

---

# Trois méthodes comparées de rééducation

Depuis plus de dix ans, l'application des recherches en neurosciences cognitives concernant d'une part la plasticité corticale et les rééducations et d'autre part l'origine des troubles de la lecture connaît un grand essor (Tallal et coll., 1996 et 1998 ; Eden et Moats, 2002 ; Taub et coll., 2002 ; Alexander et Slinger-Constant, 2004). En particulier, plusieurs études publiées montrent l'efficacité des méthodes de rééducation intensives et quotidiennes sur les compétences de lecture et leurs effets sur les activités corticales des réseaux neuronaux impliqués. C'est dans cette perspective que le programme de recherche intitulé « Étude comparative et anatomofonctionnelle de la récupération de la dyslexie à l'aide de méthodes de rééducation » a été initié à l'Hôpital Robert Debré et à l'Hôpital Trousseau conjointement dans le service de Pédiatrie neurologique et des maladies métaboliques et le service de Psychopathologie de l'enfant (de Schonen et coll., 2005)<sup>77</sup>.

Cette étude a comme objectif :

- d'évaluer et comparer trois méthodes de rééducation d'enfants dyslexiques ;
- de confirmer ou non l'existence d'un lien entre entraînement à la perception phonologique et les compétences de lecture ;
- d'examiner les relations entre compétences du langage oral et écrit dans la dyslexie ;

---

77. Remerciements au Professeur Mouren-Simeoni et à tout le personnel infirmier et d'encadrement éducatif du service de l'Unité 5 sous la responsabilité du Dr Christophe-Loïc Gérard, centre de référence des troubles du langage et des apprentissages, service de psychopathologie de l'enfant et de l'adolescent de l'hôpital Robert Debré à Paris

Remerciements également à toutes les orthophonistes qui ont contribué à ce travail : Christine Sensi, Corinne Caillère, France Grelet, Séverine Hervatin, Pomine Thomas, Elise Lameloise  
Ce travail a bénéficié d'un PHRC-National (AOM-01 057/P010313) intitulé « Étude comparative et anatomofonctionnelle de la récupération de la dyslexie à l'aide de méthodes de rééducation ». Le promoteur est l'Assistance Publique-Hôpitaux de Paris et l'investigateur principal est le Professeur Philippe Evrard, chef du service de Neurologie pédiatrique à l'hôpital Robert Debré, Paris

- de déterminer des corrélats anatomo-fonctionnels de la dyslexie et des effets de la rééducation. Les résultats de cette dernière question ne seront pas abordés ici.

Même si l'évaluation des méthodes de rééducation est un processus complexe, il n'en reste pas moins que toute méthode de rééducation doit démontrer son efficacité. Or, mesurer l'efficacité d'une rééducation orthophonique est une tâche très difficile et coûteuse en raison de la multiplicité des facteurs en jeu.

Ce n'est que récemment qu'est apparue en France la nécessité d'évaluer l'efficacité des méthodes de rééducation de la dyslexie comme le soulignent de Cara et Plaza (2005) (par exemple, Messerschmitt et coll., 1994 ; Habib et coll., 1999, 2002 et 2004 ; Magnan et coll., 2004). On ne peut utiliser les évaluations de rééducations en langue anglaise bien qu'elles aient commencé il y a plus longtemps et qu'elles soient plus nombreuses. Il faut être prudent dans l'importation d'une rééducation d'une langue à l'autre pour deux raisons. Tout d'abord à l'heure actuelle, les rééducations ne sont fondées que sur une connaissance partielle et inachevée des mécanismes de la dyslexie, de telle sorte que certaines pratiques rééducatives dans une langue pourraient être favorables dans cette langue et ne pas l'être dans une autre langue. Deuxièmement, bien que les corrélats neuro-fonctionnels de la dyslexie soient les mêmes d'une langue à l'autre (en tout cas en ce qui concerne trois langues qui réagissent différemment à la dyslexie – l'anglais, l'italien et le français – (Paulesu et coll., 2001), les manifestations sont variables et spécifiques selon les langues et les cultures (principalement parce que les principes du transcodage graphophonologique diffèrent entre langues). L'évaluation des méthodes de rééducation est donc actuellement nécessaire pour l'amélioration de la qualité des soins et pour parvenir à un équilibre entre coût et efficacité.

Dans les travaux décrits ci-dessus, trois méthodes de rééducation ont été comparées. Ces méthodes ont été retenues parce qu'elles ont la réputation d'être toutes les trois efficaces. La méthode A (sémiophonie) est utilisée en France et a été évaluée en français comparativement à une méthode standard de rééducation (Messerschmitt et coll., 1994) et en anglais (Lloyd et coll., 2003). La méthode B (entraînement intensif de la perception auditive de la parole modifiée) a été évaluée en anglais à plusieurs reprises et en français par des études de l'équipe de Marseille (Habib et coll., 2002 et 2004). Elle reste l'objet de vives controverses (Gillam, 1999 ; Gillam et coll., 2001a et b ; Friel-Patti et coll., 2001a et b ; Hook et coll., 2001 ; Thibodeau et coll., 2001 ; Troia et Whitney, 2003 ; Agnew et coll., 2004 ; Pokorni et coll., 2004 ; Bishop et coll., 2005 ; Cohen et coll., 2005 ; Bishop et coll., 2006). La méthode C (rééducation « classique » par un/une orthophoniste formé(e) en France) est la plus utilisée en France mais n'a fait l'objet d'évaluation contrôlée que par rapport à la rééducation sémiophonique. Les évaluations déjà effectuées en français ou en anglais comparaient

les effets d'une rééducation aux effets d'une absence de rééducation d'un groupe témoin. Ici les effets de trois rééducations dont la réputation est d'être efficace sont comparés.

## Caractéristiques des participants de l'étude

Vingt cinq enfants, 20 garçons et 5 filles, d'âge scolaire (CE1 à CM2) ont suivi l'une des trois méthodes de rééducation. Leur affectation à l'une ou l'autre méthode était décidée par un tirage au sort quasi aléatoire établi avant le recrutement. Les critères d'inclusion d'un enfant dans l'étude étaient les suivants : avoir un QI atteignant au moins 80, avoir été diagnostiqué dyslexique au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967). L'Alouette est un test de leximétrie : l'enfant doit lire à haute voix en trois minutes un texte de 265 mots. L'objectif de ce test est d'attribuer un niveau de lecture (ou âge lexique). Les caractéristiques des trois groupes sont données dans le tableau I. Le QI Total, le QI Verbal, le QI Performance (Wechsler, 1996), et les erreurs ou le nombre de mots lus au test de l'Alouette ne diffèrent pas significativement entre les trois groupes avant rééducation ( $p > 0,10$ ).

**Tableau I : Caractéristiques de chacun des 3 groupes d'enfants (moyennes et écarts-types) avant rééducation**

	Méthode A	Méthode B	Méthode C
Garçons/filles	6G/3F	7G/2F	7G
Niveau socioculturel	4 NSC* moyen 5 NSC supérieur	3 NSC moyen 6 NSC supérieur	4 NSC moyen 3 NSC supérieur
Âge pré-test en mois	111,22 (13,44)	102,33 (10,64)	108,86 (9,97)
Âge post-test en mois	126,33 (14,48)	109,67 (11,36)	124,86 (10,38)
Test de l'Alouette			
Nombre de mots lus	110,25 (42,53)	100,83 (16,31)	84,25 (32,88)
Nombre d'erreurs	148,50 (52,65)	127,16 (55,74)	139,25 (43,53)
Âge lexique	82,75 (2,87)	81,16 (1,32)	79,5 (1,29)
Échelle d'Intelligence			
QI Verbal	96,3 (16,5)	102,7 (17,5)	89,2 (5,3)
QI Performance	99,1 (14,3)	102,1 (18,9)	91,5 (6,6)
QI Total	98,2 (13,06)	102,9 (19,6)	89,3 (4,9)

\*NSC : niveau socioculturel défini par le niveau d'éducation des parents (moyen ou supérieur)

La description ci-dessous ne concerne que les caractéristiques essentielles des méthodes utilisées.

