

Apprentissage de la lecture et dyslexie

L. Sprenger-Charolles, directeur de recherche au CNRS, responsable de l'équipe « Aspects cognitifs de la littéracie » du LEAPLE (Laboratoire d'études sur l'acquisition et la pathologie du langage chez l'enfant), CNRS-Université René-Descartes

Une partie de cet article a été initialement publiée dans la revue *Sciences humaines*, n° 134, janvier 2003, sous le titre « La dyslexie repensée »

SCIENCES COGNITIVES

Pour éviter que le terme dyslexie ne devienne le fourre-tout de l'échec scolaire, il faut savoir de qui on parle, c'est-à-dire quels sont les enfants dont on peut dire qu'ils sont dyslexiques. Il faut également savoir de quoi on parle, en l'occurrence, avoir une idée précise de ce que savoir lire et apprendre à lire signifient.

QUI SONT LES DYSLEXIQUES ?

Souvent, on parle de dyslexie dès qu'un enfant présente des difficultés d'apprentissage de la lecture. Or ces difficultés peuvent avoir des origines diverses. Elles peuvent être dues à une mauvaise maîtrise de la langue, à un environnement social peu stimulant ou à une scolarisation non assidue. De même, si l'enfant souffre de troubles psychologiques graves, ou encore d'un déficit intellectuel, il risque de ne pas bien apprendre à lire. C'est également le cas s'il a des problèmes sévères de vision, mais aussi d'audition. En effet, les enfants sourds n'apprennent pas bien à lire, ce qui indique que, contrairement à une idée reçue, la lecture n'est pas uniquement une activité visuelle. C'est seulement face à un déficit sévère d'apprentissage de la lecture et après avoir éliminé les causes potentielles d'échec évoquées qu'on parle de dyslexie. Les enfants qui ont des difficultés de lecture ne sont donc pas tous dyslexiques. Quelques rares enquêtes épidémiologiques permettent de penser que la dyslexie concerne 5 % des enfants, c'est-à-dire environ un enfant par classe (1).

Des personnages célèbres, Léonard de Vinci, Galilée, Auguste Rodin, Thomas Edison et Albert Einstein, sont supposés avoir été dyslexiques. Du fait de la réussite observée chez ces dyslexiques dans des domaines non directement liés au langage, certains chercheurs ont évoqué le fait qu'il s'agirait en fait d'une « pathologie de la supériorité ».

QU'EST-CE QUI EST SPÉCIFIQUE DE L'ACTE DE LIRE ?

Pour parler de difficultés d'apprentissage de la lecture, il faut savoir ce qui est spécifique de cet apprentissage, et plus généralement de l'acte de lire. La compréhension d'un texte, finalité de la lecture, dépend à la fois du niveau de compréhension orale et de la maîtrise de mécanismes spécifiques de la lecture. Pour imaginer ce que sont ces mécanismes, on peut prendre l'exemple de la musique. Il ne vient à l'idée de personne de dire que celui qui s'avère incapable de « lire » une partition a des difficultés de compréhension de la musique ; il est évident que ce qui lui fait défaut c'est la maîtrise des mécanismes qui permettent au musicien expert d'associer automatiquement dans sa tête une petite suite de notes écrites à un bout de mélodie. Il en va de même pour la lecture : un enfant intelligent ne peut comprendre un texte écrit que s'il a automatisé les mécanismes qui permettent d'identifier les mots écrits. Il est difficile d'admettre qu'une activité aussi subtile que la lecture fasse d'abord appel à des automatismes ! C'est pourtant le cas, et ce sont justement ces « automatismes » qui ne se mettent pas bien en place chez les dyslexiques.

Chez un adulte qui sait lire, appelé lecteur expert, le caractère « automatique » de l'identification des mots écrits est mis en relief par l'effet dit « stroop », qui résulte d'une interférence entre le sens d'un mot et sa forme. Ainsi, quand on

PETIT APERÇU HISTORIQUE

Le premier cas de dyslexie a été publié en 1896 par Pringle-Morgan (1) : il s'agit de Percy, un jeune adolescent anglais de quatorze ans qui, aux dires de son instituteur, aurait été le meilleur élève de la classe si l'enseignement avait été seulement oral. D'autres cas de même type ont été rapportés par Hinshelwood (2) à la fin du 19^e siècle. On parle alors de cécité verbale congénitale, le terme « cécité verbale » venant du neurologue français Déjerine (3), qui l'a utilisé, en 1892, pour décrire les troubles de la lecture survenant chez l'adulte à la suite d'une lésion cérébrale. Actuellement, ces deux types de troubles de la lecture sont respectivement dénommés dyslexie du développement et dyslexie acquise de l'adulte.

De ce bref historique, on pourrait tirer la conclusion que la dyslexie de l'enfant est apparue quand l'enseignement de la lecture s'est généralisé, et donc qu'elle n'est que la conséquence d'un mauvais enseignement. C'est perdre de vue que ce concept est aussi apparu à la suite d'études sur les troubles du langage en général, études effectuées par des équipes différentes, les plus célèbres étant celles de Broca en France (1865) et de Wernicke en Allemagne (1874), qui ont été les premières à établir que le fonctionnement du langage dépendait de zones spécifiques de l'hémisphère gauche du cerveau.

Autour de la première moitié du 20^e siècle, les études sur la dyslexie se sont développées essentiellement aux Etats-Unis et, en Europe, presque uniquement dans les pays scandinaves, particulièrement au Danemark, où a été créé à la fin des années 30 le premier centre de diagnostic et d'enseignement pour dyslexiques. L'un des chercheurs les plus influents de cette période est Orton, qui a mis le doigt sur une idée encore très populaire, à savoir que les dyslexiques sont des enfants

qui font des confusions entre des lettres proches visuellement (4).

Le renouveau des études sur la dyslexie est dû à l'émergence de disciplines nouvelles, telles que la psychologie cognitive et les neurosciences dans les années 70. Le laboratoire Haskins aux Etats-Unis a joué un rôle pionnier, avec les travaux d'Isabelle Liberman, qui a établi que la lecture n'était pas simplement une activité visuelle comme le supposait Orton, mais avant tout une activité langagière impliquant la mise en relation du langage écrit avec le langage oral (5). Les premiers travaux de neurosciences sur la dyslexie sont également dus à une équipe américaine, celle de Geschwind et de Galaburda (6), qui ont mis en évidence le fait que le cerveau des dyslexiques présente des déficiences spécifiques.

Qu'en est-il de la situation française dans ce contexte international ? En dehors du fait que le terme de dyslexie a probablement été introduit au cours du premier Congrès international de psychiatrie de l'enfant à Paris, en 1937, par Ombredane, il faut reconnaître que la France a longtemps été totalement absente de la recherche internationale dans le domaine. C'est ce qui ressort de la consultation des bases de données internationales et des livres publiés en français dans les années 90 contenant des synthèses de recherches sur la dyslexie (7). En France, des débats idéologiques ont violemment opposé les tenants du courant orthophoniste (8) et ceux du courant neurobiologique (9), qui ont tous deux contribué à la diffusion des recherches internationales, à ceux qui supposent que la dyslexie provient d'un trouble de la personnalité (10) ou encore qu'elle n'existe pas, l'échec scolaire s'expliquant principalement par des facteurs sociaux ou éducatifs (11).

