

Docteur Patrick Quercia



DYSLEXIE DE DEVELOPPEMENT,  
CONTROLE POSTURAL  
et PROPRIOCEPTION

ETAT DE LA RECHERCHE  
Février 2011

## Sommaire

<b>INTRODUCTION</b>	3
<b>CONTROLE POSTURAL DU DYSLEXIQUE</b>	5
<b>CONTROLE POSTURAL CHEZ LE DYSLEXIQUE ET QUALITE ATTENTIONNELLE</b>	7
<b>CONTROLE POSTURAL DANS LES FRATRIES DE DYSLEXIQUES</b>	11
<b>ANOMALIES DE LA LOCALISATION SPATIALE CHEZ LE DYSLEXIQUE</b>	13
<b>IMPORTANCE DU CAPTEUR ORAL</b>	16
<b>VECU DU TRAITEMENT PROPRIOCEPTIF AVEC UN RECU DE 12 A 18 MOIS</b>	18
<b>TRAITEMENT PROPRIOCEPTIF CONTRE PLACEBO</b>	23
<b>EN QUOI LA PROPRIOCEPTION DES DYSLEXIQUES EST-ELLE PERTURBEE ?</b>	26
<b>CONCLUSION et BIBLIOGRAPHIE</b>	27

## Avertissement

L'intérêt de la proprioception dans la dyslexie a été découvert par hasard dans les années 70 au Portugal chez des patients se plaignant de douleurs musculaires sans cause organique apparente. Le Pr Martins da Cunha a décrit chez ces patients un trouble de la proprioception générale et oculaire : les patients avaient des douleurs car, lorsqu'ils se tenaient de travers, ils pensaient être droits et gardaient leur position anormale. Ce trouble postural, appelé syndrome de déficience posturale (SDP), est donc une dysfonction sensorielle. Il s'accompagne de troubles de localisation spatiale et de troubles perceptifs. Ces derniers, très présents chez l'enfant, perturbent leur développement sensoriel notamment auditif et visuel, et semble-t-il aussi l'évolution des réflexes archaïques. Un enfant présentant un SDP aura donc des troubles posturaux et du tonus musculaire (attitude scoliotique ou bascule antéro-postérieure, hypertonies réflexes), des troubles visuo-spatiaux (maladresse, dysgraphie, ..) et des anomalies dans la perception visuelle et auditive (scotomes directionnels). Le traitement consiste à modifier la proprioception elle-même (exercices musculaires quotidiens pour symétriser le tonus et lever les contractures) mais aussi à agir sur les capteurs qui régulent la posture : les yeux (prismes de très faible puissance) et les capteurs de pression plantaires (semelles avec surépaisseurs très discrètes). La proprioception oculaire étant véhiculée par le nerf trijumeau, il est parfois nécessaire de modifier également la sensorialité du capteur manducateur.

Plus d'informations à [www.dyslexie.fr](http://www.dyslexie.fr)

La bibliographie suivante est le reflet du travail permanent de formation et de recherche entrepris conjointement avec le Service d'Ophtalmologie du CHU de Dijon et l'Unité INSERM U887 « Motricité-Plasticité » de l'Université de Bourgogne.

#### Publications et Présentations scientifiques parues.

- Michel C, Bidot S, Bonnetblanc F, Pozzo T, Quercia P. Left minineglect or inverse pseudoneglect in children with dyslexia? Neuroreport. Behavioral, integrative and clinical neuroscience. 22(2):93-96, January 26, 2011.
- Quercia P. Ocular movements and reading: a review. J Fr Ophtalmol. 2010 Jun;33(6):416-23
- Vieira S, Quercia P, Michel C, Pozzo T, Bonnetblanc F. Cognitive demands impair postural control in developmental dyslexia: a negative effect that can be compensated. Neurosci Lett. 2009 Sep 22;462(2):125-9
- Marino A, Quercia P. The role of micro-stimulations in dyslexic children with postural deficiency syndrome. MCC2009. From basic motor control to function recovery. Varna-Bulgaria
- Quercia P, Bonnetblanc F. Postural control and dyslexia. MCC2009. From basic motor control to function recovery. Varna-Bulgaria.
- Marino A, Quercia P. Microstimulations orales (ALPH) chez l'enfant dyslexique. L'Orthodontiste, 2009;147, 5-10.
- Quercia P. Le rôle du podologue dans le traitement proprioceptif de la dyslexie de développement. Le Podologue Scientifique. 2009; 20-26.
- Quercia P. Correction prismatique chez l'enfant dyslexique. Pourquoi et comment? Les cahiers d'ophtalmologie. 2008; 123, 9-14.
- Quercia P. Réalisation de la prescription prismatique et suivi chez l'enfant dyslexique. Les cahiers d'ophtalmologie. 2008; 124, 9-14.
- Quercia P. La proprioception pour la prise en charge des enfants dyslexiques. Revue de Soins en Pédiatrie et Puériculture. Elsevier Ed. 2008; 243,28-32.
- 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, pp 25-45.
- Bidot S, Pozzo T, Quercia P, Bron A, Creuzot-Garcher C. Postural Effects of Saccades in Children With Developmental Dyslexia. Présentation A.R.V.O, Mai 2008, Fort Lauderdale -USA.
- Bidot S, 2, Quercia P, Bron A, Creuzot-Garcher C, Pozzo T: Effets posturaux des prosaccades et des antisaccades chez l'enfant. Présentation à la Société française d'Ophtalmologie. Paris mai 2008.
- Quercia P. Recherche fondamentale sur les liens entre dyslexie et proprioception en France. Congrès de Porto. Octobre 2007.
- Quercia P, Seigneuric A, Chariot S, Bron A, Creuzot-Garcher C, Robichon F : Etude de l'impact du contrôle postural associé au port de verres prismatiques dans la réduction des troubles cognitifs chez le dyslexique de développement. J Fr Ophtalmol, 2007 ; 30, 4, 380-89.
- Quercia P : le système postural d'aplomb : réseau d'informations, de contrôles et d'ordres. Les cahiers d'ophtalmologie. Janvier 2006.
- Quercia P : le syndrome de déficience posturale : un tableau clinique très polymorphe et souvent déroutant. Les cahiers d'ophtalmologie. Janvier 2006.
- Quercia P : le syndrome de déficience posturale en images : cas cliniques. Les cahiers d'ophtalmologie. Janvier 2006.
- Quercia P : la posturologie en 2005 : posture ou imposture ? Les cahiers d'ophtalmologie. Janvier 2006.
- Bidot S, Quercia P, Robichon F, Seigneuric A, Garrigues B, Quevieux H, Bron A, Creuzot-Garcher C. Hétérophories verticales chez le dyslexique: quelle signification donner? Congrès annuel de la Société Française d'Ophtalmologie. Paris mai 2005.
- Matheron E, Quercia P, Weber B, Gagey PM. Hétérophorie verticales et syndrome de déficience posturale. International Society for Posture and Gait. Marseille. Mai 2005.
- Pozzo T, Vernet P, Creuzot-Garcher C, Robichon F, Bron A, Quercia P. : Static postural control in children with developmental dyslexia. Neurosci Lett. 2006 Aug 7;403(3):211-5. Epub 2006 Jun 23.
- Quercia P : le syndrome de déficience posturale : diagnostic et traitement prismatique. Réalités ophtalmologiques. N° 121. Mai 2005.
- Quercia P : Posture et proprioception : physiologie et physiopathologie. Réalités Ophtalmologiques. N° 121. Mai 2005.
- Quercia P, Chariot S, Seigneuric A, Vernet P, Pozzo T, Bron A, Creuzot C, Robichon F: Developmental dyslexia: Visual abnormalities during ocular rotation. Investigative Ophthalmology & Visual Science – Special Issue for ARVO (Association for Research in Vision and Ophthalmology) . Ft lauderdale (USA) May 2005.
- Quercia P, Seigneuric A, Chariot S, Vernet P, Pozzo T, Bron A, Creuzot-Garcher C, Robichon F. : Ocular proprioception and developmental dyslexia. Sixty clinical observations. J Fr Ophtalmol. 2005 Sep;28(7):713-23.

#### Livres et participations à des ouvrages.

- Quercia P, Fourage R, Guilleme L, Marino A, Quercia M, Saltarelli S. Traitement Proprioceptif et Dyslexie. AF3dys Edition 2008. 623 pages. [AF3dys@neuf.fr](mailto:AF3dys@neuf.fr)
- Marino A, Quercia P: Orthodontie-neuro Sensorielle et Dyslexie. Dysfonctions motrices et cognitives. Masson Ed. Paris 2007.
- Quercia P : Vécu et Suivi du Traitement proprioceptif et postural dans la dyslexie de développement avec un recul de 12 à 18 mois. Dysfonctions motrices et cognitives. Masson Ed. Paris 2007.
- Quercia P, Alves da Silva, Robichon F. Dyslexie de développement et Proprioception. Graine de lecteur Ed. 2002. 404 pages.

#### Publications et Présentations scientifiques soumises et à paraître.

- Quercia P, Dos Santos M, Demougeot L, Bonnetblanc F. Integration of proprioceptive signals and attentional capacity during postural control are impaired in dyslexic children. However, the latter could improve. (soumis décembre 2010)
- Quercia P, O'Zoux C, Quercia M. Fréquence de troubles proprioceptifs dans les fratries de dyslexiques et les sujets normo-lecteurs. A propos de 120 cas. Posturologie clinique et transdisciplinarité. Masson-Elsevier Ed. Paris. 2011.

*Lire et écrire supposent un équilibre sensori-tonique et des moyens sensori-moteurs permettant que se forment des habilités.*  
A. Bullinger, 2003.

## 1. INTRODUCTION

La recherche médicale sur la dyslexie est très active et 5 publications sur le sujet sont publiées en moyenne par semaine dans la presse scientifique internationale. La plupart concerne les aspects neuro-psychologiques des troubles des apprentissages et cette tendance s'exagère au cours des dernières années, notamment en raison du développement des techniques d'imagerie cérébrale fonctionnelle.

A l'opposé, très peu de travaux de recherche ont été publiés sur les traitements proposés aux dyslexiques. Reprenant en 2006 la littérature scientifique des 30 dernières années, Bakker [1] ne fait que confirmer cette réalité. Il insiste sur le fait que les travaux publiés sur la dyslexie pendant cette période concernent la symptomatologie ou les hypothèses pathogéniques pour 3871 d'entre eux, alors que seuls 32 s'intéressent à des propositions thérapeutiques. Parmi ces derniers, un certain nombre d'articles sont des revues des traitements proposés, et finalement le nombre de travaux consacrés à des investigations expérimentales originales est inférieur à 32 sur 30 ans. Si on se réfère aux critères de « l'évidence based medicine » des anglo-saxons, aucun des traitements proposés aux dyslexiques à ce jour, y compris l'orthophonie, n'a donc réellement montré d'une manière claire les preuves scientifiques de son efficacité. Malgré une grande richesse théorique, force est ainsi de constater que les dyslexiques sont face à une pauvreté de réelles propositions thérapeutiques. Cette réalité est de nature à rendre humbles et curieux de toute nouvelle piste tout professionnel impliqué dans la dyslexie, que ce soit au niveau diagnostique ou au niveau thérapeutique.

Depuis la publication initiale d'Henrique Martins da Cunha et d'Orlando Alves da Silva qui furent les premiers à parler d'une relation possible entre dyslexie et syndrome de déficience posturale (SDP)[2], le nombre de travaux scientifiques qui se sont intéressés aux relations entre posture, proprioception et dyslexie reste anecdotique. Notre équipe essaie modestement depuis 8 ans de développer la recherche dans ce domaine avec 3 axes :

- comprendre les mécanismes fondamentaux qui pourraient expliquer le rôle de la proprioception dans le développement des troubles des apprentissages,
- améliorer et valider des tests cliniques permettant une prescription plus fiable et reproductible,
- valider la méthode par le suivi d'enfants traités à comparer avec des enfants témoins, dans le respect de la législation internationale sur la recherche médicale et la bioéthique. Il s'agit là de la tâche la plus difficile, non seulement parce que le praticien s'adresse à des enfants en souffrance, mais aussi parce qu'il faut beaucoup de temps et de cas traités, tant le polymorphisme de la dyslexie est grand. Nous nous y sommes cependant attelés sous la forme d'un protocole multicentrique actuellement en cours sous l'égide

de la Direction de la Recherche Scientifique du CHU de Dijon et avec l'accord et le financement de l'AFSSAPS et de l'INSERM.

## 2. CONTROLE POSTURAL DU DYSLEXIQUE

Nous avons souhaité faire une étude des paramètres d'enregistrement sur plate-forme de posture chez les enfants dyslexiques afin de les comparer à ceux des enfants normo-lecteurs [3]. Cette étude avait pour but :

- d'établir des normes chez l'enfant (les normes éditées par l'Association Française de Posturologie concernent des adultes),
- de vérifier s'il était possible de distinguer les dyslexiques des normo-lecteurs en fonction de leur équilibre sur plate-forme,
- de posséder un critère mathématiquement incontournable pour vérifier, en cas de réponse positive à la question précédente, l'effet du traitement proprioceptif chez l'enfant dyslexique.