## Méthode A

La méthode A, dite sémiophonie, a été élaborée par son auteur (Beller, 1973 et 1994), psychiatre exerçant en ville, pour tenter de dissocier l'attention aux aspects sonores de la parole de l'attention aux aspects lexicaux et sémantiques. Le rythme et la musique d'une langue (la prosodie) sont parmi les premières informations extraites de la parole par le bébé au cours du développement du langage oral. L'auteur de cette méthode faisait l'hypothèse que l'origine de la dyslexie est une perturbation de l'association entre le traitement acoustique, le traitement phonologique et le traitement sémantique de la parole. Ces traitements se seraient organisés de façon aberrante au cours du développement sous l'effet de facteurs que l'auteur n'était pas en mesure d'identifier lorsqu'il développa cette rééducation. La méthode visait à rétablir chez les enfants dyslexiques des automatismes perceptifs et linguistiques concernant certains aspects de la perception auditive de la parole en les dissociant des traitements lexicaux et sémantiques.

Pour ce faire, une partie des séances de rééducation consiste à attirer l'attention de l'enfant sur certains aspects auditifs de la parole. L'enfant écoute des stimuli sonores. Ces stimuli sonores sont le résultat de la modulation d'un son « paramétrique » par les variations d'amplitude et de fréquence de la parole naturelle. Techniquement parlant, le son paramétrique utilisé est un bruit blanc dans la zone des ultrasons, donc inaudible. Mais à chaque inflexion de la fréquence fondamentale (F0) de la parole, la fréquence de ce son paramétrique est abaissée et devient audible. On entend ainsi un son aigu mais agréable modulé par les rythmes de la parole, bien que nettement différencié de la voix. L'amplitude de ce son est modulée par les variations d'amplitude de la parole naturelle qu'elles soient rapides ou lentes ou par les variations de sons musicaux. Ce son redevient inaudible dans les pauses de parole. Le son paramétrique modulé ne conserve ainsi de la parole naturelle que les rythmes, les accentuations et l'enveloppe prosodique de la parole.

Le son paramétrique peut être modulé soit par de la parole spontanée pré-enregistrée, soit par de la parole pré-enregistrée correspondant à la lecture d'un texte, soit *on-line* par la parole d'un locuteur qui peut être l'enfant lui-même. Les paroles de l'enfant peuvent, par exemple, moduler le son paramétré qu'il entend alors par l'intermédiaire des écouteurs en même temps qu'il parle. En début de séance, l'enfant entend ou écoute de la parole enregistrée ainsi transformée (mots, phrases, récit). En fin de séance, l'enfant entend ou écoute les variations produites par ses propres paroles spontanées ou en répétition de mots, de phrases, ou en lecture.

Ce dispositif (appelé lexiphone) ne fournit probablement pas d'indices de segmentation phonémique. Il faut noter qu'il n'y a pas, à notre connaissance, de relation établie entre les mouvements de la fréquence fondamentale de la voix (F0), produite par les cordes vocales situées dans le larynx, et la segmentation en phonèmes. De manière générale, il n'y a pas de relations

univoques entre les phonèmes et les segments présents dans le signal acoustique de parole émis par un locuteur. À chaque phonème peuvent éventuellement correspondre plusieurs segments acoustiques et, inversement, le même segment peut fournir de l'information sur plusieurs phonèmes. Il s'agit là d'un résultat classique, basé sur des descriptions acoustiques (Fant, 1973) et sur des expériences de perception (Liberman et coll., 1967). De manière plus spécifique, l'hypothèse selon laquelle la F0 pourrait fournir des indices de segmentation phonémique reste à prouver. Jusqu'à preuve du contraire, les changements de F0 ne correspondent pas nécessairement aux limites entre phonèmes et la F0 peut conserver des valeurs relativement constantes sur un intervalle de temps recouvrant plusieurs phonèmes successifs. Ensuite, il n'y pas de données montrant que des changements de F0 permettent de percevoir deux phonèmes différents<sup>78</sup>.

Une autre transformation de la parole, utilisée dans la sémiophonie, dans une deuxième phase de la rééducation, consiste à « hacher » le flux sonore en supprimant de brèves portions de signal (entre 1/10<sup>e</sup> de seconde et 2 secondes) dans un enregistrement de la parole. Un intervalle silencieux peut avoir une durée plus brève qu'une syllabe. La durée de la suppression du son est contrôlable, mais le moment exact où survient la suppression dans la parole est aléatoire. Cette suppression n'affecte pas systématiquement les points de segmentation de la parole naturelle. Elle peut supprimer un morceau de syllabe, ou la fin d'une syllabe et le début de la suivante, ou se produire dans une pause...

Dans la pratique, l'enfant travaille avec un micro-casque, comme dans un laboratoire de langues, selon une progression standard, mais aménageable en fonction de l'enfant. Le rééducateur peut intervenir dans la rééducation au moment où il le juge le plus opportun, ou à la demande de l'enfant : soit directement (consignes, indications diverses, aide, explications, guidance), soit par l'intermédiaire d'un autre micro-casque relié au « lexiphone ». Un rééducateur peut assurer simultanément la rééducation de 3 à 4 enfants.

La durée totale de la rééducation dépend évidemment de l'enfant. Mais en raison de l'objectif de comparaison des trois méthodes dans le cadre de la présente étude, la durée totale a été de 90 séances de 60 minutes (soit 45 minutes de rééducation effective) pendant la période scolaire à raison de trois séances par semaine. En temps normal hors étude comparative, cette rééducation comporte plus de variabilité en fonction des enfants (pour une description plus détaillée, voir Beller, 1973 et 1994).

78. Nous remercions le Pr W. Serniclaes pour nous avoir fourni cet éclaircissement concernant les possibilités du lexiphone.

## Méthode B

La méthode B est un entraînement auditif intensif et quotidien utilisant de la parole modifiée.

Les premiers travaux sur l'entraînement auditif intensif et quotidien à la perception d'indices temporels dans la parole modifiée synthétiquement ont montré des progrès significatifs à des tests de compréhension du langage oral et de discrimination phonétique chez des enfants qui présentaient des troubles sévères du langage (Merzenich et coll., 1996 ; Tallal et coll., 1996).

Selon Tallal, un déficit dans la perception des caractéristiques temporelles de la parole serait à l'origine de tous les types de troubles de l'apprentissage liés à la phonologie (y compris l'apprentissage des correspondances grapho-phonologiques). Plus précisément, le déficit concernerait le traitement de la syllabe c'est-à-dire le traitement des informations auditives brèves et en succession rapide du signal de parole contenue dans l'assemblage consonne-voyelle (CV). Les transitions formantiques qui caractérisent le passage du son consonantique (consonne) au son vocalique (voyelle) sont des indices acoustiques pour l'intelligibilité de la parole et sont de très courtes durées (inférieures à 40 ms). La segmentation des phonèmes et la discrimination entre phonèmes reposent donc sur des analyses fines portant sur des indices de très courtes durées.

