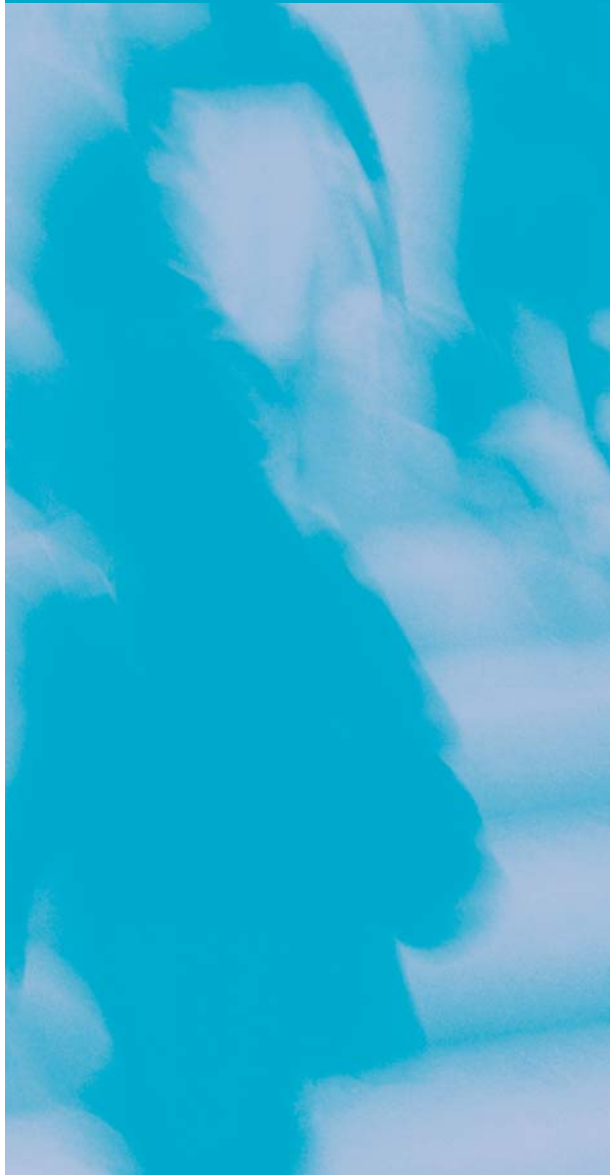




En raison de son poids et afin de faciliter son téléchargement, le rapport a été découpé en deux fichiers. Pour permettre la navigation entre les fichiers, utilisez la table des matières active (signets) à gauche de l'écran.



Expertise collective



Dyslexie Dysorthographe Dyscalculie

Bilan des données
scientifiques

Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale



Dyslexie Dysorthographe Dyscalculie

Bilan des données
scientifiques

© Les éditions Inserm, 2007 101 rue de Tolbiac, 75013 Paris

- Dans la même collection**
- Obésité. Dépistage et prévention chez l'enfant. 2000
 - Asthme et rhinites d'origine professionnelle. 2000
 - Lombalgies en milieu professionnel. Quels facteurs de risques et quelle prévention ? 2000
 - Dioxines dans l'environnement. Quels risques pour la santé ? 2000
 - Hormone replacement therapy. Influence on cardiovascular risk ? 2000
 - Rythmes de l'enfant. De l'horloge biologique aux rythmes scolaires. 2001
 - Susceptibilités génétiques et expositions professionnelles. 2001
 - Éducation pour la santé des jeunes. Démarches et méthodes. 2001
 - Alcool. Effets sur la santé. 2001
 - Cannabis. Quels effets sur le comportement et la santé ? 2001
 - Asthme. Dépistage et prévention chez l'enfant. 2002
 - Déficits visuels. Dépistage et prise en charge chez le jeune enfant. 2002
 - Troubles mentaux. Dépistage et prévention chez l'enfant et l'adolescent. 2002
 - Alcool. Dommages sociaux, abus et dépendance. 2003
 - Hépatite C. Transmission nosocomiale. État de santé et devenir des personnes atteintes. 2003
 - Santé des enfants et des adolescents, propositions pour la préserver. Expertise opérationnelle. 2003
 - Tabagisme. Prise en charge chez les étudiants. 2003
 - Tabac. Comprendre la dépendance pour agir. 2004
 - Psychothérapie. Trois approches évaluées. 2004
 - Déficiences et handicaps d'origine périnatale. Dépistage et prise en charge. 2004
 - Tuberculose. Place de la vaccination dans la maladie. 2004
 - Suicide. Autopsie psychologique, outil de recherche en prévention. 2005
 - Cancer. Approche méthodologique du lien avec l'environnement. 2005
 - Trouble des conduites chez l'enfant et l'adolescent. 2005
 - Cancers. Pronostics à long terme. 2006
 - Éthers de glycol. Nouvelles données toxicologiques. 2006
 - Déficits auditifs. Recherches émergentes et applications chez l'enfant. 2006
 - Obésité. Bilan et évaluation des programmes de prévention et de prise en charge. 2006
 - La voix. Ses troubles chez les enseignants. 2006



Ce logo rappelle que le code de la propriété intellectuelle du 1^{er} juillet 1992 interdit la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants-droits. Le non-respect de cette disposition met en danger l'édition, notamment scientifique.

Toute reproduction, partielle ou totale, du présent ouvrage est interdite sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20 rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



Expertise collective

Dyslexie Dysorthographe Dyscalculie

Bilan des données
scientifiques

Inserm

Institut national
de la santé et de la recherche médicale

Cet ouvrage présente les travaux du groupe d'experts réunis par l'Inserm dans le cadre de la procédure d'expertise collective, pour répondre à la demande du Régime social des indépendants, anciennement la Canam, concernant la dyslexie, la dysorthographe et la dyscalculie. Ce travail s'appuie sur les données scientifiques disponibles en date du deuxième semestre 2006. Plus de 2 000 articles ont constitué la base documentaire de cette expertise.

Le Centre d'expertise collective de l'Inserm a assuré la coordination scientifique et éditoriale de cette expertise collective. Dans le cadre de la mission d'accompagnement des expertises collectives mise en place par Christian Bréchet, Directeur général de l'Inserm, l'expertise a bénéficié des conseils de Jean-Marie Danion, professeur de psychiatrie représentant la Direction générale de l'Inserm, de Jean-Claude Ameisen, président du comité d'éthique de l'Inserm, et des membres du département de l'information scientifique et de la communication sous la direction de Pascale Sillard et Patrick Chanson.

Groupe d'experts et auteurs

Pierre BARROUILLET, Faculté de psychologie et de sciences de l'éducation, Université de Genève, Suisse

Catherine BILLARD, Centre de référence sur les troubles des apprentissages, neuropédiatrie, Hôpital Bicêtre, Le Kremlin Bicêtre

Maria DE AGOSTINI, Recherche en épidémiologie et biostatistique, Inserm U 780, CNRS, Villejuif

Jean-François DÉMONET, Service de neurologie, Inserm U455, Hôpital de Purpan, Toulouse

Michel FAYOL, Laboratoire de psychologie sociale et cognitive, Université Blaise Pascal et CNRS, Clermont-Ferrand

Jean-Émile GOMBERT, Centre de recherche en psychologie, cognition et communication, CRPPC, Université Rennes 2, Rennes

Michel HABIB, Service de neurologie pédiatrique, Hôpital des enfants de la Timone, Marseille

Marie-Thérèse LE NORMAND, Physiologie et neurologie du développement, Inserm E 9935, Hôpital Robert Debré, Paris

Franck RAMUS, Laboratoire de sciences cognitives et psycholinguistique, UMR 8554, EHESS, CNRS, ENS, Paris

Liliane SPRENGER-CHAROLLES, Laboratoire de psychologie de la perception, Université René Descartes et FRE 2929 CNRS, Paris

Sylviane VALDOIS, Laboratoire de psychologie et neurocognition, UMR 5105, Université Pierre Mendès France et CNRS, Grenoble

Ont présenté une communication

Catherine BILLARD et coll., Centre de référence sur les troubles des apprentissages, neuropédiatrie, Hôpital Bicêtre, Le Kremlin Bicêtre

Michel HABIB, Service de neurologie pédiatrique, Hôpital des enfants de la Timone, Paris

Marie-Thérèse LE NORMAND et coll., Physiologie et neurologie du développement, Inserm E 9935, Hôpital Robert Debré, Paris

Monique TOUZIN, Unité de rééducation neuropédiatrique, CHU Bicêtre

Ont rédigé une note de lecture

Michel DELEAU, Psychologie du développement, Université de Rennes

Nicolas GEORGIEFF, Institut des Sciences Cognitives, Bron

Philippe MEIRIEU, Sciences de l'éducation, Université Lumière-Lyon 2

Remerciements

L'Inserm et le groupe d'experts remercient Stanislas DEHAENE (Neuroimagerie cognitive, Inserm U 562, Service Hospitalier Frédéric Joliot, CEA, Orsay) et José MORAIS (Faculté des sciences psychologiques et de l'Éducation, Université libre de Bruxelles) pour leur relecture de l'ouvrage ainsi que pour leurs conseils.

Coordination scientifique, éditoriale et logistique

Fabienne BONNIN, chargée d'expertise, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris

Catherine CHENU, attachée scientifique, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris

Jeanne ÉTIEMBLE, directrice, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris

Cécile GOMIS, secrétaire, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris

Anne-Laure PELLIER, attachée scientifique, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris

Chantal RONDET-GRELLIER, documentaliste, Centre d'expertise collective de l'Inserm, Faculté de médecine Xavier-Bichat, Paris

Préface

Je remercie le Régime social des indépendants RSI (anciennement la Canam) d'avoir confié à l'Inserm la réalisation d'une expertise collective sur des troubles affectant les apprentissages scolaires tels que la dyslexie, dont l'importance en santé publique a justifié un plan national d'action en 2001.

Je tiens tout particulièrement à féliciter le groupe d'experts d'avoir traité un sujet particulièrement difficile en faisant une analyse objective de la littérature disponible dans les champs disciplinaires où les progrès ont été les plus marqués ces dernières années. Je souhaite que cet éclairage scientifique soit utile aux professionnels du secteur de l'Education et de la Santé pour aider les enfants à surmonter leur handicap.

Cette expertise ne prétend pas avoir abordé tous les aspects concernant ces troubles à composantes multiples ni avoir répondu à toutes les questions. La recherche doit se poursuivre pour combler les nombreuses lacunes de connaissance. L'interdisciplinarité est un facteur de succès de cette recherche comme le soulignent les experts.

La réalisation de cette expertise s'est inscrite dans le cadre d'une évolution en cours des expertises collectives à l'Inserm visant à mieux intégrer dans le débat les différents points de vue et modes de pensée.

Les représentants des associations de patients et de parents, des professionnels du champ éducatif, médical et para-médical (orthophonistes, neuropsychologues, psychologues...) ont eu l'occasion d'échanger sur le travail réalisé par les experts avant la publication de cette expertise et d'apporter leur point de vue, leur expérience et leur savoir-faire. Leurs propos rapportés dans cet ouvrage contribuent à sa qualité.

Je remercie chaleureusement mes collaborateurs qui ont prodigué leurs conseils au cours de ce travail dans le cadre de leur mission d'accompagnement des expertises collectives que j'ai mise en place. Je remercie également tous les scientifiques et professionnels impliqués dans les apprentissages et leurs troubles qui, par une lecture critique de tout ou partie du document, selon leur champ d'intérêt, ont permis d'en améliorer la rédaction.

Je souligne l'intérêt que l'Inserm accorde au débat qui doit se poursuivre après ce travail conséquent mais nécessairement limité des experts. J'invite le lecteur à prendre connaissance des trois notes de lecture confiées à des personnalités choisies pour leurs approches différentes et complémentaires.