Le fait qu'on trouve des dyslexiques dans tous

les milieux, y compris dans les milieux les plus favorisés, et quelles que soient les méthodes d'enseignement utilisées, certaines méthodes étant toutefois susceptibles de faciliter plus que d'autres l'apprentissage de la lecture, jette un doute sur les explications sociologiques et pédagogiques de la dyslexie. En ce qui concerne les explications psychologiques, les troubles de ce type relevés chez bon nombre de dyslexiques sont surtout la conséquence, et non la cause, de leur échec scolaire. En effet, un enfant intelligent (on ne parle de dyslexie que quand l'intelligence est normale) qui n'arrive pas à apprendre à lire ne peut que mal vivre cette situation.

(1) PRINGLE-MORGAN W. : « A case of congenital word blindness », *British Medical Journal*, 1896 ; 2 : 1378.

(2) HINSHELWOOD J. : *Congenital Word Blindness*, London, Lewis, 1917.

(3) DÉJERINE J. : « Contribution à l'étude anatomo-pathologique et clinique des différentes variétés de cécité verbale », *Mémoires de la Société de Biologie*, 1892 ; 4 : 61-90.

(4) ORTON S. : *Reading, Writing and Speech problems in children*, New York, Norton, 1937.

(5) LIBERMAN L.Y., SHANKWEILER D. : « Speech, the alphabet and teaching to read », in RESNICK L., WEAVER P. : *Theory and practice of early reading*, Hillsdale, Erlbaum, 1979.

(6) GESCHWIND D.H., GALABURDA A.M. : *Cerebral Lateralization : Biological Mechanisms, Associations, and Pathology*, Cambridge, MA, MIT Press, 1987.

(7) FAYOL M., GOMBERT J.E., LECOCOQ P., SPRENGER-CHAROLLES L., ZAGAR D. : *Psychologie cognitive de la lecture*, Paris, PUF, 1992.

LECOCOQ P. : *Apprentissage de la lecture et dyslexie*, Liège, Mardaga, 1991.

(8) Ce courant, qui a longtemps été animé par Suzanne Borel-Maisonny, se situe dans le sillage de la tradition française de neuropsycholinguistique et s'est surtout intéressé aux troubles survenant chez l'adulte suite à une lésion cérébrale. On peut citer les travaux de Ombredane, Alajouanine et Durand, ou encore ceux de Hecaen. Pour une synthèse, on peut consulter le chapitre sur les désordres du langage dans l'ouvrage sur le langage publié en 1968 par Martinet (*Encyclopédie de la Pléiade*).

(9) DEBREY-RITZEN P. : *La dyslexie de l'enfant*, Paris, Casterman, 1970.

(10) DIATKINE R. : « Conditions psychologiques nécessaires à l'apprentissage de la langue écrite », CRESAS : *La dyslexie en question*, Paris, Armand Colin, 1972.

(11) Voir les actes du colloque du ministère de l'Education nationale qui s'est tenu à Paris en 1979 (*Apprentissage et pratique de la lecture à l'école*, publication du Centre national de documentation pédagogique, Mémoires et Documents scolaires, brochure 2051).

demande de nommer la couleur de l'encre d'un mot, la réponse est plus longue quand le mot écrit est un nom de couleur qui ne correspond pas à la couleur de l'encre, par exemple, « vert » écrit en rouge. Celui qui sait lire ne peut donc pas ne pas lire ce qui est écrit, même quand on le lui demande, ce qui est le propre d'un automatisme. Cet exemple indique que l'expert a accès quasi immédiatement à la forme, mais aussi au sens des mots.

De façon plus surprenante, il a été également montré que le lecteur expert entend dans sa tête la forme sonore du mot (ce qui n'implique pas sa prononciation) quel que soit le système d'écriture dans lequel il lit. Il existe en effet différents systèmes d'écriture. Les écritures dites phonocentriques, syllabiques et alphabétiques, transcrivent principa-

lement des sons. D'autres transcrivent surtout du sens : les écritures logographiques, comme celle du chinois. On pourrait supposer que le lecteur expert n'entend la « musique » des mots que si l'écriture est phonocentrique. Ce n'est pas le cas, l'effet stroop ayant été relevé même quand on présente à des Chinois un mot qui se prononce de la même façon qu'un nom de couleur, mais qui n'a pas le même sens, ni la même forme graphique (2).

COMMENT L'ENFANT

APPREND-IL À LIRE ?

Dans une écriture alphabétique (voir encadré), l'identification des mots peut être obtenue soit par une procédure globale, qui permet de reconnaître les mots sou-

vent rencontrés, soit par une procédure analytique, qui permet de lire des mots nouveaux en reliant les unités de base de l'écrit (les graphèmes, « a », « f », mais aussi « ou », « ph ») aux unités correspondantes de l'oral (les phonèmes, c'est-à-dire les sons /a/, /f/ ...), et l'on parle alors de décodage. Au début de l'apprentissage de la lecture, les enfants s'appuient principalement sur ce décodage, qui est lent et laborieux au départ. Cela leur permet d'apprendre à lire tous les mots qui ont des correspondances régulières entre graphèmes et phonèmes (« table », « route », « matin », « cobol »...). Par contre, ils font beaucoup d'erreurs quand ils doivent lire des mots irréguliers, même très fréquents, comme « sept », généralement lu comme « septembre » (3, 4).

De plus, la facilité de cet apprentissage

LES ÉCRITURES ALPHABÉTIQUES

Dans un système d'écriture alphabétique, les lettres ou groupes de lettres (appelés graphèmes) retranscrivent les sons de l'oral (les phonèmes) plus quelques éléments non phonocentrés, comme les marques du pluriel (« s » à la fin d'un nom ou « nt » à la fin d'un verbe). Or les correspondances entre graphèmes et phonèmes sont largement régulières en français. On relève toutefois une forte asymétrie entre lecture et écriture. Par exemple, alors que « tableau » ne peut se lire que d'une seule façon, il existe plusieurs possibilités d'orthographier ce mot et choisir celle qui est correcte n'est pas aisé ! Cela signale qu'il ne faut pas confondre lecture et écriture... et qu'il faut éviter de qualifier de « dyslexique » l'enfant qui fait quelques fautes d'orthographe.

PEEREMAN R., CONTENT A. (1998). : Quantitative analysis of orthography to phonology mapping in English and French. Available <http://homepages.vub.ac.be/~acontent/OPMapping.html>.

dépend de la transparence des relations entre code écrit et code oral. S'il n'y a pas de système d'écriture totalement transparent par rapport à l'oral, certains le sont plus que d'autres : l'espagnol, l'italien, l'allemand, et même le français, par rapport à l'anglais. Or plus l'écriture est proche de l'oral, plus vite et mieux les enfants apprennent à lire (5). Un autre point crucial est que les études longitudinales – celles dans lesquelles on suit les mêmes enfants pendant une longue période pour traquer les prédictors de l'apprentissage de la lecture – montrent que la maîtrise du décodage est le sine qua non de cet apprentissage, les bons décodeurs précoces étant ceux qui progressent le plus vite, y compris pour la lecture de mots irréguliers (4).

Un autre point important est que mieux l'enfant sait lire, plus il va percevoir l'image sonore des mots. Cela a été montré en utilisant des tâches dites d'amorçage, dans lesquelles on présente successivement et très rapidement (quelques millièmes de seconde) deux mots écrits : un mot cible et une amorce supposée faciliter sa reconnaissance, la relation entre les deux pouvant être sonore (fraise-frêze), visuelle (fraise-froise) ou sémantique (fraise-fruit). Les effets d'amorçage visuel et sonore augmentent avec l'âge et le niveau d'expertise en lecture alors que diminuent les effets d'amorçage sémantique, ce qui va à l'encontre d'une idée fort répandue, à savoir que les bons lecteurs seraient ceux qui ont le plus recours aux infor-

mations sémantiques pour identifier les mots écrits (3, 6).

