
Exemple de remédiation neurodéveloppementale

La prise en charge thérapeutique des enfants dyslexiques est traditionnellement réalisée par des professionnels, orthophonistes, psychomotriciens, neuropsychologues, selon des modalités et des rythmes de prise en charge volontiers proposés sous la forme de séances bi- ou tri-hebdomadaires de 30 à 45 minutes, s'étalant parfois sur plusieurs années. De même, les remboursements par l'Assurance maladie des rééducations orthophoniques sont généralement calqués sur les habitudes de la profession dans son mode libéral d'exercice, ne laissant pas la possibilité de modalités plus intensives de traitement. Or, les recherches neuroscientifiques fondamentales laissent penser que les effets les plus significatifs sur l'organisation cérébrale sous-jacente aux déficits pourraient avoir lieu pour des interventions plus fréquentes, quotidiennes ou pluriquotidiennes, sur un mode répétitif et intensif et sur de plus brèves périodes.

Au cours des dernières années, des efforts importants ont été consentis par des équipes de recherche pour mettre en évidence l'efficacité de traitements intensifs, tant en termes d'amélioration des déficits cliniquement observables, que d'analyse, à l'aide d'outils de neuro-imagerie, de modifications induites de l'organisation cérébrale (Habib, 2003).

La présente communication résume une série d'études consacrées spécifiquement à l'entraînement des processus phonologiques tant au niveau de l'entrée auditive que de la production, avec pour objectif de cibler le plus finement possible les processus à entraîner et donc la spécificité des effets observés.

L'enjeu, ici, est de proposer des protocoles expérimentaux basés sur une hypothèse précise, en l'occurrence le rôle de l'entraînement phonologique, auditif, ou articulatoire, en contraignant la méthodologie de telle sorte à minimiser l'intervention de facteurs autres que celui ou ceux à étudier. Dans cette optique, le caractère intensif et quotidien, sur une courte période (en général quelques semaines) fournit les meilleures garanties de spécificité, même si, comme nous le verrons, il possède l'inconvénient de ne pas pouvoir garantir l'effet à long terme.

Rappelons enfin le travail de référence dans ce domaine, bien que vivement contesté par certains auteurs, celui publié en 1996 par Tallal et ses collaborateurs. Ces auteurs ont en effet rapporté les résultats sur un groupe d'enfants

souffrant de troubles du langage, d'un entraînement quotidien à l'aide d'un jeu informatique audiovisuel (*Fastforward*[®]) conçu spécialement pour remédier à un éventuel trouble du traitement auditif que les auteurs postulaient comme causal au trouble d'apprentissage. L'un des inconvénients de *Fastforward* est qu'il utilise un programme informatisé sous forme de jeu vidéo interactif, dont de nombreuses caractéristiques peuvent contribuer à l'éventuelle efficacité. Les résultats de cette méthode, de même que leurs évidentes limites, ont été largement commentés ailleurs dans cet ouvrage, nous n'y reviendrons pas en détail. Précisons seulement que ce travail a eu clairement le mérite d'ouvrir une nouvelle voie de recherche qui s'avère chaque année un peu plus fructueuse : celle de la remédiation neurodéveloppementale.

Une application francophone du principe de modification temporelle de la parole

À la suite des travaux de Tallal et coll. (1996), Habib et coll. (1999 et 2002) ont proposé d'adapter la méthode d'entraînement intensif à caractère temporel sous une modalité à la fois compatible avec la langue française et plus spécifiquement dévolue à la modalité auditive. Ainsi, ces auteurs ont-ils réalisé une série d'exercices de manipulation phonologique dans lesquels les enregistrements de mots étaient acoustiquement modifiés, selon une méthode très similaire à celle utilisée dans *Fastforward*. Les exercices quotidiens étaient enregistrés sur un support audio (CD), sous forme de séries de mots parmi lesquels l'enfant devait effectuer des appariements en fonction de la présence ou non d'une syllabe ou d'un phonème (par exemple : « quel est l'intrus entre « sapin/lapin/crayon » ? Ou encore, « quel est le mot qui ne commence pas par le même premier son : bateau/bougie/camion »). À l'instar de la méthode Tallal, ce matériel verbal était modifié acoustiquement de telle sorte que la durée des éléments rapides par ailleurs amplifiés proportionnellement, variait progressivement de 200 (durée double de la parole normale) à 100 % (parole non modifiée). Mais à la différence de *Fastforward*, la méthode est ici purement auditive, permettant d'isoler au mieux les mécanismes d'une éventuelle amélioration des déficits (contrairement à la présentation sous forme de jeu audiovisuel chez Tallal et coll., 1996).

Dans une première étude pilote, Habib et coll. (1999) ont soumis 12 enfants souffrant de dyslexie phonologique à un entraînement quotidien comportant des exercices de ce type, la moitié d'entre eux recevant de la parole ralentie et l'autre moitié de la parole non modifiée. L'entraînement se déroulait sur 5 semaines successives, chaque enfant étant en tête à tête avec l'orthophoniste pour ses exercices quotidiens, d'une durée de

40 minutes environ. Divers tests furent pratiqués avant tout entraînement, juste après la fin des 5 semaines d'entraînement puis un mois après la fin de ceux-ci (sans aucune autre rééducation durant cette dernière période d'un mois). Les mesures réalisées le furent sur trois types d'indices : d'une part la performance quotidienne sur les exercices eux-mêmes, d'autre part la performance à des épreuves phonologiques autres que celles entraînées, enfin diverses épreuves de langage oral et écrit. La première de ces mesures a été la seule à démontrer un effet spécifique de la modification temporelle, appréciée par une analyse de variance à mesures répétées jour après jour, analyse qui s'est avérée très significative, confirmant la supériorité de la parole ralentie. Globalement, le gain mesuré entre le premier jour et le dernier jour d'entraînement en faveur du groupe recevant de la parole modifiée fut de l'ordre de 15 %, avec un maintien de ce bénéfice après un intervalle libre d'un mois (figure 1). Parmi les épreuves non entraînées, il fut observé une amélioration très significative de la totalité de la population sur pratiquement tous les tests réalisés (phonologie, langage oral et écrit). Ainsi, de ce travail préliminaire, deux conclusions purent être tirées : d'une part le caractère limité et non généralisable de l'avantage de la parole temporairement modifiée et d'autre part, sans doute le résultat le plus spectaculaire, une amélioration très significative des deux groupes dans de nombreuses épreuves de langage, en particulier en lecture et en orthographe, confirmant ainsi l'intérêt d'un entraînement purement phonologique dans la récupération du langage écrit chez le dyslexique. Ainsi, au test classique de l'Alouette, les 12 enfants pris dans leur ensemble amélioraient très significativement leur performance, passant d'un âge de lecture moyen de 56 mois à un âge moyen de 52 mois, soit un gain de plus de 5 mois d'âge de lecture (compte-tenu des 6 semaines séparant les deux mesures). En d'autres termes, entraîner tous les jours des enfants dyslexiques par des exercices répétitifs ne portant que sur l'écoute attentive, sans feed-back particulier, de mots sur lesquels l'enfant doit réaliser une manipulation mentale du contenu phonologique, suffit à améliorer très significativement leurs performances en lecture.