### 2.1. Matériel et Méthode.

L'étude a concerné un groupe de dyslexiques formé de 50 enfants (âge moyen 11,5 +/- 1,8 ans) et un groupe de normo-lecteurs comprenant 40 enfants (âge moyen 12,4 +/- 1,7 ans). Les deux groupes ont été identifiés par un bilan neuro-psychologique complet. Les enregistrements posturaux ont été analysés pendant 25,6 secondes, soit la moitié du temps habituel car il est apparu très rapidement que la durée standardisée pour l'adulte (51,2 secondes) était difficile à supporter pour le groupe des enfants dyslexiques. Les enregistrements ont été effectués sur plate-forme 40 Hertz (TechnoConcept™), avec les yeux ouverts puis fermés, en appui bipodal normalisé (ouvert de 30° vers l'avant), puis en appui unipodal droit et gauche. En monopodal, pour les mêmes raisons, les enregistrements ont été faits pendant 12,8 secondes. L'analyse a porté sur :

- la longueur du statokinésigramme,
- l'écart-type (ET) des déplacements du centre de pression (CoP) sur l'axe latéral et antéro-postérieur,
- la moyenne pondérée du spectre de fréquences (Mean Power Frequency – MPF) calculée sur l'axe latéral et l'axe antéro-postérieur.

La normalité de la distribution des données et l'homogénéité de leur variance ont été vérifiées en utilisant respectivement le test de Kolmonorov-Smirnoff et le test de Cochran. La valeur critique était de 5%. Le test statistique utilisé était une analyse de variance à deux facteurs (groupe dyslexique + contrôle) et condition visuelle (yeux ouverts+ yeux fermés) à mesures répétées réalisées indépendamment en appui bipodal puis unipodal droit et gauche. Une proportion importante d'enfants n'ayant pas réussi à se maintenir sur un seul pied pendant le test, nous avons seulement déterminé la proportion d'enfants ayant réussi à se maintenir complètement en appui unipodal pendant la durée d'acquisition. Par ailleurs, nous avons appliqué la procédure d'évaluation de la déviance par rapport à la norme en complément de l'étude en appui bipodal, afin d'identifier les sujets dyslexiques ayant des performances posturales anormales. Cette procédure consiste à fixer un seuil à  $n$  ET de la moyenne du groupe contrôle pour chaque paramètre. Comme un sujet contrôle peut aussi présenter occasionnellement des performances posturales anormales, nous avons évité ce risque en calculant la moyenne et l'écart-type du groupe contrôle pour chaque paramètre sur l'enregistrement de repos. Trois sujets sur les 40 sujets contrôles testés ont été écartés car ils présentaient des performances anormales selon le critère de la déviance (+/-1,65 ET). La moyenne et l'ET de chaque paramètre dans le groupe contrôle ont été recalculés, puis les dyslexiques déviants identifiés.

### 2.2. Résultats.

**2.2.1. En appui bipodal :** le groupe dyslexique montre des performances posturales anormales quelle que soit la condition visuelle sauf pour ce qui concerne l'ET du déplacement du CoP sur l'axe latéral. Les performances posturales des deux groupes sont altérées en condition yeux fermés (figure 1).

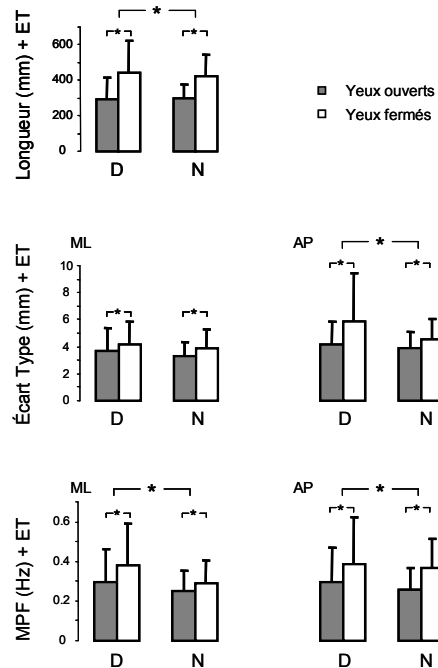


Figure 1 : comparaison des performances des enfants dyslexiques (D) et des sujets contrôles (C) avec les yeux fermés (YF) et les yeux ouverts (YO). Les moyennes relatives des différents paramètres stabilométriques sont représentées sous forme d'histogramme. De haut en bas : longueur du statokinésigramme ; écart-type du déplacement du centre de pression ; MPF = mean power frequency ; ML = axe latéral ; AP = antéro-postérieur ; \* =  $p < 0,05$ .

Si on regarde la proportion d'enfants dyslexiques en fonction du nombre de paramètres posturaux déviants, plus de la moitié apparaissent comme ayant des performances posturales anormales, sauf pour le MPF sur l'axe latéral (figure 2).

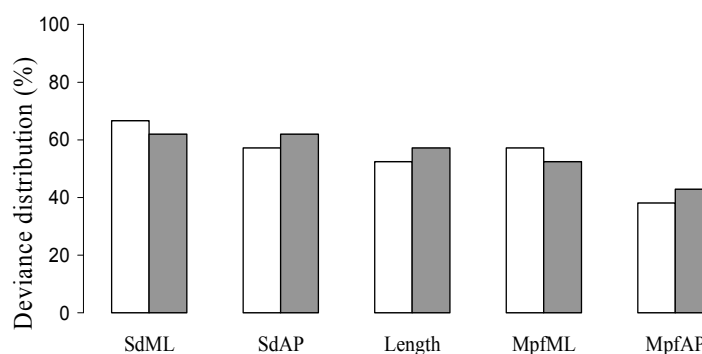


Figure 2 : distribution des enfants dyslexiques en fonction des paramètres stabilométriques déviants. En blanc = yeux ouverts et en gris = yeux fermés. Sd = écart-type des déplacements du centre de pression. ML : axe latéral ; AP : axe antéro-postérieur ; Mpf : mean power frequency.

**2.2.2. En appui unipodal (figure 3):** les sujets témoins ont montré des difficultés pour réaliser l'appui podal gauche qui n'a permis d'aller jusqu'à la fin de l'acquisition des données que chez 75% d'entre eux, alors qu'ils ne présentaient aucune difficulté à réaliser l'appui podal droit.

De même, en appui podal gauche les performances étaient altérées par rapport à l'appui droit, surtout avec les yeux fermés.

Les dyslexiques ont montré une forte difficulté à maintenir l'appui unipodal, qu'il soit droit ou gauche, surtout avec les yeux fermés (80% d'échecs en appui droit et 60% en appui gauche).

	Pied droit		Pied gauche	
	YO	YF	YO	YF
Contrôles (n=40)	100%	75%	97,75%	65%
Dyslexiques (n=50)	90%	20%	94%	40%

Figure 3 : Performances posturales en appui unipodal chez les dyslexiques et les sujets témoins avec les yeux fermés et ouverts. Les pourcentages indiquent la proportion d'enfants ayant pu rester debout jusqu'à la fin de l'acquisition des données (12,8 sec).

### 2.3. Commentaires.

Cette étude montre qu'il existe bien une altération des performances posturales chez les enfants dyslexiques. Dans cette série comprenant 50 enfants, on constate qu'il n'y a pas d'homogénéité dans les anomalies retrouvées, mais il y a toujours au moins un paramètre déviant. Ces résultats dépassent ceux donnés par d'autres investigations [4, 5,6] qui montrent des anomalies de l'équilibre et de la posture chez plus de 50% des dyslexiques mais pas chez tous. Il est possible que cette différence soit liée au fait que nous avons utilisé des critères plus sensibles et mieux adaptés à l'étude des troubles posturaux (Moe-Nissen a utilisé l'accélérométrie, et Stoodley s'est servi de techniques de capture du mouvement). Trois études ont utilisé des plate-formes de posture. Poblano [7] n'a pas trouvé de différence significative entre les groupes de dyslexiques et de non-dyslexiques mais en utilisant essentiellement le X-moyen comme critère différentiel. Ramus [8] a proposé une conclusion similaire à celle de Poblano en testant une population de dyslexiques ayant atteint le niveau universitaire, ce qui n'est pas représentatif de la population générale des dyslexiques. Il s'agissait aussi d'adultes dont la maturité proprioceptive n'est pas comparable à celle d'enfants dont l'âge moyen est de 11,5 ans. Plus récemment, Kapoula [9] a trouvé chez les enfants dyslexiques une instabilité posturale pouvant être améliorée lors des efforts de convergence oculaire. Pour Rochelle [10], les anomalies posturales seraient avant tout liées à la présence de troubles attentionnels au cours de la dyslexie.

Quoi qu'il en soit, nos résultats obtenus avec un effectif important, sont difficilement comparables aux études antérieures qui se sont surtout intéressées aux réactions posturales des dyslexiques lors de perturbations inattendues de l'équilibre, introduisant ainsi un facteur dynamique qui dépasse la stricte régulation posturale.

Dans les deux groupes on retrouve une altération de la stabilité avec les yeux fermés, ce qui est classique chez le sujet sain [11], mais elle est nettement plus marquée en appui unipodal pour les dyslexiques. Ceci pourrait traduire le fait que les dyslexiques deviennent plus dépendants des informations visuelles dès que les contraintes d'équilibre augmentent. Le déséquilibre postural se fait avant tout dans le sens antéropostérieur, tout se passant comme si l'enfant dyslexique devait en permanence compenser une chute vers l'arrière en raison d'informations proprioceptives et posturales erronées.

### 3. CONTROLE POSTURAL CHEZ LE DYSLEXIQUE ET QUALITE ATTENTIONNELLE

L'idée d'un contrôle postural particulier chez le dyslexique étant acquise, il nous a paru important de trouver des arguments permettant de comprendre quelle relation pouvait exister entre ces anomalies posturales et la difficulté de lecture. Pour cela, avant de proposer des tests mettant en jeu un mécanisme cognitif compliqué comme la lecture, nous avons proposé à des enfants dyslexiques

une tâche attentionnelle plus simple et cherché la présence de corrélations éventuelles avec les troubles posturaux [12].

### 3.1. Matériel et Méthode.

Trois groupes de 12 enfants dyslexiques non traités (âge moyen = 11.6+/- 2.1), 15 enfants dyslexiques traités (âge moyen = 12.5+/-1.5) et 12 enfants normo-lecteurs servant de témoins (âge moyen 10.6+/-1.7) ont participé au protocole dans le respect des recommandations de la déclaration d'Helsinki, avec consentement écrit de leurs parents. Pour être inclus dans le groupe des dyslexiques, un enfant devait présenter des antécédents de retard de lecture d'au moins 24 mois accompagnés d'un diagnostic de dyslexie certifié par un bilan orthophonique complet et une notion de rééducation orthophonique. La persistance des troubles dyslexiques au moment de l'inclusion a été vérifiée par un test de leximétrie connu sous le nom de « test de l'Alouette » [13] qui permet de comparer l'âge lexical de l'enfant à celui d'un groupe de normo-lecteurs du même âge.

Etait considéré comme pouvant entrer dans le groupe des enfants traités, tout dyslexique ayant bénéficié depuis au moins 3 mois d'un port de prismes posturaux et de semelles de posture associé aux postures et exercices de reprogrammation posturale. Les prismes posturaux étaient prescrits en suivant les règles proposées par l'Ecole de Lisbonne, avec une précision d'axe de l'ordre du degré adaptée à partir du test de Maddox postural.

Les déplacements du centre de pression (CoP) ont été enregistrés pendant 30 secondes sur une plate-forme de force (TechnoConcept™) fonctionnant à 40 Hz. Le sujet avait les bras relâchés le long du corps, les deux pieds séparés de 2 cm et formant un angle ouvert vers l'avant de 30°. Il lui était demandé de rester aussi calme que possible dans deux conditions particulières. Dans la première condition, il avait à fixer un point situé devant ses yeux à 40 cm (contrôle). Dans la seconde condition, l'enfant devait fixer une feuille noire de format A4 contenant 50 cases (10 rangées et 5 colonnes) située aussi à 40 cm de ses yeux, à l'horizontale. Chaque case contenait un mot définissant une couleur mais écrit avec une couleur différente (par exemple le mot « vert » écrit en rouge). L'ensemble des cases formait un tableau de 23,2 cm de long sur 8.5 cm de haut. Il était demandé à l'enfant de trouver combien de fois deux mots (par exemple « rouge » et « vert ») étaient écrits dans le tableau. Quatre différents noms de couleurs (bleu, rouge, vert, jaune) étaient possibles. Le nombre de mots de chacune des couleurs était différent. Le choix des couleurs demandées était réalisé de façon randomisée pour chacun des enfants. Il s'agit là d'un pseudo test de Stroop [14]. Le but de ce test n'était pas d'obtenir une réponse exacte ou d'évaluer le nombre de bonnes réponses mais d'augmenter la demande cognitive tout en standardisant la stratégie oculo-motrice. Il était demandé à l'enfant de ne pas parler pour citer le mot et ce, afin de ne pas perturber son équilibre. Nous n'avons d'ailleurs pas enregistré les erreurs car le but de cette tâche était avant tout de rendre la contrainte cognitive la plus naturelle possible et d'essayer de supprimer les contraintes liées à des stratégies oculo-motrices ou de vergence particulières. Les deux conditions (simple fixation et pseudo-Stroop) furent réalisées dans un ordre aléatoire. Pour obtenir des groupes évoluant dans des conditions les plus similaires possibles, le groupe des enfants dyslexiques traités fut testé *alors même que les enfants avaient posé les lunettes prismatiques et les semelles quelques minutes avant* ([2;5] min). Nous voulions ainsi savoir si les effets éventuels étaient liés directement au matériel de traitement présent ou plutôt à une reprogrammation cérébrale possédant une certaine rémanence.

Les paramètres classiques de déplacement du CoP ont été analysés : surface de l'ellipse de confiance à 90% du déplacement du CoP, vitesse moyenne (i.e longueur totale) et variance le long de l'axe des X et de l'axe des Y. Toutes les variables furent traitées par une ANOVA à 2 facteurs : Groupes (3 niveaux : dyslexiques, témoins et dyslexiques traités) et Conditions (2 niveaux : fixation simple et pseudo-Stroop).

