

Habiletés phonologiques, identification de mots écrits et déficits auditifs perceptifs chez les enfants dyslexiques : effet d'un entraînement audio-visuel*

Annie Magnan, Jean Écalle, Évelyne Veillet

Le principal objectif de cet article est de montrer l'efficacité d'un entraînement audio-visuel portant sur la discrimination du trait phonétique de voisement auprès d'enfants dyslexiques. Nous testons le niveau d'habiletés phonologiques et de lecture, la perception du contraste phonétique de voisement et le fonctionnement des voies auditives descendantes avant et après entraînement. Les résultats du pré-test confirment le faible niveau phonologique des dyslexiques, la difficulté de reconnaissance de mots, le déficit de perception des contrastes phonétiques. En outre, un fonctionnement anormal des voies auditives descendantes, filtre auditif périphérique fonctionnant sous contrôle central, a été mis en évidence. Un effet positif de l'entraînement a été observé sur ces paramètres et discuté dans le cadre des hypothèses explicatives de l'origine de la dyslexie.

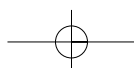
Descripteurs (TEE) : apprentissage, compréhension à l'audition, difficulté de lecture, dyslexie, neurophysiologie, phonologie, psychologie cognitive.

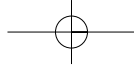
Les enfants qui éprouvent des difficultés persistantes d'apprentissage de la lecture (appelés dyslexiques) se caractérisent généralement par des troubles de traitement phonologique qui se répercutent par des difficultés à développer des processus d'identification de mots écrits automatisés entraînant des difficultés de compréhension de texte. Quel est l'état de connaissances actuelles sur la dyslexie ?

Est-ce que les difficultés des dyslexiques s'accompagnent de troubles perceptifs auditifs ? Lesquels ? Peut-on remédier aux difficultés d'apprentissage des dyslexiques ? Telles sont les grandes questions qui seront abordées ici sous un angle interdisciplinaire empruntant aux travaux des neurosciences et de la psychologie cognitive.

* Ce travail a bénéficié du soutien du ministère de la Recherche : Action concertée incitative « École & sciences cognitives », programme « Apprentissage des langues ; dysfonctionnements et remédiations ».

(1) Pour se procurer ce logiciel, contacter Audivimédia 48, rue Montmartre 75002 Paris (contact@audivimédia.com).





LA DYSLEXIE

Un problème de définition

Le terme dyslexie désigne un trouble spécifique et durable de la lecture et ne peut être assimilé à un simple retard dans l'apprentissage. Le critère d'un retard de lecture de dix-huit mois minimum, en dépit d'une intelligence normale, d'une scolarisation adéquate, d'un milieu socio-culturel normalement stimulant et en l'absence de troubles neurologiques, est généralement retenu. Cette définition repose essentiellement sur la mise en évidence d'un retard de lecture en présence d'un quotient intellectuel normal et pose un double problème d'évaluation, celui du niveau de lecture permettant de calculer l'écart entre performances effectives et performances attendues en lecture et celui du niveau d'intelligence.

Deux points méritent d'être soulignés. D'une part, les troubles de lecture affectant des enfants au cours de leur cursus scolaire ne sont pas figés. En effet, alors même que le trouble de lecture persiste, les manifestations comportementales, elles, diffèrent. Dans des travaux déjà anciens, l'élaboration de stratégies compensatoires au cours du développement a été mise en évidence (voir Casalis, 1995 pour une revue). L'écart entre les niveaux de lecture attendu et observé n'est pas stable au cours du développement (Frith, 1999). D'autre part, le fait que seul un quotient intellectuel normal permet de distinguer les dyslexiques des autres lecteurs en difficulté est actuellement discuté. Certains faibles lecteurs quel que soit leur quotient intellectuel (QI) présentent des performances phonologiques similaires à celles des dyslexiques. Cette dernière remarque conduit à souligner les risques d'une définition exclusivement comportementale de la dyslexie – « *dyslexia is not synonymous with reading failure* » (Frith, 1999, p. 211). Actuellement une définition de la dyslexie qui articule simultanément trois niveaux d'explication, biologique, cognitif et comportemental fait l'objet d'un consensus. Bishop et Snowling (2004) ajoutent un quatrième niveau, étiologique, incluant les facteurs génétique et environnemental, ce dernier pouvant aggraver ou réduire le déficit.

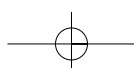
Depuis une quinzaine d'années, les travaux conduits en neuropsychologie cognitive ont fortement contribué à une meilleure approche de ce trouble de l'apprentissage. Aujourd'hui, l'existence de particularités neurologiques tant anatomiques que fonctionnelles est établie (voir Habib, 1997, pour une revue en français).

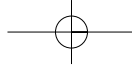
Malgré les avancées scientifiques récentes, le terme « dyslexie » reste absent d'un certain nombre de classifications. L'Organisation mondiale de la santé dans une dixième révision de la classification internationale des maladies (CIM-10), mentionne de façon peu précise « troubles spécifiques des acquisitions scolaires » parmi lesquels ceux qui affectent l'apprentissage du langage écrit. Selon la CIM-10, ce sont les enfants qui ont des résultats inférieurs à la moyenne de leur classe d'âge moins deux écarts-types. La nosographie américaine, DSM-IV, parle de « troubles spécifiques du langage écrit » mais sans fournir d'indicateur opérationnel.

L'origine des troubles phonologiques classiquement décrits dans la dyslexie donne lieu aujourd'hui à différentes théories explicatives. La présence de troubles sensori-moteurs (auditif, visuel, moteur) fréquemment associés à la dyslexie a conduit à proposer des hypothèses alternatives à celle, longtemps dominante, sous-tendant la théorie phonologique. Ainsi, ont vu le jour les théories auditive, visuelle et cérébelleuse [cervelet, *NdE*] récemment regroupées dans le cadre de la théorie magnocellulaire faisant l'hypothèse d'un trouble sensori-moteur général à l'origine de la dyslexie (voir Sprenger-Charolles & Colé, 2003, pour une présentation détaillée).