Le principe de base de la méthode B est donc d'entraîner l'enfant à percevoir des stimuli dont les aspects temporels sont au départ « ralentis » artificiellement, donc plus faciles à discriminer. Par la suite, on rend progressivement de plus en plus brefs, en tendant vers la normale, les caractères temporels. Ces exercices visent à obtenir une amélioration des aptitudes des dyslexiques reposant sur une réorganisation corticale. La notion de réorganisation corticale liée à un entraînement est aujourd'hui documentée par plusieurs données expérimentales (Sadato et coll., 1996 ; pour une revue, voir Recanzone, 2000 et Kaas, 2000). Un entraînement « adaptatif », où l'aspect temporel des stimuli est impliqué dans des exercices de difficulté croissante au cours de la période d'entraînement, doit pouvoir induire une réorganisation des régions corticales impliquées dans le déficit observé. La méthode utilisée par les auteurs repose sur un conditionnement opérant, c'est-à-dire que grâce à des jeux vidéo informatisés, l'enfant va, à son insu, être conditionné à discriminer et reconnaître divers types de sons dont la variable temporelle est modifiée au cours du temps. Des preuves d'une réorganisation corticale consécutive à cet entraînement ont déjà été publiées (Temple et coll., 2003).

Dans sa version définitive, le programme d'entraînement intensif, actuellement commercialisé sous le nom de *FastForWord* (FFW), comprend des « jeux » informatiques audiovisuels ; ceux-ci sont destinés à l'entraînement des capacités de traitement auditif central (vitesse d'intégration temporelle,

attention, mémoire séquentielle), d'identification des mots et de discrimination phonologique (en contexte de syllabe ou de mot), de traitement du langage et de compréhension grammaticale. Les éléments acoustiques brefs des zones de transition formantique de la parole, ou les signaux acoustiques non verbaux, sont allongés et également modifiés au niveau des contrastes d'amplitude, sur les bases technologiques de la méthode rapportée dans la publication de Nagajaran et coll. (1998).

Le programme utilisé dans notre étude est une adaptation en français de ces jeux vidéo informatisés FFW et porte uniquement sur des sons de paroles. Il s'agit du logiciel « Akoustik » mis au point par Barbier (2003). Une séance consiste à réaliser des exercices de discrimination de syllabes, de mots et de pseudo-mots et des exercices de troncation de mots et de pseudo-mots qui visent à développer les capacités métaphonologiques. Tous les stimuli de parole ont été modifiés de façon « adaptative ». La modification comporte 3 niveaux différant par le degré de ralentissement (14 % de réduction, 31 % réduction, 50 % réduction). L'enfant commence par le niveau où le signal est le plus ralenti jusqu'à ce qu'il réussisse au moins 80 % des essais de chaque exercice, puis il passe aux niveaux moins ralentis.

Ces exercices ont été pratiqués sur une période de 20 jours (6 à 7 séances de 20 minutes chacune par jour, pendant 4 semaines, 5 jours par semaine). La rééducation a eu lieu dans un service d'hospitalisation de jour (Hôpital Robert Debré, Centre de référence du langage, Service du Pr Mouren-Simeoni, Unité 5, Dr Le Heuzey puis du Dr Gérard). Outre les 6 à 7 séances de rééducation par jour, tous les enfants ont bénéficié d'un encadrement scolaire assuré par le personnel enseignant du service. Neuf enfants ont été accueillis au mois de juin et rééduqués par groupe de 3 simultanément. Une orthophoniste et une stagiaire formées à cette méthode ont pris en charge les enfants.

## Méthode C

La méthode C est la pratique orthophonique classique dont les méthodes de rééducation sont plus ou moins codifiées.

Les trois orthophonistes qui ont participé à l'étude avaient une expérience professionnelle de plus de 4 ans et moins de 7 ans. Elles ont utilisé divers exercices, combinant plusieurs méthodes, le plus souvent avec des logiciels d'aide à la rééducation faciles à utiliser, paramétrables et ouverts. Quelques-uns de ces exercices sont résumés dans le tableau II.

**Tableau II : Quelques exercices utilisés pour la méthode C**

---

Exercices de métaphonologie dans le langage oral et dans la correspondance entre le code oral et écrit
L'enfant segmente les mots dans une phrase, les identifie dans un texte et les réutilise dans un récit
L'enfant identifie des syllabes des mots, en faisant des exercices de frappes et de rythmes, ou avec une implication motrice plus générale
L'enfant fait des jeux sur les syllabes des mots, en initiales ou en finales : il doit retrouver des mots commençant pareil ou finissant pareil, ou trouver des intrus phonétiques
L'enfant fait des discriminations auditives sur des paires de mots, il repère si les mots existent ou non
L'enfant apprend à repérer certains indices visuels pour identifier des mots : repérage des voyelles, des indices de longueur, des rapports entre longueur d'émission vocale du mot et longueur du mot écrit
L'enfant apprend à repérer l'importance de la séquentialité au niveau des mots de la phrase, puis des syllabes dans le mot, puis des sons dans les syllabes
L'enfant travaille l'orientation spatiale et la séquentialité sur un matériel non linguistique
L'enfant travaille la mémoire immédiate
L'enfant travaille les conversions grapho-phonémiques avec des supports gestuels et visuels
Il travaille simultanément la lecture et l'écriture (transcription d'abord avec des étiquettes puis le crayon)
L'enfant apprend les petits mots fonction ou les mots usuels très irréguliers pour renforcer l'utilisation de la voie lexicale et développer le lexique orthographique

---

Autres exercices
L'enfant répète le mot à apprendre et le forme à l'aide de lettres en plastique
L'enfant examine le mot présenté par écrit et le divise en segments phonologiques (syllabes, attaque-rime, phonèmes)
Si le mot contient un petit mot, l'enfant le souligne
L'enfant met en évidence par surlignage des groupes consonantiques (ex. pr, st), de certaines rimes (ex. <i>out</i> dans <i>shout</i> ) et de patterns de lettres
L'enfant trace le mot avec un de ses doigts sur des surfaces de texture tactilement différentes
L'enfant vérifie si l'orthographe produite est adéquate et corrige celle-ci si nécessaire

---

En dehors de ces différents exercices, un axe de travail préconisé dans le cabinet des trois orthophonistes, comme dans la méthode A, est de rendre l'enfant autonome et motivé en lui offrant des stratégies pour qu'il puisse retrouver seul les moyens de compensation travaillés en rééducation.

Les méthodes A et C se déroulent sur la même durée et au même rythme : 90 séances de 45 minutes à raison de 3 séances par semaine pendant l'année scolaire interrompue par les congés. Il s'agit de méthodes dites « distribuées ». La méthode B en revanche se déroule sur une période beaucoup plus courte (un mois) avec un entraînement intensif de 6-7 séances de 20-25 minutes par jour, 5 jours par semaine, 4 semaines consécutives. Il s'agit d'un entraînement massif dont la durée effective de rééducation totale (44-48 heures) est inférieure à la durée de chacune des deux autres rééducations (67 heures).

Outre ces différences, les méthodes A et B diffèrent par d'autres aspects cruciaux qui sont directement pertinents ici. La méthode B exerce directement les capacités de segmentation de l'enfant. Les aspects de la segmentation de parole manipulés par la méthode B sont peu nombreux, systématiquement variés et il s'agit de ceux qui sont perçus de façon déficitaire par les enfants atteints de dyslexie phonologique. Dans la rééducation B, les exercices de segmentation concernent véritablement la segmentation de la parole (phonème, syllabe), tandis que la segmentation réalisée par suppression de segment sonore dans la rééducation A ne concerne qu'occasionnellement (au hasard) les frontières segmentales syllabiques ou phonémiques. De plus, les variations du son paramétrique de la méthode A sont asservies principalement aux variations rythmiques de l'enveloppe globale de la parole et ne fournissent pas systématiquement ou pas du tout d'indices de segmentation de la parole naturelle. Les enfants dyslexiques ne sont pas réputés présenter des déficits de sensibilité à la prosodie qui constitue pourtant une source importante de modulation de l'enveloppe de la parole (donc ici du son paramétrique). La méthode B exerce directement et spécifiquement les capacités déficitaires de segmentation tandis que la méthode A ne les exerce que très indirectement et sans aucun caractère systématique. La méthode A sensibilise l'enfant aux aspects rythmiques de la parole sans les distinguer, attire son attention auditive sur l'enveloppe de la parole sans fournir d'indices pour la segmentation. Les méthodes A et B constituent donc deux situations de contrôle mutuel. La méthode B devrait être plus performante que la méthode A. Cependant dans notre étude, les deux méthodes diffèrent en plus par la durée effective de rééducation.