Les conditions de cette étude, tout-à-fait privilégiées, tiraient parti de la collaboration d'une école spécialisée (« Les Lavandes ») qui a accepté de participer au recrutement et de modifier profondément l'emploi du temps de douze de ses pensionnaires durant la période de tests et d'entraînement. À la suite de ce travail préliminaire, la même équipe (Habib et coll., 2002) a utilisé le même matériel d'entraînement sur deux populations d'enfants dyslexiques dans le but spécifique de confirmer son efficacité sur une population plus vaste et surtout dans des conditions plus écologiques, à savoir en partie au cabinet de l'orthophoniste, en lieu et place de certaines rééducations, en partie au domicile sous le contrôle des parents, spécifiquement instruits à cet effet. Le matériel, qui se présente sous forme de CD dont chaque piste, numérotée, correspond à une journée de traitement, est alors fourni aux

parents avec une paire d'écouteurs HF et une fiche de réponse sur laquelle ils doivent, sans intervenir activement, noter la réponse de l'enfant.

La quantité d'exercices quotidiens a été ramenée à une durée de 20 minutes environ et chaque semaine les fiches de réponses sont recueillies afin d'assurer le suivi de l'étude. Cinquante deux enfants dyslexiques (29 dans une première étude, 23 dans une seconde), âgés de 7,3 à 12,3 ans, ont ainsi été sélectionnés et traités de la même manière que pour l'expérience précédente, à l'exception près que tous recevaient le même matériel acoustiquement modifié. Par conséquent, les résultats ne pouvaient informer que sur l'effet global de l'entraînement, sans dissocier l'effet d'un exercice phonologique quotidien de celui du ralentissement de la parole. Globalement, les résultats furent très similaires à ceux obtenus par la population dans son ensemble dans la première étude : environ 15 % de gain sur les tâches phonologiques, mais une généralisation seulement partielle aux tâches de lecture, la lecture de pseudo-mots semblant ici la seule à être significativement améliorée (figure 2), peut-être en raison d'un effet plafond, les listes de mots étant relativement courtes et aisées pour des enfants ayant déjà en partie récupéré de leur dyslexie.

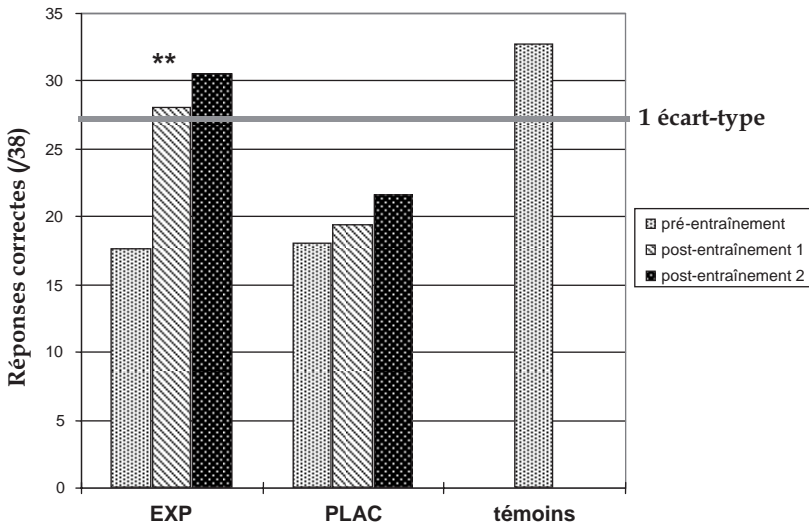


Figure 1 : Performances (réponses correctes) des deux groupes de dyslexiques, comparées à un groupe témoin non dyslexique, avant, juste après et un mois après un entraînement phonologique quotidien comportant des mots enregistrés avec de la parole normale (PLAC) ou modifiée dans le sens d'un ralentissement des transitions formantiques (EXP)

** Seul le groupe EXP atteint le niveau des sujets témoins, après entraînement, avec persistance de l'effet un mois après la fin de l'entraînement. Ces performances ont été recueillies à l'aide de tâches phonologiques identiques à celles entraînées. Pour d'autres tâches, comme les tâches de lecture et d'orthographe, l'amélioration est également très significative mais sans différence entre les deux groupes, suggérant que l'effet est alors attribuable à des facteurs autres que les caractéristiques temporelles du stimulus de parole.