Professeur Christian Bréchet

Directeur général de l'Inserm

Sommaire

Avant-propos	XIII
Analyse	
I Acquisitions et apprentissages	1
De l'acquisition du langage aux apprentissages scolaires.....	3
1. Acquisition du langage oral : repères chronologiques	5
2. Apprentissage de la lecture	33
3. Apprentissage de la production écrite et de l'orthographe	79
4. Apprentissage de l'arithmétique	107
5. Apprentissage du langage écrit chez les sourds.....	137
II Troubles spécifiques des apprentissages	149
Des difficultés d'apprentissage aux troubles spécifiques	151
6. Définitions et classifications	159
7. Données de prévalence	175
8. Dyslexie : études de cas	191
9. Dyslexie : études de groupes et de cas multiples	217
10. Dysorthographe.....	273
11. Dyscalculie et troubles de l'apprentissage de l'arithmétique	291
12. Troubles des acquisitions associés à la dyslexie.....	343
13. Troubles comportementaux ou émotionnels associés à la dyslexie ...	367
III Théories explicatives de la dyslexie	379
Des premières approches de la dyslexie aux hypothèses actuelles...	381
14. Théorie phonologique	389
15. Théorie visuelle	419
16. Théorie du déficit de la fonction cérébelleuse	451
17. Théorie du trouble du traitement temporel.....	459
18. Apport de l'imagerie cérébrale.....	479
19. Facteurs génétiques	497
20. Analyse critique des théories explicatives de la dyslexie	513

IV Prévention et prise en charge	535
Du repérage à la prise en charge à l'école et à la pratique clinique...	537
21. Repérage, dépistage et diagnostic	541
22. Bilan des études de prévention en milieu scolaire.....	571
23. Traitements et méthodes de rééducation de la dyslexie	591
24. Stratégies de soins des troubles spécifiques et associés	613
Synthèse, principaux constats, recommandations	635
Communications / Débat	719
Résultats préliminaires d'une étude épidémiologique au CE1	721
Trois méthodes comparées de rééducation	743
Exemple de remédiation neurodéveloppementale	767
Rééducation orthophonique dans la dyslexie	785
Rencontre-débat du 16 janvier 2007.....	793
Note de lecture de Michel Deleau.....	807
Note de lecture de Nicolas Georgieff.....	811
Note de lecture de Philippe Meirieu	819
Réponse du groupe d'experts au propos de Philippe Meirieu.....	823
Annexes	827
Expertise collective Inserm	829
Centres référents pour les troubles du langage	835

Avant-propos

Depuis les années 2000, la Caisse nationale des travailleurs indépendants (Canam), devenue en 2005 le Régime social des indépendants (RSI) a sollicité l'Inserm pour la réalisation de plusieurs expertises collectives relatives à la santé des enfants. Elles portent, entre autres, sur l'obésité, les troubles mentaux et les troubles spécifiques des apprentissages scolaires identifiés comme des priorités en santé publique au niveau national.

La dyslexie, qui entrave l'apprentissage de la lecture, est le trouble spécifique le plus connu et le mieux étudié. La dyscalculie ou la dysorthographe ont fait l'objet de beaucoup moins de recherches. Les difficultés scolaires liées à ces troubles s'ils ne sont pas pris en charge peuvent conduire à la marginalisation voire à la stigmatisation des enfants et les échecs cumulés aboutir à des difficultés d'insertion sociale à l'âge adulte.

La Canam (RSI) a souhaité que l'Inserm réalise, à travers la procédure d'expertise collective, un état des connaissances scientifiques récentes permettant de mieux connaître et comprendre les troubles spécifiques des apprentissages scolaires ainsi qu'un bilan des publications scientifiques concernant les outils et méthodes de repérage et de prise en charge.

Pour répondre à cette demande, l'Inserm a réuni un groupe de 11 experts ayant des compétences dans les domaines de la psychologie cognitive, la psychologie du développement, la neuropsychologie de l'enfant, la pédiatrie, les neurosciences, la psycholinguistique, la linguistique et l'épidémiologie.

L'impact que peuvent avoir les progrès des connaissances scientifiques sur la prise en charge de la dyslexie et des autres troubles spécifiques des apprentissages est une des questions de l'expertise. De nombreux outils de remédiation de la dyslexie sont aujourd'hui proposés sans pour autant que leur efficacité ait été évaluée ni même que leurs références théoriques aient été explicitées. Cette situation justifie un état de lieux des connaissances sur la dyslexie, la dysorthographe et la dyscalculie ainsi que sur les méthodes de prise en charge.

La dysphasie (trouble spécifique du langage oral) et la dyspraxie (trouble de l'acquisition de la coordination) n'ont pas été abordées dans le cadre de cette expertise ciblée sur les troubles spécifiques des apprentissages scolaires. Ces troubles ont cependant un retentissement important sur les apprentissages scolaires. Ils sont évoqués dans le chapitre sur les troubles associés et mériteraient de faire l'objet d'un bilan approfondi des connaissances au cours d'une prochaine expertise collective Inserm.

Le groupe a structuré sa réflexion autour des questions suivantes :

- Que sait-on à l'heure actuelle de l'acquisition « normale » du langage, de l'apprentissage de la lecture, de l'orthographe et du calcul, pouvant éclairer la compréhension des troubles spécifiques des apprentissages ?
- Quelles sont les définitions et classifications des troubles spécifiques des apprentissages utilisées dans les différentes études pour en déterminer leur fréquence et leur démographie ?
- Qu'est-ce que la dyslexie, quelles sont ses principales manifestations et leur fréquence ?
- Quels sont les autres troubles spécifiques des apprentissages (dyscalculie, dysorthographe) et leurs relations avec la dyslexie ? Quels autres troubles sont fréquemment associés ?
- Quelles sont les principales théories explicatives de la dyslexie et quel a été l'apport dans ce domaine des nouvelles technologies scientifiques (neuro-imagerie, génétique, neurosciences cognitives) ayant permis les avancées récentes ?
- Quelles sont les différentes méthodes de remédiation et comment s'articulent-elles avec les théories actuelles ? Quel est l'état actuel des recherches scientifiques en matière d'indications de prises en charge et d'évaluation des méthodes proposées ?
- Quels sont les outils et stratégies disponibles en termes de repérage, dépistage, diagnostic et prise en charge ? Quelles sont les perspectives dont les enseignants, les familles et les enfants eux-mêmes pourraient tirer bénéfice ?

L'ouvrage est constitué de quatre parties. Pour comprendre la dyslexie, la dysorthographe et la dyscalculie, il est apparu indispensable de présenter tout d'abord de manière synthétique l'acquisition du langage oral, l'apprentissage de la lecture, de la production écrite, de l'orthographe et du calcul chez l'enfant ne présentant pas de difficulté particulière. Ceci constitue la première partie de l'ouvrage.

La deuxième partie est consacrée à la présentation des troubles spécifiques des apprentissages scolaires (définition, prévalence...). La diversité des formes de dyslexie est illustrée à travers l'analyse des études de cas alors que l'étude des populations d'enfants dyslexiques révèle une forte prévalence d'un déficit cognitif spécifique (le déficit phonologique). Les données de la littérature relatives à la dysorthographe et dyscalculie développementales sont encore peu développées. Les fréquentes associations entre troubles « dys » et d'autres troubles psychiques ouvrent des pistes de réflexion sur des mécanismes physiopathologiques communs.

Les différentes théories explicatives de la dyslexie (déficit phonologique, déficit du traitement auditif temporel, théories visuelles, déficit de la fonc-

tion cérébelleuse, théorie magnocellulaire,...) font l'objet d'une troisième partie. Le lien avec d'autres troubles développementaux contribue à engendrer de nouvelles hypothèses. On voit donc là un chantier foisonnant de recherches. Les travaux en neurobiologie, neuro-imagerie, en génétique moléculaire, loin d'être aboutis, ouvrent des pistes intéressantes sur les mécanismes possibles de ces déficits.

La dernière partie de l'ouvrage est centrée sur le repérage, le dépistage, le diagnostic, la prévention et la prise en charge. Le bilan des connaissances effectué dans cette expertise conforte-t-il ou non les principes généraux sur lesquels s'appuient les pratiques professionnelles et les modes d'organisation pour la prise en charge des enfants ? Selon la méthodologie de l'expertise collective Inserm, cette partie ne décrit pas l'ensemble des pratiques en France mais analyse les différentes méthodes de remédiation ayant fait l'objet de publications et leur évaluation scientifique. D'une manière générale, et en ce qui concerne l'approche diagnostique et la prise en charge multidisciplinaire ces troubles ne doivent-ils pas être conçus comme relevant d'un handicap ?

Des rapports antérieurs à cette expertise (rapport Ringard, 2000 ; rapport Véber et Ringard, 2001) ont donné lieu à un Plan national d'action pour les enfants atteints d'un trouble spécifique du langage (Ministère de la santé, Ministère de l'éducation nationale, 2001)¹. Ce plan traduit une volonté d'agir pour améliorer la situation de ces enfants et de leur famille. Dans le cadre de ce plan, des études épidémiologiques et des programmes de recherche notamment dans le domaine de l'évaluation des pratiques de soins de même que sur les stratégies pédagogiques et sur les contenus didactiques étaient prévus. Cinq ans après leur mise en œuvre, les mesures entreprises dans le cadre du plan national dans le champ de la santé font l'objet d'une évaluation conduite par la Fédération nationale des observatoires régionaux de santé sous l'égide de la Direction générale de la santé. Toujours, dans le cadre de ce plan, une commission d'experts a travaillé sur les outils de dépistage des troubles du langage, le rapport a été rendu public en 2006² au moment de la finalisation des travaux de cette expertise collective et n'a donc pu être intégré à l'analyse.

1. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/plandysl.pdf
ftp://trf.education.gouv.fr/pub/edutel/actu/2001/03_21_dp_troublelangage.pdf
2. http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/troubles_langage/recommandations_tsl.pdf

I

Acquisitions
et apprentissages

Introduction :

De l'acquisition du langage aux apprentissages scolaires

Les chapitres de cette première partie visent à dresser un bilan critique des données actuellement disponibles relativement à l'acquisition du langage et à l'apprentissage de la lecture, de l'écriture et du calcul. En effet, pour répondre à l'objectif de cette expertise concernant les troubles spécifiques des apprentissages scolaires, leur repérage, caractérisation et prise en charge, il faut au préalable disposer d'informations suffisantes sur le déroulement « normal » des apprentissages concernés.

Peu d'apprentissages se réalisent spontanément sans que nous ayons à y investir de l'attention et du temps. C'est notamment le cas de tous les apprentissages complexes : la lecture, l'arithmétique, mais aussi le piano, l'ébénisterie ou l'électronique... De telles acquisitions impliquent la rencontre d'obstacles plus ou moins nombreux et fréquents qui doivent être surmontés pour progresser : on peut alors parler de difficultés d'apprentissage. Tant que les individus peuvent dépasser ces difficultés, seuls ou accompagnés, ou bien les « contourner », si par exemple l'apprentissage n'est pas imposé, le problème des troubles se pose peu : on en reste à l'existence de difficultés.

La situation est tout autre lorsqu'un savoir ou un savoir-faire est requis pour l'insertion dans la société. Lire, compter, écrire sont autant d'acquisitions considérées comme indispensables dans les sociétés occidentales. Les pratiques pédagogiques mises en place au cours de l'histoire ont conduit à établir des programmes, des progressions et des étapes décrivant et imposant plus ou moins selon les champs disciplinaires quand et comment ces acquisitions doivent se réaliser pendant la scolarité.

On peut considérer que cette « stratégie programmée » constitue un moyen d'optimiser ce que les individus peuvent acquérir dans un domaine de connaissance donné, compte tenu de leur niveau de développement, des savoirs et savoir-faire déjà acquis, du temps disponible (qui dépend de l'importance du domaine considéré par rapport aux autres) et des objectifs poursuivis par l'institution et, à travers elle, la société. Dès lors, les (inévitables) difficultés sont supposées adaptées, c'est-à-dire surmontables par les apprenants, sous réserve que l'introduction des savoirs et savoir-faire soit préparée et que l'accès à leur maîtrise soit guidé de manière à tenir compte des différences interindividuelles de niveau initial, de capacité, de rythme et de motivation.