En résumé, les troubles phonologiques du dyslexique sont, soit considérés comme un trouble spécifiquement linguistique, soit intégrés dans un trouble plus général d'ordre sensori-moteur. Une méta-analyse récente réalisée par Ramus *et al.* (2003) montre que la moitié des dyslexiques présentent des troubles auditifs, un quart des troubles visuels et 80 % présentent des troubles moteurs et des phonologiques. Si les troubles phonologiques concernent la grande majorité de dyslexiques, les troubles sensorimoteurs ne concernent qu'une fraction plus ou moins grande d'entre eux. La dyslexie semble donc se caractériser par un déficit spécifique aux représentations phonologiques accompagné dans certains cas de troubles sensori-moteurs dont le rôle dans les difficultés de lecture n'est pas établi. Ce constat conduit Ramus (2003) à défendre l'idée que dans l'état actuel des connaissances, la stratégie de remédiation la mieux adaptée, reste celle basée sur les entraînements phonologiques et sur la lecture.

Ce rapide état de la question sur la définition de la dyslexie suggère que celle-ci ne peut être réduite à la présence de faibles performances en lecture et son diagnostic ne peut être effectué sur le seul constat d'un déficit phonologique. Si le déficit phonologique





semble bien être la cause principale de la majorité des troubles de lecture, il faut aussi convoquer des facteurs biologiques et environnementaux pour comprendre et bien différencier les difficultés en lecture de la dyslexie (Vellutino *et al.*, 2004 ; Ramus, 2005). Parmi la population d'enfants manifestant des troubles de l'apprentissage de la lecture, il convient de bien distinguer ceux qui peuvent être qualifiés de dyslexiques (3 à 6 %) de ceux dont l'origine de l'échec est à rechercher dans les facteurs environnementaux (Gombert, 1997). Ces derniers, souvent issus de milieux dits défavorisés ont un faible niveau d'exposition à l'écrit, n'exercent pas les habiletés linguistiques nécessaires à l'acquisition de la lecture. Ces enfants que Gombert qualifie de « dyssynoptiques » se caractérisent par des difficultés importantes en compréhension.

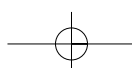
Le déficit phonologique chez les dyslexiques : déficit perceptif auditif versus déficit parole spécifique

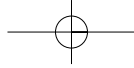
Il est aujourd'hui établi que l'apprentissage de la lecture suppose que l'enfant ait construit un système de correspondances entre des unités orthographiques et des unités phonologiques. La mise en œuvre de ce lien repose sur le niveau d'habiletés phonologiques de l'enfant, c'est-à-dire sa capacité à opérer une analyse phonologique du langage oral. De nombreuses études ont clairement montré les relations entre l'apprentissage de la lecture et les habiletés phonologiques (Écalte & Magnan, 2002). Celles-ci apparaissent comme bi-directionnelles, à la fois cause et conséquence de l'apprentissage de la langue écrite et constituent un bon prédicteur de la réussite en lecture.

Chez les dyslexiques, des déficits précoces en analyse phonologique, avant même l'apprentissage de la lecture pourraient entraver l'apprentissage du système de correspondance grapho-phonémique crucial pour apprendre à lire. Les dyslexiques se caractériseraient principalement par des déficiences fonctionnelles du processeur phonologique, même en dehors de l'écrit, ce qui rendrait difficile la compréhension du système alphabétique et l'utilisation d'une procédure phonologique, et plus précisément celle impliquant des unités infra-phonémiques, et ce malgré des années de scolarité. En effet, de nombreuses recherches attestent d'un déficit de perception catégorielle des sons de la parole chez les dyslexiques qui proviendrait essentiellement d'une meilleure discriminabilité des différences acoustiques entre *stimuli* appartenant à la même catégorie phonémique (pour une synthèse voir Serniclaes *et al.*, 2001).

L'origine des troubles phonologiques observés chez les dyslexiques fait aujourd'hui l'objet de différentes interprétations théoriques. Suite à l'observation initiale de Tallal (1980) – selon laquelle des « enfants ayant un trouble du langage », comparativement à des « enfants contrôle » du même âge, présentent des difficultés pour identifier et juger correctement l'ordre de *stimuli* sonores de courte durée présentés en succession rapide –, l'hypothèse d'un déficit dans le traitement auditif général a été formulée et a donné lieu à l'élaboration d'un programme d'entraînement intensif basé sur des *stimuli* verbaux artificiellement étirés dans le temps (Tallal *et al.*, 1996) qui permettrait d'améliorer la discrimination entre phonèmes. Ce programme a été fortement médiatisé et très controversé (Ramus, 2003). En effet, si des troubles variés du traitement auditif perceptif sont classiquement décrits chez certains dyslexiques, les relations de causalité entre compétences auditives et compétences en lecture, ne sont pas aujourd'hui clairement établies. De nombreux auteurs réfutent l'hypothèse d'un trouble général de l'intégration temporelle et concluent que le déficit de perception de la parole observé chez certains dyslexiques est d'origine phonétique et non auditive. Une hypothèse soutient ainsi l'idée d'un déficit essentiellement linguistique/phonologique, concernant spécifiquement les représentations et les traitements verbaux, sans relation causale directe avec les troubles auditifs de bas niveau qui peuvent l'accompagner. Ces derniers ne seraient ni nécessaires ni suffisants pour donner lieu à une dyslexie (Rosen, 2003). Plusieurs données vont dans ce sens, montrant que les difficultés pour discriminer les phonèmes ne s'accompagnent pas forcément d'un déficit pour le traitement de *stimuli* analogues non-verbaux (Mody, Studdert-Kennedy & Brady, 1997) et les anomalies présentées par les enfants dyslexiques pour situer des frontières catégorielles dans un *continuum* acoustique différent si le matériel est présenté comme étant de nature verbale plutôt que non-verbale (Serniclaes *et al.*, 2001). Les déficits des enfants dyslexiques pourraient donc ne pas simplement relever d'une difficulté à traiter des *stimuli* acoustiques rapides, et une composante linguistique/phonologique serait centrale dans les difficultés d'apprentissage en lecture. Cette perspective remet en question les entraînements au traitement de *stimuli* auditifs rapides (Ramus, 2003).