### 3.2. Résultats.

La tâche de pseudo-Stroop perturbe la stabilité posturale uniquement pour le groupe des dyslexiques. La figure 4 illustre la valeur de la vitesse moyenne de déplacement du CoP pour chacun

des deux groupes lors de la tâche de fixation simple d'un point situé à 40 cm et lors du test de pseudo-Stroop. Les résultats montrent un effet principal Groupes ( $F(2,36)=3.36$ ,  $p=0.046$ ) et une interaction Groupes X Conditions ( $F(2,36)=4.06$ ,  $p=0.026$ ). Une décomposition de cette interaction révèle que la vitesse moyenne du CoP est supérieure pour le groupe des dyslexiques quand ils réalisent le pseudo-Stroop si on la compare aux valeurs observées avec le groupe témoin et le groupe de dyslexiques traités. Ceci est vrai lors du pseudo-Stroop mais aussi lors de la fixation simple ( $p<0.046$ ). Cependant au sein du même groupe dyslexique, il est intéressant de constater que la vitesse moyenne de déplacement du CoP est plus importante lors de la tâche de pseudo-Stroop que lors de la fixation simple ( $p<0.098$ ). Les différences concernant les autres paramètres (surface de l'ellipse et déplacement le long des axes des X et des Y) ont été étudiés mais ne sont pas significatifs.

Dans le groupe traité, 13 des 15 enfants étudiés présentent ainsi une nette diminution de la vitesse moyenne de déplacement du CoP dans la condition pseudo-Stroop en comparaison de la condition avec fixation simple. Ce résultat, présenté dans la figure 5, est hautement significatif (t-test par paires,  $t(14)=5.64$   $p<<0.001$ ). Un effet positif du traitement (figure 6) est également visible pour l'ellipse de confiance à 90% du déplacement du CoP (t-test par paires  $t(14)=2.54$   $p=0.023$ ). Cette amélioration est présente pour 12 enfants sur 15. Elle n'est pas corrélée avec la diminution de la vitesse moyenne de déplacement du CoP ( $r=0.45$ ). Le traitement semble donc améliorer la stabilité posturale quand les enfants sont soumis à une tâche cognitive. Ceci est valable avec une certaine rémanence puisque les enfants avaient quitté les différents éléments du traitement lors du test.

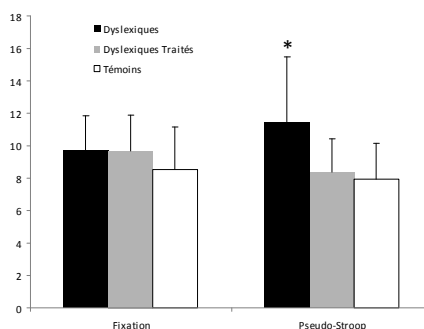


Figure 4. Valeurs moyennes  $\pm$  écarts-type de la vitesse moyenne de déplacement du CoP pour chaque groupe lors de la tâche de fixation simple et lors du test de pseudo-Stroop.

### 3.3. Commentaires

L'objectif de cette étude était double. Tout d'abord tester si le contrôle postural des enfants dyslexiques est perturbé quand ils ont à décoder des mots simples avec une demande cognitive augmentée. Ensuite, essayer d'apprécier l'effet du traitement postural et appliqué pendant au moins 3 mois sur un autre groupe de dyslexiques. Les résultats montrent clairement que la tâche de pseudo-Stroop perturbe l'équilibre des enfants dyslexiques. En contraste, le traitement semble améliorer cet équilibre de façon quasi systématique que ce soit en fixation simple ou lors du pseudo-Stroop. Il semble donc possible de re-calibrer les relations entre demande cognitive et contrôle postural chez les enfants dyslexiques et ce, avec une certaine rémanence. Ces résultats suggèrent fortement que la demande cognitive et le contrôle postural sont liés et peuvent interagir au cours de la dyslexie de développement.

La tâche de pseudo-Stroop peut agir à des niveaux variés et nous retenons trois causes potentielles qui pourraient expliquer nos résultats. En effet les stratégies oculo-motrices, les modifications de vergence, et finalement l'attention peuvent être modifiées au cours de cette tâche et perturber l'équilibre de l'enfant dyslexique. Chez le sujet normal Jahn [15] ainsi que Strupp [16] ont montré que les saccades oculaires peuvent perturber le contrôle postural alors qu'Uschida [17] a montré que la stabilité posturale est meilleure lors des mouvements oculaires. Pour Rey [18] les saccades oculaires, qu'elles soient horizontales ou verticales et quelle que soit la distance, ne perturbent pas le contrôle postural. Chez les dyslexiques, certaines données plaident en faveur d'un

effet potentiel des changements de stratégie oculo-motrice. Il a ainsi été observé que le contrôle de l'équilibre est perturbé quand les dyslexiques ont les yeux ouverts, mais pas avec les yeux fermés, avec une bonne corrélation entre lecture et habilités dans l'équilibre [5]. Cependant, rappelons que dans ce travail de Stoodley la qualité de l'équilibre était évaluée en comptant le nombre de fois que les enfants étaient obligés de poser un pied à terre alors qu'ils se tenaient en appui sur l'autre pied uniquement. A l'opposé, l'étude précédente [3] nous a permis de constater que l'équilibre est plus perturbé quand les dyslexiques ont les yeux fermés par rapport à une condition d'examen avec les yeux ouverts. Dans cette étude qui contredit les résultats de Stoodley, l'équilibre était mesuré plus finement au moyen d'une plate-forme de force. L'étude réalisée par Kapoula et Bucci [9] a montré que le contrôle postural est meilleur chez ces enfants mais lors de mouvements oculaires particuliers, puisque les résultats sont visibles quand ils alternent la fixation d'un point de près et de loin. Etudiant un éventuel effet des mouvements de vergence oculaire, ces auteurs ont aussi montré que le contrôle de l'équilibre se détériore chez les dyslexiques si le point de fixation s'éloigne à plus de 1.5 m du sujet. Dans notre étude le point de fixation ou le tableau du test de pseudo-Stroop était situé à 40 cm à l'horizontale du regard, c'est-à-dire à une distance où l'on peut s'attendre à ce que la stabilité posturale soit optimale chez le dyslexique. Ceci est de nature à éliminer un simple effet de la convergence pour interpréter nos résultats. En conséquence, nous suspectons plus des causes attentionnelles pour expliquer les perturbations du contrôle postural lors de la tâche de pseudo-Stroop.

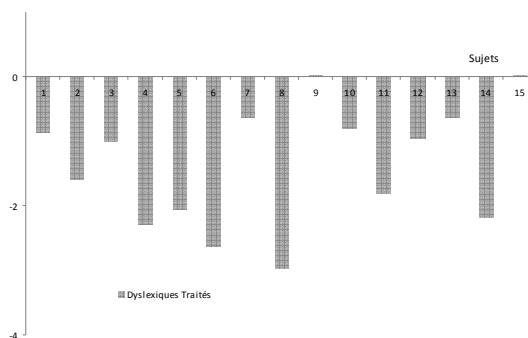


Figure 5. Différence de valeur de la vitesse moyenne de déplacement du CoP lors de la tâche de pseudo-Stroop et lors de la fixation simple pour chaque enfant dyslexique traité, non équipé de prismes ou de semelles (mm.s-1).

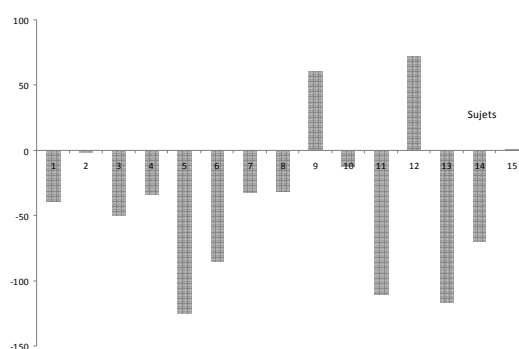


Figure 6. Différence de surface de l'ellipse de confiance à 90% du déplacement du CoP lors de la tâche de pseudo-Stroop et lors de la fixation simple pour chaque enfant dyslexique traité, non équipé de prismes ou de semelles (mm2).

Les résultats montrent aussi un effet clair du traitement associant prismes, semelles et exercices de reprogrammation proprioceptive, qui apporte une diminution quasi systématique de la vitesse moyenne de déplacement au cours de la tâche de pseudo-Stroop. La diminution est nettement visible chez 13 des 15 patients et elle est associée avec une diminution quasi-systématique de la surface de l'ellipse de confiance pour 12 des 15 patients. De plus, l'effet perdure malgré le fait que les enfants ne soient plus équipés avec les éléments du traitement depuis 2 à 5

minutes. Ces résultats suggèrent qu'il est possible d'intervenir sur le lien entre attention et contrôle moteur et notamment d'améliorer les facultés d'équilibre en utilisant des prismes posturaux. Les enfants n'étant pas équipés en prismes au moment des tests, l'effet obtenu suggère plus une modification au niveau de la proprioception des muscles oculaires qu'au niveau de l'information rétinienne.

En conclusion, cette étude suggère qu'une demande cognitive et probablement attentionnelle, altère le contrôle postural chez le dyslexique *mais ce déficit peut être compensé en utilisant un traitement prismatique et postural et ce, avec une certaine rémanence des effets obtenus.*

#### 4. CONTROLE POSTURAL DANS LES FRATRIES DE DYSLEXIQUES

De nombreuses études suggèrent que la dyslexie présente un caractère génétique sans que l'on ait pu isoler « un » gène responsable [19]. Lors des consultations d'enfants dyslexiques, il est très courant (voire quasi-constant) de constater qu'au moins l'un des deux parents se reconnaît dans les troubles proprioceptifs constatés chez l'enfant examiné. Les parents évoquent aussi très souvent une similitude de symptômes chez les frères et sœurs. C'est pourquoi il nous a semblé intéressant de chercher s'il existe réellement des similitudes ou des différences lors de l'examen clinique mais aussi lors de l'examen sur plate-forme entre un groupe d'enfants dyslexiques et un groupe constitué de frères et sœurs de dyslexiques réputés normo-lecteurs (étant ou non frères ou sœurs des enfants du premier groupe). Un groupe d'enfants normo-lecteurs de la même classe d'âge, sans antécédent familial direct de dyslexie à l'interrogatoire (parents, fratrie, oncles et tantes, cousins du premier degré) sera utilisé en tant que base de données normatives. L'étude avait pour but de répondre à 2 questions :

- y a-t-il des éléments qui différencient les dyslexiques de leurs frères et sœurs réputés normo-lecteurs, et ces derniers des normo-lecteurs ?
- quelles différences notables pourraient exister au sein du groupe des frères et sœurs de dyslexiques au cas où le bilan neuro-psychologique révélerait un retard de lecture parmi ces enfants ?

##### 4.1. Matériel et Méthode.

Les 3 groupes représentaient 68 enfants scolarisés du CE2 à la 3<sup>e</sup> avec :

- 22 dyslexiques d'âge moyen 10 ans 9 mois (100 à 169 mois) avec 13 garçons et 9 filles,
- 19 frères et sœurs de dyslexiques d'âge moyen 10 ans 3 mois (92 à 165 mois) avec 12 garçons et 7 filles,
- 27 normo-lecteurs d'âge moyen 11 ans 4 mois (91 à 180 mois), avec 8 garçons et 19 filles,

recrutés par l'intermédiaire de 2 écoles (une école primaire et un collège) et dans un club de sport. L'étude a respecté le protocole de la Déclaration d'Helsinki, notamment pour ce qui concerne l'autorisation des parents, l'information sur les tests à effectuer et le libre choix de la participation. Après accord écrit des parents et des enfants, tous les patients ont d'abord été soumis à un test de TIME-3 [20] permettant de connaître leur âge lexical. Puis ils ont été examinés selon le protocole clinique proposé dans l'ouvrage « Traitement proprioceptif et dyslexie » [21] et basé sur 3 axes : asymétrie du tonus postural, troubles de localisation spatiale et anomalies perceptives visuelles dépendant de la proprioception oculaire. Dans un souci (nécessairement réducteur) de simplification pour l'analyse des données, seul un élément central de chacun de ces axes a été retenu :

- asymétrie du tonus postural mesurée au niveau du cou par une manœuvre de rotation et d'extension de la tête,
- recherche d'une anomalie de localisation spatiale au test de Maddox postural,
- présence de pseudos scotomes directionnels au synoptophore en position primaire ou dès 20° de version oculaire droite et gauche.

Leurs capacités d'équilibre ont été testées sur une plate-forme de posture (TechnoConcept™) avec capture des données à 40 Hertz. Pour ce dernier examen, il a été demandé à chaque sujet de rester debout dans une position naturelle et la plus stable possible, les pieds formant un angle ouvert vers l'avant de 30°. L'examen a été réalisé d'abord avec les yeux ouverts en fixant une ligne verticale à 40 cm, puis avec les yeux fermés. Chaque épreuve a duré 30 secondes, Les données retenues furent la surface de l'ellipse de confiance, la vitesse moyenne de déplacement, le déplacement moyen sur l'axe des X et sur l'axe des Y, l'écart type des X et l'écart type des Y.

L'analyse statistique des données cliniques et recueillies sur plate-forme, à la recherche d'éventuelles différences, s'est faite avec le test de Student (différence significative si le  $P < 0,05$ ).

#### 4.2. Résultats.

Le retard de lecture moyen des dyslexiques était de 36,5 mois (minimum -19 mois ; maximum - 80 mois) alors que l'âge lexique des normo-lecteurs montrait une avance moyenne de 21 mois (minimum 0 mois ; maximum + 68 mois). Le groupe des 19 frères et sœurs de dyslexiques se scindait en 2 sous-groupes avec 8 enfants normo lecteurs (42%) ayant une avance moyenne de 13,8 mois (minimum 5 mois et maximum 30 mois) et 11 enfants (58%) ayant un retard de 12,5 mois par rapport à la norme statistique pour l'âge (minimum -4 mois; maximum -27 mois).

