notre hypothèse initiale en montrant une amélioration des performances de lecture et des mouvements oculaires chez les enfants atteints de dyslexie développementale qui ont participé à l'intervention proprioceptive. Ces résultats et leurs implications sont discutés ci-dessous.

Le principal résultat de cette étude est que les enfants atteints de dyslexie développementale peuvent améliorer leurs capacités de lecture grâce à une intervention proprioceptive. C'est la première fois que l'effet d'une telle intervention sur les performances de lecture silencieuse est prouvé. Il s'agit certainement d'une nouvelle étape importante dans la prise en charge des enfants atteints de dyslexie développementale. La DD est principalement liée à des problèmes de lecture et d'écriture, mais, comme de nombreux chercheurs l'ont déjà suggéré, elle peut également englober des difficultés plus générales (Snowling et al., 2020). Nos résultats montrent que ces dernières peuvent être réduites par une intervention proprioceptive spécifique.

Une telle intervention est un processus global, visant à corriger les troubles de l'intégration multisensorielle spatiale (Quercia et al., 2007 ; Quercia et Marino, 2017). Nos résultats confirment l'efficacité d'une intervention proprioceptive sur les compétences de lecture dans la dyslexie développementale (Quercia et al., 2007 ; Quercia et al., 2012, 2015 ; Sampaio et al., 2009), les problèmes attentionnels (Quercia et al., 2011) et l'automatique (i. e., double tâche) (Vieira et al., 2009). Pour la première fois chez des enfants atteints de dyslexie développementale, ils montrent que l'action de la stimulation trigéminal sur la proprioception (Chen et al., 2022) améliore les saccades, la prédiction motrice (van de Walle de Ghelcke et al., 2021), les fonctions cognitives visuelles (i.e.,



2023). On sait que la capacité de lecture est sous-tendue par des mouvements oculaires complexes et fins (Franzen et al., 2021). Nos résultats montrent clairement une amélioration des mouvements oculaires pendant la lecture chez les enfants qui ont participé à l'intervention proprioceptive (cf. Fig. 2). Avant l'intervention, les mouvements oculaires étaient désorganisés (Fig. 2, panneau de gauche), alors qu'après l'intervention, le regard était beaucoup plus clair et moins erratique (Fig. 2, panneau de droite). A notre connaissance, notre étude est la première à montrer une telle amélioration des mouvements oculaires après une intervention proprioceptive.

Après l'intervention proprioceptive, les enfants atteints de dyslexie développementale avaient une durée de regard réduite et une amplitude de saccade plus importante que leurs pairs qui n'avaient pas participé à l'intervention. Les enfants du groupe PSI ont montré des résultats similaires à ceux du groupe de contrôle (Fig. 1, Tableau B). L'amplitude des saccades est généralement indexée sur la difficulté de la lecture : elle diminue lorsque le texte est difficile et augmente lorsque le texte est facile (Rayner, 1998). Nous pouvons donc suggérer que nos données (diminution de la GD et augmentation de l'amplitude des saccades) sont cohérentes avec une amélioration de la lecture dans le groupe PSI uniquement. Ces résultats sont également en accord avec des résultats récents montrant que l'amélioration de la lecture due à la manipulation des couleurs chez des enfants atteints de dyslexie développementale est associée à l'amélioration des mouvements oculaires (Razuk et al., 2018). Il est intéressant de noter qu'une intervention proprioceptive ne modifie pas directement les schémas de mouvements oculaires, mais les modifie indirectement au moyen d'un changement général au niveau multisensoriel (Quercia et al., 2015). En conséquence, les enfants atteints de dyslexie développementale peuvent lire plus rapidement et avec plus de fluidité.

Nous proposons un modèle proprioceptif de la dyslexie qui se focalise sur les mécanismes d'intégration sensorielle et de lecture automatique. La présence d'un trouble de l'intégration multisensorielle perceptive et spatiale (Quercia et al., 2020 ; Quercia et al., 2015) associé à un dysfonctionnement proprioceptif perturberait les processus impliqués dans la création des percepts auditifs et visuels nécessaires à la reconnaissance des sons, des lettres, des mots et à la conscience phonologique, et perturberait les processus impliqués dans la lecture automatique (Vieira et al., 2009) à trois niveaux. Elle la perturberait au niveau de la prédiction (i.e. saccades visuelles), au niveau du contrôle cérébelleux (i.e. comparaison entre la copie des efférences (Munuera & Duhamel, 2020) et le feedback proprioceptif) et au niveau de la consolidation (i.e. lors du transfert de la mémoire procédurale à court terme vers la mémoire procédurale à long terme pendant le sommeil paradoxal (Torres et al., 2021 ; Hedenius et al., 2021)).