LES DÉFICITS DANS LES TRAITEMENTS PHONOLOGIQUES AU CŒUR DE LA DYSLEXIE

Le décodage nécessite l'utilisation des correspondances entre graphèmes et phonèmes et donc la maîtrise de traitements dits phonologiques. Or on a pendant longtemps considéré que la dyslexie était plutôt due à un déficit visuel, les dyslexiques confondant, par exemple, « b » et « d ». Cette idée (encore très populaire) a été clairement rejetée (voir encadré). Par contre, les travaux récents indiquent que les dyslexiques ont un déficit phonologique. Ainsi, quand ils lisent, ils n'arrivent pas à décoder correctement et rapidement les mots écrits, surtout quand ils sont nouveaux. Ce déficit apparaît même quand on compare les dyslexiques à des enfants plus jeunes mais de même niveau global de lecture, ce qui signale qu'il ne s'agit pas simplement d'un retard d'apprentissage (3, 4, 7). Toutefois, il se manifeste plus ou moins fortement en fonction de la transparence de l'orthographe. Ainsi, le déficit phonologique des dyslexiques anglais apparaît plus marqué que celui des dyslexiques français, qui ont eux-mêmes un déficit plus marqué que les dyslexiques italiens (8). On pourrait conclure de ces résultats

que la dyslexie est simplement due à un facteur environnemental. Ce n'est pas le cas, comme le montrent des données d'imagerie cérébrale (8). En effet, les mêmes zones sont sous-activées chez tous les dyslexiques, quelle que soit leur langue. Cela permet de penser que le déficit du décodage pourrait avoir une même origine : une déficience des traitements phonologiques.

De fait, d'autres déficits phonologiques ont été relevés chez les dyslexiques, en particulier dans ce qu'on appelle l'analyse phonémique. Pour utiliser les relations entre graphèmes et phonèmes, il faut en effet comprendre que, par exemple, le mot oral /kar/ comporte trois phonèmes différents qui sont notés à l'écrit par trois lettres : c + a + r. Or, à l'intérieur d'une syllabe orale, les phonèmes sont prononcés en un seul bloc. C'est ce qu'on appelle la co-articulation. Pour vérifier si les dyslexiques ont des difficultés d'analyse phonémique, on leur demande de compter le nombre de sons différents qu'ils entendent dans /kar/ ou dans /krab/, ou encore de « manger » le premier son de l'un de ces mots. Confrontés à ce type de tâche, les dyslexiques se retrouvent en situation d'échec, surtout quand les mots ont une structure phonologique complexe, comme le mot /krab/. De plus, les résultats d'études dans lesquelles on a suivi les mêmes enfants avant et après l'apprentissage de la lecture indiquent que, avant cet apprentissage, les futurs dyslexiques se différencient des futurs bons lecteurs principalement par leurs capacités d'analyse phonémique. Cette capacité serait donc un prédictor de l'apprentissage de la lecture (3, 4, 7, 9). Il est également important de noter que c'est l'analyse des sons du langage qui est spécifiquement déficiente chez les dyslexiques : par exemple, ils n'ont pas de difficultés similaires quand on leur demande de reproduire sur un xylophone les deux dernières notes d'une mélodie de trois notes (10).

Des déficits en mémoire phonologique à court terme ont également été très fréquemment relevés chez les dyslexiques. Cette mémoire est sollicitée quand on

LES INVERSIONS DE LETTRES CHEZ LES DYSLEXIQUES

Les confusions entre « p » et « b » ou entre « b » et « d », comme les inversions de séquence de type « ble »-« bel », sont qualifiées d'erreurs visuelles. Or « p » et « b », comme « b » et « d », sont également proches sur le plan sonore, les phonèmes correspondant à ces lettres ne se distinguant que par un seul trait, le voisement dans un cas (quelques millisecondes en plus de vibration des cordes vocales différencient /p/ de /b/), le lieu d'articulation dans l'autre (b/d) :

lieu d'articulation	bi-labial	apico-dental
voisement -	p	t
voisement +	b	d

Pour montrer que les confusions entre /p/ et /b/ sont visuelles, il faudrait que ces erreurs ne concernent que ces deux lettres, et non /t/ et /d/. Or ce n'est pas le cas. En effet, les dyslexiques, comme les lecteurs débutants, font autant de confusion entre /p/ et /b/ qu'entre /t/ et /d/. Les erreurs d'inversions peuvent aussi s'expliquer par des principes liés à la structure syllabique, ce qui permet de comprendre pourquoi la dernière syllabe du mot « table » ne se prononce pas de la même façon en français et en anglais, le français ayant une préférence pour les syllabes se terminant par une voyelle, la tendance inverse caractérisant l'anglais. On ne peut donc pas dire que ces erreurs sont visuelles.

ORTON S. : *Reading, Writing and Speech problems in children.*, New York, Norton, 1937.

LIBERMAN L.Y., SHANKWEILER D., ORLANDO C., HARRIS K.S., BERTI F.B. : « Letter confusions and reversals of sequence in the beginning reader : Implications for Orton's theory of developmental dyslexia », *Cortex*, 1971 ; 7-2 : 127-42.

SPRENGER-CHAROLLES L., SIEGEL L.S. : « A longitudinal study of the effects of syllabic structure on the development of reading and spelling skills in French », *Applied Psycholinguistics*, 1997 ; 18 : 485-505.

VELLUTINO F.R. : *Dyslexia : Theory and research*, Cambridge, MA, MIT Press, 1979.

autre équipe (13) a de son côté mis en relief le fait que les dyslexiques ont des problèmes d'équilibre et de coordination motrice, ce qui les a conduit à proposer qu'une déficience du cervelet pourrait être à l'origine de la dyslexie et, plus particulièrement, des troubles des automatismes observés chez ces enfants, le cervelet étant supposé être à la base des automatismes. Enfin, une théorie intégrative, qui permet de relier les hypothèses auditives et visuelles, postule qu'une anomalie neurologique unique affectant les voies magnocellulaires, quelle que soit la modalité sensorielle (c'est en effet ce système qui permet à la fois le traitement des hautes fréquences temporelles et des basses fréquences spatiales), serait à l'origine des troubles visuels et des troubles auditifs des dyslexiques, que ces derniers soient ou non spécifiques du langage, ainsi que, de manière secondaire, des déficits des automatismes, via les liens entre le système magnocellulaire et le cervelet (14).

Comme le montre dans son article Franck Ramus, ces différentes hypothèses sont loin d'être corroborées. Ainsi, l'hypothèse de Tallal a été battue en brèche par des données indiquant que, en fait, les lecteurs en difficulté, tout comme les dyslexiques, ont des déficits spécifiques du traitement du langage (11, 15, 16), et que seule une faible proportion d'entre eux souffrent de déficits auditifs (11). La proportion des dyslexiques présentant des troubles visuels est faible (de 0 à 25 %) et une très grande variabilité (de 0 à 80 % selon les études) est relevée quant au nombre de dyslexiques souffrant de troubles moteurs (11). Par contre, comme nous l'avons déjà souligné, la grande majorité des dyslexiques présente des troubles phonologiques.

Dans ce contexte, une explication plausible est que, pour mettre en relation les graphèmes avec les phonèmes correspondants, il faut être capable non seulement de trouver les phonèmes dans les mots, mais aussi de les classer par catégorie. Or les sons de la parole sont regroupés en catégories phonémiques qui

doit se rappeler, par exemple, un numéro de téléphone inconnu le temps de le composer. Pour la lecture, c'est cette mémoire qui permet de mémoriser le résultat de l'opération de décodage grapho-phonémique et, soit de retrouver le mot lu, quand il est connu, dans notre lexique interne (notre propre dictionnaire), soit de créer un nouveau mot qui sera stocké dans ce lexique. Pour vérifier si cette mémoire fonctionne correctement, on demande au sujet de répéter des suites de chiffres de plus en plus longues ou des suites de mots de longueur différente, de 3 à 6 syllabes par exemple. Les dyslexiques ont des scores faibles dans ce type de tâche, mais pas quand c'est la mémoire visuelle à court terme qui est impliquée (3, 7, 9).