Les résultats de l'examen clinique sont donnés en pourcentage dans le tableau ci-dessous.

	Asymétrie tonique du cou	Localisation spatiale visuelle anormale	Pseudoscotomes Directionnels
Dyslexiques (n = 22)	100%	100%	100%
Normo-lecteurs (n = 27)	100%	29,6%	44,5%
Frères et soeurs de dyslexiques avec ou sans retard (n = 19)	100%	52,6%	89,5%
Frères et soeurs de dyslexiques sans retard (n = 8)	100%	25%	75%
Frères et soeurs de dyslexiques avec retard (n = 11)	100%	72,7%	100%

Tableau 1 : fréquence des anomalies cliniques constatées. Au sein des frères et sœurs de dyslexiques, les normo-lecteurs et les lecteurs avec retard ont été séparés.

L'analyse des données montre qu'entre le groupe de dyslexique et le groupe des frères et sœurs (y compris ceux ayant un retard), la différence clinique se fait au niveau du test de Maddox postural, la localisation spatiale étant beaucoup plus souvent normale dans le deuxième groupe. La fréquence des pseudos scotomes directionnels est élevée dans la population des normo lecteurs (45%). Ils sont constants chez les enfants dyslexiques et quasi-constants chez les frères et sœurs de dyslexiques (90%). Lors de l'examen sur plate-forme, on constate que, lors des enregistrements avec les yeux ouverts, la stabilité des dyslexiques est perturbée avec une différence significative pour la surface ( $p = 0,002$ ), la longueur du tracé en y ( $p = 0,01$ ), l'écart-type y ( $p = 0.0002$ ) et la vitesse moyenne ( $p = 0,017$ ). Cette différence de stabilité se retrouve avec les yeux fermés au niveau de 3 mesures : surface ( $p = 0,003$ ), longueur du tracé en y ( $p = 0,017$ ) et écart-type y ( $p = 0.003$ ).

La comparaison du groupe des frères et sœurs de dyslexiques avec le groupe de normo-lecteurs montre que, cliniquement, la perturbation de la localisation spatiale et la fréquence des pseudos scotomes directionnels séparent nettement les deux groupes. Aucun des critères retenus dans l'analyse de l'équilibre sur plate-forme ne montre de différence significative, que ce soit avec les yeux ouverts ou fermés. Au sein du groupe des frères et sœurs de dyslexiques, la comparaison entre normo-lecteurs et lecteurs avec retard (qui concerne un nombre limité d'enfants) suggère qu'ici aussi, c'est la localisation spatiale au test de Maddox postural qui sépare les 2 groupes. Sur plate-forme avec les yeux ouverts, seule la vitesse moyenne diffère ( $p = 0,047$ ) alors qu'avec les yeux

fermés il existe une différence significative pour ce qui concerne la longueur en x ( $p = 0,014$ ), la longueur en y ( $p = 0,027$ ) et la vitesse moyenne ( $p = 0,018$ ).

#### 4.3. Commentaires.

Cliniquement, le groupe des dyslexiques et le groupe des frères et soeurs se distinguent essentiellement par la qualité de la localisation spatiale qui est plus souvent normale chez ces derniers. On retrouve la même tendance à l'intérieur du groupe des frères et soeurs entre le sous-groupe des lecteurs avec retard et celui des normo lecteurs. L'examen du tonus musculaire au niveau cervical, très important pour le typage du SDP, n'est pas spécifique. Les pseudo-scotomes directionnels sont très fréquents dans la population normale et doivent être utilisés avant tout comme un élément utile pour le choix des prismes posturaux.

Pour ce qui concerne l'examen sur plate-forme, les dyslexiques montrent une plus grande instabilité que les frères et sœurs de dyslexiques, que ce soit les yeux ouverts ou les yeux fermés. Cette instabilité se fait avant tout dans l'axe antéropostérieur. L'équilibre est plus difficile et les écarts-type qui sont différents dans les 2 axes suggèrent des manœuvres de rattrapage plus fréquents et chaotiques. Au sein du groupe des frères et sœurs de dyslexiques, on retrouve également une instabilité (mais cette fois dans les 2 axes) chez ceux d'entre eux qui ont un retard de lecture. La vitesse du déplacement du centre de pression est perturbée les yeux ouverts ou fermés. Cependant il est plus difficile d'être catégorique en raison du nombre faible d'enfants dans ces deux sous-groupes.

Ces résultats pourraient permettre d'apporter des arguments pour une surveillance rapprochée au sein de la fratrie d'un dyslexique dès le plus jeune âge dans la mesure où localisation spatiale et examen sur plate-forme sont réalisables dès l'âge de l'apprentissage de la lecture et bien avant que l'on puisse proposer des tests de leximétrie.

## 5. ANOMALIES DE LA LOCALISATION SPATIALE CHEZ LE DYSLEXIQUE

Roll a montré qu'une modification de la proprioception oculaire est de nature à changer la localisation spatiale de l'objet regardé [22]. Les études des mouvements oculaires réalisées par Velay laissent penser qu'il s'agirait bien d'une modification d'origine centrale et non pas d'un mouvement oculaire minime [23]. Une anomalie de la proprioception, notamment oculaire, étant supposée être à l'origine du syndrome de déficience posturale [2], la question de savoir si la localisation spatiale est altérée au cours de cette dysfonction est essentielle. Elle a motivé l'étude qui suit.

L'étude a utilisé le « test de Maddox postural » qui consiste à montrer une lumière punctiforme aux 2 yeux, tout en transformant la lumière en un trait rouge horizontal pour l'un des 2 yeux. Il diffère du « test de Maddox classique » utilisé journallement en strabologie par le fait qu'il est fait dans différentes conditions de stimulation des capteurs posturaux (pieds, bouche, muscles spinaux, ..). Normalement le sujet doit voir le trait rouge *exactement* sur la lumière. Si ce n'est pas le cas, il peut s'agir soit d'une hétérophorie (tendance des 2 yeux à se séparer quand un des 2 yeux voit moins), soit d'un trouble central de la localisation spatiale de l'objet regardé. Dans ce dernier cas, ce test pourrait devenir un élément clinique de la plus haute importance pour apprécier la qualité de la proprioception oculaire et générale et le rôle des capteurs posturaux dans la régulation proprioceptive.

Nous avons donc réalisé une étude des mouvements oculaires en vidéo-oculographie chez des sujets témoins et chez des dyslexiques [24], en utilisant le test de Maddox postural réalisé dans les conditions décrites initialement par Matheron [25], conditions que nous avons modifiées au niveau du capteur stomatognatique pour tenir compte de la dysperception orale [21].

### 5.1. Matériel et Méthode.

Le système de vidéo-oculographie utilisé est l'appareil 3D-VOG commercialisé par la firme SMI (SensoMotoric Instruments GmbH, Warthestrasse 21, D-14513 Teltow/Berlin, Germany). L'appareil est très précis (1/10 de degré) et enregistre les données à une fréquence de 40 Hz. La résolution spatiale est de 0,03 degré avec une erreur linéaire maximale de +/- 3.8%. Il propose un index de fiabilité des mesures qui utilise comme référence le degré d'utilisation de la surface de l'iris détectée par l'appareil. Ce système est singulier par le fait qu'il est possible de fixer une lumière au travers de l'appareil contrairement à la plupart des appareils qui sont clos. Il permet donc la réalisation du test de Maddox (figure 7).

L'enregistrement a été réalisé chez 14 patients dyslexiques successifs, consultant pour recherche d'une dysfonction proprioceptive. L'âge moyen était de 10,2 ans avec des extrêmes de 9 à 14 ans. Ils présentaient tous une dyslexie de développement attestée par un bilan neuropsychologique avec un test de leximétrie montrant un retard de lecture de 24 mois minimum. L'examen ophtalmologique initial qui comportait les examens habituels (acuité visuelle de loin et de près, examen du segment antérieur et du fond d'œil, ...) a éliminé tous les patients non aptes à participer à l'étude pour les motifs suivants :

- rééducation orthoptique en cours,
- hyperphorie visible lors du cover-test alterné,
- hétérotropie même minime, qu'elle soit horizontale ou verticale,
- vision stéréoscopique inférieure à 100',
- amétropie sphérique supérieure à +0,50D ou astigmatisme supérieur à 0,50D (toute amétropie sphérique négative même minime entraînait l'exclusion du patient). Tous les examens ont donc été réalisés sans correction optique, afin d'éviter un effet prismatique parasite lié à un éventuel décentrage du verre correcteur ou à une diffraction secondaire à un verre sale ou abîmé.



Figure 7 : l'enfant signale avec le pouce que la ligne rouge du Maddox est exactement au centre de la lumière.

Cinq patients ne présentant aucun signe de dyslexie ou de dysfonction proprioceptive ont permis d'avoir des données identiques chez le sujet sain et ont servi de référence. Leur âge moyen était de 11,6 ans avec des extrêmes allant de 9 ans à 15 ans.

Le test de Maddox a été réalisé, le point lumineux de fixation étant à 4 mètres de l'enfant et maintenu à l'horizontale du plan oculaire. Les enregistrements se sont révélés fiables (car ne modifiant aucunement la stabilité de l'appareil) dans 4 conditions : position assise avec langue au palais, position assise lèvres serrées, position debout, position debout avec semelles de mousse calibrée modifiant l'extéroception plantaire.

Les données capturées ont été transférées dans Excel puis illustrées par un graphique avec ajout d'une courbe de tendance linéaire (calculé la droite des moindres carrés pour une courbe représentée par l'équation  $y=mx+b$  où  $m$  est la pente et  $b$ , l'ordonnée à l'origine). L'abscisse

correspond au nombre de saisies (40 par seconde) et l'ordonnée au niveau vertical de l'œil (en degrés). La comparaison des courbes permettait de savoir si les 2 yeux restaient en orthophorie stricte ou modifiaient leur position relative en se rapprochant ou en s'éloignant (figure 8). L'écran de Maddox donnant une ligne rouge ayant une certaine épaisseur et la lumière fixée n'étant pas réellement punctiforme, nous avons considéré qu'il y avait orthophorie si l'écart entre les droites était toujours inférieur à 0.5°.

Nous avons considéré que chaque fois que l'enfant répond d'une manière cohérente avec ce qui était enregistré, il pouvait s'agir d'une véritable hétérophorie verticale, trop faible pour être visible cliniquement au cover-test alterné. Par contre, chaque fois que la réponse est incohérente (par exemple sensation d'hyperphorie alors que l'œil est en hypophorie réelle sur la droite enregistrée), il était possible, voire probable, qu'il puisse s'agir d'une erreur de localisation spatiale. Cette erreur pouvait correspondre à une information proprioceptive erronée provenant des muscles oculaires.

### 5.2. Résultats.

Si on prend comme référence physiologique les mesures proposées par Van Rijn [26], l'hétérophorie verticale *avérée* est présente chez 70% des dyslexiques et seulement chez 22,5% des témoins. Quand on modifie les capteurs posturaux on obtient une modification enregistrée des phories dans 52,5% des cas chez les dyslexiques et dans 28% des cas chez les normo-lecteurs.

Chez les 5 sujets témoins non dyslexiques, sur 31 enregistrements qui ont été considérés comme étant fiables :

- il y a 29 réponses cohérentes soit 93,5 %
- 2 réponses incohérentes soit 6,5 %

Chez les sujets dyslexiques, sur 84 enregistrements, il y a :

- 35 réponses cohérentes soit 42 %
- 49 réponses incohérentes soit 58 %.

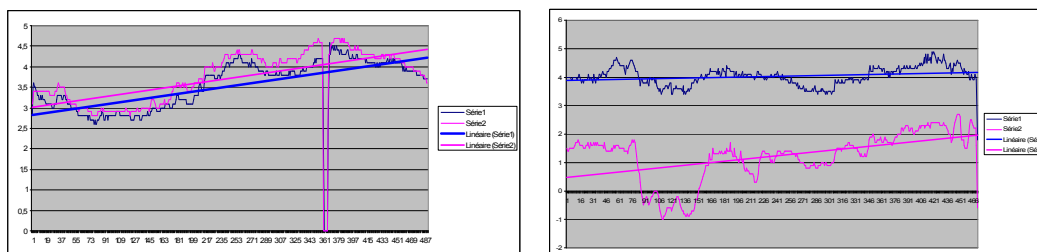


Figure 8 : courbe en cas d'orthophorie puis en cas d'hétérophorie . La penet correspondant à l'œil fixateur permet de savoir si l'œilcaché derrière l'écran de Maddox est en hyperphorie ou en hypohorie.

### 5.3. Commentaires.

Cette étude pilote donne des éléments qui semblent montrer :

- que les dyslexiques présentent une hétérophorie verticale objective deux à trois fois plus fréquente que les sujets normo-lecteurs,
- que les témoins et les dyslexiques ont une modification des réponses subjectives, mais aussi des enregistrements objectifs, lors du test de Maddox lorsqu'on modifie les capteurs agissant sur la proprioception. Ces modifications sont nettement plus fréquentes chez les dyslexiques, mais existe aussi chez les normo-lecteurs ce qui est une donnée qui n'est pas signalée dans la littérature strabologique,
- qu'il y a une dissociation possible entre enregistrements et réponses subjectives des patients aussi bien chez les normo-lecteurs que chez les dyslexiques. Par contre la fréquence est très différente dans les deux groupes (6,5% contre 58%). La possibilité d'un trouble central de la localisation spatiale chez le dyslexique est donc plausible. Tout se passe alors comme si le

*cerveau recevait des messages erronés lui indiquant que l'œil monte ou descend alors qu'il n'en est rien (ou qu'il s'agit en fait d'un déplacement opposé).*

Des études complémentaires sont cependant nécessaires car :

- le nombre d'enfants examinés est faible, aussi bien pour ce qui concerne les sujets témoins que les sujets dyslexiques,
- le nombre d'enregistrements validés par un taux élevé de l'indice de qualité de torsion est limité,
- l'impression d'orthoporie signalée par le patient, qu'il soit témoin ou dyslexique, correspond à une fenêtre angulaire de 0,5 degrés et reste donc relativement imprécise.