Pourtant, malgré toutes les adaptations des programmes et progressions, et malgré les aménagements de dispositifs d'enseignement, les difficultés « normales », généralement surmontées par la plupart des apprenants apparaissent insurmontables pour une partie d'entre eux, au moins à un moment donné du cursus et dans le cadre d'une organisation définie de l'apprentissage. Les difficultés durablement non surmontées par certains font qu'ils s'écartent du niveau de réussite attendu (ou prescrit) des apprenants relativement à un ou plusieurs domaines à une période définie du cursus. Cet écart conduit à s'interroger sur ce qui le détermine. Plusieurs facteurs doivent être envisagés : carences éducatives, irrégularité de la scolarisation, qualité de l'enseignement reçu, existence de troubles sensoriels ou neurologiques, niveau de motivation, retard général de développement. Lorsque ces diverses éventualités ont pu être écartées, on peut alors parler de trouble spécifique des apprentissages.

Les cinq chapitres qui suivent visent précisément à décrire ce qui est connu du déroulement usuel des apprentissages de manière à contribuer à mieux caractériser les enfants qui s'écartent des trajectoires attendues et dont certains peuvent ainsi être considérés comme présentant des troubles spécifiques des apprentissages.

1

Acquisition du langage oral : repères chronologiques

La capacité d'un nouveau-né à apprendre sa langue maternelle ne cesse d'étonner. En quelques années, il va pouvoir maîtriser la grammaire de sa propre langue qui est un système complexe de propriétés phonologiques, lexicales et syntaxiques. Les études linguistiques et cognitives abordent la question de l'acquisition de la parole et du langage en se référant à ce système en trois composantes : la forme, le contenu et l'usage. La forme comprend la phonologie, le lexique, la morphologie et la syntaxe. Le contenu comprend la signification qui est la sémantique du langage. L'usage est la pragmatique ou l'étude de l'ensemble des codes qui régissent les intentions de communication des locuteurs. La figure 1.1 représente schématiquement les composantes du langage.

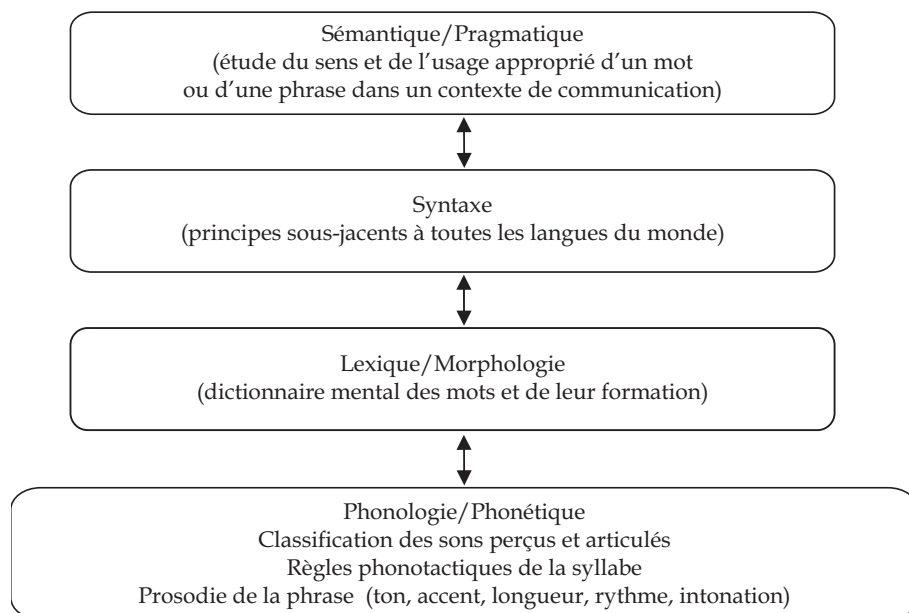


Figure 1.1 : Composantes du langage

Dès les premiers mois, une capacité perceptive des sons de la parole permet au bébé de discriminer, de catégoriser les sons élémentaires puis de reconnaître certains mots de sa langue par la prosodie (l'enveloppe « musicale » de la parole avec ses aspects de rythme, de tempo, de mélodie, d'accent, d'intonation). Vers 7-8 mois, les bébés sont capables de reconnaître et de mémoriser des formes syllabiques de type « mot » avec des séquences consonnes-voyelles bien définies appartenant aux particularités de sa langue. Vers 9-10 mois, c'est la période de la production du babillage et des premiers mots avant l'explosion lexicale vers 18 mois, l'émergence des assemblages de mots vers 24 mois, et enfin la construction des catégories morphosyntaxiques à partir de 30 mois. Même si la variabilité inter-individuelle est très importante, la période 0-3 ans est décisive dans le déroulement du processus d'acquisition de la parole et du langage chez l'enfant comme l'illustre la figure 1.2.

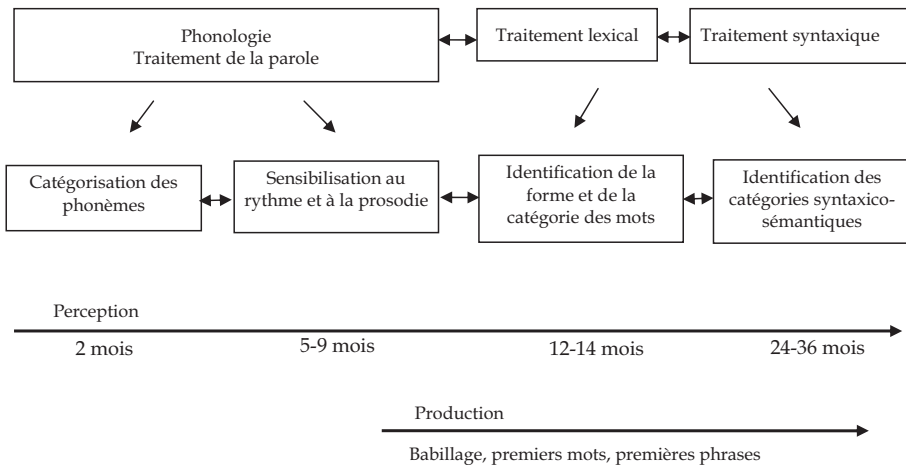


Figure 1.2 : Chronologie des acquisitions du langage chez l'enfant de 0 à 3 ans

Perception de la parole : premières étapes

Les caractéristiques de la perception de la parole ont été mises en évidence de façon très précoce chez le bébé.

Attention sélective et perception catégorielle

La perception catégorielle des sons de parole a été observée au cours d'épreuves d'habituation. Chez le bébé exposé à un stimulus acoustique, le

rythme de succion tend à diminuer (habituation) si le stimulus ne varie pas ; il s'accélère en revanche, lorsqu'on présente un stimulus que le nourrisson perçoit comme différent du premier. Des expériences fondées sur ce paradigme d'habituation avec succion non nutritive montrent qu'à la naissance, l'enfant perçoit de façon catégorielle des contrastes sonores de parole reposant sur le trait de voisement (sourdes *versus* sonores). Eimas et coll. (1971) et Mehler et coll. (1988) ont montré qu'entre la naissance et 4 mois, les bébés étaient capables de discriminer même les contrastes qui ne sont pas présents dans leur environnement (Jusczyk, 1997). À partir de cette capacité perceptive initiale, le nourrisson développe et organise sa perception des sons de la langue environnante (Kuhl, 1992) pendant que les contrastes non représentés dans sa langue finissent par ne plus être détectés vers 10-13 mois (Werker et Tees, 1984). L'influence spécifique d'une langue apparaît plus tôt sur les voyelles que sur les consonnes (Polka et Werker, 1994). L'espace vocalique serait constitué vers l'âge de 10 mois. Puis, les répertoires consonantiques d'enfants appartenant à des communautés linguistiques diverses se différencieraient progressivement entre 11 et 13 mois.

Segmentation précoce et perception des indices prosodiques (rythme et mélodie)

Bien avant de pouvoir comprendre le sens des mots, le bébé en privilégie la forme sonore (Saffran et coll., 1996 ; Nazzi et coll., 1998 ; Nazzi et coll., 2000 ; Ramus et coll., 2000a et b ; Bertoncini et Nazzi, 2004 ; Kuhl, 2004 ; Nazzi et coll., 2005). Le bébé est sensible aux diverses régularités rythmiques et mélodiques de sa langue (mots fortement accentués, terminaisons de phrases). Cela suggère que la reconnaissance précoce de la langue maternelle dans les deux premiers mois de vie serait en fait une reconnaissance du type de rythme de la langue maternelle. Des discriminations plus fines entre la langue maternelle et des langues de la même famille rythmique émergent vers 5 mois.

Les études portant sur le développement de la segmentation de la parole laissent apparaître le rôle fondamental des indices prosodiques (rythme et mélodie) dans l'initialisation des processus de traitement, en particulier pour la segmentation permettant d'extraire les mots et de repérer les régularités syntaxiques qui organisent les phrases en unités linguistiques hiérarchisées. La « composante prosodique » est nécessaire pour mettre en relation la phonologie et la syntaxe (Morgan, 1986 ; Jusczyk, 1992 ; Morgan et Demuth, 1996 ; Gout et coll., 2004).

La langue environnante module la perception de la parole du très jeune enfant (Werker et Lalonde, 1988 ; de Boysson-Bardies, 2004). Chaque langue possède un matériel prosodique, phonologique et phonétique spécifique, ainsi que des règles particulières de mise en relation des différentes caté-

gories syntaxiques. En russe, par exemple, le sens d'une phrase comme « maman embrasse bébé » sera différent selon la désinence ou la terminaison des mots « bébé » et « maman » ; on comprendra soit que maman est embrassée, soit au contraire que bébé est embrassé : « mama tseluyet malyutkU » veut dire « maman embrasse bébé » mais « mamU tseluyet malyutka » veut dire « bébé embrasse maman ». Un bébé russe de 12 mois doit donc être attentif à la terminaison des mots alors qu'un bébé français de même âge doit focaliser son attention sur l'ordre des mots.

Production de la parole : premières étapes

Du babillage au récit, plusieurs étapes jalonnent le développement linguistique de l'enfant.

Babillage

Les premiers travaux portant sur le babillage remontent à Jakobson (1969) qui décrivait le babillage comme une suite de sons, aléatoires et extrêmement variés, n'entretenant aucune relation ni avec les premiers mots des enfants, ni avec ceux des adultes. Depuis, un grand nombre de travaux ont montré une continuité entre les sons présents dans les premières vocalisations prélinguistiques et ceux présents dans les premières formes langagières significatives.

Son émergence est même considérée comme un moment clé du développement langagier et sa description en stades comme un élément crucial de la compréhension du développement linguistique chez le jeune enfant. Un retard de l'apparition du babillage serait même un prédicteur des troubles des apprentissages ultérieurs (Oller et coll., 1999).

Principales étapes du babillage

À 1 mois et même avant, des mouvements phonatoires quasi réflexes de type [Øeu] ont été observés.

De 1 à 4 mois, des séquences phoniques, constituées de syllabes primitives nettement perceptibles par l'entourage, formées de sons quasi vocaliques et de sons quasi consonantiques articulés à l'arrière de la gorge apparaissent.

De 4 à 8 mois, on observe des brusques changements de la fréquence fondamentale, des productions de voix bitonales et des tremblements de la voix. Le répertoire phonique s'élargit avec l'apparition de sons consonantiques longuement tenus. Vers l'âge de 6 mois, le « babillage rudimentaire » (*marginal babble*) se compose d'assemblages consonne-voyelle difficilement segmentables en raison d'une articulation assez lâche et de

transitions très lentes entre les mouvements de fermeture et d'ouverture du tractus vocal.

Vers 8-10 mois, les enfants commencent à produire le babillage canonique c'est-à-dire des syllabes bien formées de type CV (consonne-voyelle). Le babillage canonique est un assemblage articulatoire qui se compose d'un « noyau d'énergie », le son vocalique, et d'au moins « une marge », le son consonantique qui possède les caractéristiques temporelles de la langue-cible.

MacNeilage et Davis (1993 et 2000) ont développé une théorie biomécanique explicative de ces tendances communes appelée théorie du cadre et du contenu (*frame-content theory*). Selon ces auteurs, le babillage est réalisé par des cycles simples ou répétés d'oscillation mandibulaire (le cadre) provoquant la production de structures simples ou redupliquées de type CV. Ainsi, observe-t-on une tendance forte de la part des enfants à commencer leurs énoncés par une consonne et à l'achever par une voyelle.