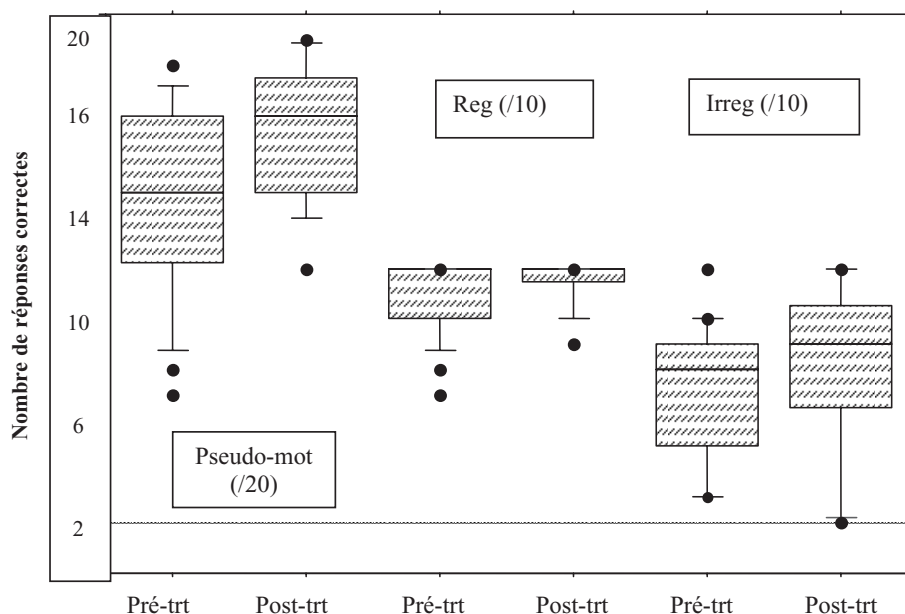


Figure 2 : Performances (réponses correctes) en lecture de pseudo-mots (/20), de mots réguliers (/10) et de mots irréguliers (/10) chez 26 enfants dyslexiques avant et après 6 semaines d'entraînement temporo-phonologique réalisé dans des conditions écologiques (cabinet de l'orthophoniste et à domicile avec les parents). Amélioration significative seulement en lecture de pseudo-mots.

Entraînements articulatoires dans la dyslexie

Les entraînements articulatoires reposent sur un ensemble de données expérimentales visant à relier les troubles phonologiques à un déficit de la boucle audio-articulatoire (Montgomery, 1981 ; Heilman et coll., 1996), et ce en se basant sur divers cadres théoriques (comme la théorie motrice de la perception de la parole de Liberman et Mattingly, 1985 ; ou la théorie cérébelleuse de Nicolson et coll., 2001).

Alexander et coll. (1991) ont les premiers mené une étude sur dix enfants dyslexiques soumis à une série de tests préliminaires montrant qu'ils présentaient un déficit marqué dans des épreuves ayant trait à la conscience phonologique. Ces enfants ont ensuite été entraînés selon un programme visant à leur faire prendre mieux conscience des mouvements articulatoires dans la production des sons de la parole. Ce programme se fondait sur les informations proprioceptives et tactiles en provenance des articulateurs, sur les informations visuelles apportées par un miroir placé en face du sujet de façon à lui permettre de voir sa bouche lorsqu'il parlait, et sur le feed-back auditif. Ainsi, lorsque le sujet produisait un « b », l'expérimentateur attirait

son attention sur le fait que ce phonème est produit grâce à un mouvement rapide de fermeture/ouverture des lèvres. Chaque phonème était en outre désigné par un nom destiné à souligner les caractéristiques des mouvements articulatoires associés à ce phonème. Les occlusives bilabiales étaient ainsi appelées des « *lip poppers* ». Les sujets apprenaient également à identifier parmi un ensemble de planches articulatoires celle qui représentait le mieux la forme du conduit vocal dans la production d'un phonème prédéterminé. Après entraînement, les enfants ont montré une amélioration notable de leurs performances dans les tests de conscience phonologique.

L'une des études les plus complètes concernant l'effet d'un entraînement articulatoire chez le dyslexique est celle de Wise et coll. (1997 et 1999). Dans une première publication (Wise et coll., 1997), ces auteurs rapportent une étude pilote ayant pour objectif de séparer l'effet d'un entraînement phonologique de celui d'un entraînement de la « conscience articulatoire ». Les enfants recevaient par petits groupes, soit un entraînement à la conscience phonologique (N=17), sans travail explicite sur l'articulation, soit un travail de lecture, de manipulation lettres/phonèmes et de conscience articulatoire. Après 60 demi-heures d'entraînement étalées sur 5 mois, le gain était très net mais sans différence entre les deux groupes, hormis une tendance non significative à un effet plus clair chez les enfants ayant le trouble phonologique le plus sévère. Un des problèmes de cette étude était que, pour rendre les durées d'entraînement équivalentes dans les deux groupes, le groupe phonologique pur recevait un travail non spécifique de lecture et d'écriture plus long que le groupe articulatoire, ce qui pouvait réaliser un biais non contrôlé. Dans leur deuxième étude (Wise et coll., 1999), les auteurs ont étudié 153 enfants des 2^e à 5^e grades (CE1 à CM2) définis comme les 10 % plus faibles en lecture de leur tranche d'âge à intelligence équivalente. Quatre groupes ont été réalisés : un premier (N=43) recevait un entraînement articulatoire seul, où on apprenait aux enfants, face à un miroir et par palpation du visage et du cou, à découvrir les mouvements articulatoires correspondant à la production des différents sons de la parole. Des vignettes comportant des dessins des mouvements nécessaires à la réalisation des sons étaient présentées par paires (sibilantes « s » et « z » ; bilabiales « p » et « b »...). De même pour les voyelles, les enfants apprenaient à représenter chaque son sur un dessin figurant l'ouverture de la bouche et la position de la langue dans la bouche. Un deuxième groupe (N=42) recevait seulement des exercices de manipulation de sons, c'est-à-dire divers exercices de comptage, suppression, échange de phonèmes, de rimes et de syllabes, avec un support de carrés ou de cubes représentant les sons de mots courts (très nombreux en anglais), et en utilisant le principe d'un « mot-clé » servant de référence pour chaque son, associé à un dessin figuratif auquel se référer pour associer un son donné. Un troisième groupe (N=37) recevait un entraînement combiné (articulatoire et manipulation de sons), mais selon un protocole de durée égale aux deux autres groupes, grâce à un programme informatisé (Marvin)

où le personnage apparaît sur l'écran avec une bouche animée prononçant des pseudo-mots imprimés sur l'écran. Les sujets devaient décider si la prononciation de Marvin est correcte ou pas. Enfin, un groupe témoin (N=31) ne recevait aucune instruction particulière d'ordre phonologique ou articulo-tatoire. Ici encore, un biais important est réalisé par le fait que le groupe articulo-tatoire seul, pour pouvoir être aligné en durée de rééducation avec les autres groupes, passait significativement plus de temps sur une tâche informatisée de lecture où le sujet lisait sur l'ordinateur un texte de son choix, avec la possibilité de pointer les mots difficiles que l'ordinateur va alors présenter sous forme segmentée et le « prononcer » oralement.