Ces résultats donnent une place très importante au test de Maddox postural dans l'examen clinique et donne des arguments scientifiques pour la présence de troubles proprioceptifs chez les dyslexiques. Ils montrent aussi que, même chez le sujet normo-lecteur, une action sur des capteurs posturaux est parfois capable de modifier l'information musculaire provenant des yeux.

## 6. IMPORTANCE DU CAPTEUR ORAL

Les messages proprioceptifs oculaires étant véhiculés par la branche supérieure du nerf trijumeau, il est bien logique que des informations provenant de l'appareil manducateur soient capables d'interférences avec le traitement proprioceptif. Ceci nous a semblé d'autant plus crucial à étudier que bon nombre de dyslexiques déclaraient avoir fait beaucoup de progrès en lecture silencieuse avec le traitement, mais restaient très pénalisés à voix haute (alors même que la lecture silencieuse est considérée comme étant plus difficile par les pédagogues). Nous en avons tiré l'idée qu'il fallait s'attacher à rechercher un éventuel parasitage par des informations délétères provenant de la bouche chez ces patients. Cette idée a été renforcée par la rapide constatation d'une fréquence très élevée de classe 2 orthodontique chez les dyslexiques examinés (67 cas sur 100 examens successifs), très souvent associée à la présence d'une position basse de la langue avec persistance d'une déglutition primaire. Parmi ces enfants, une forte proportion se présentait avec une respiration buccale, favorisant les épisodes infectieux de la sphère O.R.L, l'hypertrophie des amygdales et des végétations adénoïdes, mais aussi l'apparition de troubles du sommeil avec véritables apnées nocturnes obstructives. Ce dernier élément peut naturellement jouer un rôle dans les troubles de concentration, la fatigue et les troubles de mémoire du dyslexique.

Les traitements orthodontiques à visée posturale sont généralement centrés sur la correction de l'occlusion dentaire. Gardant à l'esprit le rôle central des informations sensorielles dans la genèse du SDP, plutôt que de travailler sur la mécanique articulaire, nous avons cherché à travailler avec un orthodontiste spécialisé dans la sensorialité orale. Ceci a abouti à une collaboration étroite avec le Dr Marino, orthodontiste à Vicenza (Italie) qui est l'un des premiers à avoir souligné l'importance des informations *sensorielles* à point de départ oral. Il propose de les modifier à l'aide de micro-stimulations collées sur les dents (nommées ALPH), génératrices de réflexes linguaux et labiaux modifiant les informations provenant des ligaments parodontaux. Ces stimulations respectent les lois de la posturologie et sont en général placées sur la face linguale ou vestibulaire des incisives supérieures ou inférieures.

Nous avons souhaité étudier la présence d'éventuelles corrélations entre leur action et celle des prismes posturaux [27]. Le but était d'essayer de comprendre si la technique des prismes posturaux pouvait être améliorée par les ALPH, notamment en cas d'interférence manducatrice. Une action sur les entrées posturales étant de nature à modifier le test de Maddox postural chez le dyslexique de développement, nous avons réalisé cette étude à partir de ce test.

### 6.1. Matériel et méthodes.

Le groupe de patients était constitué de 21 enfants qui présentaient tous une dyslexie de développement dont le diagnostic avait été posé lors d'un bilan orthophonique (16 garçons et 5

filles. L'âge moyen était de  $12,7 \pm 1,9$  ans [9-16,3 ans]). Tous les patients examinés étaient déjà porteurs de prismes posturaux et de semelles de posture depuis 3 à 5 mois et avaient pratiqué régulièrement des exercices de remédiation posturale pendant la même période. Le test de Maddox postural a été exécuté en modifiant le capteur somatognatique par 3 manœuvres successives et non aléatoires : lèvres pincées, pointe de la langue au palais en arrière des dents et langue fortement maintenue entre les incisives avec effort de déglutition répété deux fois de suite. Ces manœuvres sont connues pour modifier la sensorialité de la bouche (par exemple la contraction des lèvres qui fait intervenir le nerf facial s'accompagne physiologiquement d'une annulation concomitante des informations trigéminées). Les tests ont été faits alors que l'enfant portait les prismes posturaux. Les ALPH pouvant être posés et enlevés facilement et sans douleur, il était aisé d'apprécier leur effet de manière rapide et inoffensive. Ils ont été testés sur les incisives et les canines, en position linguale ou vestibulaire, à droite ou à gauche, en haut ou en bas. Le test de Maddox, les tests posturodynamiques et le test de convergence podale ont servi de référence pour en déterminer l'emplacement mais aussi pour en modifier l'épaisseur, le nombre, l'unilatéralité ou la bilatéralité. Le but recherché était d'obtenir la normalisation de tous ces tests. Si le patient possédait déjà des semelles de posture élaborées selon les principes de posturopodie, il était testé avec et sans ses semelles (en plus des tests réalisés avec et sans semelle de mousse calibrée).

## 6.2. Résultats.

L'examen permettait de séparer les dyslexiques en 2 groupes :

- absence d'orthophorie (n = 18),
- orthophorie mais présence d'une implantation dentaire anormale laissant envisager la possibilité prochaine de soins d'orthodontie (n = 2) ou persistance d'une anomalie posturale douloureuse (n=1).

Dans le premier groupe, l'orthophorie a été obtenue immédiatement chez 11 patients lors des tests de stimulation clinique décrits sur l'appareil stomatognatique. Pour deux patients de ce groupe, l'orthophorie n'a été obtenue qu'à condition d'enlever les semelles antérieurement portées et de les remplacer par les semelles en mousse calibrée. Les essais ont montré qu'il existe une correspondance entre le type de stimulation active et la localisation des ALPH (figure 9) :

- lèvres serrées : ALPH vestibulaires, qui seront placés en supérieur ou en inférieur selon le résultat du test posturo-dynamique et du test de convergence podale,
- langue au palais : ALPH linguaux supérieurs,
- déglutition avec langue entre les dents : ALPH linguaux inférieurs.

	Type de stimulation clinique			Type d'ALPH			
	Lèvres serrées	langue au palais	Déglutition + langue coincée	Vestibulaire		Lingual	
				Sup.	Inf.	Sup.	Inf.
Orthophorie +	1	4	6		1	4	8

Figure 9: fréquence d'obtention d'orthophorie selon le type de stimulation somatognatique (2 patients avec déglutition impossible sont orthophoriques avec des ALPH linguaux inférieurs).

Certains enfants (n=2) furent incapables de pratiquer la manœuvre de déglutition. Il a alors été possible d'obtenir une orthophorie avec la pose d'ALPH linguaux inférieurs. Les manœuvres cliniques ont parfois échoué (n=5) et la pose d'ALPH s'est alors révélée infructueuse. Ces patients présentaient, soit un tableau de perturbation du réflexe nucal au test de convergence podale (n=3), soit un tableau de béance buccale marquée avec malposition antérieure manifeste de la langue et déglutition primaire (n=2). L'obtention de l'orthophorie n'a pas toujours été possible immédiatement avec les ALPHS (n=5) alors même que le test clinique était efficace. Pour ces sujets il a été nécessaire de diminuer la puissance des prismes, de modifier l'appui plantaire ou d'adapter l'épaisseur des ALPH. Le choix fut guidé par l'utilisation du test posturo-dynamique et du test de convergence podale

qui ont permis d'affiner les réglages jusqu'à obtention d'une orthophorie. Il est arrivé que l'orthophorie soit obtenue avec les ALPH à condition de diminuer les prismes jusqu'à obtenir une puissance nulle (n=3). A noter que lorsque les prismes sont modifiés, les tests doivent être repris après 5 à 10 minutes de port de la nouvelle puissance prismatique, sinon les réponses au test de Maddox sont variables.

*Dans le deuxième groupe, on trouvait 3 cas particuliers :*

- un patient amélioré pour sa dyslexie mais se plaignant de la persistance de céphalées malgré le port de prismes et de semelles. Les tests posturo-dynamiques et le test de convergence podale étaient anormaux. La pose des ALPH a laissé persister l'orthophorie et a normalisé les autres tests à condition de supprimer totalement les prismes.

- deux patients présentant une implantation dentaire très anormale chez lesquels étaient prévus des soins d'orthodontie avec pose d'éléments sur la face vestibulaire des dents. La pose des ALPHS vestibulaires a rompu l'orthophorie.

## 6.2. Commentaires.

Cette étude, réalisée avec un nombre limité de patients a confirmé que *la pose des ALPH est capable de modifier les résultats du test de Maddox*. Nous interprétons cette constatation essentielle comme une confirmation de l'existence d'interférences entre l'appareil visuel et l'appareil dentaire par le biais du trijumeau. *Ces interférences sont prédictibles et reproductibles*. Les résultats obtenus suggèrent provisoirement que l'emploi conjoint des ALPHS, des prismes posturaux et des semelles de posture, pourraient donner lieu à 4 types de réactions :

- *amplification* : la pose des ALPHS apparaît comme l'élément susceptible d'obtenir une orthophorie qui n'était pas acquise avec une action sur les autres entrées posturales,
- *intégration* : les ALPHS s'intègrent à la « mise en équilibre du système postural » mais à condition de modifier un autre capteur (diminuer la puissance prismatique par exemple). Cette constatation va bien dans le sens de la notion de « système postural multi-entrées »,
- *substitution*: on obtient une orthophorie si l'on enlève complètement les prismes posturaux.
- *perturbation* : la pose des ALPHS chez un patient orthophorique avec les prismes et les semelles peut parfois faire disparaître cette orthophorie.

Cette étude confirme dès à présent la nécessité d'explorer un nouveau domaine en orthodontie chez l'enfant dyslexique, agissant au travers d'une action surtout d'ordre neuro-sensorielle par opposition à une orthodontie plus mécaniste et plus attachée aux critères d'occlusion. Elle confirme aussi le rôle important des dents au sein de l'appareil stomatognathique dans le contrôle du système postural.

## 7. VECU DU TRAITEMENT PROPRIOCEPTIF AVEC UN REcul DE 12 A 18 MOIS.

Les données sur le devenir des enfants dyslexiques bénéficiant d'un traitement proprioceptif sont rares. C'est pourquoi nous avons souhaité évaluer ce traitement chez des patients traités en cabinet libéral depuis 10 à 18 mois afin de tenter d'avoir des informations dans 3 domaines :

- l'efficacité du traitement à 1 an tant sur les symptômes de la dyslexie que sur les symptômes du SDP (évolution ressentie par l'enfant et par ses parents),
- l'observance du traitement proprioceptif dans ses différentes composantes,
- les difficultés ressenties au quotidien par les patients vis-à-vis du traitement proprioceptif.

### 7.1. Matériel et Méthode.

L'étude a été réalisée avec le concours du Service de Biostatistiques et d'Informatique Médicale du Centre Hospitalier Universitaire de Dijon [28]. L'ensemble des enfants pris en charge par notre

équipe pendant 6 mois, pour lesquels un diagnostic de dyslexie a été porté suite à un bilan orthophonique, a été inclus de façon consécutive et sans exclusion. Après examen et prescription lors de la première visite (J0), les enfants ont tous été revus 4 mois plus tard (M4) pour contrôle des lunettes, des semelles et des exercices qui, rappelons-le, représentent à ce jour les moyens de base pour modifier la proprioception du dyslexique. Un auto-questionnaire standardisé sous forme d'un livret de 15 pages a été réalisé. Un effort particulier a été fait pour que sa présentation colorée soit ludique et que la compréhension des questions utilise autant l'image que la lecture. Le livret a été envoyé par voie postale à 300 dyslexiques traités depuis 12 à 18 mois, avec une lettre explicative signalant que l'enquête était anonyme et que parents et enfants devaient répondre indépendamment pour ne pas influencer les réponses des uns et des autres. Un délai de 3 semaines a été proposé pour répondre. Une enveloppe de réponse, non timbrée, était jointe.

L'interrogatoire comportait 54 questions pour l'enfant dyslexique et 10 questions pour ses parents, dans 5 domaines différents :

- a) observance du traitement,
- b) suivi non ophtalmologique (orthophonie, podologie,...)
- c) souhaits d'amélioration dans l'encadrement du traitement,
- d) vécu du traitement (niveau de pénibilité),
- e) auto-évaluation des résultats.

Pour ce qui concerne l'observance du traitement, les questions concernaient toutes ses composantes : le respect du port des lunettes à prismes et des semelles de posture, l'utilisation du pupitre et du repose-pied en classe ainsi que le maintien des postures et la réalisation des exercices conseillés. Parmi les 300 livrets envoyés, 185 ont été retournés dans les délais et 17 hors des délais, soit un retour total de 202 livrets (67,3%). Les réponses provenaient de 163 garçons (88%) et de 22 filles (12%), soit 7,4 fois plus de garçons que de filles. L'âge moyen à M0 était de 11,6 ans (+/-2.7 ans), avec une fourchette allant de 9 à 19 ans, dont la moitié avaient entre 10 et 13 ans. La durée médiane de suivi était de 12 mois avec un intervalle interquartile (IQR) de 10 et 15 mois.