Selon MacNeillage et Davis (2000), les langues du monde ont également tendance à conforter le type syllabique CV, seul type considéré comme universel. La première période de production enfantine serait ainsi dominée par le cadre dans lequel les inventaires et structures de sons particuliers peuvent être réalisés grâce à la seule oscillation mandibulaire avec une contribution minimale des articulateurs. La deuxième étape représente une phase de complexification avec introduction du contenu dans le cadre. L'inventaire des sons connaît une augmentation significative puis, à partir d'une taille d'inventaire donnée, apparaît la capacité à moduler ces sons de façon inter- et intra-syllabique. Ces mouvements de complexification sont présents à la fois dans les langues du monde et chez les enfants. Des analyses de fréquence de mots ont révélé la présence de ces formes dans dix langues actuelles : en anglais, estonien, français, allemand, hébreu, japonais, maori, quechua, espagnol et swahili (MacNeilage et Davis, 2000).

D'autres chercheurs estiment que la langue environnante serait à l'origine de certaines productions préférentielles à la fin de la période de babillage et au cours de la période des premiers mots. De Boysson-Bardies et coll. (1984) ont fait écouter à des adultes naïfs des séquences de babillage en français, arabe et cantonais. Les participants avaient pour tâche d'identifier le babillage des enfants français âgés de 8-10 mois. Le résultat obtenu – 70 % d'identifications correctes – suggère que le babillage de la période pré-linguistique présente des caractéristiques intonatives dépendantes de la langue environnante. De Boysson-Bardies et coll. (1989) ont également comparé des voyelles produites par des enfants français, anglais, cantonais et algériens. Ces auteurs aboutissent à la conclusion suivante : la qualité acoustique des voyelles produites dans le babillage diffère d'une langue à l'autre.

Le babillage serait tout d'abord redupliqué, formé d'une chaîne de syllabes identiques du type « mamama », « papapapa ». Il se diversifierait ensuite, les

syllabes successives différant les unes des autres soit par la consonne, soit par la voyelle, soit par les deux, « patata », « tokaba », « badata ». Dans ces séries, le jeune enfant favorise les syllabes ouvertes de type CV au détriment de celles de type syllabique fermé : CVC (Oller et Eilers, 1982 ; Locke, 1983 ; Kent et Bauer, 1985 ; Stoel-Gammon, 1985 ; Vihman, 1992).

Premiers mots

La production du lexique chez l'enfant est l'un des phénomènes les plus spectaculaires dans toutes les langues du monde. Ce phénomène est marqué par un brusque accroissement du vocabulaire entre 12 et 30 mois. En moyenne, un enfant produit 10 mots à 12 mois, 50 mots à 18 mois, plus de 300 mots à 24 mois et 500 mots à 30 mois. Les études à grande échelle sur 39 langues³ ont montré non seulement une régularité dans le rythme des acquisitions mais aussi des variations interindividuelles et interculturelles considérables. Les facteurs qui sous-tendent les régularités et les variations de cette « explosion lexicale » sont multiples et ne semblent pas répondre aux mêmes « lois » développementales.

Les premiers mots sont souvent constitués d'une ou de deux syllabes identiques formées d'une consonne et d'une voyelle. L'enfant les utilise pour désigner toute une gamme d'objets (surgénéralisation). Il est d'ailleurs nécessaire de connaître le contexte pour interpréter ces premiers mots. Ces surgénéralisations se réduisent à mesure que s'affine la discrimination.

Les premiers mots que prononce l'enfant sont loin d'avoir la valeur de précision de nos concepts adultes. Un même mot peut être utilisé dans des situations très différentes. Le mot « manteau » par exemple peut désigner le vêtement, le chapeau blanc ou la poussette utilisée pour la promenade. Il est facile de comprendre comment l'enfant associe les divers éléments d'une situation telle que l'habillage en vue d'une sortie par exemple, et les désigne par le même terme.

Eve Clark (1974) a étudié la généralisation des premiers mots. Elle montre par exemple que la classe « ouf-ouf » [ufuf] peut désigner les animaux de petite taille comme le chien, le mouton, le chat tandis que les mots « meuh-meuh » [m | m |] sont employés pour les animaux de grande taille. Cela sup-

3. http://www.sci.sdsu.edu/cdi/adaptations_ol.htm

Anglais (Grande-Bretagne), anglais (Nouvelle-Zélande), allemand (Autriche), allemand (Allemagne), bantou (kiswahili et kigiriama, Afrique), bengali, basque, catalan, cantonais (Hong-Kong), chinois, croate, coréen, danois, espagnol (Cuba), espagnol (Mexique), espagnol (Europe), finlandais, français (Canada), français (Europe), galicien, grec, hongrois, hébreu, islandais, italien, japonais, langue des signes (USA), malaisien, mandarin (Beijing), néerlandais, polonais, portugais (Brésil), roumain, russe, tamoul (Ceylan), thaï, turc, suédois

pose une représentation mentale par laquelle le sens des premiers mots devra s'affiner à mesure que l'enfant acquiert d'autres mots et qu'il perçoit les différences entre les objets et les situations. Tout nouvel élément d'information sur son univers semble amener l'enfant à restructurer le sens initial de ses premiers mots.

Dès l'âge de 10-13 mois, l'enfant émet des énoncés ne comportant qu'un seul mot (période dite « un mot à la fois »).

L'accès aux premiers mots suppose chez l'enfant une certaine connaissance des objets et des événements de son environnement. Avant de pouvoir associer une séquence sonore particulière à une classe particulière d'objets, il doit :

- disposer du concept de l'objet, c'est-à-dire distinguer entre objet et contexte ;
- apprendre que les sons émis par l'adulte sont liés à un objet particulier, et que l'objet est toujours associé à ce son ;
- avoir la notion qu'un item lexical désigne le même objet même si ce dernier apparaît à différents moments, en différents endroits, à différentes distances et dans différentes positions. Les attributs sont indépendants des contextes auxquels ils s'appliquent et réciproquement : la mère, ou le père, peut changer de vêtements ou de coiffure, mais reste la même personne ;
- organiser la coordination de l'espace, des objets et des événements appréhendés dans ses différentes modalités sensorielles.

La base sémantique des premiers mots chez le jeune enfant est donc constituée par un système initialement limité mais ouvert, qui encode les objets familiers concrets, les principales personnes de son entourage, de même que, progressivement, les états et les changements d'état de ces objets et personnes, les actions que les personnes effectuent sur les objets et les sentiments immédiats de ces personnes.

Évaluation des premiers mots

Généralement, les premiers mots de l'enfant se réfèrent aux personnes et aux objets avec lesquels ils sont le plus souvent en contact, les objets et les personnes qui font partie de son univers, les membres de sa famille, les animaux, la nourriture, les boissons et les jouets (Nelson, 1973). L'adaptation française de l'inventaire du développement communicatif de Bates-Mac-Arthur (*Communicative Development Inventories*, CDI) pour évaluer les premiers mots de l'enfant à 12 mois (Kern, 2003 ; Bovet et coll., 2005a et b) est présentée dans le tableau 1.1. On demande aux parents de cocher la première colonne (C) pour les mots que l'enfant comprend mais ne dit pas encore (on considère que l'enfant comprend un mot même s'il ne le comprend que dans une seule situation) ou bien de cocher la deuxième colonne (CD) pour les mots que l'enfant comprend et qu'il utilise de manière spontanée. Si sa prononciation est différente de celle des adultes, on coche tout de même le mot.

Tableau 1.1 : Adaptation du CDI : Inventaire français du développement communicatif (IFDC)

C CD	C CD	C CD	C CD
abeille	aïe	ainsi font font...	allô
arrête/r	attends/attendre	attention	au revoir
a/avoir soif	balle	ballon	bébé
biberon/bibi	bois/boire	bonjour	bonne nuit
caillou	camion de pompier	chat	chaud/e
chaussette	chien/toutou	chut	clef
collier	couche/lange	coucou	cuillère
cuisine	danse/r	donne/r	dors/dormir/faire dodo
eau	encore	être fatigué	fais/faire un bisou
fenêtre	figure/visage	fleur	frigo
gâteau/biscuit	glace (aliment)	jour	là
lapin	lit	livre	main
maison	maman	mange/r	marche/r
merci	miam-miam	miaou	montre/r
musique	nez	prénom de l'enfant	nombril/bourrillon
non	nounours	ouaf-ouaf	oui
pain	papa	(petit) déjeuner	ped
poubelle	prends/prendre	purée	regarde/r
s'il te plaît	sucette/tutte	tante/tata/tatie	tee-shirt
téléphone	tombe/r	tortue	vite
voiture/auto			

La croissance du vocabulaire est très rapide entre 16 et 20 mois, période de l'explosion lexicale des 50 premiers mots qui s'étend sur une période de 4 à 5 mois.

Base phonologique des premiers mots

Les enfants mettent plus de deux ans à partir de leurs premiers mots pour produire l'inventaire complet des consonnes et des voyelles (Fikkert, 1998). L'acquisition est relativement lente parce que l'articulation motrice est très complexe, qui requiert la coordination fine de plusieurs dizaines de muscles pour programmer et réaliser plus d'une dizaine de cibles phonétiques par seconde. Il y aurait un « encodeur phonétique » qui prévoit deux voies pour établir un plan articulatoire, celle de l'assemblage et celle de la récupération de plans stockés pour des patterns fréquents (Levelt et coll., 1999).

Les préférences phonétiques au cours de la production des premiers mots et dans certaines langues du monde semblent indiquer l'existence de propriétés fondamentales du système de production.

Explosion lexicale

La période désignée sous le terme d'« explosion lexicale » a été rapportée par un grand nombre d'auteurs tels Mac Carthy (1954), Bloom (1973), Benedict (1979) ou plus récemment Goldfield et Reznik (1996). Elle se caractérise par un apprentissage très rapide mais également par une utilisation cohérente, catégorielle et conventionnelle des mots. Néanmoins, il existe un grand nombre de divergences entre les auteurs concernant la définition de ce phénomène d'explosion lexicale. En effet, bien que la majorité des études s'accordent sur le fait que tout enfant connaissant un développement normal passe par cette poussée lexicale (*lexical spurt*), quelques unes avancent le cas d'enfants ayant un développement plus progressif de leur répertoire lexical. C'est le cas de Nelson (1973) qui note un apprentissage plus progressif chez des enfants anglophones possédant un lexique plus varié. Il en va de même pour Goldfield et Reznik (1996) qui observent que sur 18 enfants anglophones de 14 à 24 mois, seulement 13 manifestent une explosion lexicale.

On note aussi des divergences quant au moment de l'apparition de cette explosion lexicale. Dans la plupart des cas, elle surviendrait lorsque l'enfant possède environ 50 mots différents dans son répertoire, à savoir au cours d'une période s'étendant de 16 à 19 mois (Poulin-Dubois et Graham, 1994). D'autres auteurs la situent vers 20-24 mois, juste quelques semaines avant l'émergence de la syntaxe (Dromi, 1987 ; Mervis et Bertrand, 1995). Une raison possible de ces divergences pourrait être que la variabilité interindividuelle reste importante au début de la production du lexique. Les variations de la période de l'explosion lexicale seraient aussi associées à la diversité et la complexité des langues (Bloom, 1970 ; Vihman, 1986 ; De Boysson-Bardies et Vihman, 1991 ; Vihman et De Boysson-Bardies, 1994).

La recherche des facteurs qui seraient à l'origine des variations interindividuelles dans le développement du vocabulaire donne des résultats encore très controversés. Si l'on a traditionnellement tendance à associer une précocité du vocabulaire aux filles plutôt qu'aux garçons, et aux milieux socioculturels les plus favorisés (Le Normand, 1999 et 2006), certains travaux suggèrent que les facteurs cognitifs liés au traitement du langage et particulièrement à la mémoire phonologique sont aussi déterminants (Adams et Gathercole, 1996). Les auteurs de cette étude ont testé un groupe d'enfants entre 2 et 3 ans sur trois critères de mémoire phonologique (séquence de chiffres, répétition de mots et de non-mots) et sur des épreuves faisant intervenir d'autres aptitudes cognitives. Les résultats montrent que l'aptitude à la répétition est associée à la fois à la connaissance du vocabulaire et à la maîtrise des capacités articulatoires, indiquant ainsi que les capacités de mémoire phonologique peuvent être évaluées de manière fiable chez les très jeunes enfants.