Les résultats les plus importants de cette vaste étude sont :

- aucune différence entre les conditions combinées et manipulation de sons, suggérant l'absence d'effet additif des deux approches ;
- très peu de différences entre manipulation et articulation seule, suggérant que l'articulation est aussi efficace que la manipulation pour développer la conscience phonologique ;
- seules deux tâches de conscience phonologique étaient significativement mieux réalisées par le groupe manipulation, avec une différence par rapport aux autres groupes qui persistait 10 mois après.

Toutefois, cet avantage ne se généralisait absolument pas aux autres tâches, en particulier de lecture, ni à la fin de l'entraînement, ni 10 mois plus tard. En outre, les auteurs s'attendaient à ce que l'entraînement articulo-tatoire soit d'autant plus efficace que le trouble phonologique initial était plus prononcé, mais cela ne fut pas le cas. Le seul effet sur le langage écrit, paradoxalement, était obtenu avec le groupe articulo-tatoire seul qui était finalement meilleur sur une tâche de codage orthographique (distinguer entre un mot correctement orthographié et son pseudo-homophone : « *rain-rane* »), résultat que les auteurs expliquent par le temps supplémentaire passé sur la tâche de lecture informatisée par les enfants de ce groupe. Finalement, on retiendra de cette étude que l'adjonction d'une composante d'entraînement articulo-tatoire ne semble pas apporter de bénéfice particulier par rapport à un entraînement phonologique seul. Toutefois, l'effort méthodologique considérable réalisé pour rendre équivalents les temps passés en rééducation aura paradoxalement nuit à la mise en évidence de différences. Un autre facteur possible pourrait être le mode de sélection des enfants dits « en difficulté de lecture », représentant les 10 % moins bons de leur tranche d'âge, mode de sélection certainement moins spécifique qu'un recrutement clinique, incluant en particulier la présence ou non d'antécédents de troubles du langage oral, facteur évidemment important quand on étudie les liens entre production et manipulation phonologique. À cet égard, une étude réalisée sur des enfants plus jeunes avec trouble de la production phonologique (Hesketh et coll., 2000) n'a pas non plus montré de différence selon que ces enfants recevaient un entraînement métaphonologique (10 séances à raison d'une par semaine) ou un entraînement articulo-tatoire (mais il ne s'agissait à

cet âge que de tâches visant à améliorer la production, et non de tâches de conscience articulatoire, comme dans le travail précédent). Enfin, les auteurs ne présentent malheureusement pas le devenir de ces enfants lors de l'apprentissage de la lecture, ce qui aurait évidemment été intéressant.

Dans le même ordre d'idées, Mercier et coll. (2002) ont proposé à 19 enfants dyslexiques soigneusement sélectionnés parmi la clientèle d'orthophonistes appartenant à un réseau de soins spécialisé, un entraînement phono-articulatoire selon un schéma expérimental destiné à éviter les biais rencontrés dans les études précédentes (tableau I).

Les enfants, âgés de 9 à 12 ans ont été répartis en deux groupes : le groupe 1 recevait un entraînement phonologique quotidien (identique à celui réalisé dans Habib et coll., 2002) durant deux périodes de trois semaines auquel était associé un entraînement articulatoire pendant la première période seulement. Pour le groupe 2, les deux types d'entraînement étaient proposés dans l'ordre inverse (auditif seul les trois premières semaines, auditif et articulatoire les trois semaines suivantes).

Tableau I : Schéma expérimental de l'entraînement phono-articulatoire de Mercier et coll. (2002)

	Groupe 1	Groupe 2
Session 1 (semaines 1-3)	Phonologie+ Articulation	Phonologie
Session 2 (semaines 4-6)	Phonologie	Phonologie+ Articulation

L'entraînement articulatoire, assez similaire à celui réalisé par Wise et coll. (1999), consistait en des séances bi-hebdomadaires de 20 à 30 minutes destinées à renforcer, grâce à un support graphique, tactile et auditif, la conscience articulatoire lors de la production de phonèmes proches, en se concentrant sur les occlusives du système phonétique français. Chaque séance se déroulait de manière similaire : l'enfant réalise d'abord le phonème face à un miroir afin de prendre conscience de la position de ses lèvres lors de sa production orale. En outre, il doit placer sa main sur son cou afin d'avoir un feed-back tactile et ensuite verbaliser les sensations proprioceptives et kinesthésiques qui accompagnent la prononciation du phonème. Cette première étape est réalisée successivement pour le phonème voisé et le phonème non voisé d'une même paire. Puis l'enfant est exercé à associer chaque occlusive à un schéma comportant une coupe sagittale du visage représentant de manière très simplifiée la position des lèvres, de la langue, des dents et du palais lors de la production du phonème cible. La présence (ou l'absence) de voisement est également représentée par un trait vert et droit pour les sons non voisés, un trait ondulé et rouge pour les sons voisés. Enfin, l'enfant apprend à associer un mot contenant le phonème appris avec

le schéma correspondant à l'aide de paires de paronymes (palais/balais, touche/douche) variant d'une séance à l'autre. La partie auditive de cette thérapie utilisait un logiciel ludique de reconnaissance de la parole du commerce (*Speechviewer III*® IBM), en utilisant 5 de ses fonctionnalités (contrôle du voisement, contrôle d'un phonème, contrôle d'une chaîne de phonèmes, contrôle de deux phonèmes, et contrôle de quatre phonèmes).

Des tests de lecture, de conscience phonologique, de dictée et de répétition de mots ont été réalisés avant l'entraînement et après chacune des deux périodes de trois semaines.

Les résultats (traités par analyse de variance à mesures répétées, test de Wilcoxon et analyse des corrélations) confirment l'effet bénéfique de l'entraînement phonologique sur les différentes habiletés déficitaires chez les enfants dyslexiques, tout particulièrement les tâches phonologiques (figure 3). L'effet bénéfique est également montré sur la lecture (figure 4) et la dictée de pseudo-mots.

Alors que les deux groupes améliorent significativement leur performance entre le début et la fin de l'entraînement, les périodes où les deux méthodes sont combinées donnent lieu à une amélioration plus nette (figure 3). Les deux groupes s'améliorent de manière similaire tout au long de la période d'entraînement (figure 4).