## 7.2. Résultats.

### 7.2.1. Observance du traitement :

Un dyslexique sur 10 (10.4%) a arrêté complètement le traitement. Près de la moitié (51.3%) de ceux qui persévèrent dit trouver le traitement facile et le continuer sans difficulté. L'autre moitié (n=96) continue le traitement en le trouvant difficile et précise les éléments qui créent des difficultés. Plus de 90% des enfants portent les lunettes avec les prismes posturaux tous les jours. Seuls 6% ont posé complètement leurs lunettes avec un délai médian depuis l'arrêt de 4 mois (IQR : 2-5 mois). Les semelles de posture sont portées chaque jour par 85% des enfants mais 11% les ont abandonnées. Près de 2/3 des enfants (64%) disent utiliser le pupitre tous les jours de classe. Mais près de 30% ne l'utilisent pas (10% ne l'ont jamais utilisé et près de 20% ont arrêté de l'utiliser). Pour ceux qui ont arrêté, le délai médian depuis l'arrêt est de 4 mois (IQR : 2-6 mois). Au total, 40% des dyslexiques utilisent le repose-pied chaque jour de classe et 50% ne l'utilisent jamais, soit qu'il ne soit pas nécessaire en raison de la longueur de leurs jambes (20%), soit qu'ils aient arrêté (30%) avec un délai médian au moment de l'enquête de 3 mois (IQR : 2-7 mois). Plus d'un tiers des enfants n'utilise pas ou seulement très rarement la position debout recommandée. Moins de 30% l'utilisent quotidiennement. Plus de 60% des dyslexiques adoptent la position assise tous les jours et seulement 8% ne la respectent jamais. Une proportion similaire respecte la position conseillée pour l'endormissement tous les jours ou 1 jour sur 2. Par contre, 30% ne la pratiquent pas ou rarement. Pour ce qui est de la marche avec les pieds parallèles et le déroulement conseillé du pied, plus de 70% déclarent la respecter tous les jours ou 1 jour sur 2. Cette manière de marcher n'est pas utilisée, ou très rarement, par 16% des enfants. La moitié des dyslexiques traités pratique les exercices de respiration en position couchée tous les jours ou 1 jour sur 2. Un tiers des enfants ne pratique pas ces exercices ou très rarement, et 12% d'entre eux ont arrêté après avoir commencé. Pour les exercices en position debout, seuls 21% des enfants déclarent les faire chaque jour et 12% les font 1

jour sur 2 alors que 33% ne les pratiquent plus ou ne les ont jamais pratiqués. Les parents ne participent pas ou très rarement aux exercices pour 75% des cas parmi lesquels 15% déclarent avoir arrêté après avoir commencé (délai médian depuis l'arrêt de 6 mois (IQR : 5,5-8,5 mois).

#### **7.2.2. Suivi non ophtalmologique :**

Près de  $\frac{3}{4}$  des dyslexiques (72.4%) sont allés chez le podologue, 1 ou 2 fois pour 70% d'entre eux, mais jusqu'à 6 fois pour certains (n=5) Plus de la moitié (53.5%) ont changé de semelles une fois et 34.7% en ont changé 2 ou 3 fois sur la période de 12 à 18 mois. Le réglage précis des lunettes a motivé la visite chez l'opticien chaque semaine pour 11.5% des dyslexiques alors que 60% sont allés le voir toutes les 2 à 4 semaines. Près de 90% y sont allés au moins une fois tous les 2 mois. Plus d'un tiers des dyslexiques (35%) n'a pas eu de contact avec un orthophoniste depuis le début du traitement. Parmi ceux qui y sont retournés, 80% poursuivent les séances de rééducation orthophonique alors que 20% ont arrêté. Parmi ceux qui suivent les séances, plus de  $\frac{2}{3}$  (69%) ont une séance hebdomadaire et 12% ont deux séances hebdomadaires. Parmi les 20% qui ont arrêté les séances, la moitié en avait fait 20 au total, 25% sont allés jusqu'à 25, et au maximum, quelques-uns (n=3) sont allés jusqu'à 40 séances. Plus de 50% des enfants ont eu un nouveau bilan orthophonique complet de la dyslexie depuis le début du traitement.

#### **7.2.3. Difficultés ressenties :**

Les lunettes ne posent pas de problème pour plus des 87,4% des enfants. Par contre, des difficultés certaines (de « difficile » à « extrêmement difficile ») sont présentes pour 12.5% (n=12). Pour 81% (n=82) des répondants, il n'y a pas de problèmes avec les semelles qui sont cependant jugées à l'origine de vraies difficultés pour 11.4% des enfants (n=6). Les chaussures à semelles fines et souples avec un bout plat ne créent de réel problème que pour 11% des 96 enfants (n=11). Si le pupitre n'est source de difficultés que pour 20.5% (n= 18) des répondants lors de son utilisation à la maison, il devient « difficile » à « extrêmement difficile » à l'école pour 42.7% (n=41) des répondants. Quant au repose-pied, si le niveau de difficulté d'utilisation est faible à la maison (11.5%, n=11) il devient lui aussi très marqué en classe (44%, n=42). La position d'endormissement est vécue très différemment selon les enfants mais plus de la moitié rencontre des difficultés et la qualifie de « difficile à extrêmement difficile » alors que l'autre moitié l'adopte sans problème. La position assise recommandée en classe, pendant les repas et en voiture, ne pose pas de problème réel pour près de  $\frac{3}{4}$  des dyslexiques (respectivement 77%, 66% et 66.5% de n=96). Par contre le respect de cette position pour regarder la télévision pose un problème à 71% (n=69) des enfants et 28.2% (n=27) la juge « extrêmement difficile » lors de ces moments de détente. La position debout d'attente gêne 51% (n=49) des enfants répondants. Marcher les pieds parallèles en déroulant le pied ne pose pas de problème pour 76% des 96 répondants qui estiment cette contrainte facile ou peu difficile. La respiration n'est réellement difficile que pour 33.3% (n=32) des enfants quand il s'agit de la position couchée à plat dos, mais elle passe à 51.5% (n=49) pour la position debout.

#### **7.2.4. Auto-évaluation des résultats par l'enfant dyslexique et ses parents.**

Les variations relatives des scores de performance entre J0 et M12 (différence entre les scores à M12 et à J0, rapportée au score à J0) ont été calculées à partir des données recueillies chez les parents et chez les enfants à M12 (figure 10). En médiane, les améliorations relatives estimées par les enfants entre J0 et M12 s'échelonnent entre 21% pour les douleurs musculaires et 114% pour la vitesse de lecture. En dehors de la vitesse de lecture, les améliorations les plus nettes sont retrouvées pour la compréhension des textes lus (88%), la concentration pour le travail scolaire (87%) et la rapidité pour les devoirs en classe (80%). Le bien-être et la fatigue générale s'améliorent respectivement de 60% et 52%. Les progrès sont moins nets pour la mémoire, la compréhension orale et les douleurs musculaires. Par contre l'effet ressenti sur la qualité de l'écriture est élevé (75%). Les améliorations estimées par les parents sont plus importantes que celles rapportées par les enfants mais restent dans un même ordre de grandeur. La différence est liée au fait que l'appréciation des parents est plus pessimiste sur le niveau de départ et plus optimiste après 12 mois de traitement.

### 7.3. Commentaires.

Dans le groupe des enfants qui portent leurs lunettes et leurs semelles au moins un jour sur deux, le fait de respecter les postures recommandées et de réaliser les exercices régulièrement était associé à une amélioration ressentie plus importante en terme de compréhension orale (amélioration médiane de 53% [IQR : 29%-100%] chez les observants versus 29% [IQR : 7%-88%] chez les non observants ( $p=0.0209$ )). La rapidité de réalisation des devoirs écrits en classe semblait également davantage améliorée ( $p=0.0410$ ) chez les enfants respectant les postures (médiane : 106%, IQR : 50%-167%) par rapport aux enfants ne les respectant pas régulièrement (médiane : 71%, IQR : 20%-133%). On retrouvait également une amélioration estimée par les enfants plus importante en terme de capacité de concentration ( $p=0.0258$ ) chez les observants (médiane : 142%, IQR : 64%-325%) par rapport aux non observants (médiane : 100%, IQR : 33%-157%). Cependant, le score médian initial était plus faible chez les enfants observants ( $p=0.021$ ) que chez les enfants non observants. Ainsi les enfants observants partaient d'un état qu'ils estimaient plus dégradé que les enfants non observants. Ils avaient donc une marge plus importante de progression qui pourrait partiellement expliquer la différence observée en termes d'amélioration. La distribution statistique des scores ne suivant pas une loi normale, il ne nous était pas possible d'ajuster sur le score initial et ainsi d'identifier l'impact de l'observance sur la différence relative des capacités de concentration indépendamment du score initial de concentration. On peut noter par ailleurs que la comparaison entre les enfants respectant les postures recommandées et ceux qui ne les respectent pas montre que l'amélioration de la concentration est significativement plus importante chez les premiers que chez les seconds ( $p<0.001$ ), les autres scores n'étant pas significativement différents d'un groupe à l'autre. Cette tendance était confirmée lorsque les comparaisons étaient réalisées à partir des différences relatives estimées par les parents. Dans le groupe des enfants ne portant pas régulièrement leurs lunettes et leurs semelles (15% des enfants), il n'apparaît aucune amélioration significative dans les résultats que les postures seules, ou que les postures associées aux exercices, soient réalisées ou non. Les lunettes et les semelles semblent donc représenter une condition nécessaire à l'amélioration des résultats (l'effectif de ce groupe est cependant trop faible pour mettre en évidence clairement des différences). Parmi les 185 enfants inclus, 173 enfants (94%) ont indiqué s'ils continuaient ou non l'orthophonie. Les enfants poursuivant ce traitement en parallèle au traitement postural estimaient avoir progressé de 50% en médiane en terme de mémorisation alors que les enfants ne poursuivant pas un traitement orthophonique estimaient n'avoir progressé que de 20% ( $p=0.0708$ ) sans que les niveaux de départ puissent être considérés comme différents ( $p=0.280$ ). Les séances d'orthophonie pourraient donc avoir un impact positif complémentaire sur la capacité de mémorisation.

Le taux de retour des interrogatoires est élevé par rapport à d'autres enquêtes menées dans un objectif similaire [1]. Il est probablement le témoin d'un investissement fort des patients dans le traitement, souvent décidé à l'issue d'une déception vis-à-vis des techniques classiques de rééducation orthophonique. Il pourrait aussi refléter le sentiment qu'ont les patients de participer à une nouvelle thérapeutique non encore éprouvée et exploratoire d'un domaine nouveau, ce fait étant bien expliqué au moment de la prise de rendez-vous et de la prescription. L'interrogatoire, qui se voulait anonyme pour préserver la liberté de réponse, ne permettra pas de contacter les 98 non-répondants. Le fait que beaucoup d'entre eux aient pu abandonner totalement le traitement ou que leur dyslexie ne se soit pas améliorée doit rendre prudente l'interprétation des résultats des 185 dossiers retenus (possible biais de sélection).

Le port régulier des lunettes prismatiques et des semelles ne pose pas de problème à la grande majorité des patients et il en est de même pour le matériel nécessaire au maintien d'une bonne posture (repose-pied) et à une lecture sur un plan incliné (pupitre) dès lors que l'enfant est chez lui. Par contre, en classe, le matériel pose de réels problèmes. Ceci est certainement dû à des problèmes techniques (transport d'une salle à l'autre, encombrement etc...) mais surtout au poids du regard des autres enfants. Le dyslexique est en souffrance permanente et ne voit dans son handicap qu'un seul avantage : il ne se voit pas ! Une meilleure approche psychologique de ces

contraintes et une information adéquate du corps enseignant pourrait certainement être de nature à aider l'enfant dans l'acceptation de ces contraintes.

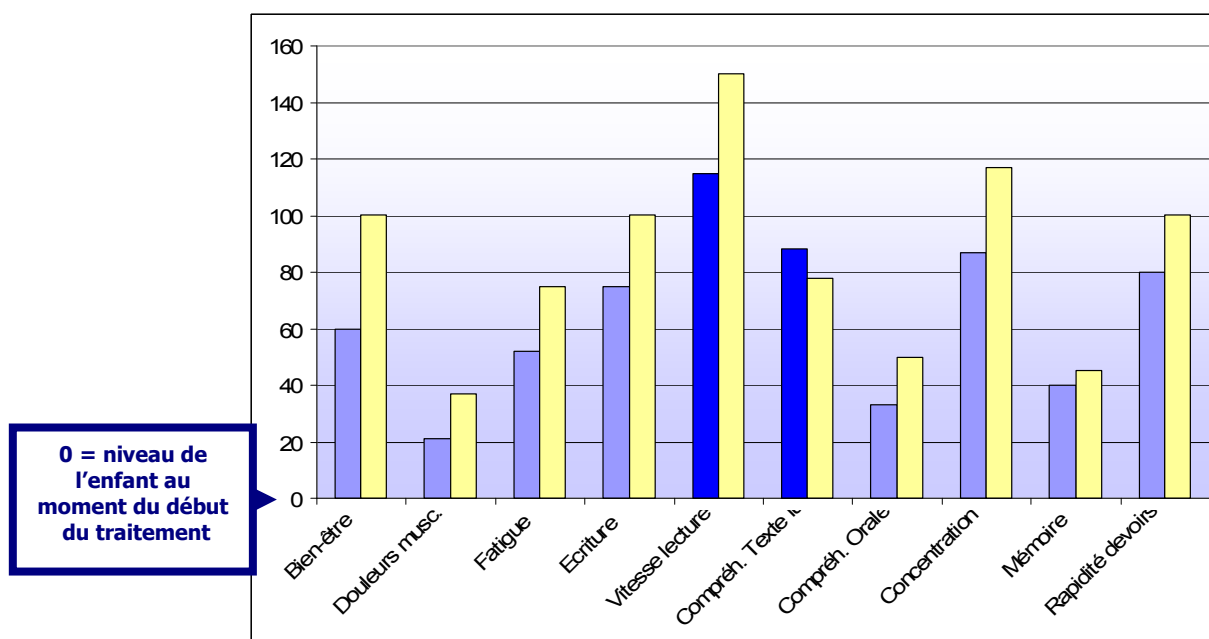


Figure 10 : graphique illustrant la progression (médiane, en %) entre J0 (valeur ramenée à la position 0) et M12 dans les différents domaines. Noter la forte progression en vitesse de lecture et en compréhension du texte lu (l'appréciation de la progression par les enfants est en bleu et par leurs parents en jaune).