QUELLE PEUT ÊTRE

L'ORIGINE DE CES

DÉFICITS ?

Malgré la masse de données accumulées dans différents laboratoires à travers le monde ces vingt dernières années, données qui montrent de façon

convergente que les dyslexiques ont des déficits dans différents domaines impliquant des traitements phonologiques, l'origine de ces déficits n'est pas encore bien établie (11).

Plusieurs hypothèses explicatives ont été avancées. Tout d'abord, par Tallal (12), selon qui un aspect crucial de la dyslexie réside dans la résolution temporelle du système auditif, affectant la perception des sons brefs et des transitions temporelles rapides. Or ce sont justement des sons très brefs (les consonnes) et des transitions rapides (les transitions consonne-voyelle) qui caractérisent le langage et permettent, avec 30 à 40 phonèmes différents propres à une langue donnée, la créativité du langage, à savoir la production d'une suite illimitée de mots. D'autres chercheurs postulent quant à eux que les problèmes des dyslexiques s'expliqueraient par un dysfonctionnement des voies magnocellulaires du système visuel, permettant le traitement des basses fréquences spatiales (ce qui permet de cerner les contours des mots), ce système étant aussi impliqué dans la gestion des mouvements oculaires. Une

résultent d'un découpage abrupt du signal sonore, une vraie frontière propre à chaque langue. C'est ce qui nous permet de différencier, par exemple, « don » de « ton » et de « bon » et donc de comprendre et de produire tous les mots possibles d'une langue à partir d'environ 30 à 40 phonèmes bien définis. Ainsi, l'auditeur français ne perçoit généralement pas certaines différences acoustiques inutiles pour traiter sa langue, par exemple 20 millisecondes en plus de vibration des cordes vocales, utiles dans d'autres langues pour distinguer deux « t » qui permettent d'opposer deux mots différents. Par contre, il entend des différences semblables qui séparent des sons situés de part et d'autre d'une frontière utile pour lui, celle qui sépare, par exemple, /t/ de /d/ en français. Il a été montré qu'un déficit à ce niveau, même léger, peut avoir des répercussions importantes sur l'apprentissage de la lecture (16). En effet, il est difficile d'associer un graphème précis à des phonèmes flous, ce qui est le cas, par exemple, si un enfant français distingue deux /t/ différents ou s'il confond /t/ et /k/. C'est à une difficulté de même nature que sont confrontés les lecteurs débutants quand ils rencontrent des graphèmes différents (par exemple, « c », « ch », « q », « qu », « k »)

qui peuvent tous se prononcer de la même façon.

D'après cette explication, la réussite, ou l'échec, de l'apprentissage de la lecture dépendrait de la force des associations qui vont se créer entre graphèmes et phonèmes, en fonction de la langue et de la qualité des catégories phonémiques de l'apprenant lecteur. Ce point est essentiel. Il permet d'expliquer pourquoi les enfants espagnols apprennent plus vite à lire que les petits Français, qui eux-mêmes apprennent plus vite que les petits Anglais. Il permet également de comprendre le retard de l'écriture sur la lecture, conséquence de l'asymétrie des relations graphème-phonème et phonème-graphème, les premières étant plus régulières que les secondes (voir encadré). Il permet aussi de rendre compte du fait qu'on trouve des dyslexiques, même en espagnol. En effet, l'enfant qui apprend à lire dans une écriture alphabétique, quelle qu'elle soit, et qui ne s'est pas construit des catégories précises pour chacun des phonèmes de sa langue va difficilement pouvoir relier les graphèmes aux phonèmes correspondants, ce qui semble être le cas des dyslexiques. La dyslexie pourrait donc principalement provenir d'un déficit du système de traitement des sons de la parole. La sévérité des

difficultés de lecture dépendrait de l'ampleur de ce déficit et les différentes manifestations relèveraient de divers facteurs : langue maternelle, milieu socioculturel, rééducations dont les dyslexiques ont pu bénéficier et stratégies de compensation qu'ils ont pu mettre en place.

La place centrale du système de traitement des sons de la parole dans l'explication de la réussite et de l'échec de l'apprentissage de la lecture peut être due au fait que le langage écrit, dans l'histoire de l'humanité comme dans celle du petit d'homme, se met en place après le langage oral. Il n'est donc pas surprenant que l'enfant s'appuie d'abord sur ce qu'il connaît – son langage oral – pour apprendre à lire, ce d'autant plus que le recours au décodage est peu coûteux pour la mémoire : il suffit en effet de mémoriser un nombre limité d'associations régulières entre graphèmes et phonèmes, plus quelques exceptions, pour lire. Et même quand l'écriture permet de s'appuyer sur une procédure globale (très coûteuse pour la mémoire), comme en chinois, on utilise pour l'apprentissage de la lecture une écriture qui rend possible l'utilisation d'une procédure analytique, les signes logographiques n'étant introduits que très progressivement. □

Notes

- (1) Autour de 4 % des enfants sont dyslexiques d'après une première étude qui a porté sur la population entière des enfants de dix et de quatorze ans de l'île de Wight et un peu plus de 6 % d'après une autre, basée sur les enfants de quatorze ans de la ville de Londres. Voir YULE W., RUTTER M. et al. : « Over- and under-achievement in reading : Distribution in the general population », *British Journal of Educational Psychology*, 1974 ; 44 : 1-12.
- (2) SPINKS J.A., LIU Y., PERFETTI C.A., TAN L.H. : « Reading Chinese characters for meaning : The role of phonological information », *Cognition*, 2000 ; 76 : 1-11.
- (3) MORAIS J. : *L'Art de lire*. Paris : Odile Jacob, 1994. Voir chez le même éditeur l'ouvrage publié en 1998 : *Apprendre à lire* (Observatoire national de la lecture).
- (4) – SPRENGER-CHAROLLES L., CASALIS B. : *Lire. Lecture/écriture : acquisition et troubles du développement*, Paris, PUF (Psychologie et sciences de la pensée), 1996.
– SPRENGER-CHAROLLES L., SIEGEL L.S., BONNET P. : « Reading and spelling acquisition in French : The role of phonological mediation and orthographic factors », *Journal of Experimental Child Psychology*, 1998 ; 68 : 134-155.
– SPRENGER-CHAROLLES L., SIEGEL L.S., BÉCHENNEC, SERNICLAES W. : « Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading and in spelling : A

four year longitudinal study », *Journal of Experimental Child Psychology*, 2003.