Notons enfin que cette étude a été confiée à des chercheurs qui étaient investis ni dans une rééducation, ni dans les polémiques relatives aux rééducations et à la nature des troubles dyslexiques.

## Évaluation de l'amélioration des performances par la Belec

Les performances des enfants ont été évaluées avant et après rééducation à l'aide d'une batterie du langage écrit pour l'enfant de 7 à 12 ans : la Belec (Mousty et coll., 1994). Cette batterie a été construite en tenant compte des résultats des recherches cognitives fondamentales sur les composantes considérées comme déficitaires dans la dyslexie phonologique. Il s'agit d'un outil d'évaluation cognitive de la lecture : elle remplit une double fonction, puisqu'elle permet, d'une part, d'identifier les difficultés spécifiques de la lecture/écriture et, d'autre part, de mettre en relation ces difficultés avec d'autres compétences cognitives susceptibles de les expliquer. La batterie se compose d'une évaluation des aptitudes de lecture et d'orthographe qui permet d'estimer le degré d'efficacité des procédures

prises en place par l'enfant pour reconnaître les mots écrits et de spécifier les mécanismes orthographiques utilisés, ainsi que d'une évaluation des compétences métalinguistiques (conscience phonémique, perception fine de la parole et mémoire de travail phonologique) qui permet de mettre en relation les déficits de l'enfant en lecture et/ou en écriture avec ces compétences dont on sait qu'elles sont associées à la réussite dans l'apprentissage de la lecture.

Il a été ainsi possible d'apprécier les performances langagières au pré- et post-test dans cinq domaines telles qu'elles sont analysées par la Belec :

- lecture de mots familiers, de mots rares et de pseudo-mots ;
- lecture de mots réguliers et irréguliers ;
- répétition de pseudo-mots de type CV et CCV ;
- manipulation intentionnelle des syllabes et des phonèmes avec les épreuves d'inversion syllabique, d'inversion phonémique, de suppression de consonnes dans des séquences C/CCV ;
- fusion syllabique de paires de mots avec l'épreuve « acronymes ».

Les notes brutes de chaque enfant ont été transformées en scores calibrés. Les scores calibrés pour chaque enfant et chaque tâche, au pré-test et au post-test, sont calculés de la manière suivante : pour chaque épreuve, la différence entre la moyenne (M témoin) du groupe témoin apparié à l'enfant dyslexique considéré et le score brut de cet enfant (x) est divisée par l'écart-type des performances du groupe témoin (ET témoin), soit  $(M \text{ témoin} - x) / ET \text{ témoin}$ . Ce score calibré donne une mesure de la distance entre chaque enfant examiné et la moyenne de son groupe témoin apparié pour chaque épreuve. Ainsi un score calibré de 0 indique une performance identique à la moyenne contrôle. Un score calibré négatif indique une performance meilleure que la moyenne contrôle, un score calibré positif indique une performance moins bonne que la moyenne contrôle. On peut considérer qu'un score calibré  $> +2$  est un score anormal. Lorsqu'un score calibré passe d'une valeur positive au pré-test en se rapprochant de 0 ou adoptant une valeur positive au post-test, cela signifie que l'enfant a réduit son écart par rapport au niveau normal de performance. On peut calculer les scores calibrés au pré- et au post-test en prenant comme niveau de contrôle celui de la classe lors du pré-test. Les scores calibrés au pré-test évaluent alors la distance de l'enfant dyslexique par rapport au niveau contrôle de la classe où il est situé. Les scores au post-test montrent la distance de l'enfant dyslexique par rapport à ce même niveau contrôle et ne tient pas compte du fait que les enfants contrôles ont (au moment du post-test) des performances meilleures. Les scores calibrés au post-test indiquent donc de combien se réduit la distance entre l'enfant dyslexique et sa classe de référence au début de la rééducation. On appellera ces scores les scores calibrés de base. Une autre manière de faire consiste à calculer les scores calibrés au pré-test de la même manière que précédemment ; mais de calculer les scores calibrés au post-test en utilisant la moyenne et l'écart-type de la classe témoin corres-

pondant à la fin de la rééducation (dans le cas d'enfants commençant la rééducation en CE2 et la finissant en CM1). On appellera ce score le score calibré évolutif. Ce score indique non seulement si l'enfant a progressé par rapport à son niveau de départ, mais s'il réduit la distance par rapport au nouveau niveau contrôle.

Quoiqu'il en soit, le score calibré permet de tenir compte du fait que dans chaque groupe de rééducation l'âge des enfants variait de 7 ans et demi à 10 ans et quelques mois de telle sorte que certains enfants étaient en CE1 ou CE2 et d'autres en CM1 ou CM2. La comparaison des performances des trois groupes d'enfants ayant suivi la méthode de rééducation A, B ou C doit indiquer si le groupe progresse ou non et s'il atteint un niveau normal.

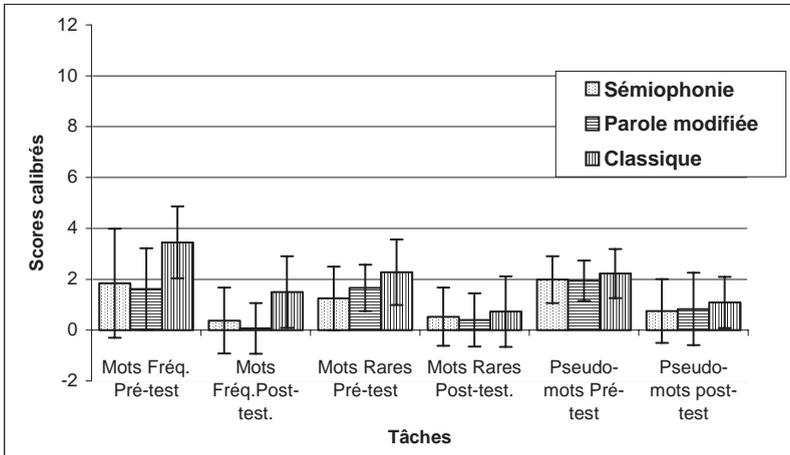
### **Progression par rapport au niveau de départ : scores calibrés de base**

L'efficacité des trois méthodes est envisagée pour chaque type de tâche.

### **Efficacité des trois méthodes de rééducation pour la lecture de mots fréquents, de mots rares et de pseudo-mots**

Ces trois tâches ont pour but d'analyser le rôle de la lexicalité dans les mots et les pseudo-mots (par exemple : « littérature » *versus* « valcronceux ») et le rôle de la fréquence d'usage dans les mots rares et les mots fréquents (par exemple : « auxiliaire » *versus* « gentillesse »).

Une analyse de variance sur les scores calibrés de base (3 rééducations x 3 fréquences de mots x 2 sessions, avec mesures répétées pour les deux derniers facteurs) montre une réduction significative de l'écart entre enfants dyslexiques et témoins. La réduction est significative dans chacun des groupes de rééducation sans que l'un présente un effet plus grand que l'autre (interaction statistique rééducation x session, statistiquement non significative). Le progrès n'affecte pas de façon systématiquement plus importante les mots fréquents que les mots rares ou les pseudo-mots (figure 1). Du pré- au post-test, les enfants dyslexiques passent en moyenne d'une distance supérieure à +1,9 du niveau normal à une distance inférieure à +1 du niveau moyen normal, sans différence en fonction des méthodes de rééducation et des catégories de mots (triple interaction rééducations x fréquences de mots x sessions, statistiquement non significative).