Il convient toutefois de mentionner certaines limites de notre étude. La première limite est que nous n'avons pas pu évaluer le QI des enfants normo-lecteurs. La deuxième limite est que nous sommes partis d'un échantillon de 27 enfants recrutés par des orthophonistes pour atteindre la population cible de 24 enfants (taille de l'échantillon calculée en fonction de la puissance), mais seuls 19 ont suivi la procédure complète, ce qui explique cet échantillon plus petit (voir Fig. 1). La troisième limite est que l'évaluation de l'intervention proprioceptive était globale, et que nous n'avons pas évalué les sous-interventions telles que le sommeil (Gorgoni et al., 2020 ; Guilleminault & Pelayo, 1998 ; Torres et al., 2021). Nous prévoyons de le faire dans une prochaine étude.

La DD se caractérise par une résistance à l'intervention, comme le confirment nos résultats pour la lecture orale et silencieuse, qui stagne pour le groupe ST. Nos résultats confirment l'efficacité de l'ajout d'une intervention proprioceptive sur les capacités de lecture des enfants atteints de dyslexie développementale par l'analyse des mouvements oculaires (Quercia et al., 2007 ; Quercia et al., 2015 ; Sampaolet al., 2009 ; Quercia et Marino, 2012). De telles interventions devraient donc être mises en œuvre pour améliorer les enfants atteints de dyslexie développementale en menant, conformément aux résultats précédents, une intervention proprioceptive à long terme avec un groupe de contrôle, ce qui est maintenant nécessaire pour confirmer les présents résultats.

## Rôle de la source de financement

Ce travail a été soutenu par la Fédération de Recherche en Sciences Visuelles et Cultures (FR CNRS 2052 SCV) et par une aide financière de l'Agence Nationale de la Recherche dans le cadre du Programme d'Investissement d'Avenir (référence : ANR-21-ESRE-0030 - Equipex+ Con-tinuum). L'achat des lunettes et des semelles nécessaires à ce travail a été financé par les dons de l'association Collectif PEPS, qui a été dissoute.

## Déclaration de contribution des auteurs du CRedit

**Jose Barela** : Rédaction - révision et édition, Rédaction - version originale, Visualisation, Validation. **Laurent Sparrow** : Rédaction - révision et édition, Rédaction - version originale, Visualisation, Validation, Supervision, Conceptualisation, Analyse formelle, Acquisition de fonds, Investigation, Méthodologie, Administration de projet, Ressources, Logiciel. **Luc Virlet** : Conceptualisation, Curation de données, Analyse formelle, Investigation, Méthodologie, Administration de projet, Ressources, Logiciels, Supervision, Validation, Visualisation, Rédaction - version originale, Rédaction - révision et édition. **Patrick Berquin** : Rédaction - révision et édition. **Cedrick T Bonnet** : Rédaction - révision et édition, Rédaction - version originale, Visualisation, Validation, Supervision, Administration de projet, Méthodologie.

## Disponibilité des données

Les données seront mises à disposition sur demande.

## Remerciements

Merci à Anne Deprey, Delphine Douce Florence Durieu, et Dorothe'e Pollart, orthophonistes,<sup>16,17,18</sup> pour leur temps et leur implication dans la mise en place de cette étude. Merci aux 22 orthophonistes pour leur participation à ce travail et merci aux familles et aux enfants dyslexiques d'avoir accepté de participer à cette étude en sachant qu'il y avait une randomisation.

## Données

Le protocole et les données sont disponibles sur demande auprès de l'auteur correspondant.

## Divulgation

Les auteurs ne font état d'aucun conflit d'intérêt dans le cadre de ce travail.

## Références

Aghababian, V. et Nazir, T. A. (2000). Developing normal reading skills : Aspects of the visual processes underlying word recognition. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76(2), 123-150. <https://doi.org/10.1006/jecp.1999.2540>

Alfredo, Marino, Philippe, Villeneuve, & Pierre-Marie, Gagey (1999). Réflexes posturaux stomatognathiques. *Posture and gait*, 9(Sup1).

Association psychiatrique américaine. (2013). *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux Fith* (DSM-5-TR 5e édition).