Face à ces divergences, les troubles auditifs méritent toujours d'être étudiés chez le dyslexique. Ces controverses sur la nature phonologique et/ou auditive du trouble dyslexique restent entièrement





d'actualité. Le système auditif doit être capable d'encoder les indices acoustiques de base qui au niveau cérébral feront l'objet d'une représentation sensorielle, elle-même mise en relation avec les traits distinctifs constituant les phonèmes (point d'articulation, voisement...). Il s'agit ici d'une analyse phonétique abstraite (auditivo-linguistique) de nature catégorielle à l'issue de laquelle, suite à des filtrages, il y a élimination des variations phonétiques sans valeur distinctive et activation du phonème correspondant aux traits phonétiques perçus. On peut aisément concevoir qu'une représentation parfaite des détails spectraux et temporels des traits acoustiques constituant les « sons de la parole » facilite l'encodage des figures acoustiques dans les représentations phonologiques. Cela n'est possible que si le traitement temporel de l'information auditive est optimal et dans ce cas une translation automatique et sans effort du code phonologique vers le script orthographique (et inversement) s'effectuerait.

Si de plus en plus d'arguments plaident en faveur de l'existence de troubles de la perception auditive fine chez les sujets présentant des troubles d'apprentissage, des travaux ont été parallèlement entrepris pour rechercher les bases neurophysiologiques de ces déficits. Mais à l'heure actuelle, les mécanismes neurophysiologiques qui seraient défaillants chez le dyslexique restent encore peu connus et nous mesurons encore mal les conséquences de ces déficits perceptifs auditifs dans une pathologie de nature plutôt parole spécifique.

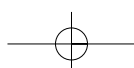
Face aux arguments en faveur d'une représentation anormale de certaines figures acoustiques dans le cortex auditif de sujets présentant des troubles d'apprentissage, on peut se demander d'une part, si le message sonore est correctement intégré avant son arrivée dans le cortex auditif et d'autre part, si ces anomalies de traitement cortical ne vont pas se répercuter sur cette intégration précoce. Il faut en effet rappeler qu'à côté d'une voie auditive afférente qui véhicule les informations de la cochlée vers les structures corticales en passant par différents noyaux du tronc cérébral, il existe une voie auditive efférente dont certaines fibres, celles appartenant au système médian, prennent naissance dans le complexe olivaire et font directement synapse sur la cellule ciliée externe de l'organe de Corti. Ces fibres efférentes olivocochléaires médianes, activées par le bruit, mais aussi par les sons modulés en amplitude ou en fréquence, forment une boucle de rétroaction entre les deux cochlées. Le rôle joué par cette boucle dans la perception auditive reste encore mal connu, sinon que ces fibres qui régulent l'activité

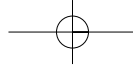
de la cellule ciliée externe sont impliquées dans la protection de l'oreille contre le bruit et dans l'amélioration de la perception auditive dans le bruit. Cette régulation des entrées sensorielles auditives confère donc à ces fibres efférentes un rôle de « filtre auditif périphérique » du signal acoustique. Ce filtre présente la particularité de fonctionner sous contrôle central, via des fibres issues des aires auditives qui font relais dans le colliculus inférieur. En effet, le fonctionnement de la boucle olivocochléaire médiane est modifié suite à certaine lésion corticale, argument majeur en faveur de l'existence d'un contrôle central du fonctionnement cochléaire. Cette boucle présente une autre particularité fonctionnelle essentielle, qui est celle d'être latéralisée, avec une plus forte inhibition qui s'exercerait sur la voie auditive innervant l'oreille droite chez le sujet droitier et donc sur les informations destinées à l'hémisphère gauche puisque la voie auditive afférente est majoritairement croisée.

De nombreuses études, en utilisant des techniques électrophysiologiques, ont mesuré à différents niveaux de la voie auditive (entre la cochlée et le cortex auditif primaire) les réponses évoquées par des stimulations sonores. S'il n'a pas été mis en évidence des anomalies des réponses précoces, en revanche, il a été clairement montré que les enfants dyslexiques ou présentant des troubles de l'apprentissage du langage, différent des enfants ne présentant pas de trouble d'apprentissage au niveau des ondes N1, P1 ou N2 plutôt générées à un niveau cortical. En revanche, à ce jour, il n'existe à notre connaissance aucun travail (hormis une seule étude préliminaire), consacré à la mesure des réponses acoustiques de la cochlée et à leur contrôle efférent chez les enfants présentant des troubles d'apprentissage (Veuillet *et al.*, 1999). Les premiers résultats mettent en évidence l'existence de plus faibles réponses cochléaires ainsi qu'un moindre fonctionnement du filtre auditif périphérique plus particulièrement dans l'oreille droite chez les enfants dysorthographiques comparés à des « enfants témoin ».

LES SYSTÈMES INFORMATISÉS D'AIDE À LA LECTURE

Si de nombreux outils-diagnostic pilotés par ordinateurs ont été utilisés ces dernières années dans le but d'évaluer les compétences en lecture voire de diagnostiquer des enfants en difficultés, en revanche, les systèmes informatisés d'aide à l'apprentissage de la lecture sont récents et prometteurs. Les propriétés des systèmes informatisés, telles la haute définition graphique, le « *feedback* » immédiat, la qualité des





productions orales (voix humaine numérisée) et l'aspect ludique, permettant de maintenir l'attention de l'enfant et qui s'avèrent pertinentes pour une meilleure spécification des représentations phonémiques, sont maintenant bien déterminées (Mioduser *et al.*, 2000).

L'efficacité des techniques de rétroaction verbale sur l'amélioration des connaissances phonémiques a été mise en évidence (Olson *et al.*, 1997). Ces études ont comparé les performances d'enfants exposés à différentes formes de rétroaction (mot *versus* segmentation en attaque/rime). Les méthodes d'entraînement phonologique communément utilisées impliquent différentes unités sous-lexicales telles la rime, la syllabe et le phonème. Toutefois, les résultats de ces recherches, qui poursuivaient l'objectif d'entraîner les habiletés phonologiques des enfants, sont peu claires quant à leur effet sur l'apprentissage de la lecture. Par exemple, on observe une amélioration des compétences phonologiques mais de faibles résultats en reconnaissance de mots.

L'impact d'un entraînement phonologique sur le niveau d'habiletés phonologiques et les capacités en lecture a été examiné dans deux méta-analyses (Bus & Ijzendoorn, 1999 ; Ehri *et al.*, 2001) qui ont démontré qu'un entraînement phonologique seul avait un faible effet sur les performances en lecture. Ces auteurs prônent un entraînement visant à faciliter le lien entre des unités orthographiques et phonologiques. L'efficacité d'un tel entraînement phonologique insistant sur le lien entre des unités orthographiques et des unités phonologiques a été récemment mis en évidence (McCandliss *et al.*, 2003). Cet entraînement a fait l'objet d'une simulation connexionniste comparant différents types de remédiation (Harm *et al.*, 2003). Conformément aux données comportementales, les données simulées montrent que les techniques les plus efficaces sont celles reposant sur le « *mapping* » (appariement) entre des unités orthographiques et des unités phonologiques.

