

■ Le dossier – Dysproprioception

Dysproprioception et dyslexie : état de la recherche

RÉSUMÉ : Les enfants dyslexiques présentent un déficit proprioceptif marqué, affectant leur contrôle moteur, leur perception spatiale sensorielle et leur intégration multisensorielle, notamment entre audition et vision. Une prise en charge adaptée améliore leur stabilité corporelle, leurs capacités attentionnelles et leur niveau de lecture en trois mois. Les troubles spatiaux s'expriment par la présence d'une micro-hétérophorie verticale ayant des caractères très spécifiques, liée à un tonus anormal des muscles obliques et par une perception modifiée de l'espace péripersonnel. Des altérations visuelles induites par l'audition ou des modifications proprioceptives directes renforcent l'idée d'une interaction anormale entre proprioception et intégration multisensorielle. Un questionnaire permet d'évaluer efficacement le risque de dyslexie en détectant des signes de dysproprioception. La qualité du sommeil, essentielle aux apprentissages, est altérée chez les dyslexiques en raison d'un trouble proprioceptif nocturne affectant la fonction diaphragmatique. Ce lien entre proprioception et dyslexie suggère une redéfinition du trouble comme une pathologie du sommeil d'origine proprioceptive, également responsable de troubles attentionnels. Le traitement proprioceptif combiné à l'orthophonie est plus efficace que l'orthophonie seule.



P. QUERCIA

Ophtalmologiste libéral, BEAUNE.
Chercheur associé unité 1093 INSERM Cognition,
action et plasticité sensorimotrice.

La dyslexie est définie comme un trouble durable de l'apprentissage de la lecture, survenant en dépit d'une intelligence normale, de l'absence de déficits sensoriels ou neurologiques avérés, et d'un environnement scolaire et socioculturel adéquat. Le retard de lecture résiste aux interventions (pédagogiques, rééducatives). Elle affecte environ 10 % des enfants scolarisés.

Son étiologie reste un mystère, bien que l'hypothèse dominante repose sur un déficit au niveau de la conscience phonologique, c'est-à-dire la capacité à percevoir, manipuler et se représenter les sons du langage. Ce déficit phonologique perturberait l'association entre les sons (phonèmes) et les lettres ou groupes de lettres (graphèmes). Les tenants de la théorie de la conscience phonologique anormale soutiennent que c'est un trouble cognitif unique et causal de la dyslexie, déconnecté de toute contingence sensorimotrice. Les parti-

cularités sensorielles auditives, visuelles et motrices présentes avec le trouble de la lecture sont considérées comme des comorbidités [1]. Il y aurait un facteur génétique qui provoquerait un trouble du développement cérébral.

En 2007, un rapport de l'INSERM soulignait l'absence de propositions thérapeutiques réellement efficaces malgré une riche base théorique. Une approche alternative propose que la dysproprioception joue un rôle central dans la genèse des troubles de lecture. En 2016, un autre rapport de l'INSERM concluait à la nécessité d'apporter des preuves au rapport entre proprioception et dyslexie.

Cet article présente les résultats de recherches menées sur la proprioception et son implication dans les processus d'automatisation chez l'enfant dyslexique au sein de l'Unité INSERM 1093 Cognition, Action et Plasticité Sensorimotrice de l'Université de

Bourgogne Europe et de l'Unité SCALab 9193 du CNRS de l'Université de Lille. Elles mettent en lumière des implications neurophysiologiques et des perspectives thérapeutiques innovantes.

Dysproprioception et dyslexie

L'hypothèse proprioceptive postule que la dysproprioception impacte les processus d'automatisation, dont ceux nécessaires à la lecture. Elle repose sur plusieurs observations :

- la présence systématique de troubles sensori-moteurs bien particuliers chez les enfants dyslexiques ;
- l'effet de l'intervention proprioceptive sur ces troubles sensorimoteurs et sur les processus d'automatisation, notamment ceux de la lecture ;
- la corrélation entre le déficit proprioceptif et les difficultés phonologiques qui perdent leur statut causal pour devenir un signe clinique cognitif au milieu d'autres signes cliniques que le clinicien ne peut identifier s'il se limite à l'étude des troubles de la lecture.