L'existence de variations interindividuelles observées dans les premières productions de mots est très liée à l'émergence des premières catégories morphosyntaxiques chez les jeunes enfants. Un tel constat a conduit les auteurs à postuler deux mécanismes d'apprentissage :

- un mécanisme analytique qui permettrait aux enfants de décomposer la parole entendue (*l'input*) en unités pertinentes pour construire des représentations adéquates ;
- un mécanisme holistique qui permettrait à l'enfant de stocker et de reproduire de larges segments (*chunks*) bien avant que ceux-ci ne soient analysés. Ce sont par exemple, des marques de remplissage comme les « *fillers* » tels que « a » ou « è » simples voyelles centrales indifférenciées devant le nom ou le verbe, très fréquentes à 20 mois (Peters et Strömquist, 1996 ; Veneziano et Sinclair, 2000 ; Demuth, 2001).

Ces premières formes paragrammaticales coexisteraient aussi souvent avec d'autres expressions verbales comme les expressions « oui-non », les onomatopées, les interjections, les formes syncrétiques prêtes à l'emploi comme « ça+y+est », « il+est+là », « c'est+beau+ça », « bonne+nuit », « bonjour », « au+revoir », autant de formes mémorisées, figées, qui sont restituées à bon escient. L'origine de ces variations individuelles reste encore méconnue mais relance le débat sur le rôle des facteurs de maturation linguistique et/ou cognitive et des facteurs spécifiques à la langue.

Assemblages de mots

À partir de 20 mois, ce qui correspond au stade moyen des 50 mots, les assemblages de mots se mettent en place très rapidement. La question ici est celle des relations formes-fonctions et particulièrement de l'organisation des mots selon leur fonction. Comment l'enfant maîtrise-t-il les contraintes sémantiques et syntaxiques qui président à l'organisation séquentielle des énoncés ? Selon Braine (1963, 1971 et 1976), tout se passerait comme si l'enfant sélectionnait, dans le langage entendu, un petit nombre de mots et s'en servait en leur attribuant une position fixe. L'enfant mettrait en application un nombre limité de formules positionnelles qui seraient directement apprises et dérivées du langage adulte selon un principe dit « de généralisation contextuelle ». Ce principe de la « grammaire pivot » stipule que l'enfant repère la position d'un mot ou d'un groupe de mots dans les énoncés de l'adulte et tend ensuite à utiliser le mot ou le groupe de mots en « formules » à la même place, c'est-à-dire dans le même contexte. L'agencement des premiers mots ne semble donc pas être laissé au hasard. Très vite l'enfant repère un petit nombre de formes verbales dans le langage de l'adulte et les utilise dans ses propres productions.

Caractéristiques des assemblages de mots : omissions des catégories syntaxiques

Ce qui caractérise la période d'assemblage de mots, c'est la fréquence très élevée de l'omission des catégories syntaxiques dans le système nominal (déterminants, préposition, adjectifs possessifs ou démonstratifs) et dans le système verbal (pronoms, auxiliaires, copules).

Parisse et Le Normand (2000a) ont étudié les assemblages de mots en constatant une bonne correspondance entre les productions de l'enfant de 24 mois et celles de l'adulte. Les résultats du tableau 1.II montrent, en effet, que les bi-catégories utilisées le plus fréquemment par les enfants sont des fragments d'énoncés d'adulte.

Tableau 1.II : Assemblages de mots définis comme étant des bi-catégories (d'après Parisse et Le Normand, 2000a)

Enfants 24 mois				Adulte	
Rang*	Nombre de bi-catégories	Bi-catégories	Exemples	Rang	Nombre de mots
1	197	pro+v être	c'+est	3	4 949
2	168	det+n	le +bébé	1	6 866
3	46	v être+adv (place)	est+ là	131	122
4	46	v être+adj	est+ petit	29	727
5	44	pro rel+pro	où+l'est	4	3 292
6	40	v avoir+adv (neg)	a+pas	39	530
7	39	prep: art+n	du+pain	8	2 340
8	39	v être+v (pp)	est+parti	30	706
9	35	pro+v	moi+veux	2	5 200
10	31	pro y+v avoir	y'+a	23	877
11	29	adv: neg+adv (place)	pas+ là	207	56
12	29	adj+n	petit bébé	16	1 224
13	25	Co act+pro	oh+moi	118	146
14	24	Co act+v (pp)	oh+parti	548	1
15	20	v être+adv (neg)	est+pas	36	627
Total	812				27 663

pro : pronom ; v : verbe ; det : déterminant ; n : nom ; adv : adverbe ; adj : adjectif ; rel : relatif ; neg : négation ; prep : préposition ; art : article ; pp : participe passé ; co act : co-actant

* Le rang est lié à la fréquence d'utilisation des bi-catégories

Ces productions ont été recueillies en situation de jeu avec un matériel audiovisuel et analysées selon le codage du *Childes* (*Child Language Data Exchange System* : Système d'échanges des données du langage chez l'enfant). Elles ont révolutionné depuis 1981 les opérations de transcription, de codage, de stockage, d'analyse automatique, et de transfert et partage des données (McWhinney, 2000 ; Parisse et Le Normand, 2000b ; Rose, 2003).

Quelle est la nature de ces omissions ?

Radford (1990) avance l'hypothèse qu'au début, la grammaire de l'enfant est limitée aux catégories lexicales, le système grammatical/fonctionnel étant

soumis à une maturation plus tardive. Wexler (1994) montre aussi qu'il existe un stade dans le développement linguistique du jeune enfant, au cours duquel celui-ci n'utilise pas forcément les marques de temps dans des phrases principales bien qu'il connaisse les propriétés de la flexion des verbes. Il rapporte également que dans d'autres langues, en français (Pierce, 1992) et en allemand (Poeppel et Wexler, 1993), mais aussi en danois, en norvégien, en suédois notamment, le jeune enfant de 2 ans utilise parfois les formes infinitives des verbes alors que des formes fléchies sont attendues. En outre, dans ces contextes grammaticaux et pour une même phrase, des infinitifs peuvent être, selon lui, présents ou absents, donc optionnels.

Ces infinitifs ont été nommés infinitifs racines (*root infinitives*) par Rizzi (1994) et infinitifs facultatifs (*optional infinitives*) par Wexler (1994). Cette période d'acquisition caractérisée par la possibilité de produire des énoncés déclaratifs à l'infinitif se retrouve aussi dans un grand nombre de langues comme l'anglais, l'allemand, le néerlandais, le suédois, le danois et le norvégien. Le phénomène est apparemment quasi inexistant dans les langues permettant l'omission libre du sujet, comme l'italien, l'espagnol et le catalan (Guasti, 1994 ; Sano et Hyams, 1994) ou le japonais (Sano, 1996). Chez les enfants francophones, il est difficile de repérer clairement cette période de l'infinitif racine et facultatif à cause de l'homophonie « é »/« er » que l'on retrouve dans ces verbes du premier groupe qui sont très fréquemment utilisés par l'enfant francophone au début de la construction de la formation des mots. De plus, les enfants francophones produisent de manière co-occurente des énoncés déclaratifs à temps conjugué en réalisant des surgénéralisations.

Caractéristiques des premières formes morphologiques :
principe de surgénéralisation (exemple du suffixe « é »
pour les verbes irréguliers)

L'enfant ayant appris, par exemple, l'emploi du suffixe « é » pour indiquer le participe passé, applique ce principe en le généralisant aux verbes des autres groupes. Il produit alors des structures comme « il a metté » pour « il a mis », « il a batté » pour « il a battu », « il a rié » pour « il a ri », « il a répondu » pour « il a répondu », « il a boivé » ou « il a buvé » pour « il a bu ». Toujours, en raison d'un principe de généralisation, il fera aussi des erreurs comme « il a rendu » pour « il a pris », « il a éteindu » pour « il a éteint », « il a courri » pour « il a couru »... Dans tous ces cas, l'enfant applique un principe à des éléments linguistiques de façon inappropriée.

Inversement, il se produit des cas où l'enfant applique un principe exceptionnel à des structures linguistiques stables. Il est donc possible de l'entendre dire : « il a envoi » pour « il a envoyé », erreur sans doute formée par analogie à des structures irrégulières comme « il a écrit » ou « il a conduit » ou encore il pourra dire « il dormra » pour « il dormira ».

La surgénéralisation peut s'étendre aussi au domaine lexical. Lorsque l'enfant crée des mots nouveaux, il a tendance à les concevoir à partir des

structures déjà existantes. Par exemple, il pourra dire « la chambre de nuit » par analogie avec « la chemise de nuit ».

Indice de maturité syntaxique : longueur moyenne de l'énoncé

D'après plusieurs auteurs (Brown, 1973 ; Miller et Chapman, 1981 ; Rondal et coll., 1985 ; Wells, 1985), la « longueur moyenne de l'énoncé » (LME) évalue la maturité et la complexité syntaxique de l'enfant. Cette échelle se présente en six phases de développement (tableau 1.III).

Tableau 1.III : Six stades de l'échelle LME (Longueur moyenne de l'énoncé)

Phases	LME (en morphèmes par énoncés)	Âge (mois)	Caractéristiques
I	1 à 2	12 à 26	Énoncés à 1 ou 2 mots
II	2 à 2,5	27 à 30	Énoncés à 2 mots et +
III	2,5 à 3	31 à 34	Phrases simples
IV	3 à 3,75	35 à 40	Phrases complexes
V	3,75 à 4,5	41 à 46	Coordination de phrases
> V+	> 4,5	> 47	Construction de récits

Selon Brown (1973), la LME est un bon indice de la maturité du langage des jeunes enfants. Sa validité chez le jeune enfant est fiable lorsqu'on obtient 50 énoncés ou plus.

L'énoncé se définit soit :

- comme une production verbale marquée à son début et à sa fin par une pause ;
- comme une production verbale marquée à son début et à sa fin par une modification de l'intonation ;
- par son caractère grammatical : des phrases complètes définies comme des productions verbales contenant au minimum un nom ou un pronom dans une relation sujet-verbe, des phrases incomplètes (pas de sujet, verbes à l'impératif...).

Des données francophones (Le Normand, 1991 et 2006) portant sur des enfants âgés de 24 à 36 mois ont décrit l'évolution de cet indice avec l'âge. Tous les auteurs s'accordent pour estimer, qu'au-delà d'une longueur moyenne de 4 mots par énoncé, ce que dit l'enfant est davantage fonction du contexte dans lequel est recueilli le langage que de sa maturité syntaxique. Il n'y a plus de corrélation entre la LME et l'âge. Il convient donc de limiter l'utilisation du LME à une période bien déterminée (24-36 mois). Ce fait a été confirmé par d'autres données, soit francophones portant sur 60 enfants âgés respectivement de 20, 30 et 39 mois (Bassano et coll., 1998 ; Bassano, 2005), soit collectées dans d'autres langues, dégagant ainsi un cer-

tain nombre de variations et de régularités. Au-delà de cet âge, d'autres catégories syntaxiques doivent être définies pour apprécier le développement syntaxique. Ce qui importe ici est le processus très rapide mis en œuvre par l'enfant pour apprendre à utiliser de manière appropriée ces catégories : le système nominal avec l'émergence des déterminants (article défini et indéfini) et des prépositions, les flexions du nom avec les marques de l'accord du genre et du pluriel, mais aussi le système verbal (auxiliaires, copules) avec l'émergence des pronoms, le développement des flexions du verbe (conjugaisons) et la subordination des énoncés.

Certaines langues comme les langues latines et le russe utilisent beaucoup de désinences. Les enfants qui se familiarisent avec de telles langues acquièrent très vite ces mots grammaticaux qui se reflètent dans les énoncés binaires avec des compléments d'objet direct et indirect. La désinence du complément d'objet direct est parmi celle que l'enfant acquiert le plus vite lorsqu'il apprend le russe, le serbo-croate, le latvien, le hongrois, le finnois et le turc.