En résumé, les entraînements reposant sur la correspondance entre des unités phonologiques et orthographiques paraissent plus efficaces. En conséquence, un entraînement permettant à l'enfant de traiter simultanément des unités présentées en modalité auditive et visuelle devrait améliorer les performances en lecture.

UNE EXPÉRIENCE D'ENTRAÎNEMENT AUDIO-VISUEL

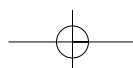
Nous pensons que les représentations phonologiques des enfants dyslexiques sont sous-spécifiées

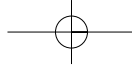
par rapport à celle de normo-lecteurs. Cette organisation incomplète consisterait en une absence de prise en compte des ressemblances présentées par les phonèmes en termes de traits phonétiques, pour structurer un niveau de représentation phonémique.

L'objectif est d'étudier comment un entraînement audio-visuel à la discrimination phonémique peut modifier les performances d'enfants dyslexiques dans des tâches d'évaluation du niveau d'habiletés phonologiques, de reconnaissance de mots écrits, de perception catégorielle des sons de parole. Le recours à un tel système d'aide à l'apprentissage repose sur deux séries d'arguments expérimentaux, l'une relative à la difficulté des dyslexiques dans des tâches de perception catégorielle des sons de parole, l'autre à l'efficacité sur les performances en lecture d'un entraînement reposant sur le lien entre unités orthographiques et phonologiques.

L'hypothèse générale est qu'un entraînement audio-visuel à la discrimination phonétique portant sur le trait phonétique de voisement facilitera la spécification des représentations phonémiques et par conséquent améliorera les performances en lecture de mots.

Nous avons évalué, avant et après entraînement, le niveau d'*habiletés phonologiques* d'enfants dyslexiques ainsi que leur capacité de *reconnaissance de mots écrits*. De plus, au niveau acoustico-phonémique, nous avons mesuré *leur compétence auditive* dans le traitement d'un indice phonétique (le voisement), présent dans le signal de parole. Pour cela, nous leur avons proposé une tâche de catégorisation phonétique, supposée refléter les étapes précoces de l'analyse acoustique perceptive (temporelle). Puis, afin de faire avancer nos connaissances concernant les bases neurophysiologiques déficitaires chez le dyslexique et suite à un travail antérieur en faveur de dysfonctionnements chez l'enfant dysorthographique (Veuillet *et al.*, 1999), nous avons procédé à une *exploration des Voies auditives descendantes* (VAD), impliquées dans les phénomènes d'interaction cochléaire, fonctionnant probablement sous contrôle central, dont le rôle serait de filtrer l'information auditive dès la périphérie permettant en particulier d'améliorer l'intelligibilité dans le bruit. Ces quatre explorations ont été réalisées chez des enfants dyslexiques soumis à l'entraînement. Le but étant d'établir des relations causales entre certaines compétences en lecture, les capacités perceptives dans le traitement de certains sons de la parole et certains mécanismes neurophysiologiques auditifs.





Participants

Quatorze enfants dyslexiques scolarisés dans une école spécialisée accueillant des enfants présentant des troubles d'apprentissage du langage oral et écrit ont participé à cette étude. Ils appartenaient à différents niveaux scolaires (CE2, CM1, CM2), suivaient un enseignement adapté à leur trouble et bénéficiaient de séances d'orthophonie régulières une à deux fois par semaine. Ces enfants ont consulté au centre de référence pour les troubles des apprentissages chez l'enfant (hôpital Édouard Herriot, Lyon) où une batterie de tests neuropsychologiques et phonologiques leur a été administrée. Ils ne présentaient ni troubles associés, ni déficience intellectuelle (QIP et QIV > 70 à la WISC 3) et manifestaient un retard de lecture supérieur à dix-huit mois. Tous étaient normoentendants et exempts de pathologie auditive particulière. Les enfants ont été divisés en deux groupes, un groupe A (âge moyen 9 ans, 10 mois) et un groupe B (âge moyen 10 ans, 4 mois) qui ne différaient pas significativement en fonction de leur âge chronologique, ni en fonction de leur âge lexique.

Procédure

L'expérience a été réalisée sur une période de cinq semaines. Au cours de la première session d'entraînement les enfants du groupe A reçoivent un entraînement audio-visuel alors que les enfants du groupe B qui constituent un « groupe contrôle » effectuent des exercices de vocabulaire. Un effet de l'entraînement est attendu pour les enfants du groupe A dans les différents tests proposés. Au cours d'une deuxième session d'entraînement, seul le groupe B est entraîné. Un maintien de l'effet de l'apprentissage est attendu pour le groupe A et un effet d'apprentissage est prédit pour le groupe B dont les performances ne devraient pas au cours du test n° 3 différer significativement de celles du groupe A.

Apprentissage

L'entraînement, extrait d'un logiciel d'entraînement à la lecture à destination des enfants à risque de dyslexie *Play-On* (1), (Danon-Boileau & Barnier, 2001), a porté sur l'opposition de voisement entre deux items de six paires de phonèmes : /p/-/b/ ; /t/-/d/ ; /k/-/g/ ; /f/-/v/ ; /s/-/z/ ; /ch/-/j/ et /j/-/ _ / . Il était présenté sous forme de jeu de basket. L'enfant muni d'un casque entendait un stimulus (par exemple /pi/) et voyait simultanément apparaître à l'écran deux alternatives écrites (pi et bi) parmi lesquelles il devait

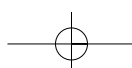
reconnaître la cible entendue. Un ballon correspondant au stimulus apparaissait en haut de l'écran, la tâche consistait à le placer dans l'un des deux paniers de basket correspondant à l'une ou l'autre alternative écrite. Au début de l'exercice, au cours d'une phase de familiarisation, une couleur était associée à chaque ballon, le ballon apparaissait ensuite d'une seule couleur (grise) et seule la catégorisation auditive permettait d'effectuer la tâche. En cas d'erreur, les ballons réapparaissaient colorés pour une série d'essais. L'entraînement durait cinq semaines, les enfants ont été entraînés deux fois par jour, quinze minutes par séance, quatre jours par semaine, soit au total dix heures d'entraînement.