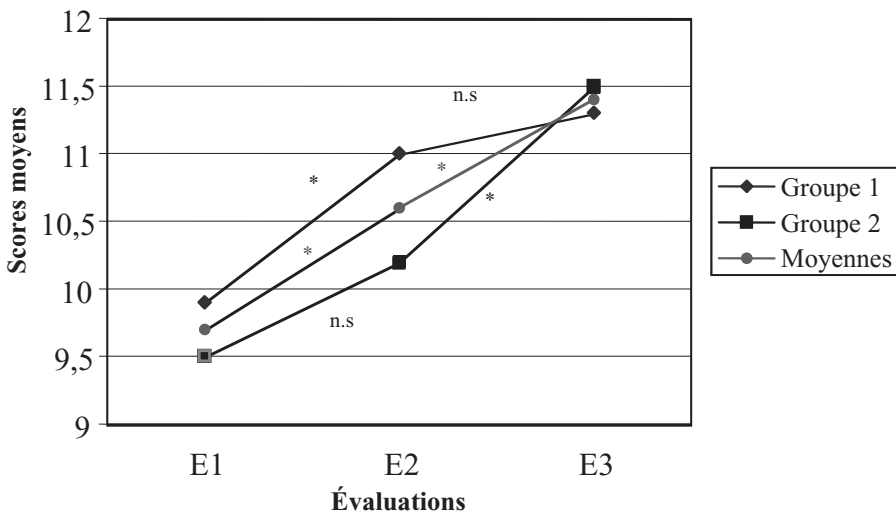


Figure 3 : Performances en conscience phonologique (score/13) des deux groupes de dyslexiques

Groupe 1 recevant en première période l'association de l'entraînement articulaire et phonologique et en seconde période seulement l'entraînement phonologique ; Groupe 2 : succession inverse. La ligne du milieu représente la moyenne des deux groupes ; E1 : avant entraînement ; E2 : 3^e semaine après entraînement ; E3 : 6^e semaine après entraînement n.s : non significatif ; * : significatif

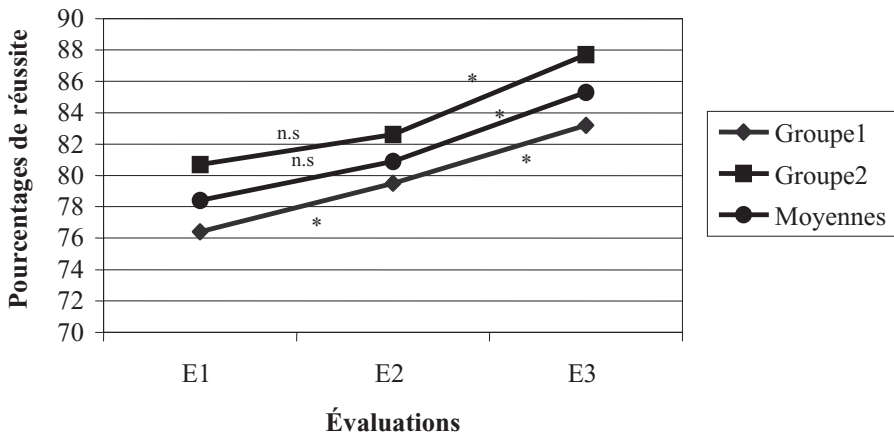


Figure 4 : Performance en lecture des groupes 1 et 2 et performance moyenne des deux groupes

Ligne centrale en lecture de pseudo-mots et de mots (en pourcentage du nombre total de mots) ; E1 : avant entraînement ; E2 : 3^e semaine après entraînement ; E3 : 6^e semaine après entraînement

n.s : non significatif ; * : significatif

Par ailleurs, la comparaison des performances des deux groupes suggère une accentuation de l'effet lors des périodes avec entraînement articulatoire tout particulièrement sur les tâches de conscience phonologique et de dictée. Enfin, pour les deux groupes confondus, l'amélioration finale en conscience phonologique était corrélée au degré d'amélioration sur les tâches purement articulatoires (répétition de mots).

D'un point de vue méthodologique, la supériorité de cette étude par rapport au travail de Wise et coll. (1999) réside dans le fait que, bien que les deux périodes ne soient pas égalisées quant à la quantité d'entraînement reçu par chaque enfant, cet inconvénient est compensé par le contrebalancement des deux périodes pour chaque enfant. Concernant l'effet sur la lecture (figure 4), il semble que l'amélioration très significative observée soit comparable à ce qui a été retrouvé par la même équipe lors d'études préalables après entraînement purement phonologique (Habib et coll., 1999 et 2002).

En définitive, l'adjonction d'un entraînement articulatoire à l'entraînement phonologique classique semble accélérer la récupération du déficit phonologique, mais sans influence spécifique sur la lecture de pseudo-mots, pourtant réputée explorer les mécanismes phonologiques présumés déficitaires en lecture.

Entraînement phonologique et intermodalitaire

Kujala et coll. (2001) ont sélectionné 48 enfants dyslexiques de 7 ans ; par tirage au sort, 24 de ces enfants ont reçu un entraînement spécifique et 24 ont été considérés comme groupe témoin. L'entraînement du groupe expérimental consistait en la pratique durant dix minutes deux fois par semaine, et ce sur 7 semaines, d'un jeu vidéo dont le principe était basé sur l'apprentissage d'une association entre des sons ayant différentes caractéristiques (de durée, d'intensité ou de hauteur) et une représentation graphique de ces sons (sous la forme de traits de taille, épaisseur et position différente). Un tel entraînement consistait donc à exercer spécifiquement la transcription auditivo-graphique sans utiliser aucun élément linguistique, ni auditif, ni visuel. Enfin, une partie des enfants ainsi entraînés ont également reçu un enregistrement des potentiels évoqués auditifs selon le paradigme déjà cité de la *Mismatch Negativity* (MMN). Les résultats de cette étude furent tout à fait probants puisque les enfants du groupe expérimental différaient significativement de ceux du groupe témoin sur des tâches de lecture de mots, et seulement lors de l'évaluation post-entraînement audiovisuel. Par ailleurs, dans le groupe expérimental, les potentiels évoqués ont montré une augmentation d'amplitude entre le premier et le second enregistrement, suggérant que l'entraînement ait modifié l'organisation cérébrale sous-jacente aux processus, probablement corticaux, de discrimination auditive. Les auteurs insistent sur le fait que leurs résultats ne sont pas en faveur de la nature temporelle du trouble auditif central, puisque l'amélioration a été obtenue à un niveau cortical très élémentaire sans que les exercices ne fassent appel à du matériel acoustiquement modifié, comme dans les travaux de l'équipe Tallal-Merzenich. Enfin, ils conviennent de la nécessité, dans des travaux ultérieurs, d'un groupe contrôle recevant un entraînement d'autre nature pour que la comparaison soit vraiment pertinente.