Fig. 1 : Mesure répétée de l'acuité proprioceptive du bras par ergomètre numérique en laboratoire. L'enfant est isolé de toute stimulation sonore et visuelle et l'absence de mouvement volontaire du bras est contrôlée par un EMG de surface. Il doit signaler (appui sur la poire en main gauche) le moment où il détecte le mouvement de son bras créé par l'appareil.

L'hypothèse proprioceptive est confortée par les mesures de l'acuité proprioceptive à l'aide d'ergomètres numériques en laboratoire qui ont permis de mettre en évidence un déficit marqué et systématique de la proprioception chez les enfants dyslexiques, corrélé à la sévérité des troubles de lecture et aux capacités phonologiques [2]. Nos résultats soutiennent indéniablement l'hypothèse selon laquelle des mécanismes neuro-naux endommagés sont à l'origine de troubles sensoriels généralisés dans la dyslexie et pas seulement de troubles phonologiques (fig. 1).

Signes subjectifs du syndrome de dysfonction proprioceptive chez l'enfant dyslexique

L'évaluation clinique des capacités proprioceptives chez les enfants dyslexiques repose sur des mesures de contrôle moteur, de localisation spatiale sensorielle (visuelle) et d'intégration multisensorielle. Une place importante est donnée à l'évaluation de la qualité du sommeil en raison de l'importance du rôle de la proprioception dans la gestion de la respiration diaphragmatique pendant le sommeil paradoxal.

Devant chacun des symptômes, indiquez le chiffre correspondant à la fréquence :	
Inscrire un score en face de chaque question : 1 = Jamais, 2 = Occasionnellement (1 ou 2 fois/mois), 3 = Parfois (1 à 2 fois/semaine), 4 = Souvent (3 à 5 fois par semaine), 5 = Tous les jours.	
15 questions auxquelles doivent répondre les PARENTS (après avoir bien examiné le sommeil de leur enfant)	SCORE
L'enfant sursaute ou bouge des parties du corps quand il s'endort.	
L'enfant a des scènes agitées de rêve éveillé lors de l'endormissement.	
L'enfant bouge beaucoup les jambes quand il dort ou change souvent de position pendant la nuit ou donne un coup de pied aux couvertures du lit.	
Vous avez observé que votre enfant est somnambule.	
Votre enfant a des cauchemars (terreurs) dont il ne se souvient pas le lendemain matin.	
Il a de grosses difficultés à se réveiller le matin.	
L'enfant se sent incapable de se déplacer, se sent très fatigué, en se réveillant le matin.	
L'enfant est somnolent dans la journée (s'endort facilement en voiture, calme,...).	
L'enfant salive beaucoup la nuit ou il existe des traces de bave sur l'oreiller le matin.	
L'enfant se plaint d'avoir mal à la tête le matin.	
L'enfant respire la bouche ouverte en dormant.	
L'enfant fait encore pipi ou se lève souvent la nuit pour aller aux toilettes.	
L'enfant a du mal à se souvenir des leçons apprises la veille au soir (alors qu'il les savait le soir).	
L'enfant a tendance à être un peu endormi par moment à l'école.	
L'enfant a une position anormale de la tête en dormant (tête basculée en arrière et en extension).	

Tableau I : Questionnaire.