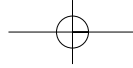
Tests utilisés

Habilités phonologiques. Le niveau d'habiletés phonologiques a été évalué au cours de quatre tâches. Les trois premières concernent une tâche de jugement de similarité phonologique où il s'agit d'entourer deux images (parmi quatre) représentant deux mots partageant une même unité phonologique, syllabe ou phonème, placée à l'initiale ou à la fin du mot, une tâche d'extraction d'unité commune (syllabe ou phonème) à deux mots, l'unité commune est soit en début soit à la fin du mot et enfin, une tâche classique de segmentation phonémique est proposée. Une quatrième tâche de permutation syllabique a été administrée

Reconnaissance de mots écrits. Nous proposons des tâches de reconnaissance de mots écrits (Écalle, 2003) où l'enfant doit identifier un mot-cible parmi cinq items tests : le mot-cible orthographiquement correct (*mc*, ex : bateau) ; un pseudomot homophone du mot cible (*ho*, bato) ; un pseudomot visuellement proche (*vp*, bateou), un « voisin orthographique » (*vo*, battu) et un pseudomot « non conventionnel » qui comporte une séquence illégale de lettres en français (*nc*, bteaua). Pour rendre compte des capacités de recodage phonologique seuls les résultats à un score composite comportant la réponse correcte (*bateau*) ou phonologiquement correcte (*bato*) sont analysés.

Procédure d'identification du test de perception catégorielle. Nous avons étudié les capacités des sujets à discriminer les changements dans le VOT (*Voice Onset Time* ou « délai d'établissement du voisement »). Pour cela, un *continuum* voisé-non voisé, constitué à ses deux extrémités des deux syllabes /ba/ et /pa/, se différenciant par le VOT en début de signal, a été présenté au casque et binauralement avec la consigne d'identifier la stimulation. Comme





les variations de cet indice acoustique sont perçues de manière catégorielle, il a été possible d'apprécier la sensibilité au voisement en évaluant la frontière phonétique c'est à dire le VOT pour lequel le sujet perçoit autant de /ba/ que de /pa/. La consigne donnée à l'enfant était d'indiquer à l'expérimentateur ce qu'il percevait par pointage du doigt sur une feuille où sont inscrits en gros caractères gras les occlusives B et P et au dessus desquelles figurent le dessin en couleur d'un ballon (pour le B) et d'un papillon (pour le P). Une frontière perceptive a été calculée : elle correspond à la valeur du VOT correspondant à 50 % d'identification (hasard) (voir Veillet, Magnan & Écale, 2004 pour plus de détails techniques).

Exploration des Voies auditives descendantes (VAD). Elle repose sur l'enregistrement des « Otoémissions acoustiques provoquées » (OAP) au moyen d'une sonde placée à l'entrée du conduit auditif externe. Les OAP, sons obtenus en réponse à une stimulation sonore, sont supposés être le reflet de la contraction des « Cellules ciliées externes » (CCE) situées dans l'oreille interne au niveau de l'organe de Corti. Ces cellules sont directement contactées par les fibres auditives descendantes qui appartiennent au système efférent olivocochléaire médian. La mesure de leur contraction en présence et en absence d'une stimulation acoustique administrée dans l'oreille controlatérale est une méthode non invasive d'exploration des fibres efférentes olivocochléaires médianes non croisées. Ces fibres étant inhibitrices, la stimulation acoustique de l'oreille controlatérale a pour effet de diminuer la contraction des CCE ce qui se traduit par

une baisse d'amplitude des OAP. Les deux oreilles ont été testées séparément. La suppression controlatérale des OAP a été exprimée sous forme d' « Atténuation équivalente » (AE) qui correspond à la modification à apporter à l'intensité de la stimulation provoquant l'OAP pour obtenir la même amplitude avec et sans bruit controlatéral. Ainsi, plus cette valeur est négative, plus cela signifie que cette intensité doit être diminuée et donc que les VAD testées sont plus fonctionnelles. Afin de déterminer l'asymétrie de fonctionnement de ces voies, un quotient de latéralité (QL_{AE}) a été calculé : il correspond à la différence entre l'AE mesurée sur l'oreille droite et celle sur l'oreille gauche. Plus il est négatif et plus les VAD sont fonctionnelles sur l'oreille droite.

Effet de l'entraînement sur des paramètres comportementaux

Les graphiques (figure 1) montrent un effet de l'entraînement : les enfants du groupe A voient leurs performances augmenter après cinq semaines d'entraînement tant au niveau des habiletés phonologiques qu'en recodage phonologique. Les enfants du groupe B également progressent sous l'effet de l'entraînement alors que pour ceux du groupe A, on observe un maintien de l'apprentissage (Magnan *et al.*, 2004 ; Magnan & Écale, sous presse).

Dans la tâche d'identification perceptive, la figure 2a permet de comparer, par rapport à sept enfants témoins appariés en âge et genre, la façon dont sept

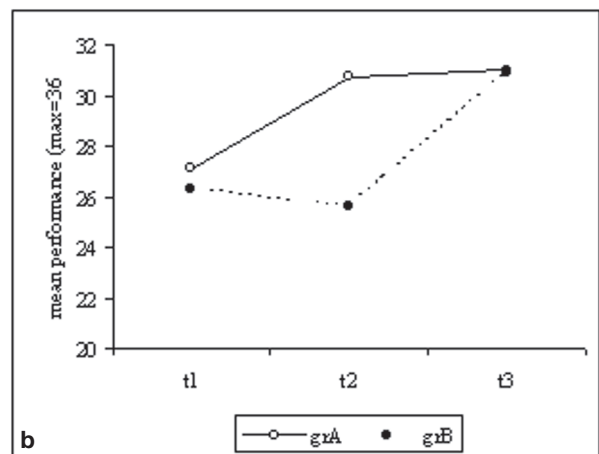
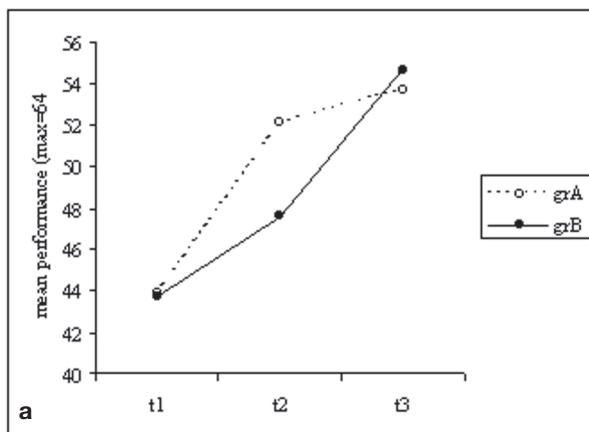
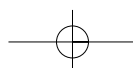
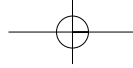