**Figure 1 : Tâche de lecture de mots fréquents, de mots rares et de pseudo-mots. Moyennes et écarts-types des scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test**

### **Efficacité des trois méthodes de rééducation pour la lecture des mots réguliers et irréguliers**

Dans cette tâche, dont la passation dure environ dix minutes, on étudie le rôle de la régularité orthographique : on demande au sujet de lire à voix haute une série de 24 mots réguliers puis une série de 24 mots irréguliers. Les items, présentés ci-dessous, sont appariés en fréquence et en longueur :

- mots réguliers : caisse, nul, muscle, pair, onze, force, abri, matin, fumer, appel, soleil, meilleur, couvée, frisée, éponge, talon, copieur, adresse, approche, sonnerie, avenue, explosion, piloter, rétablir ;
- mots irréguliers : chœur, net, moelle, porc, ours, femme, écho, mille, fusil, hiver, second, monsieur, cassis, faisan, aiguille, tabac, chorale, oignon, automne, septième, orchestre, examen, parasol, revolver.

Une analyse de variance (3 groupes x 2 régularités x 2 sessions, avec mesures répétées pour les deux derniers facteurs) montre une réduction significative entre le pré- et le post-test de l'écart entre enfants dyslexiques et témoins (figure 2). En moyenne, les performances au pré-test comme au post-test sont significativement meilleures (plus proches du niveau contrôle) pour les mots irréguliers que pour les mots réguliers. Cette particularité est probablement due au fait que la moyenne contrôle des performances pour les mots irréguliers est encore très faible, donc peu différente de celle des enfants dyslexiques, dans cette zone d'âge. Mais la taille des progrès n'est pas plus importante pour une catégorie de mots que pour une autre (interaction statistique régularité x session, statistiquement non significative).

754 On n'observe pas de différence significative d'efficacité entre les méthodes de

rééducation (interaction statistique rééducation x session, statistiquement non significative). Du pré- au post-test, les enfants dyslexiques passent en moyenne d'une distance de +1,9 à une distance de +0,615 du niveau normal moyen sans effet significatif des méthodes de rééducation et des catégories de mots (triple interaction rééducation x session x régularité, statistiquement non significative).

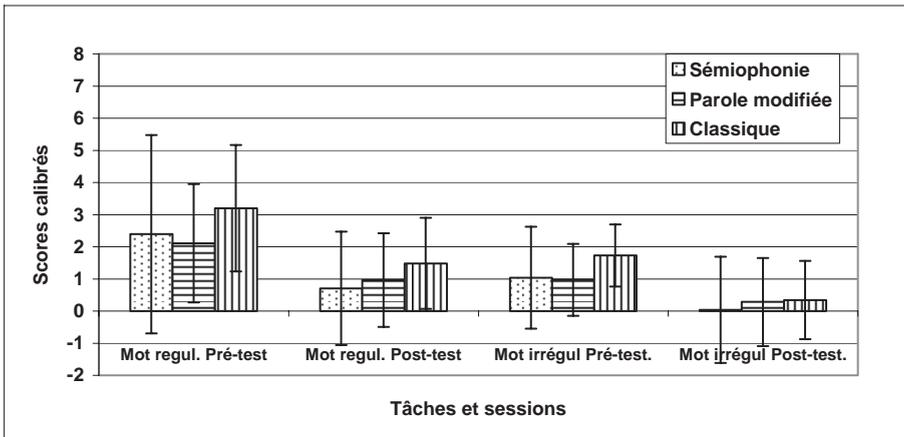


Figure 2 : Tâche de lecture de mots réguliers et irréguliers. Moyennes et écarts-types des scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test

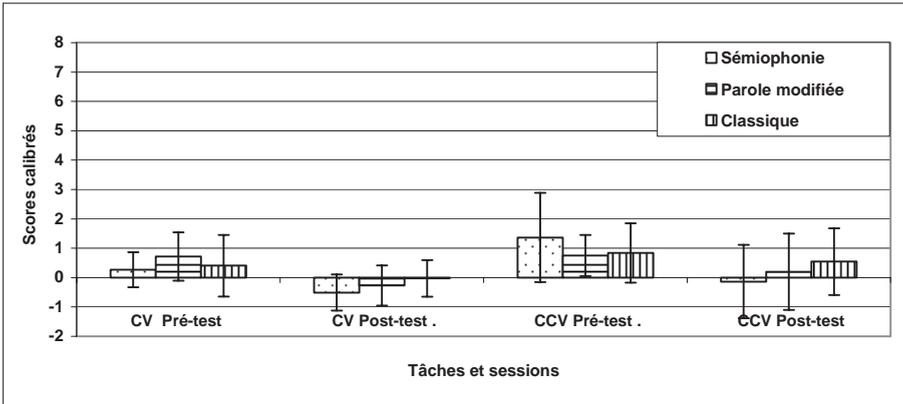
### L'efficacité des trois méthodes de rééducation pour la répétition des pseudo-mots de type CV et CCV

Cette tâche a une double fonction : mesurer un empan de mémoire immédiate sur un matériel verbal sans signification et évaluer la qualité des capacités de perception de parole. Si la répétition de pseudo-mots ne nécessite aucune opération de segmentation ni de manipulation explicite de la structure phonémique des stimuli, elle requiert néanmoins de disposer de représentations phonologiques du signal de parole de bonne qualité.

Cette tâche est numérisée et se compose de deux listes de pseudo-mots qui diffèrent par leur complexité (syllabes CV et CCV). Chaque partie comprend 5 séries de 4 items. La longueur des items croît d'une série à l'autre (de 1 à 5 syllabes).

Une analyse de variance (3 groupes x 2 tâches x 2 sessions, avec mesures répétées pour les deux derniers facteurs) révèle une réduction significative entre pré- et post-test de l'écart entre les enfants dyslexiques et les enfants témoins. Cette réduction est comparable dans les deux tâches (CV et CCV) (figure 3). La réduction de l'écart ne diffère pas selon la méthode de rééducation (interaction rééducations x sessions, statistiquement non significative). D'autre part, les performances sont significativement plus proches du

niveau contrôle pour la répétition des CV que pour celle des CCV aussi bien dans le pré-test que dans le post-test. Il faut noter qu’au pré-test aucune moyenne des groupes de rééducation ne se situait à une distance du niveau normal supérieure à 1. Les progrès ne varient pas en fonction des rééducations et des catégories de pseudo-mots (triple interaction rééducations x catégories de pseudo-mot x sessions, statistiquement non significative).



**Figure 3 : Tâche de répétition de pseudo-mots CV et CCV. Scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test**

### **Efficacité des trois méthodes de rééducation pour les épreuves métaphonologiques**

L’enfant dyslexique a des difficultés à manipuler intentionnellement les phonèmes et les syllabes. Cette capacité à manipuler les sons de parole se teste à travers des tâches spécifiques dites « épreuves métaphonologiques » ; elles correspondent à une aptitude particulière de l’enfant qu’on désigne sous le nom de « conscience phonologique ». Il s’agit d’un processus composite constitué de deux composantes qui dans le cas de certaines dyslexies pourraient être dissociées (conscience de la structure syllabique et de la structure phonémique). On peut concevoir, comme le suggèrent certains auteurs, qu’il existe un processus neurobiologique permettant le développement de toutes les aptitudes métaphonologiques. Mais les processus métaphonologiques aboutissant à la segmentation explicite en unités de plus petite taille, les phonèmes, sont nécessaires pour mettre en place correctement le code alphabétique et donc la correspondance grapho-phonémique qui ne s’établit pas correctement chez l’enfant dyslexique

Trois épreuves métaphonologiques ont été numérisées sur ordinateur. Les consignes données à l’enfant explicitent le principe de la manipulation qu’il devra effectuer. Quelques exemples lui sont fournis avant chaque épreuve et du feed-back correctif lui est donné durant toute la durée des épreuves.