Le dossier – Dysproprioception

19 questions auxquelles doit répondre l'ENFANT	
Dimension musculaire	
Te sens-tu fatigué même si tu n'as pas fait d'effort physique ou intellectuel ?	
C'est difficile pour toi de rester sans rien faire ?	
Tu as mal à la tête le soir en sortant de l'école ?	
Tu as des douleurs qui se répètent dans le bas ou le haut du dos ?	
Cela t'arrive d'avoir mal aux jambes ?	
C'est difficile pour toi de fixer un texte (ou une personne) de près ?	
Il t'arrive de voir double de près à la fatigue, après avoir lu un texte ?	
Tu es vite essoufflé quand tu fais un effort (par exemple dès que tu cours) ?	
Tu vois flou de près, après avoir lu quelques lignes (avec tes lunettes, si tu en as) ?	
Dimension spatiale	
C'est difficile pour toi de marcher sur quelque chose d'étroit (une poutre par exemple) ?	
C'est difficile pour toi d'attraper un objet du premier coup- une balle par exemple ?	
Tu tombes facilement, tu te tords facilement les chevilles ?	
Tu te mords facilement la langue ou les joues en mangeant ?	
Tu te cognes dans des obstacles simples (chambranles de porte par exemple, ...) comme si tu ne percevais pas bien l'espace autour de toi ?	
Dimension perceptive	
Tu as l'impression de lire sans comprendre ce que tu lis ?	
Tu as du mal à te concentrer longtemps ?	
Quand on te parle, tu as l'impression de ne pas bien comprendre ce que tu entends ?	
Quand tu lis, tu as l'impression de ne pas bien voir : tu sautes des mots, tu rates des retours à la ligne, ... ?	
C'est difficile pour toi d'exprimer une idée en parlant et tu as du mal à bien construire tes phrases ?	
SCORE TOTAL – Inscrire la SOMME des scores des 34 questions	
Note : ce questionnaire ne permet pas de porter un diagnostic. Il est seulement un outil utile pour orienter le thérapeute dans le cadre particulier de la dyslexie. D'autres signes de dysfonction proprioceptive peuvent exister. Il est le fruit d'une évaluation statistique réalisée par la société de biostatistiques Cen Biotech à partir de données recueillies par 13 professionnels de santé chez 109 enfants dyslexiques et 110 enfants normo lecteurs dans le cadre de la formation universitaire "Perception, Action et Troubles des Apprentissages (PATA)", organisée par le laboratoire Cognition, Action et Plasticité Sensorimotrice de l'Université de Bourgogne (INSERM U1093) – Pr Thierry Pozzo et Dr Patrick Quercia, co-directeurs. Il a été financé par AF3dys et Wikidys Formation. Ce document est en accès libre pour les professionnels de santé. Son contenu est protégé par copyright et ne doit pas être modifié.	

Tableau I: Questionnaire (suite).

L'analyse comparative des manifestations cliniques subjectives ressenties par les enfants dyslexiques permet une distinction nette avec les enfants normolecteurs. Une étude multicentrique menée auprès de 103 enfants dyslexiques et 110 enfants normolecteurs âgés de 8 à 12 ans a évalué la prévalence de 71 signes cliniques diurnes et nocturnes fréquemment rapportés par les enfants dyslexiques et recueillis sur plus de 15 000 examens cliniques. Cette analyse a conduit à l'élaboration d'un questionnaire de 34 items avec un scoring permettant une différenciation flagrante entre les deux groupes (**tableau I**). Un score total supérieur à 80 est associé à un risque multiplié par 29 d'être un enfant dyslexique.

Il est remarquable de noter que cette étude met en évidence une **différenciation très marquée entre les groupes au niveau des symptômes nocturnes**. De manière notable, plus de 30 % des parents d'enfants dyslexiques interrogés présentaient un traitement par pression positive nocturne pour des apnées du sommeil, bien que leur âge moyen était seulement de 43 ans en moyenne.

Automatisation sensorimotrice et dyslexie

La régulation posturale et le maintien de l'équilibre sont des modèles d'automatisation sensorimotrice bien étudiés et logiquement, c'est dans ces domaines que les relations entre déficit proprioceptif et dyslexie ont été étudiées en premier. Des études avaient déjà établi un lien entre stabilité corporelle et dyslexie, évoquant une atteinte cérébelleuse et vestibulaire comme cause possible [3]. Nos travaux ont confirmé la **présence d'un syndrome de dysfonction proprioceptive (SDP) clinique chez tous les enfants dyslexiques testés** [4]. L'évaluation de l'équilibre sur plateforme de force a aussi révélé des altérations significatives, exacerbées en présence de tâches visuo-attentionnelles [5].