Bahamnam, A. S., Tate, R., Manfreda, J. et Kryger, M. H. (1999). Upper airway resistance syndrome : effet de nasal dilation. *Sleeping Stage, and Sleeping Position Sleeping*, 22(5), 592-598. <https://doi.org/10.1093/sleep/22.5.592>

Barela, J. A., Dias, J. L., Godoi, D., Viana, A. R. et de Freitas, P. B. (2011). Contrôle postural et automatité chez les enfants dyslexiques : The relationship between visual information and body sway. *Research in Developmental Disabilities*, 32(5), 1814-1821. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2011.03.011>

Bonifacci, P., Tobia, V., Sansavini, A. et Guarini, A. (2023). Eye-movements in a text reading task : A comparison of preterm children, children with dyslexia and typical readers. Article 3. *Brain Sciences*, 13(3). <https://doi.org/10.3390/brainsci13030425>

Chen, Y., Gong, X., Ibrahim, S. I. A., Liang, H. et Zhang, J. (2022). Innervations convergentes des neurones mésencéphaliques des noyaux trigéminal et vestibulaire sur les neurones oculomoteurs et pré-oculomoteurs - Traçage du trajet et triple marquage chez les rats. *Plos One*, 17(11), Article e0278205. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278205>

Colle'ge Français d'Orthophonie. (2022). Recommandations de bonnes pratiques pour l'évaluation, la prévention et la remédiation des troubles du langage écrit chez les enfants.

Enfants et adultes. Méthode : Recommandations de consensus formalisées. Paris. [https://www.college-francais-orthophonie.fr/wp-content/uploads/2022/03/RECOIS\\_LE.pdf](https://www.college-francais-orthophonie.fr/wp-content/uploads/2022/03/RECOIS_LE.pdf)

Comité sur les enfants handicapés Académie américaine de pédiatrie, Académie américaine d'ophtalmologie et Association américaine d'ophtalmologie pédiatrique et de strabisme. (1998). Troubles de l'apprentissage, dyslexie et vision : A Subject Review. *Pediatrics*, 102(5), 1217-1219. <https://doi.org/10.1542/peds.102.5.1217>

Da Cunha, H., & Da Silva, O. (1986). [Le syndrome de déficience posturale. Son importance en ophtalmologie]. *J Fr Ophtalmo*, 9, 747-755 (Google Scholar).

de Freitas, P. B., Ped"ao, S. T. et Barela, J. A. (2014). Traitement visuomoteur et coordination de la force de la main chez les enfants dyslexiques au cours d'une tâche de manipulation guidée visuellement. Article 10. *Research in Developmental Disabilities*, 35(10). <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.06.002>

Ecalle, J. (2004). De l'évaluation en lecture : 'étude préliminaire 'à l'élaboration d'un nouveau test en identification de mots écrits. *Tim'e-3 Approche Neuropsychologique des Apprentissages chez l'Enfant*, 79, 296-304. <https://www.anarevue.com/app/download/7768778881/ANAE+N%20+79%20+Octobre+2004+-+Volume+16+.pdf?t=1616417768>

Franzen, L., Stark, Z. et Johnson, A. P. (2021). Les personnes atteintes de dyslexie utilisent une stratégie d'échantillonnage visuel différente pour lire un texte. Article 1. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84945-9>

Gorgoni, M., Scarbelli, S., Reda, F. et de Gennaro, L. (2020). Sleep EEG oscillations in neurodevelopmental disorders without intellectual disabilities (oscillations EEG du sommeil dans les troubles neurodéveloppementaux sans déficience intellectuelle). *Sleeping Medicine Reviews*, 49, Article 101224. <https://doi.org/10.1016/j.smrv.2019.101224>

Gueguen, J., Hassler, C., & Falissard, B. (2016). Évaluation Délelō t l'efficacité Délután traitement proprioceptif Délelō t Louisiana dyslexie. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24523.69924>

Guilleminault, C. et Pelayo, R. (1998). Sleep-disordered breathing in children (Troubles respiratoires du sommeil chez l'enfant). *Annals of Medicine*, 30(4), 350-356. <https://doi.org/10.3109/07853899809029934>

Handler, S. M., Fierson, W. M., & the Section on Ophthalmology and Council on Children with Disabilities, American Academy of Ophthalmology, American Academy of Ophthalmology, American Academy on Children with Disabilities. Association pour l'ophtalmologie pédiatrique et le strabisme, et Association américaine des orthoptistes certifiés. (2011). Troubles d'apprentissage, dyslexie et vision. *Pediatrics*, 127(3), e818-e856. <https://doi.org/10.1542/peds.2010-3670>

Hedenius, M., Lum, J. A. G. et Bo"te, S. (2021). Altérations de la consolidation de la mémoire procédurale chez les enfants atteints de dyslexie développementale. *Neuropsychology*, 35(2), 185-196. <https://doi.org/10.1037/neu0000708>. Epub 2020 Nov 19. PMID : 33211512.