Figure 1. – Performances moyennes dans les deux groupes au trois sessions (t1, t2, t3) pour les habiletés phonologiques (a) et en recodage phonologique (b)





des dyslexiques inclus dans notre étude perçoivent le voisement. Les dyslexiques présentent une forte instabilité dans la catégorisation en /pa/ du continuum et la frontière perceptive est obtenue pour des délais de voisement significativement différents entre les deux groupes. Ce décalage de la frontière vers des délais de voisement positif est en faveur d'un déficit de traitement du voisement puisqu'il traduit le fait que quelle que soit la durée du délai de voisement, donc du temps de voisement, l'enfant dyslexique tend à toujours percevoir le même signal, en l'occurrence ici un signal voisé. Ce déficit ne semble pas caractériser l'ensemble des enfants dyslexiques puisque certains d'entre eux sont comparables aux témoins. Inversement, certains enfants n'ayant pas de difficultés pour apprendre à lire ne perçoivent pas mieux le voisement que la majorité des dyslexiques.

L'entraînement pourrait avoir un effet positif sur ces compétences chez l'enfant dyslexique comme le montre la figure 2b. Une différence significative est observée entre les valeurs de frontière perceptive obtenues avant et après entraînement. Tout se passe comme si la tâche audio-visuelle d'apprentissage avait amélioré la sensibilité des enfants au voisement avec un rétablissement des frontières perceptives vers des valeurs moyennes comparables à celles d'enfant témoins.

Effet de l'entraînement sur des paramètres neurophysiologiques

La figure 3a compare les atténuations équivalentes obtenues sur chaque oreille entre un groupe d'enfants dyslexiques et un groupe d'enfants témoins de même âge, même genre et même latéralité manuelle. Il n'existe pas de différence statistiquement significative entre les groupes. En revanche, alors que les témoins présentent des VAD qui tendent à être significativement plus fonctionnelles sur l'oreille droite, ce n'est pas le cas chez les enfants dyslexiques pour lesquels l'inverse tend à être observé. L'analyse des données individuelles met en évidence que seul un dyslexique sur sept présente un avantage de fonctionnement des VAD en faveur de l'oreille droite alors qu'une majorité des témoins présente ce type de latéralisation (figure 3b).

L'entraînement tend à avoir un effet significatif sur le fonctionnement des VAD se limitant à l'oreille gauche (figure 4). Ici, l'effet supprimeur s'atténue de façon significative. Cela se traduit, après entraînement, par un moindre avantage en faveur de l'oreille gauche et donc une diminution du quotient de latéralité. Tout se passerait comme si cet entraînement contribuait à normaliser le fonctionnement des VAD en réduisant l'avantage en faveur de l'oreille gauche.

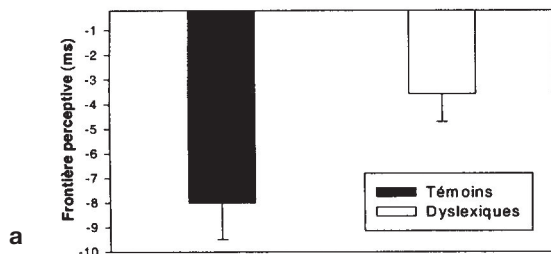
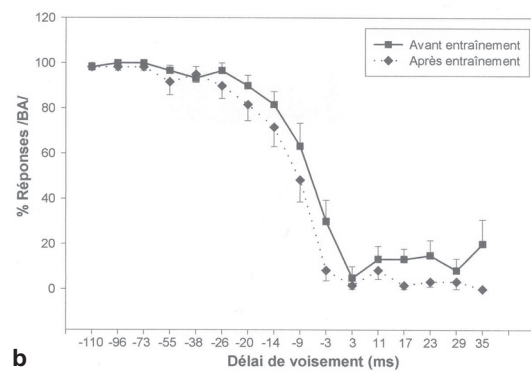
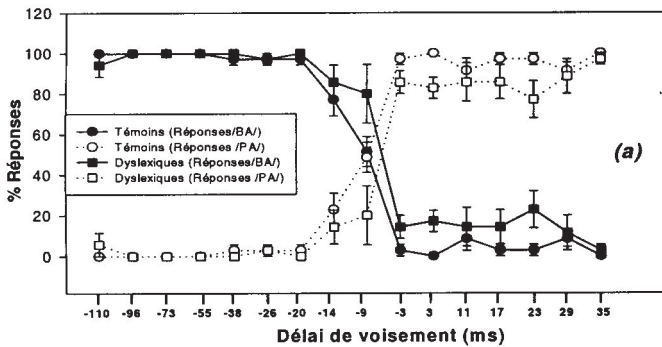
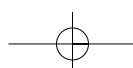


Figure 2. – Tâche d'identification perceptive : (a) comparaison dyslexiques témoins (b) effet de l'entraînement



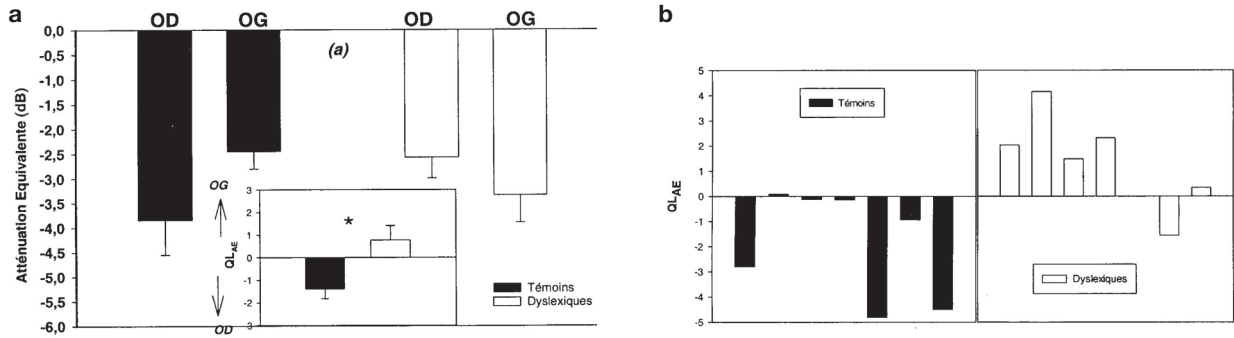
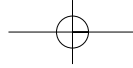