En français, l'ordre des mots détermine le sens de la phrase. Un énoncé se compose généralement sur le modèle « sujet-verbe-complément d'objet » (SVO). Dès que l'enfant a compris l'ordre des mots, il peut attribuer un sens différent aux énoncés tels que : « le garçon pousse la fille » ; « la fille pousse le garçon ».

Construction de récits

Les recherches à propos du récit oral chez l'enfant ont conduit à distinguer, d'une part, entre une dimension que l'on peut considérer comme conceptuelle qui a trait à la représentation des séquences d'événements et une autre plus spécifiquement linguistique et, d'autre part, relativement à cette dernière, entre une dimension rhétorique concernant la structure des textes narratifs et une autre ayant trait aux aspects lexico-syntaxiques intervenant dans la mise en texte (Fayol, 1985 et 2000). L'intérêt de ces distinctions repose sur le fait que les connaissances mobilisées et leurs modalités d'acquisition ne se recouvrent pas et que leur acquisition pose des problèmes spécifiques.

Représentation mentale des séquences d'événements

La dimension conceptuelle concerne la représentation mentale des états et événements du monde réel ou fictif ainsi que les relations temporelles ou causales qu'ils entretiennent et qui font intervenir des objets, lieux et personnages. Elle correspond approximativement à ce qui est dénommé dans la littérature « modèle mental » (Johnson-Laird, 1983) ou modèle de situation

(van Dijk et Kintsch, 1983). Elle vaut aussi bien pour les récits oraux ou écrits que pour les films ou les bandes dessinées. Elle relève de la représentation du monde indépendamment de la manière dont celle-ci est (re)codée (Gernsbacher, 1990). Elle a donné lieu à plusieurs approches théoriques, dont la plus importante pour ce qui a trait au récit a été élaborée par Schank et Abelson (1977). Cette conception postule que la compréhension ou la production de récit est sous-tendue par une trame mentale où les actions s'organisent en fonction de buts poursuivis par des agents, lesquels développent ces actions pour déjouer les obstacles qui s'opposent à l'atteinte de ces buts. Ces séquences événementielles ne sont ni verbalisées, ni dessinées. Cette trame est formalisable sous forme de réseaux causaux : chaînes d'événements liés entre eux par des relations d'ordre temporel, causales ou autres. L'étude du développement de la compréhension et de la production des chaînes chronologico-causales met en évidence deux faits paradoxaux. D'une part, l'acquisition et la mise en œuvre de ces chaînes se révèlent très précoces puisqu'elles sont disponibles dès l'âge de 5 ans et même avant (Sperry et Sperry, 1996). D'autre part, l'étude de la compréhension en lecture et de la composition écrite révèle que la construction de modèles mentaux correspondant à ces chaînes évolue à nouveau entre 6 et 10 ans. Tout se passe comme si le passage à l'écrit, en raison des situations énonciatives qui le caractérisent par rapport à l'oral et des contraintes nouvelles qu'il fait peser sur les traitements, induisait une diminution ou une stagnation des capacités de mobilisation des connaissances relatives aux chaînes causales et aux inférences qu'elles supportent.

Structure textuelle des récits

La dimension rhétorique tient au fait que la mise en forme langagière du récit ne se limite pas à énoncer les personnages, lieux, objets et événements. Pour une culture donnée, il existe une ou plusieurs formes canoniques d'organisation des énoncés (et non seulement des contenus qu'ils évoquent) (Gutteriez-Clellen et coll., 1995). Les travaux des années soixante-dix ont mis en évidence l'effet de ces organisations généralement dénommées superstructures narratives. Pour Mandler et Jonhson (1977) comme pour Stein et Glenn (1979), tout récit comporte un « cadre » (*frame*) dans lequel se trouvent précisés les lieux, moments et personnages. Ce « cadre » se place en début des récits, ce qui correspond à des contraintes pragmatiques liées à l'efficacité de la communication, mais non aux nécessités du déroulement des faits (de la trame). Vient ensuite un « déclencheur », lequel introduit un obstacle qui s'oppose en général à l'atteinte du but poursuivi par le personnage principal. Cet obstacle induit une réaction émotionnelle ainsi que l'élaboration d'un « sous-but » visant à lever ou contourner l'obstacle. Il s'ensuit une ou plusieurs « tentatives », actions plus ou moins couronnées de succès, jusqu'au résultat final.

Les recherches portant sur les adultes attestent que les récits comportant tous les constituants dans l'ordre conventionnel sont mieux rappelés que ceux qui ne respectent pas ces contraintes (Yussen et coll., 1991). Cet effet a été observé chez les enfants dès l'âge de 4-5 ans et dans différentes cultures. Toutefois, les plus jeunes tendent à rappeler moins bien certaines catégories narratives que les adultes : les réactions et les buts notamment (Mandler et coll., 1980). Cette caractéristique des patrons de rappel des plus jeunes est probablement imputable au développement des chaînes causales : les enfants de 4-5 ans rencontrent des difficultés dans la prise en compte de ce qui motive les séquences d'actions. En revanche, Poulsen et coll. (1979) montrent que la « fin des histoires » se trouve privilégiée lorsqu'elle s'insère dans un récit (en images) par rapport à la condition où elle se situe dans une suite aléatoire d'images.

Les premiers récits respectent rarement l'organisation cadre-déclencheur/complication-tentative/action(s)-résolution. Il faut attendre environ 7-8 ans pour que cette superstructure devienne dominante. Notamment, le placement en début de récit des éléments du cadre se révèle relativement tardif (Fayol, 1991). Cette apparition d'un cadre formellement identifiable est contemporaine de l'utilisation normée de l'imparfait et du plus-que-parfait ainsi que d'expressions telles que « la veille », « le lendemain ». Ces formes relèvent en français des conventions narratives. Auparavant, les enfants tendent plutôt à produire un résumé de l'événement caractéristique du discours en situation qui sera ultérieurement développé, au moins lorsqu'ils élaborent un récit présentant une unité thématique. Ce passage d'un mode d'organisation précoce à dominante discursive à un autre correspondant mieux aux conventions du récit écrit pose le problème des raisons qui sous-tendent cette évolution.

Il paraît plausible que l'acquisition du schéma narratif soit liée à l'exposition à un corpus de récits écrits. Seuls, ces récits présentent les régularités d'organisation correspondantes. Varnhagen et coll. (1994) ont montré chez des enfants de première et deuxième années primaires (CP à CE1) que la lecture et l'audition répétées et prolongées de textes narratifs induisent chez ces enfants l'acquisition des régularités caractéristiques de la superstructure narrative. Cette hypothèse souligne que ceux qui ne bénéficient pas d'une telle exposition ne développeront pas ce schéma. Les données de Cain (1996) confirment que les enfants qui ont une compréhension faible sont aussi ceux dont les productions narratives s'écartent le plus de la superstructure du récit et qu'ils ont été moins que les autres en contact avec des récits écrits, que ceux-ci leur aient été lus ou qu'ils les aient lus eux-mêmes. La simple exposition passive aux textes narratifs ne suffit d'ailleurs pas à entraîner l'extraction des régularités. Fitzgerald et Spiegel (1983) ont conçu un programme d'entraînement à la découverte et à l'utilisation de la superstructure narrative en production. Les enfants ainsi instruits ont manifesté une amélioration significative de performances en production, mais aussi en compré-

hension, confirmant ainsi l'existence des corrélations observées par Cain (1996).

En résumé, le schéma narratif facilite l'intégration des informations en compréhension et la complétude et le respect du caractère conventionnel des récits en production. Son intervention ne se confond pas avec celle des relations chronologico-causales. Il constitue une organisation rhétorique conventionnelle qui ne peut s'acquérir que par exposition à un corpus de textes présentant les régularités correspondantes. Son acquisition est très précoce et dépend fortement du contact avec les récits écrits. Toutefois, un apprentissage explicite par instruction s'avère efficace, même à un âge relativement élevé.

Dimension linguistique dans la construction du récit : mise en texte

La dimension linguistique concerne tous les phénomènes liés à la mise en texte. Elle a surtout été analysée relativement au développement du récit.

Tout récit met en scène un ou plusieurs personnage(s) qui doit(e) être introduit(s) dans la narration puis ré-évoqué(s) au fur et à mesure des besoins. Les langues disposent de marques spécifiques pour assurer ces différentes fonctions. Par exemple, les personnages ou objets nouveaux apparaissent d'abord précédés d'un article indéfini (« un homme entra »). Les mentions ultérieures utilisent des déterminants définis : articles (« l'homme »), pronoms (« il »), adjectifs démonstratifs (« cet homme »). Globalement, l'emploi, très stéréotypé, de ces marques ne soulève plus de problème chez l'adulte. Il fait toutefois appel à des régularités subtiles qui donnent parfois lieu à des erreurs (Reichler-Béguelin, 1994), notamment lorsque plusieurs personnages sont concernés et que leurs « poids » respectifs dans les actions successives varient (Fayol, 1997a).

Une autre dimension linguistique a trait au marquage de la continuité et de la discontinuité événementielles. Les récits décrivent des événements successifs dont les liaisons peuvent être de force et de nature diverses, par exemple, du simple déroulement parallèle de deux activités (« l'homme marchait/une automobile passait ») à une relation causale étroite (« le coup partit/l'homme tomba »). Des marques indiquent les degrés et natures des liaisons : connecteurs (et, mais, alors...) (Bestgen et Costermans, 1997 ; Fayol et Mouchon, 1997), signes de ponctuation (Fayol, 1997b ; Heurley, 1997), formes verbales permettant de distinguer entre des actions de premier plan et des faits ou états relevant du second plan (« l'homme marchait/un bruit attira son attention ») (Hickmann, 1997).

La chronologie de l'acquisition sur les aspects morphologiques et syntaxiques du récit chez l'enfant suggère que le statut morphologique des catégories syntaxiques et leur construction se maîtrisent progressivement.

Statut morphologique de l'article

La chronologie approximative de l'acquisition de l'article dans le système du nom chez l'enfant se réalise en moyenne dans le sens de la maîtrise de l'accord (masculin et féminin) et du nombre (singulier et pluriel) sur les articles indéfinis vers 3 ans avant de porter sur celui des articles définis vers 3 ans et demi.

Peu d'études ont analysé systématiquement le « statut » morphologique des articles définis dans le langage enfantin. Celles qui existent soulignent qu'au début, l'unité [dét+nom] semble difficilement décomposable. Selon certains auteurs, l'article a le statut d'un préfixe, pour d'autres, il s'agit d'une partie non segmentée de la représentation phonologique du nom dépourvue de statut morphologique indépendant (Sourdou, 1977 ; Peters, 1983 ; Carroll, 1989). C'est seulement dans un deuxième temps que les articles sont (ré)analysés en tant que morphèmes indépendants. De même, Heinen et Kadow (1990) mentionnent que les enfants commencent avec l'article défini et qu'on le trouve même pendant cette période dans des contextes où l'on s'attend à un article indéfini. Clark et coll. (1985) puis Clark (1998) affirment que les enfants francophones ont tendance jusqu'à l'âge de 6 ans à sur-employer l'article défini, comme si les référents de l'unité [dét+nom] étaient connus des auditeurs alors qu'ils ne le sont pas. La relation entre la connaissance mutuelle et l'emploi des articles n'est pas facile à maîtriser. Une perspective similaire est défendue par Karmiloff-Smith (1979) pour qui l'article défini est d'abord utilisé dans une fonction déictique c'est-à-dire en situation « *hic and nunc* ». C'est dans un deuxième temps que l'enfant prend en considération la situation extralinguistique.

Du point de vue des phonologues, l'article est considéré comme un élément inaccentué qui dépend de l'élément lexical qui suit (l'adjectif/le nom). L'article n'a pas d'accent individuel (Selkirk, 1984). En français, cette dépendance de l'article est explicite, dans le contexte d'un mot lexical qui commence par une voyelle ou un « h » dit « muet ». Le français connaît un allomorphe élidé de l'article défini dans ce contexte :

- « l'orange » peut devenir « la norange » ou « la orange » ;
- « l'histoire » peut devenir « la histoire ».