Des études interventionnelles ont montré que la prise en charge proprioceptive, incluant l'utilisation de prismes, de semelles spécifiques et d'exercices de reprogrammation ergonomique et respiratoire, améliore les capacités posturales et attentionnelles [6]. Ainsi, après seulement trois mois de traitement, les capacités de stabilisation de l'équilibre des enfants dyslexiques deviennent comparables à celles des normo-lecteurs. Il en est de même des capacités attentionnelles en double tâche [7] (**fig. 2**).



Fig. 2 : Examen des capacités attentionnelles chez 123 enfants en modifiant la proprioception des chevilles par des vibreurs à 70 Hz.

Le trouble moteur ne se résume pas à des difficultés de contrôle postural. La représentation de l'action motrice au niveau cérébral évaluée en imagerie motrice est altérée [8].

Perception spatiale et intégration multisensorielle

La dyslexie est également associée à une **altération de la perception spatiale**. L'utilisation du test de Maddox vertical, qui exacerbe le rôle de la proprioception dans le contrôle de la vision binoculaire en raison des possibilités très limitées de contrôle musculaire à partir de la copie d'efférence, a permis d'identifier un type de micro-hétérophorie verticale très particulier, systématique chez les enfants dyslexiques [9]. Indépendante du type de dyslexie, modifiable par des variations sensorielles sur les capteurs sensoriels à distance ou à partir de la proprioception des muscles paravertébraux (labilité), cette hétérophorie est toujours de très faible valeur ($0,25$ à $0,75\Delta$) et suppose un matériel adéquat pour être détectable. Malgré sa discrétion, le patient ne

parvient jamais à la compenser par des efforts volontaires.

Il en est de même avec l'utilisation de prismes verticaux de très faible puissance qui ne permettent jamais de gérer la labilité, contrairement à des prismes obliques agissant sur les muscles obliques inférieurs le plus souvent. Associée à une cyclotorsion subjective et objective, elle pourrait représenter la traduction verticale d'un déséquilibre tonique des muscles obliques. Sa régulation parfaite demande très souvent une action complémentaire à partir de stimulations proprioceptives directes ou ciblées à distance au niveau podal ou oral [10].

La mesure des mouvements oculaires lors de leurs variations subjectives ne concordent pas toujours avec les déplacements réels. L'hypothèse qu'il s'agisse d'une erreur de perception spatiale, correspondant à ce qu'obtenait Roll en modifiant la proprioception à distance, fait que l'on parle de Maddox Perceptif, exprimant ainsi son caractère plus sensoriel que mécanique [11] (**fig. 3**).

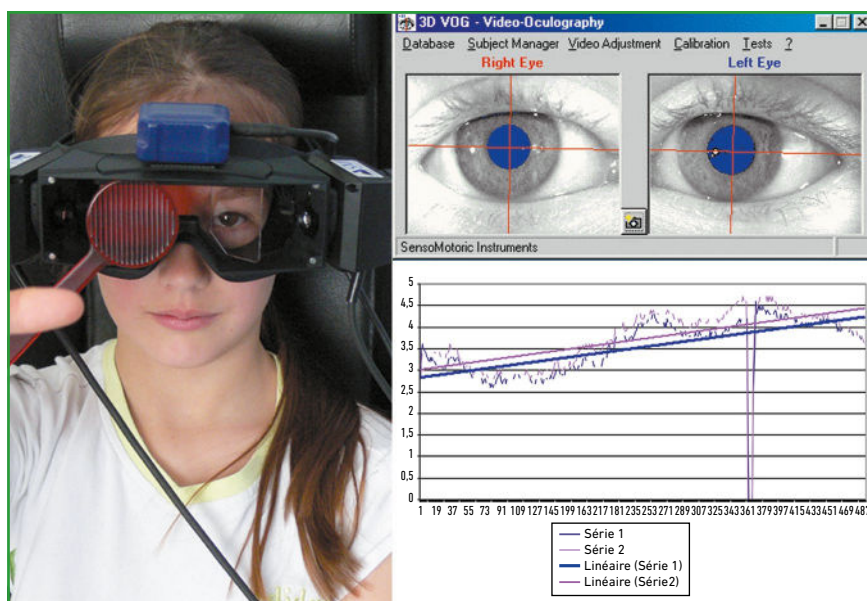


Fig. 3 : La patiente doit indiquer avec le pouce la position du trait rouge du Maddox sur la lumière alors qu'il modifie une information à distance, par exemple une stimulation orale du V2. Les déplacements de l'œil sont étudiés en enregistrant le déplacement de l'iris. La courbe montre un parallélisme des deux yeux alors que l'enfant signale que le trait a bougé.