Figure 3. – Paramètres neurophysiologiques (a) comparaison dyslexiques témoins sur les atténuations équivalentes (b) données individuelles sur le quotient de latéralité

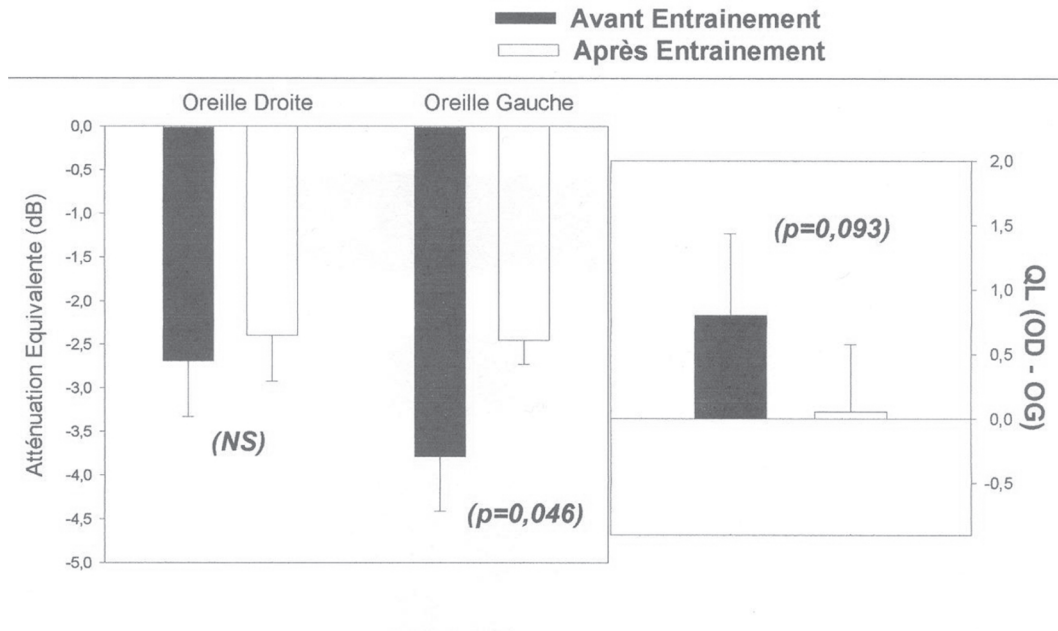


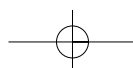
Figure 4. – Effet de l'entraînement sur les voies auditives descendantes

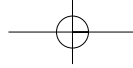
CONCLUSION

Globalement, ces résultats montrent l'impact de l'entraînement audio-visuel sur la discrimination du trait phonétique de voisement et sur la reconnaissance de mots écrits. Le déficit conduisant les enfants dyslexiques à mal distinguer les phonèmes qui s'opposent sur le trait de voisement pourrait trouver une solution

dans des entraînements impliquant le traitement du trait phonétique en modalité visuelle et auditive. Les représentations phonologiques pourraient être mieux spécifiées grâce à un tel entraînement favorisant le lien entre unités orthographiques et phonologiques.

Par ailleurs, ces premiers résultats apportent de nouveaux arguments en faveur de la présence de troubles auditifs chez le dyslexique et permettent de





rapprocher ces dysfonctionnements à des déficits de certaines habiletés phonologiques fortement impliquées dans la mise en place de bonnes compétences en lecture. Ils confirment les nombreux travaux montrant que certains enfants dyslexiques, mais pas tous, présentent des difficultés pour catégoriser certaines occlusives voisées et non voisées. Ils sont, à notre connaissance, les premiers à objectiver l'existence d'une latéralisation altérée du fonctionnement des VAD chez certains dyslexiques. Comme il est fort probable que cette latéralisation soit le reflet d'asymétries centrales, des liens entre cette latéralité et les compétences en lecture sont possibles. Par ailleurs, la mise en lien entre les paramètres auditifs et les performances en lecture montrent chez certains enfants des variations concomitantes entre ces différents paramètres mesurés avant et après l'entraînement audio-visuel. Ainsi, si cet entraînement a amélioré certains enfants au niveau de leur perception du voisement, il a également pu être associé à une amélioration des compétences en lecture et dans certains cas à une évolution de la latéralité fonctionnelle des VAD. L'entraînement semblerait donc efficace pour développer chez l'enfant dyslexique des représentations phonologiques mieux spécifiées.

Si ces résultats tendent à être, d'une part, en faveur de liens entre les paramètres auditifs perceptifs et les compétences phonologiques et, d'autre part, en faveur d'un effet positif de l'entraînement en double modalité, auditive et visuelle, ils se doivent d'être confirmés sur un plus grand nombre d'enfants dyslexiques en tenant compte plus particulièrement du

type de troubles en lecture dont souffre l'enfant. On sait en effet, et ces résultats préliminaires le confirment, que les déficits peuvent, chez le dyslexique présenter une grande variabilité inter-individuelle qui probablement agit sur la sensibilité à l'entraînement.

Nous remercions Sophie Jéry, orthophoniste, la direction et les enseignants de l'école spécialisée « La Fourmi » (Lyon) pour leur accueil ainsi qu'à Delphine Dessillons, Géraldine Granjon, Norbert Maïonchi-Pino et Mélanie Nuninck, étudiant-e-s, qui ont pris part au recueil des données. Nous exprimons notre gratitude à Isabelle Gervais et à Isabelle Soarès-Boucaud, respectivement neuropsychologue et pédopsychiatre du Centre de Référence de l'hôpital Édouard Herriot (Lyon) pour de fructueuses discussions. Les épreuves comportementales utilisées ici ont été mises au point grâce à Vania Herbillon, neuropsychologue, et Christophe Rousselle, neuropédiatre, du Centre de référence du Centre hospitalier Lyon Sud qui nous ont mis en contact avec des enfants dyslexiques. Enfin un grand merci aux parents coopérants et à leurs enfants qui se sont toujours prêtés aux tests avec beaucoup d'enthousiasme et de persévérance.