- (5) SPRENGER-CHAROLLES L. : « Reading acquisition : Cross linguistic data », in NUNES T., BRYANT P. : *Handbook of children's literacy*, Kluwer Academic Publishers b.v., 2003 ; p. 56-86.
- (6) – BOOTH J.R., PERFETTI C.A., MACWHINNEY B. : « Quick, automatic and general activation of orthographic and phonological representations in young readers », *Developmental Psychology*, 1999 ; 35 : 3-19.
– PLAUT D.C., BOOTH J.R. : « Individual and developmental differences in semantic priming », *Psychological Review*, 2000 ; 107 : 786-823.
- (7) – SNOWLING M.J. : *Dyslexia*, Oxford, Blackwell, 2000.
– SPRENGER-CHAROLLES L., COLÉ P., SERNICLAES W., LACERT P. : « On subtypes of developmental dyslexia : Evidence from processing time and accuracy scores », *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 2000 ; 197 : 25-52.
- (8) PAULESU E., DEMONET J.F., FAZIO F., MCCRORY E., CHANOINO V., BRUNSWICK N., CAPPA S.F., COSSU G., HABIB M., FRITH C.D. : « Dyslexia, cultural diversity and biological unity », *Science*, 2001 ; 291 : 2165-7.
- (9) LECOQ P. : *Apprentissage de la lecture et dyslexie*, Liège, Mardaga, 1991.
- (10) MORAIS J., CLUYTENS M., ALEGRIA J. : « Segmentation abilities of dyslexics and normal readers », *Perceptual and Motor Skills*, 1984 ; 58 : 221-2.
- (11) – Voir l'article de Franck Ramus dans ce même numéro.

– RAMUS F. : « Talk of two theories », *Nature*, 2001 ; 412 : 393-5.

- RAMUS F., PIDGEON K.J., FRITH C.D. : « The relationship between motor control and phonology in dyslexic children », *Journal of Child Psychology and Psychiatry* (sous presse).
- RAMUS F., ROSEN S., DAKIN S.C., DAY P.L., CASTELLOTE J.M., WHITE S., FRITH U. : « Theories of developmental dyslexia : Insights from a multiple case study of dyslexic adults », *Brain*, 2003 ; 126 (4) : 841-65.
- (12) TALLAL P. : « Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children », *Brain and Language*, 1980 ; 9 : 182-98.
- (13) NICOLSON R.I., FAWCETT A.J., DEAN P. : « Dyslexia, development and the cerebellum », *Trends in Neuroscience*, 2001 ; 24 : 515-516.
- (14) – STEIN J. : « The magnocellular theory of developmental dyslexia », *Dyslexia*, 2001 ; 7 : 12-36.
– STEIN J., WALSH V.V. : « To see but not to read : The magnocellular theory of dyslexia », *Trends in Neuroscience*, 1997 ; 20 : 147-52.
- (15) MODY M., STUDDERT-KENNEDY M., BRADY S. : « Speech perception deficits in poor readers : Auditory processing or phonological coding ? », *Journal of Experimental Child Psychology*, 1997 ; 64 : 199-231.
- (16) SERNICLAES W., SPRENGER-CHAROLLES L., CARRÉ R., DEMONET J.F. : « Perceptual categorization of speech sounds in dyslexics », *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 2001 ; 44 : 384-99.

Dyslexie développementale : déficit phonologique spécifique ou trouble sensorimoteur global ?

F. Ramus, laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistique, EHESS/ENS/CNRS, Paris
Article précédemment publié dans les actes des 4^{es} Journées scientifiques de l'école d'orthophonie de Lyon, « L'écrit : modèles, apprentissage, troubles », Lyon, 29 et 30 novembre 2002

La diversité des traitements proposés pour la dyslexie est une source d'inquiétude légitime pour les praticiens et leur clientèle. Au-delà des entraînements classiques basés sur la conscience phonologique, que penser des rééducations auditives à base de parole modifiée, des traitements basés sur la musique, de l'occlusion d'un œil, du port de lunettes ou de lentilles teintées, de l'entraînement à un meilleur équilibre, de la répétition de mouvements de réflexes primitifs ou de l'absorption d'acides gras polyinsaturés ?

Bien entendu, dans tout secteur médical, le clinicien et le patient doivent se méfier du charlatanisme. Le problème est que, dans le domaine de la dyslexie, la confusion existerait même en faisant abstraction des remèdes miracles d'origine douteuse. En effet, les traitements listés ci-dessus ne sont pas le fait de charlatans, mais de scientifiques honnêtes et de bonne foi. Comment est-ce possible ?

Il va de soi que les traitements que les chercheurs proposent découlent directement de l'idée qu'ils se font de la pathologie. Or justement, la nature profonde du problème des dyslexiques reste un sujet de vive controverse [1]. Une revue de la littérature scientifique sur la dyslexie permet de s'en rendre compte aisément.

On peut voir les recherches sur la dyslexie comme une série d'études du type : tel chercheur postule que les dyslexiques souffrent d'un trouble d'une capacité X ; évalue cette hypothèse en testant la capacité X sur un groupe de dyslexiques et sur un groupe de sujets contrôles ; trouve que le groupe dys-

lexique est significativement moins bon que le groupe contrôle sur la capacité X ; et en déduit qu'un déficit de X est la cause du retard de lecture des dyslexiques. Il n'est donc pas étonnant que diverses théories aient vu le jour et aient engendré des traitements multiples et variés.

Bien entendu, il s'agit là d'une caricature injuste de l'état de l'art. Un effort minimal de synthèse permet de regrouper les recherches en deux grandes tendances. L'une est de considérer que la dyslexie est un trouble spécifique de la parole (la théorie phonologique) ; l'autre la voit au contraire comme un syndrome aux manifestations multiples, dans les domaines sensoriels et moteur notamment (théorie du traitement auditif temporel, théories magnocellulaire ou cérébelleuse).

Au cours des vingt-cinq dernières années, la théorie phonologique s'est imposée comme la théorie « classique » de la dyslexie. Elle repose sur l'idée que l'apprentissage d'un système alphabétique nécessite d'établir des liens entre les représentations mentales des lettres et des sons de la parole, ou phonèmes. Si un enfant a des représentations des phonèmes dégradées, ou plus difficilement accessibles, il lui sera plus difficile d'apprendre la correspondance entre celles-ci et les lettres, d'où des difficultés d'apprentissage de la lecture. Plus généralement, l'hypothèse est que la cause de la dyslexie est un dysfonctionnement des représentations phonologiques. A l'appui de cette hypothèse, des dizaines d'études ont documenté les difficultés qu'ont les dyslexiques dans de nombreuses tâches impliquant les représentations phonologiques. Notamment, les tâches de « conscience phonologique » testent la capacité du sujet à prêter attention aux phonèmes et à les manipuler consciemment. Les tâches de mémoire verbale à court terme et les tâches de dénomination rapide montrent par ailleurs que le problème phonologique est plus profond qu'une simple difficulté d'accès conscient [2]. Curieusement, malgré la masse de données documentant le déficit phonologique, sa nature précise n'est toujours pas bien comprise [3]. Mais ce n'est pas là l'objet de cet article.

Personne ne conteste qu'un déficit phonologique ne soit la cause directe de la plupart des difficultés de lecture. En revanche, de nombreux chercheurs contestent l'idée selon laquelle la dyslexie est un trouble spécifique de la phonologie. Ils pensent au contraire que, au-delà de la phonologie, il existe un dysfonctionnement plus général, qui affecte la perception auditive et visuelle, et la motricité.

Ainsi, selon Tallal et al. [4], le système auditif des dyslexiques n'aurait pas une assez bonne résolution temporelle, entraînant donc des difficultés dans la perception des sons brefs et des transitions rapides. Or la perception de ces éléments rapides est cruciale dans la paro-

le, car ils permettent de différencier de nombreux phonèmes. Par exemple, les sons /b/ et /d/ diffèrent par une transition spectrale durant seulement 40 ms. L'hypothèse est donc qu'un déficit auditif assez général est à la base du déficit phonologique. Cette idée est confortée par un certain nombre d'études qui ont montré que les enfants dyslexiques (et dysphasiques) ont, en moyenne, des difficultés dans des tâches auditives [5].