Se basant sur ce travail, Santos et coll. (2006) ont récemment proposé à 26 enfants dyslexiques, âgés de 7 ans et 7 mois à 11 ans et 10 mois, un protocole d'entraînement phonologique utilisant le matériel décrit précédemment, mais comportant uniquement de la parole non modifiée, de façon à éviter la confusion de plusieurs facteurs dans l'analyse de l'effet observé. Ces enfants étaient séparés en deux groupes, le premier recevant un entraînement visuel non spécifique associé à l'entraînement phonologique, le second un entraînement qualifié d'intermodal, reposant sur l'association de phonèmes à discriminer avec un stimulus visuel, à l'instar de Kujala et coll. (2001). Pour ce faire, les auteurs ont utilisé un matériel extrait du logiciel Play-on® (« jeu de basket »), déjà utilisé par Magnan et coll. (2004), où les sujets sont placés devant un écran d'ordinateur et équipés d'écouteurs dans lesquels sont adressés de manière aléatoire l'un ou l'autre de deux exemplaires d'une paire de syllabes phonologiquement proches. Ils doivent décider le

plus rapidement possible, en appuyant sur une touche de l'ordinateur, de diriger une balle apparaissant sur l'écran en même temps que le stimulus auditif vers un des deux paniers situés de chaque côté de l'écran. Cet apprentissage visuo-auditivo-moteur réalise donc typiquement un entraînement multimodalitaire.

Chacun des deux groupes recevait les deux traitements en deux périodes, l'une de trois semaines où les deux traitements étaient associés, l'autre, de trois semaines également, avec seulement l'entraînement phonologique. Ainsi, chaque groupe recevait une quantité équivalente de rééducation, avec une partie commune (6 semaines d'entraînement phonologique) et une partie différente (3 semaines d'entraînement intermodal pour l'un, visuel pour l'autre), l'entraînement visuel n'ayant a priori pas vocation à provoquer un effet mesurable (situation contrôle).

Les résultats (figure 5) ont montré une amélioration significative dans les deux groupes, tant pour la lecture que pour un score phonologique composite, suggérant que l'adjonction d'un traitement intermodal n'a pas apporté d'efficacité supplémentaire au traitement phonologique. En revanche, dans plusieurs épreuves de transcription (dictée de pseudo-mots et dictée de texte), seul le groupe ayant reçu l'entraînement intermodal présente une amélioration significative (figure 6).

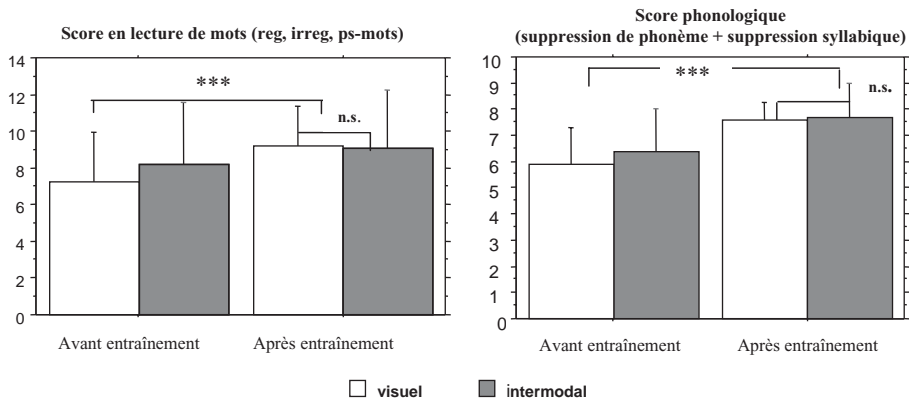


Figure 5 : Performances des sujets avant et après entraînement

En clair : groupe phonologique seul ; En grisé : groupe recevant l'association des deux entraînements ; n.s : non significatif ; *** : significatif

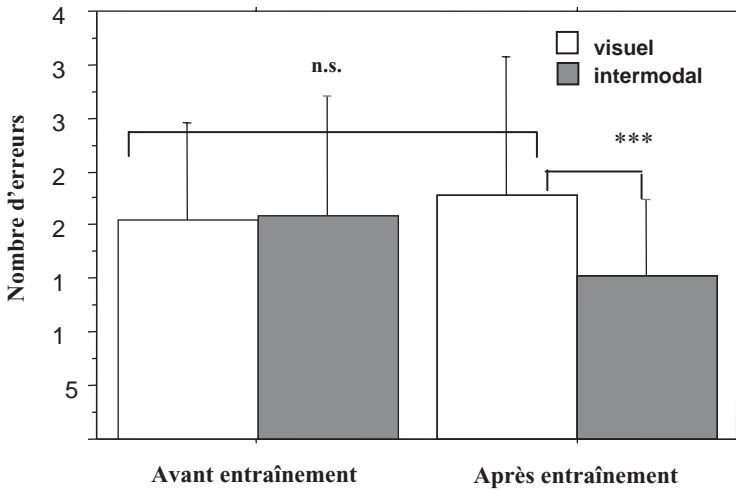


Figure 6 : Nombre d'erreurs dans une épreuve orthographique (dictée de texte)

L'amélioration n'est significative que pour le groupe ayant reçu l'entraînement intermodal en plus du traitement phonologique classique (en gris, comparé au groupe phonologique seul (en clair) (effet session : non significatif ; interaction groupe x session : significative) ; n.s. : non significatif ; *** : significatif