La très grande majorité des enfants suit les conseils prodigués quant à la nécessité d'une surveillance régulière et fréquente chez l'opticien pour le réglage des lunettes et d'un contrôle annuel ou bisannuel pour les semelles. Les enfants qui ne respectent pas la position assise recommandée sont rares mais ils sont peu à penser à bien positionner leur centre de gravité lors des positions d'attente debout, heureusement rares chez l'enfant. La position d'endormissement provoque des douleurs cervicales et lombaires à celui qui n'applique pas en même temps une respiration abdominale contrôlée et ceci peut expliquer que 30% des enfants ne l'adoptent pas. De plus, au début, elle donne volontiers une sensation pénible d'avoir la tête plus basse que les pieds en raison des anomalies du schéma corporel typiques du SDP. Pour diminuer ce taux d'enfants non observants, un effort explicatif devra être fait lors de l'examen à M4 pendant lequel la compréhension des exercices (appris grâce à un film sur CD et un cahier d'exercices donnés à M0) est contrôlée.

La participation des parents aux exercices, très décevante (seulement 9% tous les jours), malgré un engagement exprimé au moment de la prise de rendez-vous et pendant les consultations, renvoie à un problème sociétal plus profond. Avoir un enfant dyslexique n'est pas facile et nécessite une patience particulière. La lassitude engendrée par un traitement long, les difficiles relations parents-enfants au moment de l'adolescence (mais la moitié ont seulement entre 10 et 13 ans), le poids des thérapeutiques passées, les emplois du temps chargés, les familles déstructurées, etc.... jouent certainement un grand rôle. Il n'y a pourtant pas d'autre issue qu'un investissement familial fort en raison du caractère quotidien des exercices et de la permanence des postures à maintenir.

La plupart des enfants ont continué les séances d'orthophonie qui sont probablement ressenties comme une aide indispensable, au moins pour combler le retard acquis. Orthophonie et traitement postural sont ainsi vécus comme des possibilités complémentaires et non pas concurrentes. C'est d'ailleurs dans cet esprit que les deux traitements sont clairement présentés au moment des consultations. Le nombre très faible d'abandon (10%) est à relativiser en raison du nombre de non-réponses, mais il reste faible si l'on considère qu'il s'agit d'un traitement long avec

une incitation médicale non répétitive. Il est intéressant de noter que plus de la moitié des enfants ayant répondu trouvent le traitement facile. Ce chiffre devrait permettre de motiver les dyslexiques hésitants. Parmi ceux qui déclarent trouver le traitement difficile mais le continuer, c'est encore l'utilisation du matériel en classe qui est mise en cause. Si tenir les postures est possible, cela devient difficile lors des nécessaires moments de relaxation, comme devant la télévision par exemple. Ceci est bien compréhensible de la part de ces enfants constamment sous pression. Même si l'intervention médicale se limite à une consultation de départ et un contrôle à M4, la demande d'aide supplémentaire reste discrète et seulement 38% des enfants estiment qu'une consultation supplémentaire leur aurait apporté un soutien. L'aide attendue de la part des parents et de l'orthophoniste est encore plus faible. On retrouve là le désir d'indépendance et d'autonomie souvent affirmé par les dyslexiques dès qu'ils entrevoient une solution à leur problème.

Que les résultats soient évalués par les enfants ou les parents, le ressenti des résultats du traitement est très positif pour la vitesse de lecture et pour la compréhension du texte lu qui représentent le « cœur » de la pathologie dyslexique. L'amélioration des douleurs musculaires et de la fatigue s'explique par un relâchement des contractions musculaires pathologiques qui sont présentes au cours du SDP, sources de contractures, de mauvais sommeil et de dépense énergétique inutile. Même si elle est moins nette, la compréhension orale progresse nettement, ce qui suggère que le traitement n'influence pas seulement le capteur visuel, riche en fibres musculaires, mais aussi le capteur auditif (ou les centres de l'intégration sémantique des messages ?). Ceci semble bien montrer que l'action sur la proprioception oculaire et générale dépasse la fonction des capteurs modifiés et agit en amont sur un mode interactif avec les autres modalités sensorielles.

Le caractère dysgraphique de l'écriture, fréquent chez le dyslexique, est modifié favorablement. Le rôle du système postural dans la coordination des mouvements et dans la localisation spatiale des repères (lignes) peut permettre de l'expliquer. Amélioration de l'écriture, meilleure compréhension écrite et orale, diminution de la fatigue, se conjuguent pour favoriser les facultés de concentration et de mémorisation. L'amélioration de la rapidité des devoirs écrits en classe témoigne de l'amélioration de l'ensemble des fonctions cognitives. La progression très nette des performances du dyslexique après 12 à 18 mois de traitement doit être modulée par le fait qu'il s'agit d'une estimation subjective réalisée au sein d'un groupe de patients dont nous savons peu de choses quant au niveau de dyslexie initiale et au type de dyslexie. Il faut aussi garder à l'esprit qu'il s'agit d'une auto-évaluation faite le même jour pour J0 et M12 (donc à postériori pour J0), ce qui est de nature à influencer l'évaluation pour J0. A l'inverse, le nombre de dyslexiques impliqués dans l'étude, le nombre élevé de réponses, la durée du recul et la cohérence des réponses des enfants et des parents donne une valeur indéniable à cette étude. L'étude des corrélations confirme le rôle indispensable d'un port régulier des prismes posturaux et des semelles et l'importance d'une attitude rigoureuse pour le maintien des postures et la réalisation des exercices. Ces derniers semblent renforcer des facultés non liées directement à la lecture mais qui jouent un rôle clé dans les troubles des apprentissages accompagnant la dyslexie stricto sensu.

## 8. TRAITEMENT PROPRIOCEPTIF CONTRE PLACEBO

L'objectif de cette étude [29] était d'évaluer l'impact des modifications proprioceptives induites par un traitement postural sur les troubles cognitifs d'une population d'enfants souffrant de dyslexie de développement. Le but était donc de tenter de répondre à 2 questions :

- le traitement proprioceptif diminue-t-il l'incidence des signes cliniques du syndrome de déficience posturale dans cette population particulière de dyslexiques?
- le traitement a-t-il un effet sur les troubles cognitifs liés à la dyslexie ?

*Remarques :* initiée à l'heure de l'internet, cette étude a été l'objet avant même sa publication de nombreux commentaires où la passion laissait peu de place à la raison (Quercia P, Seigneuric A, Chariot S, Bron A, Creuzot-Garcher C, Robichon F :

*Etude de l'impact du contrôle postural associé au port de verres prismatiques dans la réduction des troubles cognitifs chez le dyslexique de développement. J Fr Ophthalmol, 2007 ; 30, 4, 380-89). Ces débats étaient suscités entre autres par l'intérêt des parents pour ce nouvel abord de la dyslexie que représente le traitement proprioceptif, et aussi par des réactions d'étonnement voire de franche hostilité dont les motivations restent encore obscures à ce jour et ne méritent certainement pas d'être recherchées. Il est important de noter que les résultats présentés ici sont le reflet exact du texte publié, ce texte ayant été validé auparavant par **tous les auteurs, sans exception**, chacun ayant eu largement le temps de se retirer en cas de désaccord. Il a nécessité une lecture par deux comités de lecture indépendants avant d'être publié (texte reçu par le comité de lecture le 27 juin 2006 et accepté le 9 janvier 2007). Le texte original ne peut être reproduit ici en raison des contraintes de copyright mises en place par les éditeurs médicaux. Il est disponible en accès gratuit sur le site [www.masson.fr](http://www.masson.fr) à l'adresse [www.em-consulte.com/article/113439](http://www.em-consulte.com/article/113439).*

### 8.1. Matériel et méthode.

Il a été constitué un groupe bénéficiant à son insu du traitement postural (groupe traité) et un groupe non traité (groupe témoin). Le groupe traité a eu comme traitement des prismes posturaux, des semelles « de posture » et une rééducation posturale. Le groupe témoin a porté des lunettes sans prisme uniquement. Tous les participants ont été évalués lors de leur inclusion dans l'étude (M0) et six mois plus tard (M6). Un examen médical général a permis d'éliminer une pathologie intercurrente.

Un bilan postural suivant les règles de l'Ecole de Lisbonne a permis de proposer une thérapie proprioceptive. Un bilan neuropsychologique a été effectué à M0. Il concernait les processus visuo-lexicaux et les processus phonologiques et métaphonologiques. L'âge de lecture a été évalué à partir du test de l'Alouette de Lefavrais [13]. Une épreuve de lecture de 48 mots isolés réguliers et irréguliers, une épreuve de reconnaissance visuelle de mots (mots à reconnaître parmi des distracteurs morphologiques, phonologiques et sémantiques), une épreuve informatisée de décision orthographique, une épreuve informatisée de complétion graphémique, une épreuve informatisée de détection d'anagrammes et une épreuve informatisée de détection d'identité lexicale ou pseudolexicale ont permis d'apprécier la qualité des fonctions visuo-lexicales. Une dictée de mots isolés, réguliers et irréguliers a également complété cette partie des tests. Les aptitudes phonologiques et métaphonologiques ont été évaluées grâce à l'utilisation d'une tâche de lecture et de dictée de logatomes, d'une tâche de jugement de rimes, d'une épreuve de soustraction phonologique, d'une épreuve de soustraction syllabique, d'une épreuve de catégorisation phonologique et d'une tâche de constitution d'acronymes oraux.

Le groupe traité a reçu :

- un port permanent de prismes posturaux adaptés au type clinique diagnostiqué,
- des semelles identiques pour les enfants, contenant 2 plaques polarisées, ayant une découpe asymétrique, situées sous l'arche plantaire et réfléchissant les radiations infra-rouges dégagées par la chaleur naturelle du pied. Ces semelles, utilisées par Alves da Silva à Lisbonne, agissent essentiellement en favorisant la fonction du gros orteil lors de la marche.
- des consignes pour maintenir les postures adaptées. Les exercices ont fait l'objet d'une démonstration après auto-apprentissage avec un livret d'exercices couplé à un film sur CD.

Le groupe témoin a reçu des lunettes sans prisme, n'a pas porté de semelles et n'a pas fait d'exercices ni maintenu de postures.

Toutes les données recueillies ont été mesurées sur des échelles numériques. La méthode d'analyse statistique utilisée (analyse de covariance) a permis de mettre en évidence des différences entre les deux groupes à M6 en tenant compte d'une éventuelle différence entre les deux groupes dès le début, à M0 (par exemple, l'âge de lecture au moment de l'inclusion). Le groupe traité était formé de 20 dyslexiques de développement, âgés en moyenne de  $11,5 \pm 1$  ans [9,2-13,9 ans] et le groupe non traité comprenait 14 dyslexiques de développement, âgés en moyenne de  $11,7 \pm 1,5$  ans [9,4-14,7 ans]. Tous les volontaires inclus étaient de sexe masculin. A M6, quatre dyslexiques ont été exclus pour absence d'observance du traitement (absence de pratique d'exercices de

reprogrammation, pas de port de semelles). Le groupe traité était donc composé de 16 dyslexiques seulement alors que tous les dyslexiques du groupe contrôle ont été réexaminés.

### 8.2. Résultats.

A M0 il n'y a pas de différence significative ( $p=0.34$ ) entre les deux groupes concernant le nombre moyen de signes fonctionnels de SDP. A M6, on note que seul le groupe traité présente un changement dans le sens d'une réduction forte du nombre des signes présents ( $p=.002$ ). Les signes musculaires sont particulièrement sensibles au traitement et ont pratiquement tous disparus dans le groupe traité.

Pour ce qui concerne l'examen clinique postural, si on se réfère à la classification des SDP proposée par l'Ecole de Lisbonne [2], un seul patient avait un type mixte prédominant à M0, tous les autres étant de type mixte pur. A M6, On constate une réduction sur le torticolis ( $p=.008$ ), la version asymétrique du regard ( $p=.008$ ), la mauvaise convergence oculaire ( $p=.032$ ) et l'attitude scoliotique ( $p=.032$ ). La rotation et l'extension de la tête ne montrent pas de différence significative ( $p=.062$ ). Les pseudo-scotomes directionnels n'ont pas évolué. Il faut cependant remarquer que seule leur présence ou leur absence a été recherchée, sans évaluer une éventuelle modification en fréquence ou en étendue.