Lorsque l'article défini masculin est sélectionné par les prépositions « à », ou « de », deux autres allomorphes apparaissent comme le résultat de la contraction de l'article défini et la préposition. Étant donné que seuls les éléments ayant le statut de têtes syntaxiques peuvent s'amalgamer, il est attendu que cette opération ne s'étende pas aux démonstratifs qui sont des catégories maximales :

- « à » + « le » devient « au » ;
- « de » + « le » devient « du ».

La capacité qu'a l'article défini de s'élider et de se contracter avec les prépositions (« à » et « de ») relève d'une propriété plus générale d'éléments nommés « clitiques ».

Statut morphologique du pronom

La chronologie approximative généralement admise dans la plupart des études sur les pronoms est la suivante : « moi » au cours des premiers mots à partir de 18 mois, « je », « tu », « il », « elle »... à partir de 30 mois (Pierce, 1992 ; Kaiser, 1994 ; Meisel, 1995 ; Ferdinand, 1996 ; Jakubowicz et Faussart, 1998 ; Granfeldt et Schlyter, 2001 et 2003). Entre 3 ans et 3 ans et demi, apparaissent les acquisitions des pronoms objets comme « le » et « la » (Hamann et coll., 1996 ; Jakubowicz et Faussart, 1998 ; Granfeldt et Schlyter, 2003), et des pronoms réfléchis comme « se » (Barrière et coll., 2000).

D'autres études ont montré que la restructuration prosodique (comme l'éliision, l'amalgame, et le phénomène de liaison) sont des processus transitoires fréquents entre 2 et 4 ans qui apparaissent fréquemment dans les pronoms peu accentués (Chevrot et Fayol, 2001 ; Wauquier-Graveline, 2004 ; Chevrot et coll., 2005).

Karmiloff-Smith (1986) définit trois étapes qui président à l'utilisation adéquate des pronoms dans le récit. Entre 3 et 5 ans, les enfants ne mettent pas encore en relation le pronom et le nom auquel il réfère. Entre 5 et 8 ans, les enfants utilisent les pronoms en référence au sujet principal de l'histoire à raconter. Enfin, ce n'est qu'entre 8 et 12 ans que les enfants maîtrisent la stratégie dite « anaphorique » complète consistant à utiliser les pronoms pour tous les personnages de l'histoire racontée. Le traitement des anaphores reste longtemps problématique.

Flexions verbales

La fonction temporelle spécifique des flexions verbales n'est pas encore établie après 6 ans. De 3 à 6 ans, elles ne servent qu'à exprimer les caractéristiques de l'action. À cet âge, l'enfant utilise plus fréquemment les adverbes et les conjonctions de temps que les flexions verbales pour exprimer les relations temporelles entre les événements.

Connecteurs entre les propositions

Les études sur la construction du récit des enfants montrent que les connecteurs entre les propositions ne sont pas acquis avant 10-11 ans (pour une revue, voir Fayol, 1983 et 1997a ; Jisa, 1985 ; de Weck, 1991 ; Jisa et Kern, 1998 ; Hickman, 2000).

Entre 3 et 4 ans, les enfants n'utilisent pas encore de manière conventionnelle les connecteurs du langage qui relient les propositions. Ils emploient beaucoup de déictiques temporels comme « ici », « là », « maintenant » ou de simples coordinateurs comme « et », « mais ». Au cours de cette période, il s'agit de marquer l'ajout d'un événement plutôt qu'une relation particulière entre les différents événements. Cette stratégie souligne deux aspects de la production des enfants : d'une part, ils ont des difficultés à construire un récit décontextualisé et d'autre part, ils réalisent plus une sorte d'énuméra-

tion des différents états de choses qu'une entité textuelle cohérente. Les contraintes communicationnelles sont encore peu respectées.

À 5 ans, les enfants commencent à établir des liens plus clairs et plus variés entre les événements qui se déroulent dans un récit. Ce sont surtout des relations de la simultanéité (conjonction de coordination : « et » ; conjonction de coordination et adverbe de temps : « et puis » ; conjonction de subordination et de séquentialité : « quand » ; adverbes temporels : « après », « puis »). La coordination domine la subordination. Elle est représentée principalement par des locutions adverbiales et des propositions relatives. Pour les enfants de 5 ans, l'auditeur a encore besoin de fournir des efforts d'interprétation des formes.

À 7 ans, ils utilisent surtout des coordonneurs temporels exprimant la séquentialité. Le regroupement en blocs informationnels est introduit par quelques expressions temporelles au début de l'histoire. La simultanéité est exprimée par des subordinées temporelles qui restent néanmoins très rares. Rare est également la hiérarchisation des événements, qui sont en règle générale introduits les uns après les autres. Dans le domaine des connecteurs, les enfants de 7 ans respectent les principes de décontextualisation, mais leur compétence narrative n'est pas encore maîtrisée. En effet, certains connecteurs sont utilisés pour la constitution d'une cohérence à un niveau supérieur, celui de l'épisode narratif.

Les connecteurs les plus utilisés chez les enfants de 10-11 ans sont des connecteurs temporels encodant la relation de simultanéité et de séquentialité. Toutefois, les enfants de 10-11 ans disposent aussi d'autres outils pour exprimer ces relations, comme les subordinateurs temporels. Bien que les enfants de 10-11 ans utilisent encore la coordination à la place de la subordination, cette dernière prend une place non négligeable dans leurs productions, signe d'une certaine mise en relief d'événements particuliers, voire d'épisodes narratifs. Les enfants de 10-11 ans, bien que ne possédant pas encore une compétence narrative similaire à celle des adultes, respectent les contraintes qui vont de pair avec la constitution d'une narration en français. Les connecteurs qu'ils utilisent permettent de produire des histoires cohérentes à tous les niveaux d'analyse. Ils ont à leur disposition un éventail varié de formes dont ils maîtrisent les différentes fonctions.

En conclusion, l'ensemble de ces données sur la chronologie des acquisitions de la parole du langage et de la construction du récit devrait permettre aux praticiens (pédagogues et cliniciens) de définir des objectifs mais aussi de repérer les asynchronies de développement. L'évaluation précoce des capacités de segmentation, de l'émergence du babillage, de l'apparition des premiers mots et de la mise en texte à partir des récits dans sa dimension conceptuelle et linguistique se justifie en raison de la valeur prédictive que ces capacités présentent par rapport à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture.

BIBLIOGRAPHIE

- ADAMS AM, GATHERCOLE SE. Phonological working memory and spoken language development in young children. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1996, **49A** : 216-233
- BARRIÈRE I, LORCH M, LE NORMAND MT. La cliticisation en SE dans le langage de l'enfant : surgénéralisation des affixations et des omissions. In : La cliticisation. MULLER C (ed). Centre National de la Recherche Scientifique, Bordeaux, 2000
- BASSANO D, MAILLOCHON I, EME E. Developmental changes and variability in the early lexicon: a study of French children's naturalistic productions. *J Child Lang* 1998, **25** : 493-531
- BASSANO D. A naturalistic study of early lexical development: general processes and inter-individual variations in french children. *First Language* 2005, **25** : 67-101
- BENEDICT H. Early lexical development: Comprehension and production. *J Child Lang* 1979, **6** : 183-200
- BERTONCINI J, NAZZI T. Développement précoce de la perception de la parole. In : Développement psychologique du nourrisson. LÉCUYER R (ed). Editions Dunod, Paris, 2004 : 387-424
- BESTGEN Y, COSTERMANS J. Temporal markers of narrative structure: Studies in production. In : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997
- BLOOM L. Language Development: Form and function in emerging grammars. MIT Press, Cambridge, MA, 1970
- BLOOM L. One word at a time: The use of single word utterances before syntax. Mouton, The Hague, The Netherlands, 1973
- BOVET F, DANJOU G, LANGUE J, MORELLO M, TOCKERT E, KERN S. Les inventaires français du développement communicatif (IFDC) du nourrisson. *Médecine et Enfance* 2005a, **25** : 327-332
- BOVET F, DANJOU G, LANGUE J, MORELLO M, TOCKERT E, KERN S. Un nouvel outil d'évaluation du développement communicatif du nourrisson. *Médecine et Enfance* 2005b, **25** : 67-74
- BRAINE MDS. The ontogeny of English phrase structure: The first phase. *Language* 1963, **39** : 3-13
- BRAINE MDS. On two types of models of the internalization of grammar. In : The ontogenesis of grammar. SLOBIN DI (ed). Academic Press, New York, 1971
- BRAINE MDS. Children's first word combinations. With Commentary by Melissa Bowerman. 41 in Monographs of the Society for Research in Child Development, University of Chicago Press, Chicago, 1976
- BROWN R. A first language : the early stages. George Allen and Uwin, London, 1973
- CAIN K. Story knowledge and comprehension skill. In : Reading comprehension difficulties. CORNOLDI C, OAKHILL J (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1996 : 167-192

CARROLL S. Language acquisition studies and a feasible theory of grammar. *The Canadian Journal of Linguistics* 1989, **34** : 399-418

CHEVROT JP, FAYOL M. Acquisition of French liaison and related child errors. In : Research on Child Language Acquisition. ALMGREN M, BARREÑA A, EZEIZABARRENA MJ, IDIAZABAL I, MACWHINNEY B (eds). Vol. 2, Cascadilla Press, 2001 : 760-774

CHEVROT JP, DUGUA C, FAYOL M. Liaison et formation des mots en français : un scénario développemental. *Langages* 2005, **158** : 38-52

CLARK EV. Some aspects of the conceptual basis for first language acquisition. In : Language perspectives: acquisition, retardation and intervention. University Park Press, Baltimore, MD, 1974

CLARK EV. Lexical creativity in French-speaking children. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition* 1998, **17** : 513-530

CLARK EV, GELMAN SA, LANE NM. Compound nouns and category structure in young children. *Child Development* 1985, **56** : 84-94

DE BOYSSON-BARDIES B. Comment la parole vient aux enfants ? Éditions Odile Jacob, Paris, 2004

DE BOYSSON-BARDIES B, VIHMAN MM. Adaptation to language : Evidence from babbling and first words in four language. *Language* 1991, **67** : 297-319

DE BOYSSON-BARDIES B, SAGART L, DURAND C. Discernible differences in the babbling of infants. according to target language. *Journal of Child Language* 1984, **11** : 1-15

DE BOYSSON-BARDIES B, HALLE P, SAGART L, DURAND C. A crosslinguistic investigation of vowel formants in babbling. *Journal of Child Language* 1989, **16** : 1-17

DE WECK G. La cohésion dans les narrations d'enfants. Étude du développement des processus anaphoriques. Delachaux-Niestlé, Neuchâtel, 1991

DEMUTH K. A prosodic approach to filler syllables. *J Child Lang* 2001, **28** : 246-249

DROMI E. Early lexical development. Cambridge University Press, New York, 1987

EIMAS PD, SIQUELAND ER, JUSCZYK PW, VIGORITO J. Speech perception in infants. *Science* 1971, **171** : 303-306

FAYOL M. L'acquisition du récit : un bilan des recherches. *Revue Française de Pédagogie* 1983, **62** : 65-82

FAYOL M. Le récit et sa construction. Delachaux et Niestlé, Neuchâtel, Paris, 1985

FAYOL M. Stories: A psycholinguistic and ontogenetic approach to the acquisition of narrative abilities. In : From basic language to discourse basis. PIERAUT LE BONNIEC G, DOLITSKY M (eds). Amsterdam, Benjamin, 1991

FAYOL M. Des idées au texte, psychologie cognitive de la production verbale. Presses Universitaires de France, Paris, 1997a : 145-177

FAYOL M. On acquiring and using punctuation: A study in written French. In : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997b : 157-178

FAYOL M. Comprendre et produire des textes écrits. L'exemple du récit. In : L'acquisition du langage. KAIL M, FAYOL M (eds). Vol. 2, Paris, Presses Universitaires de France, 2000