Cette étude confirme donc d'abord, une fois de plus, l'efficacité remarquable d'un entraînement phonologique intensif et quotidien, sur une relativement brève période. Elle suggère en outre que pour la lecture et la phonologie, l'adjonction d'un entraînement intermodal, sensé renforcer les processus de transcodage intermodalitaires, connus pour être spécifiquement altérés en début d'apprentissage chez le dyslexique, n'apporte pas de gain particulier. En revanche, pour les processus de transcription phono-graphémique (dictée à voix haute), le gain est significatif. En d'autres termes, il semble que contrairement à l'adjonction d'un entraînement articulatoire, qui possède un effet modeste mais cumulatif avec celui de l'entraînement phonologique, l'entraînement intermodal s'adresse à des mécanismes distincts de l'entraînement phonologique, complémentaires de ce dernier. Ce résultat confirme donc partiellement ceux obtenus par Magnan et coll. (2004) qui, utilisant le même outil (Play-on®), améliorent significativement les performances de leurs dyslexiques dans une tâche de reconnaissance orthographique. Sans spéculer plus avant sur la nature de ces mécanismes, on peut toutefois remarquer que ce type d'exercices mettant en jeu à la fois la discrimination auditive de phonèmes et leur association avec un indice sensori-moteur, véritable transcodage intermodalitaire, vise un mécanisme qui pourrait être complémentaire de celui des exercices phonologiques classiques, essentiellement basés, quant à eux, sur le travail des processus de segmentation sonore. Ainsi, contraire-

ment à l'entraînement phonologique qui améliore spécifiquement les capacités en lecture, entraîner les dyslexiques tout à la fois à discriminer des phonèmes et à les associer à une réponse visuo-motrice pourrait influencer positivement et spécifiquement sur leurs aptitudes orthographiques.

Enfin, à l'instar du travail de Kujala et coll. sus-cité, les auteurs ont réalisé un examen de l'activité électrique cérébrale par la méthode des potentiels évoqués, dans le but de rechercher des concomitants cérébraux à l'amélioration constatée cliniquement. De fait, des anomalies détectées avant entraînement lors de la stimulation auditive disparaissent après entraînement (Santos et coll., 2006), suggérant que l'entraînement a modifié le traitement cérébral des stimuli auditifs. La persistance ou non de cet effet à plus long terme reste cependant à déterminer.

En conclusion, il apparaît à présent possible de dégager quelques idées générales potentiellement utiles à la réflexion du thérapeute sur la mise en place, dans chaque cas, d'un traitement à base théorique (*theory-based*), ce qui a fait jusqu'à présent cruellement défaut en matière de dyslexie.

En premier lieu, il convient de discuter la forme générale que peuvent prendre les actions thérapeutiques basées sur les données présentées ici. D'un point de vue tout d'abord de la durée et de la fréquence des interventions, le caractère intensif et quotidien des interventions paraît aujourd'hui amplement souhaitable. Mais il faut admettre que dans les différents travaux ci-dessus, la principale justification du caractère intensif est la nécessité, liée aux contraintes de tout travail de recherche, d'optimiser les chances de mettre en évidence un effet significatif, dans la mesure où des traitements plus longs ou moins intensifs augmenteraient le risque d'interférence avec des facteurs confondants d'autre nature. Des durées de traitement de 5 à 6 semaines, avec intervention quotidienne, voire pluri-quotidienne, semblent ainsi, pour des raisons à la fois expérimentales et cliniques, les plus à même de satisfaire aux exigences de telles recherches. En revanche, rien ne prouve que des périodes plus longues ou des traitements moins intensifs ne puissent pas être aussi efficaces, mais cela serait difficile à prouver scientifiquement. La médiation d'outils standardisés, qu'il s'agisse de jeux vidéos ou d'enregistrements audios, apparaît une nécessité, cette fois non seulement pour la recherche, mais même en pratique clinique dans la mesure où il est indispensable de pouvoir contrôler la qualité et la quantité des informations qui sont adressées au sujet durant les séances d'entraînement. Des outils de type crayon-papier, tels que classiquement utilisés en rééducation orthophonique, restent de mise, surtout dans le but de maintenir la qualité de la relation patient-thérapeute, mais ne peuvent plus à l'heure actuelle constituer le principal de la rééducation, au risque de laisser l'évaluateur dans le flou quant aux raisons de l'efficacité ou non de son action.

Concernant à présent le contenu même de l'entraînement, ce qui est, bien entendu, l'objectif principal des recherches décrites ci-dessus, les données

actuelles n'incitent pas à proposer, du moins de manière systématique, des exercices contenant de la parole artificiellement ralentie, le bénéfice par rapport à la parole normale étant bien peu documenté. En revanche, il paraît aujourd'hui incontournable de proposer des exercices de conscience phonologique diversifiés dans les processus visés, même si leur forme, pour les raisons évoquées ci-dessus, sera nécessairement plutôt monotone. L'avantage d'outils pré-enregistrés, outre le fait qu'ils exercent spécifiquement l'entrée auditive, est qu'ils permettent de réaliser une progression dans la difficulté des exercices, et éventuellement d'adapter ces exercices à chaque cas en fonction de l'âge, par exemple, ou encore de la sévérité du déficit phonologique. Un autre avantage de ce type d'approche est qu'il vise spécifiquement un certain type de processus, permettant l'utilisation d'autres outils pour d'autres objectifs, sans risque de chevauchement ou de double emploi. Par exemple, il est plus rationnel de séparer les périodes d'entraînement phonologique de celles d'entraînement de la fluidité de la lecture, qui reposent sur des processus totalement distincts. En revanche, l'alternance rapprochée de périodes phonologiques et intermodales paraît plus plausible, dans la mesure où les arguments sont nombreux en faveur d'une potentialisation entre les deux types de processus, l'idée étant que le bénéfice apporté par un renforcement des processus métaphonologiques ne sera optimal que s'il est directement appliqué aux actes de lecture et d'écriture. Tel enfant qui avait largement amélioré ses capacités de segmentation après quelques semaines d'entraînement phonologique déclarait, comme une révélation : « mais alors, je peux faire la même chose quand je lis et quand j'écris ? ». Il est clair que la remise en place d'un système phonologique efficace ne prend tout son intérêt que si elle s'accompagne d'un progrès visible dans les processus de décodage et de transcodage.