Le dossier – Dysproprioception

Des réductions de l'empan visuo-attentionnel ont également été observées en parallèle à ces phories. Cependant, les auteurs n'ont pas exploré un possible lien avec un trouble proprioceptif. Pourtant, des études montrent que l'attention visuelle est influencée par la proprioception des muscles oculaires [12].

Les dyslexiques présentent par ailleurs une perception différente de l'espace péripersonnel. Dans les champs latéraux, la négligence physiologique est remplacée par une négligence inverse alors qu'il apparaît des zones particulières de négligence dans le champ du regard primaire en vision de près [13, 14].

Dyslexie et intégration multisensorielle

L'apprentissage de la lecture repose sur **l'automatisation du couplage entre phonèmes et graphèmes**. Dans cette optique, nous avons examiné l'influence des stimulations auditives sur la perception visuelle lorsque la proprioception oculaire (donc générale) est modifiée. Nous avons étendu cette analyse en remplaçant les stimuli sonores par des altérations proprioceptives directes *via* l'application de vibrations musculaires.

Nos résultats mettent alors en évidence plusieurs observations fondamentales [15, 16] :

- La présence d'altérations de la perception visuelle induites par l'audition n'est pas spécifique aux enfants dyslexiques mais elles sont largement plus marquées dans cette population.
- Un même stimulus sonore peut induire des altérations visuelles dans des régions spatiales différentes, de façon aléatoire et non prédictible. Ce caractère stochastique suggère une impossibilité d'adaptation du cerveau, dont le fonctionnement repose fondamentalement sur des **mécanismes prédictifs**.

- Des modifications proprioceptives directes, obtenues par l'application de vibrations musculaires à 70 Hz, entraînent des effets similaires aux stimulations sonores. Ce phénomène a été observé indépendamment de la fonction posturale des muscles ciblés, ce qui suggère que le mécanisme sous-jacent implique la proprioception globale et, plus largement, les processus sensoriels généraux, plutôt que la seule régulation posturale.

Dyslexie, fonction diaphragmatique et plasticité cérébrale nocturne

Le sommeil de l'enfant est structuré en cycles successifs comprenant des phases de sommeil lent (léger et profond) et de sommeil paradoxal. Le premier est essentiel à l'élimination des toxines issues du métabolisme cérébral diurne et influence directement le potentiel attentionnel. Le second constitue une fenêtre de plasticité cérébrale intense, essentielle à la neurogenèse chez le très jeune enfant et ensuite à l'automatisation des habiletés perceptives, cognitives et motrices, incluant la lecture et l'écriture [17]. Au niveau physique il est caractérisé par une **hypotonie généralisée incluant les muscles respiratoires thoraciques**, la respiration étant entièrement dévolue au diaphragme.

Des études récentes démontrent une corrélation étroite entre la régulation posturale et la fonction diaphragmatique. Une altération de cette fonction, caractérisée par la présence d'une respiration paradoxale chez tous les dyslexiques, pourrait être associée à un **syndrome d'augmentation des résistances des voies aériennes supérieures (SARVAS)**, source de très nombreux micro-réveils, voire de véritables apnées. Cette altération du sommeil paradoxal pourrait être à l'origine des anomalies du neurodéveloppement constatées en IRMf chez les enfants dyslexiques.

Cette hypothèse suggère une redéfinition de la dyslexie en tant que **pathologie du sommeil d'origine proprioceptive**. Une de nos études en cours de publication semble confirmer cette théorie en révélant que, parmi les enfants ayant suivi un traitement proprioceptif pendant trois mois, seuls ceux ayant retrouvé un sommeil physiologique montrent des progrès significatifs en lecture.