Dans le domaine visuel, une longue tradition remontant à Pringle-Morgan [6] et Orton [7], et reprise par Lovegrove [8] et Stein [9] suggère que les dyslexiques souffrent d'une légère instabilité de la fixation oculaire, qui engendrerait des distorsions, des mouvements apparents et des superpositions de lettres et de mots. Des études psychophysiques suggèrent que ce trouble trouverait son origine dans un dysfonctionnement des voies magnocellulaires du système visuel. Ainsi, un déficit visuel constituerait, au-delà de la phonologie, une cause indépendante de troubles de lecture. Nicolson et al. [10] insistent, eux, sur le fait que les dyslexiques sont des gens relativement maladroits, ayant des problèmes d'équilibre et de coordination motrice. Ces symptômes les ont conduits à proposer qu'une déficience du cervelet serait à l'origine de la dyslexie. Ils s'appuient pour cela sur de nombreuses données illustrant les troubles moteurs d'enfants dyslexiques [11].

Enfin, Stein [12, 13] a proposé d'unifier les hypothèses auditives, visuelles et motrices au sein de la théorie magnocellulaire, qui postule qu'une anomalie neurologique unique (concernant les magnocellules de toutes les voies sensorielles) est à l'origine à la fois des troubles auditifs et visuels et, de manière secondaire, des troubles phonologiques (via les troubles auditifs) et moteurs (via le cortex pariétal et le cervelet).

En somme, alors que la théorie phonologique donne de la dyslexie l'image d'un trouble relativement circonscrit, la théorie magnocellulaire en donne plutôt l'image d'un syndrome sensorimoteur général, dont une des multiples

manifestations serait le retard de lecture. Ces divergences théoriques sont pour le moins embarrassantes, dans la mesure où les méthodes de rééducation de la dyslexie qui sont proposées reflètent les théories épousées par leurs auteurs.

Pour ma part, ma lecture de la littérature scientifique et mes propres résultats m'incitent à adopter une version assez stricte de la théorie phonologique, en tant que théorie causale de l'apparition des troubles de lecture.

Revenons à ma caricature des recherches sur la dyslexie pour mieux cerner les deux écueils principaux de l'interprétation des données. Premièrement, le fait que deux groupes de sujets soient statistiquement différents sur la mesure X n'indique pas quelle proportion des sujets contribue à la différence. Il suffit souvent que, par exemple, un quart des dyslexiques soient très mauvais au test X, pour rendre les moyennes des deux groupes significativement différentes selon les tests statistiques usuels, alors même que les trois quarts restants ont une performance normale. Que doit-on conclure de ce genre de cas ? Que les dyslexiques, dans leur ensemble, ont un déficit de X, qui est partiellement occulté par des erreurs de mesure et du bruit statistique ? Ou bien que seule une fraction des dyslexiques ont un déficit de X, les autres étant normaux ? La réponse n'est pas toujours évidente. Dans tous les cas, il est crucial de regarder les données individuelles et pas seulement les moyennes de groupes. Le deuxième écueil réside dans le rôle causal à attribuer à un déficit. Quand bien même 100 % des dyslexiques auraient le problème X, cela n'impliquerait pas nécessairement qu'il s'agit là de la cause des troubles de lecture. Il est en effet possible, par exemple, que la véritable cause, Y, engendre à la fois X et les troubles de lecture, de telle sorte qu'ils soient systématiquement associés sans que l'un soit la

cause de l'autre. D'autres considérations indépendantes sont donc nécessaires pour établir des liens de causalité.

Avec ces quelques remarques à l'esprit, un examen critique de la littérature (et notamment des études montrant les données individuelles) permet de dégager les généralités suivantes :

□ selon les études, la proportion de dyslexiques présentant des troubles auditifs va de 0 à 50 % (y compris dans les travaux de Tallal [5], voir aussi [14-21]) ;

□ la proportion de dyslexiques présentant des troubles visuels s'échelonne de 0 à 25 % [18, 20-24] ;

□ la proportion de dyslexiques présentant des troubles moteurs varie de 0 à 80 % [11, 18, 20, 25-30] ;

□ la proportion de dyslexiques présentant des troubles phonologiques varie de 75 à 100 % [18, 26, 30].

L'examen des données individuelles révèle donc que si les troubles phonologiques concernent tous ou presque tous les dyslexiques, les troubles sensorimoteurs ne concernent qu'une fraction plus ou moins grande d'entre eux. On ne peut donc attribuer aux troubles sensorimoteurs une explication générale de la dyslexie. Il s'agit maintenant de s'intéresser plus précisément au rôle causal des différents troubles.

Le rôle causal direct de la phonologie dans la lecture est bien sûr incontestable (et incontesté). Il a été montré à maintes reprises que la conscience phonologique était un préalable essentiel à l'apprentissage de la lecture et que les capacités phonologiques du jeune enfant étaient le meilleur prédicteur de ses compétences futures en lecture [31-33].

La question la plus débattue est de savoir si le déficit phonologique a lui-même pour cause un déficit auditif. La réponse semble être négative. En effet, dans les études sus-citées, les dyslexiques présentaient souvent un déficit phonologique sans troubles auditifs. De plus, les performances auditives ne prédisent pas les performances phonologiques [16, 19, 34, 35], mais elles leur imposent éventuellement une limite supérieure [18]. Autrement dit, un déficit phonologique peut survenir en l'absen-

ce complète de troubles auditifs ; mais lorsque ces derniers sont présents, ils peuvent aggraver le déficit phonologique. Il est par ailleurs de plus en plus clair que les troubles auditifs, lorsqu'ils sont présents, ne peuvent pas être caractérisés simplement comme des troubles de traitement temporel rapide [18, 19, 21, 35-38], contrairement à l'hypothèse de Tallal [4] et de Stein [12].

La question suivante concerne le rôle additionnel potentiellement joué par un déficit visuel. En ce qui concerne les troubles visuels de type magnocellulaire postulés par Stein, leur impact sur la lecture n'a pour l'instant pas été établi. Une autre hypothèse semble plus prometteuse : le stress visuel [39]. Il s'agit de symptômes similaires à la migraine apparaissant du fait du fort contraste entre l'encre noire et le papier blanc. Ils peuvent engendrer des déformations visuelles qui nuisent à la fluidité de la lecture. Les cas les plus graves remplissent parfois les critères diagnostiques de la dyslexie. Le stress visuel est indépendant du déficit phonologique et, plus curieusement, n'a rien à voir non plus avec un dysfonctionnement magnocellulaire [40]. Il semble pouvoir donc être une cause indépendante de retard de lecture, chez une petite proportion de dyslexiques.

Enfin, les troubles moteurs ne semblent pas jouer de rôle déterminant dans l'acquisition de la phonologie et de la lecture [26, 41-43].

En résumé, hormis un petit nombre de cas de stress visuel, un déficit phonologique semble être la cause quasi exclusive des troubles de lecture. Chez certains sujets, le déficit phonologique est pur, sans aucun symptôme visuel, auditif ou moteur [18, 20].

Chez d'autres, un syndrome sensorimoteur accompagne le déficit phonologique, avec peu de conséquences sur la lecture, si ce n'est une possible aggravation du

déficit phonologique par les troubles auditifs.