Une autre condition d'efficacité est sans doute, comme souvent en rééducation neuropsychologique, la nécessité d'adapter le type de traitement à chaque profil individuel de déficit. Sans aborder ici la question des dyslexies visuelles, traitée par ailleurs dans cet ouvrage, il est clair que parmi les dyslexies phonologiques, celles s'accompagnant par exemple de troubles articulatoires pourraient tirer le maximum de bénéfice d'un entraînement de la conscience articulatoire à l'aide de support visuel et tactile, comme cela a été décrit plus haut. Des travaux récents semblent également démontrer qu'un traitement portant exclusivement sur la discrimination auditive, sans composante de segmentation ou de manipulation phonémique, est capable d'avoir un effet propre sur l'acquisition de la lecture (Hayes et coll., 2003 ; Hatcher et coll., 2004). De même, la sévérité d'un trouble visuo-spatial associé débouchera sur une prise en compte de ces aspects, y compris sous la forme d'un travail de psychomotricité, même si les travaux, dans ce domaine, font spécifiquement défaut.

Il reste à envisager la question de l'environnement idéal de ces entraînements intensifs. Les études scientifiques sont souvent réalisées dans des

milieux privilégiés, tels que des établissements spécialisés ou des structures hospitalières. Mais cela ne peut évidemment pas être le cas de la majorité des enfants souffrant de ces troubles. En théorie, l'école pourrait être le lieu approprié pour la réalisation d'interventions quotidiennes, en favorisant la prise en charge de petits groupes, voire en individuel. Toutefois, ce type de prise en charge se heurte à un manque de personnel (Rased, réseau d'aide spécialisée aux élèves en difficulté, enseignants spécialisés) faisant que l'on donne volontiers la préférence à des pratiques mixtes, chez l'orthophoniste deux à trois fois par semaine, et au domicile le reste du temps, ce qui présume évidemment d'une participation active et fiable de la part des parents, ce qui ne peut pas être toujours obtenu. L'idéal serait la création de structures scolaires spécialisées, telles que des CLIS (classes d'intégration scolaire) à petit effectif, où les enfants sont une partie du temps dans leur classe de niveau, et le reste du temps dans la classe spéciale, où ils reçoivent à la fois l'instruction dans les domaines déficitaires et éventuellement les remédiations adaptées à chaque cas. L'avantage de cette formule, si elle est réalisée dans le cadre de réseaux multidisciplinaires, est de permettre au thérapeute (orthophonistes, neuropsychologues, psychomotriciens...) de se concentrer sur le travail spécifiquement rééducatif et l'évaluation, alors que la partie plus instrumentalisée et à caractère répétitif se fait dans l'école.

Enfin, outre l'élargissement de la recherche à d'autres domaines déficitaires, les travaux décrits ci-dessus pourraient utilement se prolonger par des études à visée épidémiologique et préventive, impliquant ici encore la structure scolaire, dans le cadre de recherches-actions mettant en jeu des équipes mixtes, éducatives et scientifiques, voie privilégiée vers une meilleure communication et un partage encore plus aisé des informations entre les deux domaines de compétences.

Michel Habib

*Service de neurologie pédiatrique,
Hôpital des enfants de la Timone, Marseille*

BIBLIOGRAPHIE

ALEXANDER AW, ANDERSEN HG, HEILMAN PC, VOELLER KKS, TORGESEN JK. Phonological awareness training and remediation of analytic decoding deficits in a group of severe dyslexics. *Annals of Dyslexia* 1991, **41** : 193-206

HABIB M. Rewiring the dyslexic brain. *Trends in Cognitive Sciences (TICS)* 2003, **7** : 330-333

HABIB M, ESPESSER R, REY V, GIRAUD K, BRUAS P, GRES C. Training dyslexics with acoustically modified speech: evidence of improved phonological performance. *Brain & Cognition* 1999, **40** : 143-146

HABIB M, REY V, DAFFAURE V, CAMPS R, ESPESSER R, DÉMONET JF. Phonological training in dyslexics using temporally modified speech: A three-step pilot investigation. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2002, **37** : 289-308

HATCHER PJ, HULME C, SNOWLING MJ. Explicit phoneme training combined with phonic reading instruction helps young children at risk of reading failure. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 338-358

HAYES EA, WARRIER CM, NICOL TG, ZECKER SG, KRAUS N. Neural plasticity following auditory training in children with learning problems. *Clin Neurophysiol* 2003, **114** : 673-684

HEILMAN KM, VOELLER K, ALEXANDER AW. Developmental dyslexia: a motor-articulatory feedback hypothesis. *Annals of Neurology* 1996, **39** : 407-412

HESKETH A, ADAMS C, NIGHTINGALE C, HALL R. Phonological awareness therapy and articulatory training approaches for children with phonological disorders: a comparative outcome study. *In J Comm Dis* 2000, **35** : 337-354

KUJALA T, KARMA K, CEPONIENE R, BELITZ S, TURKKILA P, et coll. Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proc Natl Acad Sci USA* 2001, **98** : 10509-10514

LIBERMAN AM, MATTINGLY IG. The motor theory of speech perception revised. *Cognition* 1985, **21** : 1-36

MAGNAN A, ECALLE J, VEUILLET E, COLLET L. The effects of an audio-visual training program in dyslexic children. *Dyslexia* 2004, **10** : 131-140

MERCIER M, JOLY-POTTUZ B, LEYNAUD A, NGUYEN N, HABIB M. Évaluation d'une méthode d'entraînement phono-articulatoire dans la dyslexie de développement. Société de Neuropsychologie de Langue Française, Décembre 2002

MONTGOMERY D. Do dyslexics have difficulty accessing articulatory information ? *Psychol Res* 1981, **43** : 235-243

NICOLSON RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences* 2001, **24** : 508-516

SANTOS A, JOLY-POTTUZ B, MORENO S, HABIB M, BESSON M. Behavioural and event-related potentials evidence for pitch discrimination deficits in dyslexic children: Improvement after intensive phonic intervention. *Neuropsychologia* 2006, Nov 29 ; [Epub ahead of print]

TALLAL P, MILLER SL, BEDI G, BYMA G, WANG X, et coll. Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech. *Science* 1996, **271** : 81-84

WISE BW, RING J, OLSON RK. Phonological awareness training with and without the computer. In : *Dyslexia: Biology, cognition, & intervention*. HULME C, SNOWLING M (eds). Whurr, London, 1997

WISE BW, RING J, OLSON RK. Training phonological awareness with and without attention to articulation. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 271-304