Mouvements oculaires et lecture après traitement proprioceptif

La disparition de l'hétérophorie verticale labile et le strict respect de l'ensemble du traitement est corrélée à l'amélioration de la lecture telle qu'elle est décrite par les patients traités [18, 19] (*fig. 4 et 5*). Cliniquement, on constate qu'il faut parvenir à gérer les trois composantes de la dysfonction proprioceptive diurne et restaurer une respiration normale pendant le sommeil pour voir la lecture et les capacités d'attention évoluer favorablement. Les autres rééducations sont alors efficaces. Le traitement proprioceptif doit être un préalable à celles-ci.

Une étude récente, contrôlée et randomisée, a examiné très précisément les effets d'une intervention proprioceptive par l'analyse des mouvements oculaires lors de la lecture silencieuse chez des

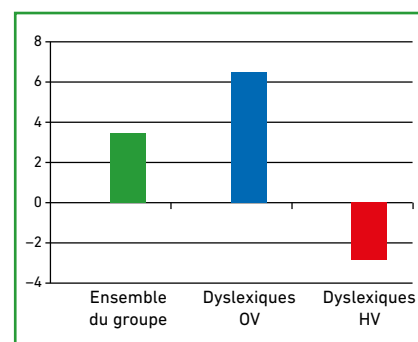


Fig. 4 : Progression des capacités de lecture en fonction de la normalisation du test de Maddox perceptif. Les patients en ortho localisation spatiale rattrapent plus de 6 mois de retard de lecture alors que ceux qui ne sont pas réglés continuent à régresser au même rythme que les enfants non traités.

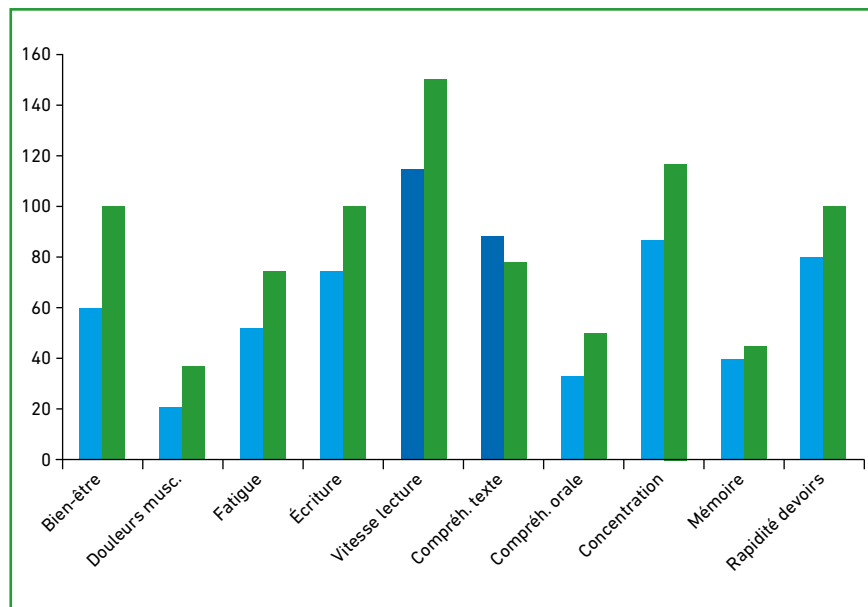


Fig. 5 : Graphique illustrant la progression (médiane, en %) entre J0 (valeur ramenée à la position 0) et M12 dans les différents domaines. Noter la forte progression en vitesse de lecture et en compréhension du texte lu (l'appréciation de la progression par les enfants est en bleu et par leurs parents en vert).

enfants dyslexiques [20]. Ceux-ci ont été assignés au hasard à une thérapie orthophonique classique ou à une intervention proprioceptive et orthophonique, dans laquelle ils ont reçu à la fois la thérapie orthophonique habituelle et une intervention proprioceptive. Les performances de lecture silencieuse et les mouvements oculaires ont été mesurés avant et après l'intervention (au bout de neuf mois). Les performances de lecture se sont améliorées uniquement dans le groupe traité au niveau proprioceptif.