Dans l'épreuve d'inversion syllabique, l'enfant doit inverser les syllables de pseudo-mots de type CVCV, exemple : /baty/ devient /tyba/.

Dans l'épreuve d'inversion phonémique, l'enfant doit inverser les phonèmes de monosyllabes de type CV ou VC, exemple : /ba/ devient /ab/.

Dans l'épreuve de soustraction phonémique, l'enfant doit supprimer le phonème initial de monosyllabes de type CCV, exemple : /fre/ devient /re/.

Les résultats d'une analyse de variance (3 groupes x 3 tâches de segmentation x 2 sessions, avec répétition de mesures pour les deux derniers facteurs) montre une réduction significative du pré-test au post-test de l'écart entre les enfants dyslexiques et le niveau moyen normal (figure 4). La distance entre les enfants dyslexiques et le niveau moyen normal est significativement plus faible dans la tâche d'inversion syllabique que dans les deux autres tâches au pré- comme au post-test. Mais l'importance des progrès ne diffère pas d'une tâche à l'autre (interaction statistique tâches x sessions, statistiquement non significative). La réduction de l'écart ne diffère pas non plus selon la méthode de rééducation (interaction statistique rééducation x session, non significative ; triple interaction statistique rééducation x tâches x sessions, statistiquement non significative).

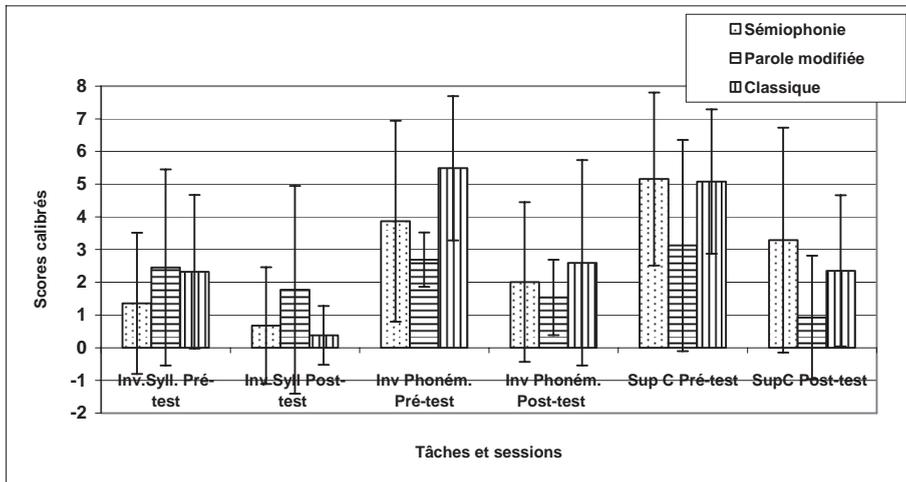


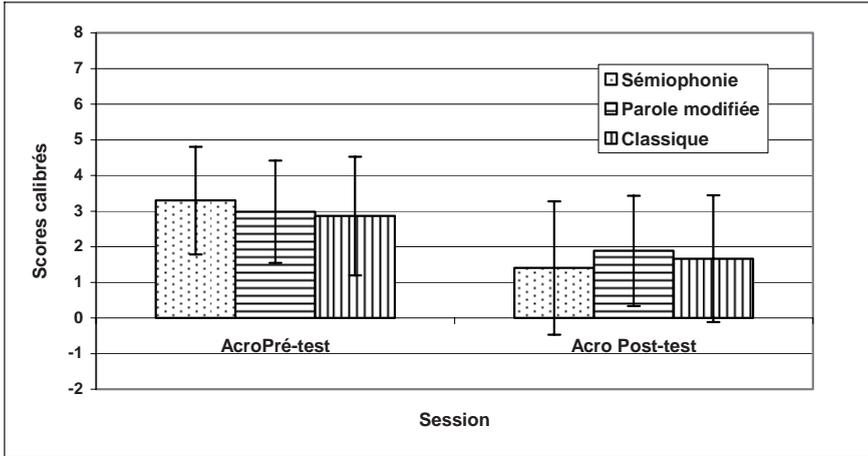
Figure 4 : Tâches de segmentation. Scores calibrés par rapport au niveau contrôle du pré-test

### Efficacité des trois méthodes de rééducation pour la tâche d'acronyme

Dans cette tâche, on fait entendre des paires de mots (exemple : cher Auguste) et l'enfant doit chaque fois produire un nouveau « mot » /cho/ résultant de l'assemblage des phonèmes initiaux des deux mots. Il lui

faut donc segmenter le premier phonème de chaque mot et ensuite les fusionner.

L'analyse de variance (3 groupes x 2 sessions, avec mesures répétées pour le dernier facteur) montre une réduction significative entre pré- et post-test de l'écart entre enfants dyslexiques et le niveau contrôle (figure 5). Les progrès sont du même ordre dans les trois rééducations (interaction statistique rééducation x session, statistiquement non significative).



**Figure 5 : Tâche de segmentation : acronymes. Scores calibrés par rapport au niveau contrôle de la session 1**

En résumé, on observe des progrès par rapport aux performances de départ des enfants dans les trois méthodes de rééducation et dans toutes les tâches. Aucune différence n'est observée entre les rééducations quelles que soient les tâches.

### Rattrapage du niveau normal par les enfants dyslexiques

Dans quelle mesure les enfants dyslexiques rattrapent-ils le niveau moyen normal pour leur âge ? Il s'agit non plus de comparer les performances au niveau normal moyen de la classe de départ en début de rééducation, mais au niveau normal moyen de la classe intégrée en fin de rééducation. Pour répondre à cette question, les scores au pré-test ont été calibrés par rapport au niveau contrôle de la classe lors du pré-test comme dans l'analyse précédente. Les scores au post-test ont été calibrés par rapport au niveau contrôle de la classe intégrée par l'enfant à la fin de la rééducation. Dans ce cadre lorsque les scores calibrés indiquent un progrès, ce progrès est une véritable accélération des acquisitions et non pas seulement un progrès par rapport au

niveau de départ ; s'il y a rattrapage, la pente de progression est plus forte pour l'enfant dyslexique que pour l'enfant normo-lecteur.

Les analyses de variance montrent un progrès significatif dans la répétition immédiate de pseudo-mots. Le progrès est significatif dans deux rééducations, la sémiophonie et la parole modifiée, mais pas dans la méthode de rééducation classique. En revanche, les trois rééducations montrent un progrès significatif dans les tâches de segmentation (inversion syllabique, phonémique, suppression de la consonne initiale dans CCV). Dans la tâche acronyme, aucun progrès n'est observé. Dans les tâches de lecture de mots, aucun progrès n'est significatif. Dans aucune des tâches, on n'observe de différences significatives d'efficacité entre les rééducations.

Le test de l'Alouette qui a servi au départ pour diagnostiquer les enfants dyslexiques fournit un score de lecture (âge de lecture) avant et après rééducation. Si les enfants ont fait des progrès en lecture dans ce test, la différence entre âge réel et âge de lecture devrait diminuer significativement entre le pré- et le post-test. En moyenne, les enfants ont gagné 9,9 mois d'âge de lecture (avec un maximum de gain de 34 mois et un maximum de perte de 2 mois). Lorsque l'écart entre âge de lecture et âge réel est rapporté à la somme de l'âge réel et de l'âge de lecture pour tenir compte de l'âge réel au pré- et au post-test, on constate que l'écart se réduit significativement au post-test par rapport au pré-test, bien que les performances de lecture conservent un retard de 28 mois en moyenne par rapport à l'âge réel.