Kimel, E., Lieder, I. et Ahissar, M. (2022). Repeated series learning revisited with a novel prediction on the reduced effect of item frequency in dyslexia (L'apprentissage en séries répétées revisité avec une nouvelle préiction sur l'effet réduit de la fréquence des items dans la dyslexie). Article 1. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16805-z>

Laprévote, J., Papaxanthis, C., Saltarelli, S., Quercia, P. et Gaveau, J. (2021). Les seuils de détection des mouvements révèlent des déficiences proprioceptives dans la dyslexie développementale. Article 1. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79612-4>

Lefavrais, P. (2005). *Alouette-R : test d'analyse de la vitesse en lecture à partir d'un texte*. Editions du centre de psychologie appliquée.

Loureau, S., Poulin, R., Cappe, C., & Janin, M. (2023). Les variations tactiles plantaires influencent-elles les Héterophories Verticales. *Movement & Sport Sciences - Science & Motricité*. <https://doi.org/10.1051/sm/2023015>

Munuera, J. et Duhamel, J. R. (2020). The role of the posterior parietal cortex in saccadic error processing (Le rôle du cortex pariétal postérieur dans le traitement des erreurs saccadiques). *Brain Struct Funct*, 225(2), 763-784. <https://doi.org/10.1007/s00429-020-02034-5>. Epub 2020 Feb 17. PMID : 32065255.

Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., Berry, E. L., Jenkins, I. H., Dean, P. et Brooks, D. J. (1999). Association of abnormal cerebellar activation with motor learning difficulties in dyslexic adults (Association d'activation cérébelleuse anormale avec des difficultés d'apprentissage moteur chez les adultes dyslexiques). Article 9165. *The Lancet*, 353(9165). [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(98\)09165-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(98)09165-X)

Pollatsek, A., Reichle, E. D., & Rayner, K. (2006). Tests du modèle E-Z Reader : Exploring the interface between cognition and eye-movement control. Article 1. *Cognitive Psychology*, 52(1). <https://doi.org/10.1016/j.cogpsych.2005.06.001>

Pomme'e, T., Balaguer, M., Mauclier, J., Pinquier, J., & Woisard, V. (2022). Évaluation des troubles de la parole chez l'adulte : état des lieux et besoins en pratique clinique francophone. *Logopédie Phoniatrie Vocologie*, 47(2), 92-108. <https://doi.org/10.1080/14015439.2020.1870245>

Quercia, P., Demougeot, L., Dos Santos, M. et Bonnetblanc, F. (2011). L'intégration des signaux proprioceptifs et la capacité d'attention pendant le contrôle postural sont altérées mais susceptibles d'être améliorées chez les enfants dyslexiques. *Experimental Brain Research*, 209(4), 599-608. <https://doi.org/10.1007/s00221-011-2593-3>

Quercia, P., & Marino, A. (2012, mai). Impact de la modification du Maddox postural sur l'**Identification** des mots écrits chez le dyslexique. (Impact de la modification du Maddox postural sur l'identification des mots écrits chez le dyslexique.) [Communication affichéees]. CEN STIMCO (centre expertise national en stimulation cognitive), Dijon. [http://www.dysproprioception.fr/documents\\_pdf/12\\_DYS\\_10.pdf](http://www.dysproprioception.fr/documents_pdf/12_DYS_10.pdf)

Quercia, P., & Marino, A. (2017). Oeil et Bouche Capteur r'etino-trige'min'e, Manuel Pratique. (Capteur r'etino-trige'min'e de l'œil et de la bouche, Manuel Pratique.) (Ed. Française).

Quercia, P., Pozzo, T., Marino, A., Guillemant, A. L., Cappe, C. et Gueugneau, N. (2020). Les enfants dyslexiques ont une altération du traitement cross-modal liée à la fusion binoculaire. une étude pilote. *Clinical Ophthalmology*, 14, 437-448. <https://doi.org/10.2147/OPHTHS226690>

Quercia, P., Quercia, M., Feiss, L. J., & Allaert, F. (2015). L'hétérophorie verticale distinctive des dyslexiques. *Clinical Ophthalmology (Auckland, N Z)*, 9, 1785-1797.