On peut se demander pourquoi ce syndrome sensorimoteur est régulièrement associé à la dyslexie, mais dans des proportions variables selon les études. Il faut premièrement remarquer que ce syndrome n'est pas l'apanage de la dyslexie, mais se retrouve en fait dans un grand nombre de troubles développementaux, comme la dysphasie, la dyspraxie, l'autisme, les troubles d'attention, le syndrome de Williams [44-46]... Cela confirme que les troubles sensorimoteurs ne sont pas spécifiquement reliés à la lecture mais à des troubles plus généraux du développement. Par ailleurs, il y a une grande comorbidité entre les troubles développementaux ; notamment, 30 à 50 % des dyslexiques sont aussi dysphasiques et une proportion similaire sont dyspraxiques ou ont des troubles d'attention [47-49]. Enfin, il semble que le syndrome sensorimoteur soit plus fréquent parmi les individus qui présentent cette comorbidité entre deux ou plusieurs troubles développementaux, notamment entre dyslexie et dysphasie [17] et entre dyslexie et troubles d'attention [50, 51], que parmi les dyslexiques purs. Compte tenu de ces considérations, il me semble que les différences entre études peuvent s'expliquer simplement par des biais de recrutement : dans mes propres travaux, j'ai constaté que la proportion de troubles sensorimoteurs était nettement plus élevée dans une population d'enfants dyslexiques scolarisés dans une institution spécialisée (dans laquelle on trouve beaucoup de cas cumulant plusieurs troubles et posant problème à divers titres) que dans une population tout aussi dyslexique, mais scolarisée normalement et suivant éventuellement des cours du soir [20, 26].

La prise en compte de tous ces aspects permet également de répondre à certains cliniciens qui tirent de leur pratique l'impression que le syndrome sensorimoteur est indissociable de la « vraie » dyslexie. En particulier en France où la dyslexie n'est pas systématique-

ment dépistée, les cliniciens ne voient en fait qu'une fraction assez biaisée de la population dyslexique, au sein de laquelle les cas les plus sévères et les cas comorbides sont sur-représentés.

Pour revenir à la question du traitement de la dyslexie, l'accumulation de données allant à l'encontre d'une origine sensorimotrice du problème suggère la plus grande prudence en ce qui concerne les nouvelles méthodes basées sur la rééducation sensorielle ou motrice.

En particulier, la rééducation auditive la plus médiatisée, basée sur l'entraînement à percevoir les transitions rapides [52], est extrêmement controversée : si cette méthode a réellement des effets bénéfiques sur les enfants dyslexiques et dysphasiques (ce qui reste contesté), il y a de bonnes raisons théoriques et empiriques de croire que cela n'est en rien dû à une amélioration perceptive concernant les transitions rapides, mais plutôt à l'entraînement phonologique classique qui est également inclus dans le programme.

En ce qui concerne le stress visuel, des études sérieuses ont montré que l'utilisation de transparents de couleur, de lentilles ou de lunettes teintées amélioreraient le confort de lecture [53]. Il semble par ailleurs que la couleur précise de la prothèse soit cruciale, et dépende de chaque individu. Ce traitement n'est bien entendu recommandé que pour la fraction des enfants qui souffrent réellement de stress visuel, et absolument pas comme remède général à la dyslexie.

Plus généralement, il ne s'agit pas bien sûr de contester tout effet positif des rééducations sensorielles ou motrices. En particulier, dans le cas où, par exemple, un enfant dyslexique souffre également d'un problème moteur diagnostiqué comme tel, une rééducation motrice peut lui être bénéfique, en premier lieu sur le plan moteur bien sûr. En cas de succès du traitement, un gain de confiance en soi peut induire des bénéfices.

fices indirects, y compris en lecture (c'est sans doute l'interprétation la plus plausible des effets des traitements comme celui de McPhillips et al. [54]). Mais encore une fois, cela n'implique pas qu'une rééducation motrice puisse être préconisée comme traitement général pour la dyslexie.

En résumé, la dyslexie semble être avant tout un déficit spécifique aux représentations phonologiques. Dans une partie des cas, il est accompagné d'une constellation de troubles sensoriels et/ou moteurs, qui joue peu ou pas de rôle dans les problèmes de lecture. Il s'ensuit que, dans l'état actuel des

connaissances, la stratégie de remédiation la plus adaptée en règle générale reste celle basée sur l'entraînement de la conscience phonologique et sur un enseignement de la lecture adapté. Lorsque le profil neuropsychologique de l'enfant l'exige, d'autres traitements peuvent néanmoins être utiles. □