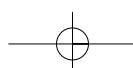
Annie Magnan
annie.magnan@univ-lyon2.fr

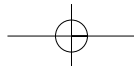
Jean Écalle
jean.ecalle@univ-lyon2.fr
Laboratoire d'étude des mécanimes cognitifs (LEMC)
UMR 5596, CNRS-université Lumière-Lyon 2

Évelyne Veuillet
evelyne.veuillet@chu-lyon.fr
Laboratoire « Neurosciences
et systèmes sensoriels »,
UMR 5020, CNRS-université Claude Bernard-Lyon 1

BIBLIOGRAPHIE

- BISHOP D. V. M. & SNOWLING M. J. (2004). « Developmental dyslexia and specific language impairment : Same or different ? » *Psychological Bulletin*, vol. 130, n° 6, p. 858-886.
- BUS A.G., & VAN IJZENDOORN M. H. (1999). « Phonological awareness and early reading : A meta-analysis of experimental training studies ». *Journal of Educational Psychology*, vol. 91, n°3, p. 403-414.
- CASALIS S. (1995). *Lecture et dyslexies chez l'enfant*. Ville-neuve d'Ascq : Presses universitaires de septentrion.
- DANON-BOILEAU L. & BARBIER D. (2001). *Play-On : un logiciel d'entraînement à la lecture*. Paris : Audivi-Média.
- ÉCALLE J. (2003). *Timé-2 : test d'identification de mots écrits pour enfants de 6 à 8 ans*. Paris : Éd. du Centre de psychologie appliquée.
- ÉCALLE J. & MAGNAN A. (2002). *L'apprentissage de la lecture : fonctionnement et développement cognitifs*. Paris : A. Colin.
- EHRI L. C. ; NUNES S. R ; WILLOWS D. M. ; SCHUSTER D. M. ; YAGHOUB-ZADEH Z. & SHANAHAN T. (2001). « Phonemic awareness instruction helps children learn to read : Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis ». *Reading Research Quarterly*, vol. 36, n° 3, p. 250-287.





- FRITH U. (1999). « Paradoxes in the definition of dyslexia ». *Dyslexia*, vol. 5, p. 192-214.
- GOMBERT J. -E. (1997). « Mauvais lecteurs : plus de dyssynoptiques que de dyslexiques ». *Glossa : cahiers de l'Union nationale pour le développement de la recherche et de l'information en orthophonie*, n° 56, p. 20-27.
- HABIB M. (1997). *Dyslexie : le cerveau singulier*. Marseille : Solal.
- HARM M. ; McCANDLISS B. & SEIDENBERG M. (2003). « Modeling the successes and failures of interventions for disabled readers ». *Scientific Studies of Reading*, vol. 7, n° 2, p. 155-182.
- MAGNAN A. & ÉCALLE J. (sous presse). « Audio-visual training in children with reading disabilities ». *Computers & Education*
- MAGNAN A. ; ÉCALLE J. ; VEUILLET E. & COLLET L. (2004). « The effects of an audio-visual training program in dyslexic children ». *Dyslexia*, vol. 10, n° 2, p. 131-140.
- MODY M. ; STUDDERT-KENNEDY M. & BRADY S. (1997). « Speech perception deficits in poor readers : Auditory processing or phonological coding ? ». *Journal of Experimental Child Psychology*, vol. 64, n° 2, p. 199-231.
- MCCANDLISS B. D. ; BECK I. ; SANDAK R. & PERFETTI C. (2003). « Focusing attention on decoding for children with poor reading skills : A study of the Word Building Intervention ». *Scientific Studies of Reading*, vol. 3, n° 2, p. 75-104.
- MIODUSER D. ; TUR-KASPA H. & LEITNER I. (2000). « The learning value of computer-based instruction of early reading skills ». *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 16, n° 1, p. 54-63.
- OLSON R. K. ; WISE B. W. ; RING J. & JOHNSON M. (1997). « Computer-based remedial training in phoneme awareness and phonological decoding : Effects on the post training development of word recognition ». *Scientific Studies of Reading*, vol. 1, n° 3, p. 235-253.
- RAMUS F. (2003). « Dyslexie : quoi de neuf ? La théorie phonologique ». *Ortho magazine : la revue de référence de l'orthophonie*, n° 44, p. 9-13.
- RAMUS F. (2005). « De l'origine biologique de la dyslexie ». *Psychologie & education*, vol. 60, n° 1, p. 81-96.
- RAMUS F. ; ROSEN S. ; DAKIN S. ; DAY B. ; CASTELLOTE J. ; WHITE S. & FRITH U. (2003). « Theories of developmental dyslexia : Insights from a multiple case study of dyslexic adults ». *Brain*, vol. 126, p. 841-865.
- ROSEN S. (2003). « Auditory processing in dyslexia and specific language impairment : Is there a deficit ? What is its nature ? Does it explain anything ? ». *Journal of Phonetics*, vol. 31, n° 3-4, p. 509-527.
- SERNICLAES W. ; SPRENGER-CHAROLLES L. ; CARRÉ R. & DEMONET J. -F. (2001). « Perceptual discrimination of speech sounds in developmental dyslexia ». *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, vol. 44, n° 2, p. 384-399.
- SPRENGER-CHAROLLES L. & COLÉ P. (2003). *Lecture et dyslexie : approche cognitive*. Paris : Dunod.
- TALLAL P. (1980). « Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children ». *Brain and Language*, vol. 9, n° 2, p. 192-198.
- TALLAL P. ; MILLER S. ; BEDI G. ; BYMA G. ; WANG X. ; NAGARAJAN S. ; SCHREINER C. ; JENKINS W. M. & MEZERNICH M. M. (1996). « Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech ». *Science*, n° 271, p. 81-84.
- VELLUTINO F. R. ; FLETCHER J. M. ; SNOWLING M. J. & SCANLON D. M. (2004). « Specific reading disability (dyslexia) : What have we learned in the past four decades ? ». *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, vol. 45, n° 1, p. 2-40.
- VEUILLET E. ; BAZIN F. & COLLET L. (1999). « Objective evidence of peripheral auditory disorders in learning-impaired children ». *Journal of Audiology Medecine*, vol. 8, n° 1, p. 18-29.
- VEUILLET E. ; MAGNAN A. & ÉCALLE J. (2004). « Déficiences auditives perceptives et capacités en lecture chez les enfants dyslexiques : effet d'un entraînement audio-visuel ». *Revue de neuropsychologie*, vol. 14, n° 1, p. 103-132.