L'analyse des mouvements oculaires a montré qu'il n'y avait plus de différence entre le groupe bénéficiant d'une intervention proprioceptive et le groupe des enfants normo-lecteurs pour les processus oculomoteurs (taille des saccades), les processus cognitifs de la reconnaissance des mots (l'accès lexical) et le processus d'automatisation de la lecture (effet de fréquence des mots utilisés fréquemment dans la langue française). À noter l'observation d'un effet aussi sur les mots de basse fréquence d'utilisation ce qui suggère une action positive sur le décodage de la voie phonologique.

Conclusion et perspectives

Ces résultats renforcent l'idée que la dyslexie ne se limite pas à un trouble phonologique, mais qu'elle s'accompagne aussi d'un déficit proprioceptif global. Ce déficit pourrait jouer un rôle clé dans les difficultés d'automatisation de la lecture. Il affecterait à la fois la perception et la motricité durant la journée, mais aussi pendant le sommeil, ce qui perturberait la neurogenèse et la plasticité cérébrale nécessaire à l'apprentissage de la lecture et, plus globalement à l'ensemble des connaissances scolaires. Bien que cette hypothèse demande encore à être approfondie, elle ouvre déjà de nouvelles perspectives thérapeutiques. En mettant l'enfant dans des conditions sensorielles normales le jour et en neutralisant les troubles de la mémoire procédurale pendant le sommeil paradoxal, la rééducation proprioceptive est une étape essentielle avant les interventions rééducatives classiques. Parce que la proprioception oculaire joue un rôle important dans le traitement, l'implication des ophtalmologistes est incontournable.

BIBLIOGRAPHIE

1. PETERSON RL, PENNINGTON BF. Developmental dyslexia. *Lancet*. 2012;379:1997-2007.
2. LAPREVOTTE J, PAPAXANTHIS C, SALTARELLI S *et al*. Movement detection thresholds reveal proprioceptive impairments in developmental dyslexia. *Sci Rep*, 2021;11:299.
3. NICOLSON, RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Developmental dyslexia: The cerebellar deficit hypothesis. *Trends Neurosci*, 2001;24:508-511.
4. QUERCIA P, SEIGNEURIC A, CHARLOT S *et al*. Ocular proprioception and developmental dyslexia. Sixty clinical observations. *J Fr Ophtalmol*, 2005;28:713-23.
5. POZZO T, VERNET P, CREUZOT-GARCHER C *et al*. Static postural control in children with developmental dyslexia. *Neurosci Lett*, 2006;403:211-5.
6. QUERCIA P, DEMOUGEOT L, DOS SANTOS M *et al*. Integration of proprioceptive signals and attentional capacity during postural control are impaired but subject to improvement in dyslexic children. *Exp Brain Res*, 2011;209:599-608.
7. VIEIRA S, QUERCIA P, MICHEL C *et al*. Cognitive demands impair postural control in developmental dyslexia: a negative effect that can be compensated. *Neurosci Lett*, 2009;462:125-129.
8. VAN DE WALLE DE GHELCKEL A, SKOURA X, QUERCIA P *et al*. Action representation deficits in adolescents with developmental dyslexia. *J Neuropsychol*, 2020.
9. QUERCIA P, QUERCIA M, FEISS LJ *et al*. The distinctive vertical heterophoria of dyslexics. *Clin Ophthalmol*, 2015; 9:1785-1797.
10. METTEY A, BOUVIER AM, JOOSTE V *et al*. Are changes in the stomatognathic system able to modify the eye balance in dyslexia? *J Oral Biol Craniofac Res*, 2019;9:166-171.
11. QUERCIA P. L'hétérophorie verticale du dyslexique au test de Maddox : hétérophorie ou localisation spatiale erronée ? Etude en vidéo-oculographie de 14 cas. *Journal Français d'Orthoptique*, 40-2008, p. 25-45.
12. BALSLEV D, NEWMAN W, KNOX PC. Extraocular muscle afferent signals modulate visual attention. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012;53:7004-7009.
13. VIEIRA S, QUERCIA P, BONNETBLANC F *et al*. Space representation in children with dyslexia and children without dyslexia: Contribution of line bisection and circle centering tasks. *Res Dev Disabil*, 2013;34:3997-4008.