Quercia, P., Seigneuric, A., Chariot, S., Bron, A., Creuzot-Garcher, C., & Robichon, F. (2007). [Modifications de la proprioception induites par le port de lunettes prismatiques chez des enfants souffrant de dyslexie développementale]. *Journal Français D'ophtalmologie*, 30(4), 380-389. [https://doi.org/10.1016/s0181-5512\(07\)89608-2](https://doi.org/10.1016/s0181-5512(07)89608-2)

Rayner, K. (1998). Eye movements in reading and information processing : 20 ans de recherche. Article 3. *Psychological Bulletin, 124*(3). <https://doi.org/10.1037/0033-2909.124.3.372>

Razuk, M. et Barela, J. A. (2014). Dyslexic children suffer from less informative visual cues to control posture. *Research in Developmental Disabilities, 35*(9), 1988-1994. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2014.03.045>

Razuk, M., Perrin-Fievez, F., Gerard, C. L., Peyre, H., Barela, J. A., & Bucci, M. P. (2018). Effet des filtres colorés sur les capacités de lecture chez les enfants dyslexiques. *Research in Developmental Disabilities, 83*, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.07.006>

Richard, L. et Charbonneau, D. (2009). Une introduction à E-Prime. Article 2. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 5*(2). <https://doi.org/10.20982/tqmp.05.2.p068>

Richlan, F. (2020). La neuroanatomie fonctionnelle de la dyslexie développementale à travers les langues et les systèmes d'écriture. *Frontiers in Psychology, 11*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2020.00155>

Roll, R., Velay, J. L. et Roll, J. P. (1991). Eye and neck proprioceptive messages contribute to the spatial coding of retinal input in visually oriented activities. *Experimental Brain Research, 85*(2), 423-431. <https://doi.org/10.1007/BF00229419>

Sampaio, P. R., Lamas, F. M. et da Silva, J. U. (2009). Prismatic lenses and developmental dyslexia. *Pediatria (Sao Paulo), 31*(4), 227-233. Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2012). *E-Prime User's Guide*. Pittsburgh : Psychology Software Tools, Inc.

Snowling, M. J., Hulme, C. et Nation, K. (2020). Définir et comprendre la dyslexie : Past, present and future. Article 4. *Oxford Review of Education, 46*(4). <https://doi.org/10.1080/03054985.2020.1765756>

Stevenson, M., Nunes, T., Heuer, C., Marshall, J., Sanchez, J., Thornton, R., Reiczigel, J., Robison-Cox, J., Sebastiani, P., & Solymos, P. (2017). Outils pour l'analyse des données épidémiologiques. *Paquet EpiR : CRAN*.

Toffalini, E., Giofre', D., Pastore, M., Carretti, B., Fraccadori, F. et Szűcs, D. (2021). Études sur le traitement de la dyslexie : Une revue systématique et des suggestions pour tester l'efficacité du traitement avec de petits effets et de petits échantillons. *Behavior Research Methods, 53*(5), 1954-1972. <https://doi.org/10.3758/s13428-021-01549-x>

Torres, A. R., Mota, N. B., Adamy, N., Naschold, A., Lima, T. Z., Copelli, M., Weissheimer, J., Pegado, F. et Ribeiro, S. (2021). L'inhibition sélective de l'invariance du miroir pour les lettres consolidées par le sommeil double la fluidité de la lecture. *Current Biology, 31*(4), 742-752.e8. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.11.031>

van de Walle de Ghelcke, A., Skoura, X., Edwards, M. G., Quercia, P. et Papaxanthis, C. (2021). Action representation deficits in adolescents with developmental dyslexia. *Journal of Neuropsychology, 15*(2), 215-234. <https://doi.org/10.1111/jnp.12220>

Viana, A. R., Razuk, M., Freitas, P. B. de, & Barela, J. A. (2013). Intégration sensorimotrice chez les enfants dyslexiques sous différentes stimulations sensorielles. *PLOS ONE, 8*(8), Article e72719. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0072719>

Vieira, S., Quercia, P., Michel, C., Pozzo, T. et Bonnefond, F. (2009). Les exigences cognitives altèrent le contrôle postural dans la dyslexie développementale : Un effet négatif qui peut être compensé. *Neuroscience Letters, 462*(2), 125-129. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.06.093>

Wilmot, A., Hasking, P., Leitão, S., Hill, E. et Boyes, M. (2023). Comprendre la santé mentale dans la dyslexie développementale : A Scoping Review. Article 2. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 20*(2). <https://doi.org/10.3390/ijerph20021653>

Zhao, Z., Ahissar, E., Victor, J. D. et Rucci, M. (2023). Inférer l'espace visuel à partir d'une connaissance extra-rétinienne ultra-fine de la position du regard. Article 1. *Nature Communications, 14*(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-023-35834-4>