Dans la mesure où l'étalonnage des épreuves est construite par groupe de deux classes (CE1 et CE2 d'une part, CM1 et CM2 d'autre part), on a aussi examiné les progrès des seuls enfants dont le post-test correspond à un changement de classe (et donc d'étalon) c'est-à-dire ceux qui commencent la rééducation alors qu'ils sont en CE2 et la terminent lors de leur entrée en CM1 en éliminant ceux qui commencent en CE1 et finissent en CE2. Les analyses montrent ici encore un progrès significatif pour la répétition des pseudo-mots, pour les épreuves de segmentation (sauf l'épreuve d'acronymes), et non pour les épreuves de lecture de mots. On peut donc considérer que la tendance observée au « rattrapage » du niveau moyen normal, dans les épreuves ciblées sur le déficit fondamental des enfants avec dyslexie phonologique, est un effet robuste.

Les progrès dans les épreuves de segmentation sont observés aussi bien dans la méthode B qui entraîne plus particulièrement et directement ces aspects, que dans la méthode A qui attire l'attention de l'enfant sur des aspects des sons de parole, mais qui ne fournit ni indices, ni exercices de segmentation proprement dit de la parole (voir plus haut). Par ailleurs, la méthode C (rééducation classique) entraîne l'enfant par quelques exercices de segmentation sans se focaliser seulement sur cette question. On peut donc s'interroger sur ce qui dans la méthode B (parole modifiée) est le facteur efficace. D'autres études ont attribué les progrès des enfants en percep-

tion de la parole à l'entraînement spécifique à la segmentation avec de la parole modifiée. En fait, ces progrès ne sont pas spécifiques de cette méthode.

L'absence de groupe témoin d'enfants dyslexiques non rééduqués ne permet pas de penser que les progrès de rattrapage observés dans les tâches de segmentation ne se seraient pas produits spontanément sans aucune rééducation (en relation avec un processus spontané). On peut cependant considérer les jeunes enfants qui suivent une classe de CE2 en début de rééducation et comparer le niveau de leurs performances après rééducation à celui des performances des enfants en classe de CM1 au début de leur rééducation. Si seul l'effet du développement spontané expliquait le progrès évolutif des enfants dans les tâches de segmentation, les performances des enfants sortant de CE2 après rééducation ne devraient pas être supérieures à celles des enfants entrant en CM1 avant rééducation. Or, les performances des plus jeunes après rééducation sont significativement supérieures à celles des plus âgés avant rééducation (tests non-paramétriques). On ne dispose cependant pas d'un nombre suffisant d'enfants pour comparer les résultats des trois méthodes à cet égard. On peut donc considérer que le développement spontané ne peut être le seul facteur à l'œuvre pour expliquer les progrès observés.

**En conclusion,** les progrès dans les tâches de segmentation sont des progrès réels attribuables, au moins en partie, aux rééducations. Pourquoi cet effet s'observe-t-il alors dans les trois rééducations, alors que la segmentation phonémique n'est réellement exercée que dans la rééducation B ? Il est possible qu'attirer systématiquement l'attention de l'enfant vers certains aspects auditifs de la parole (aux dépens d'autres aspects auditifs) soit une condition suffisante de progrès. Le fait que les scores évolutifs montrent un progrès en répétition immédiate de pseudo-mots avec les méthodes A et B mais non la méthode C, suggère, en tout cas, que ce caractère systématique et répété de l'attention à certaines propriétés auditives de la parole (même celles éloignées des propriétés intervenant dans les compétences phonologiques) est une condition suffisante pour un progrès dans la répétition immédiate. En revanche, les compétences intervenant dans les tâches de segmentation métaphonologiques semblent sensibles aux trois méthodes de rééducation. Le bénéfice est équivalent entre les trois méthodes, alors qu'elles ne sont équivalentes ni par la nature, ni par le taux d'exercices métaphonologique.

Plusieurs remarques sont essentielles à faire dans cette étude. Tout d'abord, nos résultats montrent que ces progrès ne sont pas exclusivement liés à un entraînement concernant les compétences phonologiques (puisque la méthode A qui est dépourvue d'entraînement phonologique autorise des progrès du même ordre que la méthode B).

Deuxièmement, aucune des méthodes n'aboutit à un rattrapage du niveau normal de lecture. Dans les trois méthodes les enfants progressent par rapport à leur niveau de départ, mais ne réduisent pas l'écart qui les sépare du niveau normal contrairement à ce qui se passe pour les compétences métaphonologiques et pour la mémoire de répétition dans le cas des méthodes A et B.

Troisièmement, aucune différence significative entre méthodes n'est apparue dans aucune des deux procédures de calcul évaluant les progrès (score calibré de base, score calibré évolutif). Par conséquent, dans la période de temps étudiée, aucune des méthodes ne se distingue des autres par ses résultats à l'exception de la méthode C qui ne présente pas de tendance au rattrapage pour la répétition de pseudo-mots.

Quatrièmement, on observe une variabilité interindividuelle considérable dans les performances avant rééducation comme après rééducation. Ce point doit être pris en considération dans les évaluations à venir lors de la constitution des groupes de rééducation différents. Il n'y a pas de solution unique à ce propos ; chaque méthode d'attribution des enfants à une rééducation a des avantages et des inconvénients.

Cinquièmement, comparée aux méthodes A et C, la méthode B obtient, sur une période plus courte des résultats analogues à ceux obtenus par 90 séances réparties sur une période de 9 mois. On peut donc penser qu'une meilleure « gestion » des stratégies rééducatives intensives ne peut avoir que des conséquences favorables pour l'enfant dyslexique.

Enfin, les durées de rééducation utilisées sont très probablement trop courtes comme le suggère le fait qu'on n'observe pas de rattrapage, mais seulement des progrès, dans les niveaux de lecture. Par ailleurs, le post-test réalisé ici est très proche de la fin de la période de rééducation. On ignore dans quelle mesure les progrès observés montreront une stabilité à travers le temps identique pour les trois méthodes.

Il est clair que l'évaluation comparative des méthodes de rééducation exige des moyens financiers considérables pour assurer des échantillons suffisamment grands afin de minimiser le rôle des différences interindividuelles dans les résultats ou bien de les inclure comme objet d'étude, pour assurer des rééducations poursuivies sur une période de deux ans au moins, et assurer des tests et re-tests sur une période de trois ans. En attendant de nouvelles méthodes de rééducation et d'autres évaluations, on peut conclure que les trois méthodes de rééducation étudiées ici sont justifiables. On peut faire quelques suggestions susceptibles d'améliorer leurs résultats. La méthode A pourrait par exemple inclure, à un moment donné de son programme, des exercices portant directement et spécifiquement sur la segmentation de la parole en utilisant la parole ralentie. La prochaine évaluation de la méthode B devrait envisager de ne pas se contenter des exercices de segmentation quitte à rallonger un peu la période de rééducation. La méthode C pourrait

inclure des exercices de parole ralentie. Ces suggestions n'ont de sens que par ce qu'il n'existe pas encore de méthode de rééducation qui se distingue par ses résultats.