Au niveau des tests neuropsychologiques, les comparaisons intergroupes à M6, par analyse de covariance, montrent un effet significatif du facteur groupe pour :

- le retard en lecture mesuré à l'aide du test de l'Alouette ( $F(1,26) = 9,80$  ;  $p = 0,04$ ),
- la lecture de mots isolés réguliers et irréguliers ( $F(1,26) = 6,57$  ;  $p = 0,01$ ),
- les épreuves informatisées de décision orthographique ( $F(1,26) = 5,09$  ;  $p = 0,03$ ),
- les épreuves informatisées de complétion graphémique ( $F(1,26) = 4,75$  ;  $p = 0,04$ )

Pour le test de leximétrie, les dyslexiques du groupe traité, à M6, diminuent leur retard en lecture et commettent moins d'erreurs que les dyslexiques du groupe non traité. Toutefois, les résultats montrent que si les progrès réalisés concernent 13 des 16 dyslexiques du groupe traité, l'un des enfants présente le même retard à M6 qu'à M0 et deux autres un retard de lecture qui s'est aggravé à M6. Le contrôle à M6 montrait pour l'un d'entre eux une modification du type de déficience posturale (avec nécessité d'inverser les prismes obliques) et pour l'autre un montage de prismes défectueux avec un axe dévié de  $20^\circ$ . L'examen de l'enfant ayant stagné ne montrait rien de particulier. Il faut noter par ailleurs que, si les participants sous traitement ont globalement réduit leur retard en lecture par rapport au groupe contrôle, aucun enfant n'a récupéré le niveau de lecture attendu par rapport à son âge chronologique. Il en est de même pour l'épreuve de lecture de mots isolés réguliers et irréguliers. En moyenne, les dyslexiques du groupe traité sont passés d'un retard de lecture de 45,3 mois à M0 à un retard de lecture de 43,8 mois à M6. *Le retard de lecture a donc cessé de s'aggraver et a commencé à s'améliorer.* Dans le groupe non traité le retard moyen de lecture est passé de 52,7 mois à M0 à 60,6 mois à M6 soit une aggravation de 8 mois. Les autres tests évaluant les capacités visuo-lexicales n'ont pas montré de différence significative entre M0 et M6. Les épreuves phonologiques et métaphonologiques, dans leur ensemble, n'ont pas révélé de différence entre les dyslexiques traités et les dyslexiques non traités.

### 8.3. Commentaires.

Cette étude représente la première évaluation randomisée, en insu, d'un traitement agissant sur la proprioception chez l'enfant dyslexique. Elle confirme que tous les patients dyslexiques présentaient un syndrome de déficience posturale lors de l'inclusion, ce que nous avait suggéré une précédente étude [30]. Elle permet de répondre positivement à la première question concernant le rôle du traitement proprioceptif sur les signes cliniques de déficience posturale dans cette population particulière de dyslexiques : le traitement permet bien d'améliorer d'une façon très positive les signes ressentis par les dyslexiques, notamment au niveau musculaire.

Le traitement proprioceptif a eu un effet positif sur un certain nombre d'éléments constamment perturbés chez l'enfant dyslexique. Ainsi, il a amélioré d'une manière significative le

test de leximétrie globale, la lecture des mots réguliers et des mots irréguliers ainsi que les épreuves de décision orthographique et de complétion graphémique. Si cette progression n'a pas été présente chez tous les enfants traités, elle a néanmoins intéressé la grande majorité des enfants traités (13 sur 16) pour la vitesse de lecture, élément important dans la dyslexie de développement. Par contre il n'y a pas eu d'amélioration significative pour ce qui concerne la manipulation des sons du langage et l'ensemble des épreuves concernant la conscience phonologique. L'interprétation de ces résultats doit tenir compte du fait que l'étude a couvert une période limitée à 6 mois, ce qui est très peu si l'on considère l'importance des déficits initiaux qui sont supérieurs à 45 mois de retard en lecture. Il serait illusoire d'attendre une récupération du retard de lecture en 6 mois quand le déficit moyen est à ce niveau. De plus, la faiblesse des effectifs (liée à la difficulté de trouver des enfants dyslexiques acceptant l'idée d'être placebos) représente un handicap, notamment en raison de la grande variété de formes et de sévérité de la dyslexie. Par ailleurs l'observance du traitement est difficile à apprécier pour ce qui concerne le respect des postures et des exercices. Nous avons volontairement placé les enfants sans surveillance particulière vis-à-vis de ces contraintes pour se placer dans les conditions les plus difficiles, conditions souvent retrouvées dans la vie pratique. C'est certainement ce qui explique que 4 enfants aient dû être sortis du protocole pour non-respect des exercices demandés. Cette étude a été réalisée de façon randomisée en insu, ce qui renforce sa valeur (le neuropsychologue qui faisait les évaluations ne savait pas à quel groupe appartenait l'enfant). Toutefois, l'insu n'était que partiel puisque seuls les enfants traités bénéficiaient d'exercices de reprogrammation. Enfin, le traitement a été fait en fonction des connaissances que nous avons en 2005, ne tenant pas compte du réglage très précis des prismes tel qu'il est possible aujourd'hui, des interférences manducatrices que nous savons régler maintenant et de la possible personnalisation des semelles de posture en fonction du sous-type de SDP.

## 9. EN QUOI LA PROPRIOCEPTION DES DYSLEXIQUES EST-ELLE PERTURBEE ?

Nous avons cherché à savoir si l'intégration des signaux proprioceptifs lors d'une tâche d'équilibre sur plate-forme associée à une tâche attentionnelle était différente chez les enfants dyslexiques par rapport à des enfants normo-lecteurs. Pour cette étude nous avons comparé 30 dyslexiques non traités, 51 dyslexiques ayant bénéficié d'un traitement proprioceptif de plus de 3 mois et 42 enfants normo-lecteurs. Les informations proprioceptives ont été modifiées dans chacun de ces groupes en appliquant des co-vibrations de 40 et 85 hertz sur les tendons des muscles des chevilles. Cette technique est classiquement utilisée pour modifier la proprioception d'un sujet grâce aux perturbations produites par les vibrations sur les informations provenant des fuseaux neuromusculaires. Dans le même temps, il était demandé aux enfants soit de fixer un point situé à 50 cm de leur visage à hauteur des yeux, soit de compter des étoiles de 2 tailles différentes au sein d'un ensemble de 80 étoiles. L'équilibre était quantifié à partir des variations du centre de gravité sur une plate-forme de force sur laquelle se tenait l'enfant. Les résultats montrent que la vitesse moyenne de déplacement du centre de gravité était différente dans le groupe des enfants dyslexiques comparé au groupe des enfants normo-lecteurs et ce, sans effet spécifique lié à la tâche attentionnelle en cours. Dans les conditions sans vibrations les performances attentionnelles du groupe traité était identique à celles du groupe témoin normo-lecteur alors que celles du groupe de dyslexique était clairement altérées. Mises ensemble, ces résultats suggèrent que l'intégration des signaux proprioceptifs et les capacités attentionnelles des enfants dyslexiques sont altérées chez les dyslexiques. Cependant ces dernières peuvent être significativement améliorées par le traitement proprioceptif. Ce travail, est actuellement soumis à un comité de lecture indépendant.

25 Février 2011 : acceptation pour publication dans la revue scientifique américaine **Experimental Brain Research** sous le titre. **Quercia P, Dos Santos M, Demougeot L, Bonnetblanc F. Integration of proprioceptive signals and attentional capacity during postural control are impaired but subject to improvement in dyslexic children.** Sortie 03 ou 04/2011

## 10. CONCLUSION

L'évaluation de l'intérêt du traitement proprioceptif chez le dyslexique en est à ses débuts, même si à ce jour plusieurs dizaines de milliers d'enfants dyslexiques ont déjà été traité avec bonheur. Ce manque de données scientifiques est à la base d'un scepticisme de la part de nombreux thérapeutes qui demandent des preuves avant de commencer à s'intéresser à la proprioception, tant le traitement proprioceptif paraît loin des conceptions habituelles. Rappelons cependant que tous les praticiens du monde, confrontés journallement à la souffrance des patients et aux difficultés du raisonnement médical savent au plus profond de leur être que la médecine n'est pas une science mais d'abord un art délicat de l'observation et de l'écoute. Au-delà du concept de « l'evidence-base medicine » qui restera notre espérance et le moteur de nos recherches, le but est d'abord d'aider et de soulager sans nuire. Issu des observations cliniques géniales de Henrique Martins da Cunha et d'Orlando Alves da Silva, le traitement proprioceptif chez le dyslexique répond à cet impératif. Il n'en est qu'à ses débuts et connaît encore des échecs dont les causes principales sont la résistance des enfants à suivre la reprogrammation, les difficultés de diagnostic dans certains cas complexes et surtout la limite de nos connaissances.

## BIBLIOGRAPHIE

1. Bakker DJ. Treatment of developmental dyslexia: a review. *Pediatr Rehabil.* 2006 Jan-Mar;9(1):3-13.
2. Martins da Cunha H, Alves da Silva O. Syndrome de déficience Posturale. *J. Fr. Ophtalmol (Paris)*, 9 : 747-755.
3. Pozzo T, Vernet P, Creuzot-Garcher C, Robichon F, Bron A, Quercia P. : Static postural control in children with developmental dyslexia. *Neurosci Lett.* 2006 Aug 7;403 (3):211-5.
4. Moe-Nilssen R, Helbestad JL, Talcott JB, Toennessen FE. Balance and gait in children with dyslexia. *Exp Brain Res* 150; 2:237-44.
5. Stoolley CJ, Fawcett AJ, Nicolson RI, Stein JF. Impaired balancing ability in dyslexic children. *Exp Brain Res* 2005; 167: 370-80.
6. Winner E, von Karolyi C, Malinsky D, French L, Seliger C, Ross E, Weber C (2001) Dyslexia and visual-spatial talents: compensation vs deficit model. *Brain Lang* 76:81-110.
7. Poblano A, Ishiwara K, De Lourdes Arias M, Garcia-Pedrosa F, Marin H, Trujillo M. Motor control alteration in posturography in learning-disabled children. *Arch Med res* 2002; 33:485-8.
8. Ramus F, Rosen S, Dakin SC, Day BL, Castellote JM, White S, Frith U. Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003; 126: 841-65.
9. Kapoula Z, Bucci MP. Postural control in dyslexic and non-dyslexic children. *J Neurol.* 2007 Sep;254(9):1174-1183. Epub 2007 Aug 3.
10. Rochelle KS, Witton C, Talcott JB. Symptoms of hyperactivity and inattention can mediate deficits of postural stability in developmental dyslexia. *Exp Brain Res.* 2009 Feb;192(4):627-33.
11. Ferdjallah M, Harris GF, Smith P, Wertsch JJ. Analysis of postural control synergies during quiet standing in healthy children and children with cerebral palsy. *Clin Biomech* 2002 ; 17 : 203-10.
12. Vieira S, Quercia P, Michel C, Pozzo T, Bonnetblanc F. Cognitive demands impair postural control in developmental dyslexia: a negative effect that can be compensated. *Neurosci Lett.* 2009 Sep 22;462(2):125-9.
13. Lefavrais P. *Test d'Analyse de la Lecture et de la Dyslexie (Test de l'Alouette)*, Masson Ed, Paris, 1965, 2e édition révisée 2000.
14. Stroop JR, (1935) Studies of interference in serial verbal reactions. *J Exp Psychol* 18:643-661
15. Jahn K, Strupp M, Krafczyk S, Schuler O, Glasauer S, Brandt T (2002) Suppression of eye movements improves balance. *Brain* 125:2005-2011.
16. Strupp M, Glasauer S, Jahn K, Schneider E, Krafczyk S, Brandt T (2003) Eye movements and balance. *Ann NY Acad Sci* 1004:352-358.
17. Uschida T, Hashimoto M, Suzuki N, Takegami T, Iwase I (1979) Effects of periodic saccades on the body sway in human subjects. *Neurosci Lett* 13:253-258.
18. Rey F, Lê TT, Bertin R, Kapoula Z. Saccades horizontal or vertical at near or at far do not deteriorate postural control. *Auris Nasus Larynx.* 2008 Jun;35(2.)
19. Vogler et al. Family history as an indicator of risk for reading disability. *J Learn Disab*, 18 : 412-419.
20. Test de TIME 3: <http://www.ecpa.fr>
21. Quercia P, Fourage R, Guillarme L, Marino A, Quercia M, Saltarelli S. *Traitement Proprioceptif et Dyslexie.* AF3dys Edition 2008. 623 pages. AF3dys@neuf.fr.
22. Roll R, Velay JL, Roll JP. Eye and neck proprioceptive messages contribute to the spatial coding of retinal input in visually oriented activities. *Exp Brain Res.* 1991;85(2):423-431.
23. Velay JL, Allin F, Bouquerel A. Motor and perceptual responses to horizontal and vertical eye vibration in humans. *Vision Res.* 1997 Sep;37(18):2631-8.
24. 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, pp 25-45.
25. Matheron E. Hétérophories verticales en vision de loin et troubles posturaux. In : Lacour M, ed. *Posture et Equilibre. Nouveautés conceptuelles, instrumentales et cliniques.* Marseille. Solal;2001. p157-63.

26. Van Rijn LJ, Ten Tusscher MPM, De Jong I, Hendrickse F. Asymmetrical vertical phorias indicating dissociated vertical deviation in subjects with normal binocular vision. *Vision research*, 38: 2973-2978
27. Marino A, Quercia P: Orthodontie-neuro-sensorielle et Dyslexie. Dysfonctions motrices et cognitives. Masson Ed. Paris 2007.
28. Quercia P : Vécu et Suivi du Traitement proprioceptif et postural dans la dyslexie de développement avec un recul de 12 à 18 mois. *Dysfonctions motrices et cognitives*. Masson Ed. Paris 2007.
29. Quercia P, Seigneuric A, Chariot S, Bron A, Creuzot-Garcher C, Robichon F (2007) [Etude de l'impact du contrôle postural associé au port de verres prismatiques dans la réduction des troubles cognitifs chez le dyslexique de développement. *J Fr Ophtalmol* 30:380-89.
30. Quercia P, Seigneuric A, Chariot S, Vernet P, Pozzo T, Bron A, Creuzot-Garcher C, Robichon F (2005) Ocular proprioception and developmental dyslexia. Sixty clinical observations *J Fr Ophtalmol* 28:713-723.