Références

- [1] RAMUS F. : « Dyslexia - Talk of two theories », *Nature*, 2001 ; 412 : 393-5.
- [2] SNOWLING M.J. : *Dyslexia*, 2nd ed., Oxford, Blackwell, 2000.
- [3] RAMUS F. : « Outstanding questions about phonological processing in dyslexia », *Dyslexia*, 2001 ; 7 : 197-216.
- [4] TALLAL P., MILLER S., FITCH R.H. : « Neurobiological basis of speech : a case for the preeminence of temporal processing », *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1993 ; 682 : 27-47.
- [5] TALLAL P. : « Auditory temporal perception, phonics, and reading disabilities in children », *Brain and Language*, 1980 ; 9 (2) : 182-98.
- [6] PRINGLE-MORGAN W. : « A case of congenital word blindness » *British Medical Journal*, 1896 ; 2 : 1378.
- [7] ORTON S. : *Reading, writing and speech problems in children*, New York, Norton, 1937.
- [8] LOVEGROVE W.J., BOWLING A., BADCOCK B., BLACKWOOD M. : « Specific reading disability : differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency », *Science*, 1980 ; 210 (4468) : 439-40.
- [9] STEIN J.F., FOWLER M.S. : « Visual dyslexia », *Trends in Neuroscience*, 1981 ; 1 : 77-80.
- [10] NICOLSON R.I., FAWCETT A.J., DEAN P. : « Dyslexia, development and the cerebellum », *Trends Neurosci.*, 2001 ; 24 (9) : 515-6.
- [11] FAWCETT A.J., NICOLSON R.I., DEAN P. : « Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks », *Annals of Dyslexia*, 1996 ; 46 : 259-83.
- [12] STEIN J. : « The magnocellular theory of developmental dyslexia », *Dyslexia*, 2001 ; 7 (1) : 12-36.
- [13] STEIN J., WALSH V. : « To see but not to read : the magnocellular theory of dyslexia », *Trends Neurosci.*, 1997 ; 20 (4) : 147-52.
- [14] HEATH S.M., HOGBEN J.H., CLARK C.D. : « Auditory temporal processing in disabled readers with and without oral language delay », *J. Child Psychol. Psychiatry*, 1999 ; 40 (4) : 637-47.
- [15] HILL N.I., BAILEY P.J., GRIFFITHS Y.M., SNOWLING M.J. : « Frequency acuity and binaural masking release in dyslexic listeners », *J. Acoust. Soc. Am.*, 1999 ; 106 (6) : L53-8.
- [16] MARSHALL C.M., SNOWLING M.J., BAILEY P.J. : « Rapid auditory processing and phonological ability in normal readers and readers with dyslexia », *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 2001 ; 44 (4) : 925-40.
- [17] MCARTHUR G.M., HOGBEN J.H. : « Auditory backward recognition masking in children with a specific language impairment and children with a specific reading disability », *J. Acoust. Soc. Am.*, 2001 ; 109 (3) : 1092-100.
- [18] RAMUS F., ROSEN S., DAKIN S.C., DAY B.L., CASTELLOTE J.M., WHITE S., FRITH U. : « Theories of developmental dyslexia : insights from a multiple case study of dyslexic adults », *Brain*, 2003 ; 126 (4) : 841-65.
- [19] ROSEN S., MANGANARI E. : « Is there a relationship between speech and nonspeech auditory processing in children with dyslexia ? » *J. Speech Lang. Hear. Res.*, 2001 ; 44 (4) : 720-36.
- [20] WHITE S., MILNE E., ROSEN S., HANSEN P.C., SWETTENHAM J., FRITH U., RAMUS F. : « The role of sensorimotor processing in dyslexia : a multiple case study of dyslexic children » (soumis).
- [21] WITTON C., TALCOTT J.B., HANSEN P.C., RICHARDSON A.J., GRIFFITHS T.D., REES A., STEIN J.F., GREEN G.G. : « Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers », *Curr. Biol.*, 1998 ; 8 (14) : 791-7.
- [22] CORNELISSEN P., RICHARDSON A., MASON A., FOWLER S., STEIN J. : « Contrast sensitivity and coherent motion detection measured at photopic luminance levels in dyslexics and controls », *Vision Res.*, 1995 ; 35 (10) : 1483-94.
- [23] VICTOR J.D., CONTE M.M., BURTON L., NASS R.D. : « Visual evoked potentials in dyslexics and normals : failure to find a difference in transient or steady-state responses », *Vis. Neurosci.*, 1993 ; 10 (5) : 939-46.
- [24] JOHANNES S., KUSSMAUL C.L., MUNTE T.F., MANGUN G.R. : « Developmental dyslexia : passive visual stimulation provides no evidence for a magnocellular processing defect », *Neuropsychologia*, 1996 ; 34 (11) : 1123-7.
- [25] KRONBICHLER M., HUTZLER F., WIMMER H. : « Dyslexia : verbal impairments in the absence of magnocellular impairments », *Neuroreport*, 2002 ; 13 (5) : 617-620.
- [26] RAMUS F., PIDGEON E., FRITH U. : « The relationship between motor control and phonology in dyslexic children », *Journal of Child Psychology and Psychiatry* (sous presse).
- [27] VAN DAAL V., VAN DER LEIJ A. : « Developmental dyslexia : related to specific or general deficits ? » *Annals of Dyslexia*, 1999 ; 49 : 71-104.
- [28] WIMMER H., MAYRINGER H., LANDERL K. : « Poor reading : a deficit in skill-automatization or a phonological deficit ? », *Scientific Studies of Reading*, 1998 ; 2 (4) : 321-40.
- [29] YAP R.L., VAN DER LEIJ A. : « Testing the automatization deficit hypothesis of dyslexia via a dual-task paradigm », *J. Learn. Disabil.*, 1994 ; 27 (10) : 660-5.
- [30] VELLUTINO F.R., SCANLON D.M. : « The pre-eminence of phonologically based skills in learning to read », in BRADY S.A., SHANKWEILER D.P. : *Phonological processes in literacy : a tribute to Isabelle Liberman*, Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum, 1991 ; p. 237-52.
- [31] GALLAGHER A., FRITH U., SNOWLING M. : « Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia », *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2000 ; 41 : 203-13.
- [32] LUNDBERG L., OLOFFSSON Å., WALL S. : « Reading and spelling skills in the first school years predicted from phonemic awareness skills in kindergarten », *Scandinavian Journal of Psychology*, 1980 ; 21 : 159-73.
- [33] SCARBOROUGH H.S. : « Very early language deficits in dyslexic children », *Child Dev.*, 1990 ; 61 (6) : 1728-43.
- [34] MODY M., STUDDERT-KENNEDY M., BRADY S. : « Speech perception deficits in poor readers : auditory processing or phonological coding ? », *J. Exp. Child Psychol.*, 1997 ; 64 (2) : 199-231.
- [35] SCHULTE-KÖRNE G., DEIMEL W., BARTLING J., REMSCHMIDT H. : « Auditory processing and dyslexia : evidence for a specific speech processing deficit », *NeuroReport*, 1998 ; 9 : 337-40.
- [36] MCANALLY K.I., STEIN J.F. : « Auditory temporal coding in dyslexia », *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1996 ; 263 : 961-5.
- [37] NITTROUER S. : « Do temporal processing deficits cause phonological processing problems ? » *J. Speech Lang. Hear. Res.*, 1999 ; 42 (4) : 925-42.
- [38] REED M.A. : « Speech perception and the discrimination of brief auditory cues in reading disabled children », *Journal of Experimental Child Psychology*, 1989 ; 48 : 270-92.
- [39] WILKINS A.J. : *Visual stress*, Oxford, Oxford University Press, 1995.
- [40] SIMMERS A.J., BEX P.J., SMITH F.K.H., WILKINS A.J. : « Spatiotemporal visual function in tinted lens wearers », *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2001 ; 42 (3) : 879-84.
- [41] COSSU G. : « The role of output speech in literacy acquisition : evidence from congenital anarthria », *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal* (sous presse).
- [42] FOURCIN A.J. : « Speech perception in the absence of speech productive ability », in O'CONNOR N. : *Language, cognitive deficits and retardation*, London, Butterworths, 1975 ; p. 33-43.
- [43] LENNEBERG E.H. : « Understanding language without ability to speak : a case report », *Journal of Abnormal and Social Psychology*, 1962 ; 65 (6) : 419-25.
- [44] ATKINSON J., KING J., BRADDICK O., NOKES L., ANKER S., BRADDICK F. : « A specific deficit of dorsal stream function in Williams' syndrome », *Neuroreport*, 1997 ; 8 (8) : 1919-22.
- [45] O'BRIEN J., SPENCER J., ATKINSON J., BRADDICK O., WATTAM-BELL J. : « Form and motion coherence processing in dyspraxia : evidence of a global spatial processing deficit », *Neuroreport*, 2002 ; 13 (11) : 1399-402.
- [46] SPENCER J., O'BRIEN J., RIGGS K., BRADDICK O., ATKINSON J., WATTAM-BELL J. : « Motion processing in autism : evidence for a dorsal stream deficiency », *Neuroreport*, 2000 ; 11 (12) : 2765-7.
- [47] KADESJO B., GILLBERG C. : « The comorbidity of ADHD in the general population of Swedish school-age children », *J. Child Psychol. Psychiatry*, 2001 ; 42 (4) : 487-92.
- [48] KAPLAN B.J., WILSON B.N., DEWEY D., CRAWFORD S.G. : « DCD may not be a discrete disorder », *Human Movement Science*, 1998 ; 17 : 471-90.
- [49] MCARTHUR G.M., HOGBEN J.H., EDWARDS V.T., HEATH S.M., MENGLER E.D. : « On the "specifics" of specific reading disability and specific language impairment », *J. Child Psychol. Psychiatry*, 2000 ; 41 (7) : 869-74.
- [50] DENCKLA M.B., RÜDEL R.G., CHAPMAN C., KRIEGER J. : « Motor proficiency in dyslexic children with and without attentional disorders », *Arch. Neurol.*, 1985 ; 42 (3) : 228-31.
- [51] WIMMER H., MAYRINGER H., RABERGER T. : « Reading and dual-task balancing : evidence against the automatization deficit explanation of developmental dyslexia », *Journal of Learning Disabilities*, 1999 ; 32 (5) : 473-8.
- [52] TALLAL P., MILLER S.L., BEDI G., BYMA G., WANG X., NAGARAJAN S.S., SCHREINER C., JENKINS W.M., MERZENICH M.M. : « Language comprehension in language-learning impaired children improved with acoustically modified speech », *Science*, 1996 ; 271 : 81-3.
- [53] BOULDOUKIAN J., WILKINS A.J., EVANS B.J. : « Randomised controlled trial of the effect of coloured overlays on the rate of reading of people with specific learning difficulties », *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 2002 ; 22 (1) : 55-60.
- [54] MCPHILLIPS M., HEPPEL P.G., MULHERN G. : « Effects of replicating primary-reflex movements on specific reading difficulties in children : a randomised, double-blind, controlled trial », *Lancet*, 2000 ; 355 (9203) : 537-41.