**Marie-Thérèse Le Normand**

*Inserm et Service de neurologie pédiatrique, Hôpital Robert Debré*

**Scania de Schonon**

*CNRS, Université Paris 5 et Service de neurologie pédiatrique,  
Hôpital Robert Debré*

**Paul Messerschmitt**

*Service de Pédopsychiatrie, Hôpital Trousseau*

**Christophe Levêque**

*Service de radiologie, Hôpital d'instruction des armées du Val de Grâce*

**Marielle Genot-Delbecque**

*Orthophoniste, Hôpital Trousseau*

**Marie-France Le Heuzey**

*Service de psychopathologie de l'enfant*

**Philippe Evrard**

*Chef du Service de neurologie pédiatrique, Hôpital Robert Debré*

## **BIBLIOGRAPHIE**

AGNEW JA, DORN C, EDEN GF. Effect of intensive training on auditory processing and reading skills. *Brain and Language* 2004, **88** : 21-25

ALEXANDER AW, SLINGER-CONSTANT AM. Current status of treatments for dyslexia : critical review. *Journal of Child Neurology* 2004, **19** : 744-758

BARBIER D. Akoustik. CD-ROM PC, Audivimedia, 2003

BELLER I. La sémiophonie. Les troubles du langage. La dyslexie. La rééducation sémiophonique, Maloine, Paris, 1973

BELLER I. La rééducation sémiophonique de la dyslexie développementale. *Approche Neuropsychologie des Apprentissages chez l'enfant* 1994, **29** : 168-179

BISHOP D, ADAMS C, LEHTONEN A, ROSEN S. Effectiveness of computerised spelling training in children with language impairments: a comparison of modified and unmodified speech input. *Journal of Research in Reading* 2005, **28** : 144-157

BISHOP DVM, ADAMS CV, ROSEN S. Resistance of grammatical impairment to computerized comprehension training in children with specific and non-specific language impairments. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2006, **41** : 19-40

COHEN W, HODSON A, O'HARE A, BOYLE J, DURRANI T, et coll. Effects of computer-based intervention through acoustically modified speech (Fast ForWord) in severe mixed receptive-expressive language impairment: outcomes from a randomized controlled trial. *J Speech Lang Hear Res* 2005, **48** : 715-729

DE CARA B, PLAZA M. Remédiation des difficultés de la lecture au moyen d'exercices informatisés. In : Manuel de neuropsychologie, 3<sup>e</sup> édition. EUSTACHE F, FAURE S (eds). Dunod, Paris, 2005

DE SCHONEN S, LE NORMAND MT, NÉNERT R, MESSERSCHMITT P, GENOT-DELBECQUE G, et coll. Behavioral and neurofunctional changes after reeducation in children with developmental dyslexia : Comparison between three remediation programs, 17th Conference of the European Academy of Childhood Disability, EADC, Monaco, November 2005: 19-22

EDEN GF, MOATS L. The role of neuroscience in the remediation of students with dyslexia. *Nature Neuroscience* 2002, **5** : 1080-1084

FANT G. Speech sounds and features. MIT Press, Cambridge, Mass, 1973

FRIEL-PATTI S, DESBARRES K, THIBODEAU L. Case studies of children using Fast ForWord. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001a, **10** : 203-215

FRIEL-PATTI S, FROME LOEB D, GILLAM RB. Looking ahead: An introduction to five exploratory studies of Fast Forword. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001b, **10** : 195-202

GILLAM RB. Computer assisted language intervention using Fast Forward: theoretical and empirical considerations for clinical decision-making. *Language Speech and Hearing Services in Schools* 1999, **30** : 363-370

GILLAM RB, CROFFORD JA, GALE MA, HOFFMAN LM. Language change following computer-assisted language instruction with FastForWord. Laureate Learning Systems Software. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001a, **10** : 231-247

GILLAM RB, FROME LOEB D, FRIEL-PATTI S. Looking back: A summary of five exploratory studies of Fast Forward. *American Journal of Speech-Language Pathology* 2001b, **10** : 269-273

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

HABIB M, REY V, DAFFAURE V, CAMPS R, ESPESSER R, et coll. Phonological training in children with dyslexia using temporally modified speech: a three-step pilot inves-

tigation. *International Journal of Language & Communication Disorders* 2002, **37** : 289-308

HOOK PE, MACARUSO P, JONES S. Efficacy of Fast ForWord Training on Facilitating Acquisition of Reading Skills by Children with Reading Difficulties - A Longitudinal Study. *Annals of Dyslexia* 2001, **L1** : 75-96

KAAS GH. The reorganization of sensory and motor maps after injury in adult mammals. In : *The new Cognitive Neurosciences*. GAZZANIGA M (ed). MIT Press, Cambridge, Mass, 2000 : 223-236

LEFAVRAIS P. Manuel du test de l'Alouette : test d'analyse de la lecture et de la dyslexie. ECPA, Paris, 1967

LIBERMAN AM, COOPER FS, SHANKWEILER DP, STUDDERT-KENNEDY M. Perception of the speech code. *Psychological Review* 1967, **74** : 431-461

LLOYD P, NICHOLSON J. Lexiphone therapy: an auditory intervention approach treating dyslexia. *Dyslexia Review* 2003, **14** : 18-22

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

MERZENICH MM, JENKINS WM, JOHNSTON P, SCHREINER C, MILLER SL, TALLAL P. Temporal processing deficits of language-learning impaired children ameliorated by training. *Science* 1996, **271** : 77-81

MESSERSCHMITT P, BOITEL I, CHESNEAU A, FLOHIC C, GENOT-DELBECQUE M, et coll. Étude comparative de la méthode sémiophonique et de l'orthophonie traditionnelle chez quarante dyslexiques. *Approche Neuropsychologie des Apprentissages chez l'enfant (A.N.A.E.)* 1994, **26** : 17-24

MOUSTY P, LEYBAERT J, ALEGRIA J, CONTENT A, MORAIS J. BELEC : batterie d'évaluation du langage écrit et de ses troubles. In : *Évaluer les troubles de la lecture : les nouveaux modèles théoriques et leurs implications diagnostiques*. GRÉGOIRE J, PIÉRTART B (eds). Bruxelles, De Boeck-Université, 1994 : 127-145

NAGARAJAN SS, WANG X, MERZENICH MM, SCHREINER CE, JOHNSTON P, et coll. Speech modifications algorithms used for training language learning-impaired children. *IEEE Trans Rehabil Eng* 1998, **6** : 257-268

PAULESU E, DEMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V, et coll. Dyslexia: cultural diversity and biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

POKORNI JL, WORTHINGTON CK, JAMISON PJ. Phonological awareness intervention: Comparison of FastForWord, Earobics, and LiPS. *Journal of Educational Research* 2004, **97** : 147-157

RECANZONE GH. Cerebral cortical plasticity: perception and skill acquisition. In : *The new Cognitive Neurosciences*. GAZZANIGA M (ed). MIT Press, Cambridge, Mass, 2000 : 237-250

SADATO N, PASCUAL-LEONE A, GRAFMAN J, IBANEZ V, DEIBER MP, et coll. Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. *Nature* 1996, **380** : 526-528

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** : 81-83

TALLAL P, MERZENICH MM, MILLER S, JENKINS W. Language learning impairments: integrating basic science, technology, and remediation. *Exp Brain Res* 1998, **123** : 210-219

TAUB E, USWATTE G, ELBERT T. New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nature Reviews Neuroscience* 2002, **3** : 228-236

TEMPLE E, DEUTSCH GK, POLDRACK RA, MILLER SL, TALLAL P, et coll. Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2003, **100** : 2860-2865

THIBODEAU LM, FRIEL-PATTI S, BRITT L. Psychoacoustic performance in children completing FastForWord training. *American Journal of Speech Language pathology* 2001, **10** : 248-257

TROIA GA, WHITNEY SD. A close look at the efficacy of Fast ForWord Language for children with academic weaknesses. *Contemporary Educational Psychology* 2003, **28** : 465-494

WECHSLER D. Manuel de l'échelle d'intelligence de Wechsler pour enfants (WISC III). ECPA, Paris, 1996