FAYOL M, MOUCHON S. Production and comprehension of connectives in the written modality. A study of written french. In : Writing development: An interdisciplinary view. PONTECORVO C (ed). John Benjamins, Amsterdam, 1997 : 193-204

FERDINAND A. The development of functional categories. The acquisition of the subject in French. Holland Academic Graphics, The Hague, 1996

FIKKERT P. The acquisition of Dutch phonology'. In : The acquisition of Dutch. GILLIS S, DE HOUWER A (eds). Benjamins, Amsterdam, 1998 : 163-222

FITZGERALD J, SPIEGEL DL. Enhancing children's reading comprehension through instruction in narrative structure. *Journal of Reading Behavior* 1983, 15 : 1-17

GERNSBACHER MA. Language comprehension as structure building. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1990

GOLDFIELD BA, REZNICK JS. Why does vocabulary spurt? In : Proceedings of the 20th annual Boston University Conference on Language Development. STRINGFELLOW A, CAHAMA-AMITAY D, HUGHES E, ZUKOWSKI A (eds). Vol 1, Cascadilla Press, Somerville, MA, 1996 : 249-260

GOUT A, CHRISTOPHE A, MORGAN J. Phonological phrase boundaries constrain lexical access: II. Infant data. *Journal of Memory and Language* 2004, 51 : 548-567

GRANFELDT J, SCHLYTER S. Acquisition of French subject pronouns in child and adult learners. In : Proceedings from the colloquium on Structure, Acquisition and Change of Grammars: Phonological and Syntactic Aspects [Working papers in Multilingualism, 26]. CANTONE KF, HINZELIN MO (eds). Universität Hamburg, 2001 : 89-105

GRANFELDT J, SCHLYTER S. Cliticisation in the acquisition of French as L1 and L2. In : The acquisition of French: Focus on functional categories. PRÉVOST P, PARADIS J (eds). John Benjamins, Amsterdam /Philadelphia, 2003 : 442-493

GUASTI MT. Verb syntax in Italian child grammar: Finite and nonfinite verbs. *Language Acquisition: A Journal of Developmental Linguistics* 1994, 3 : 1-40

GUTIERREZ-CLELLEN VF, PENA E, QUINN R. Accommodating cultural differences in narrative style: A multicultural perspective. *Topics on Language Disorders* 1995, 15 : 54-67

HAMANN C, RIZZI L, FRAUENFELDER U. On the acquisition of subject and object clitics of French. In : Generative perspectives on language acquisition. CLAHSSEN H (ed). John Benjamins, Amsterdam/Philadelphia, 1996 : 309-334

HEINEN S, KADOW H. The acquisition of French by monolingual children : A review of the literature. In : Two first languages: Early grammatical development in bilingual children. MEISEL JM (ed). Dordrecht, Foris, 1990 : 47-72

HEURLEY L. Processing units in written texts: Paragraphs or information blocks? In : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997 : 179-200

HICKMANN M. Information status and grounding in children's narratives: A cross-linguistic perspective. In : Processing interclausal relationships. COSTERMANS J, FAYOL M (eds). Erlbaum, Mahwah, NJ, 1997 : 221-243

HICKMANN M. Le développement de l'organisation discursive. In : Acquisition du langage. Le langage en développement. Volume 2. KAIL M, FAYOL M (eds). Collection Psychologie et Sciences de la pensée. PUF, Paris, 2000 : 83-115

JAKOBSON R, FANT CGM, HALLE M. Preliminaries to speech analysis: The distinctive features and their correlates. MIT Press, Cambridge, MA, 1969

JAKUBOWICZ C, FAUSSART C. Gender agreement in the processing of spoken language. *Journal of Psycholinguistic Research* 1998, **27** : 587-617

JISA H. French preschoolers' use of 'et pis' ('and then'). *First Language* 1985, **5** : 169-184

JISA H, KERN S. Relative clauses in French children's narrative text. *Journal of Child Language* 1998, **25** : 623-652

JOHNSON-LAIRD PN. Mental models. Cambridge University Press, Cambridge, MA, 1983

JUSCZYK PW. Developing phonological categories from the speech signal. In : Phonological development: models, research, implications. FERGUSON CA, MENN L, STOEL-GAMMON C (eds). Timonium, Maryland, York Press, Monkton, MD, 1992

JUSCZYK PW. The discovery of spoken language. MIT Press, Cambridge, 1997

KAISER G. More about INFL-lection and Agreement: The acquisition of clitic pronouns in French. In : Bilingual first language acquisition: French and German grammatical development. MEISEL JM (ed). John Benjamins, Amsterdam, 1994 : 131-159

KARMILOFF-SMITH A. A functional approach to child language: A study of determiners and reference. Cambridge University Press, New York, 1979

KARMILOFF-SMITH A. Language development after five. In : Language acquisition. FLETCHER P, GARMAN M (eds). Cambridge University Press, New York, 1986

KENT RD, BAUER HR. Vocalizations of one-year olds. *J Child Lang* 1985, **12** : 491-526

KERN S. Le compte rendu parental au service de l'évaluation de la production lexicale des enfants français entre 16 et 30 mois. *Glossa* 2003, **85** : 48-62

KUHL PK. Speech prototypes: Studies on the nature, functions, ontogeny and phylogeny of the «centers of speech categories». In : Speech perception, production and linguistic structure. TOHKURA Y, VATIKIOTIS-BATESON E, SAGISAKA Y (eds). Ohmsha, Tokyo, 1992 : 239-264

KUHL PK. Early language acquisition: cracking the speech code. *Nature Reviews Neuroscience* 2004, **5** : 831-843

LE NORMAND MT. La démarche de l'évaluation psycholinguistique chez l'enfant de moins de trois ans. *Glossa* 1991, **26** : 14-21

LE NORMAND MT. Modèles psycholinguistiques du développement du langage. In : Le langage de l'enfant, aspects normaux et pathologiques. CHEVRIE-MÜLLER C, NARBONA J (eds). Masson, Paris, 1999 : 27-42

- LE NORMAND MT. Premiers mots et émergence des catégories syntaxiques chez l'enfant. In : Neurophysiologie du langage. GOUSSE M (ed). Elsevier, SAS, Paris, 2006 : 31-46
- LEVELT WJM, ROELOFO A, MEYER A. A theory of lexical access in speech production. *Behavioral and Brain Science* 1999, **22** : 1-75
- LOCKE J. Phonological Acquisition and Change. Academic Press, New York, 1983
- MACNEILAGE PF, DAVIS BL. Motor explanations of babbling and early speech patterns. In : Developmental Neurocognition: Speech and Face Processing in the First Year of Life. DE BOYSSON-BARDIES B, DE SCHONEN S, JUSCZYK P, MACNEILAGE P, MORTON J (eds). Kluwer, Dordrecht, 1993
- MACNEILAGE P, DAVIS BL. On the origin of internal structure of word forms. *Science* 2000, **288** : 527-531
- MACWHINNEY B. The CHILDES project: Tools for analyzing talk. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 2000
- MANDLER J, JONHSON NS. Remembrance of things parsed: Story structure and recall. *Cognitive Psychology* 1977, **9** : 111-151
- MANDLER J, SCRIBNER S, COLE M, DE FOREST M. Cross-cultural invariance in story recall. *Child Development* 1980, **51** : 19-26
- MCCARTHY DA. Language development in children. In : Manual of child psychology. CARMICHAEL L (ed). 2nd ed. John Wiley & Sons, New York, 1954 : 492-630
- MEHLER J, JUSCZYK PW, LAMBERTZ C, HALSTED N, BERTONCINI J, AMIEL-TISON C. A precursor of language acquisition in young infants. *Cognition* 1988, **29** : 143-178
- MEISEL JM. Parameters in acquisition. In : The Handbook of Child Language. FLETCHER P, MACWHINNEY B (eds). Basil Blackwell, Oxford, UK, 1995
- MERVIS CB, BERTRAND J. Early lexical acquisition and the vocabulary spurt: A response to Goldfield & Reznick. *J Child Lang* 1995, **22** : 461-468
- MILLER JF, CHAPMAN RS. The relation between age and mean length of utterances in morphemes. *Journal of speech and hearing research* 1981, **24** : 154-161
- MORGAN JL. From Simple Input to Complex Grammar. MIT Press, 1986
- MORGAN J, DEMUTH K. Signal to Syntax: Bootstrapping from Speech to Grammar. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ, 1996
- NAZZI T, BERTONCINI J, MEHLER J. Language discrimination by newborns: toward an understanding of the role of rhythm. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 1998, **24** : 756-766
- NAZZI T, JUSCZYK PW, JOHNSON EK. Language discrimination by English-learning 5-month-olds: Effects of rhythm and familiarity. *Journal of Memory and Language* 2000, **43** : 1-19
- NAZZI T, DILLEY LC, JUSCZYK AM, SHATTUCK-HUNAGEL S, JUSCZYK PW. English learning infants' segmentation of verbs from fluent speech. *Language and Speech*, 2005, **48** : 279-298

NELSON K. Structure and strategy in learning to talk. N° 149, in Monographs of the Society for Research in Child Development, University of Chicago press, Chicago, 1973

OLLER DK, EILERS RE. Similarity of babbling in Spanish- and English-learning babies. *Journal of Child Language* 1982, **9** : 565-577

OLLER KD, EILERS RE, NEAL AR, SCHWARTZ HK. Precursors to speech in infancy: the prediction of speech and language disorders. *Journal of Communication Disorder* 1999, **32** : 223-245

PARISSE C, LE NORMAND MT. How do children build their morphosyntax: The case of French. *J Child Lang* 2000a, **27** : 267-292

PARISSE C, LE NORMAND MT. Automatic disambiguation of morphosyntax in spoken language corpora. *Behav Res Methods Instrum Comput* 2000b, **32** : 468-481

PETERS AM. The units of language acquisition. Cambridge University Press, New York, NY, 1983

PETERS AM, STRÖMQUIST S. The role of prosody in the acquisition of grammatical morphemes. In : From signal to syntax. MORGAN J, DEMUTH K (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1996 : 215-232

PIERCE AE. Language acquisition and syntactic theory: A comparative analysis of French and English child grammars. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 1992

POEPPEL D, WEXLER K. The full competence hypothesis of clause structure in early German. *Language: Journal of the Linguistic Society of America* 1993, **69** : 1-33

POLKA L, WERKER J. Developmental changes in perception of nonnative vowel contrasts. *Journal of Experimental Psychology: human perception and performance* 1994, **20** : 421-435

POULIN-DUBOIS D, GRAHAM SA. Infant categorization and early object word meaning. In : Early childhood development in the French tradition: Contributions from current research. VYT A, BLOCH H, BORNSTEIN MH (eds). Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ, 1994

POULSEN D, KINTSH EH, KINTSH W, PREMAK D. Children's comprehension and memories for stories. *Journal of Experimental Child Psychology* 1979, **28** : 379-403

RADFORD A. Syntactic theory and the acquisition of English syntax: The nature of early child grammars of English. Basil Blackwell, Oxford, UK, 1990

RAMUS F, HAUSER MD, MILLER C, MORRIS D, MEHLER J. Language discrimination by human newborns and by cotton-top tamarin monkeys. *Science* 2000a, **288** : 349-351

RAMUS F, NESPOR M, MEHLER J. Correlates of linguistic rhythm in the speech signal. *Cognition* 2000b, **75** : AD3-AD30

REICHLER-BEGUELIN MJ. L'encodage du texte écrit. In : Proceedings of the workshop on understanding early literacy in a developmental and cross-linguistic approach, vol. 2, European Science foundation, 1994

- RIZZI L. Some notes on linguistic theory and language development: The case of root infinitives. *Language Acquisition: A Journal of Developmental Linguistics* 1994, 3 : 371-393
- RONDAL JA, BACHELET JF, PÉRÉE F. Analyse du langage et des interactions verbales adulte-enfant. *Bulletin d'Audiophonologie* 1985, 5 : 507-536
- ROSE Y. ChildPhon: A database solution for the study of child phonology. In: Proceedings of the 28th annual Boston University Conference on Language Development. BRUGOS A, MICCIULLA L, SMITH SO, MERVILLE CE (eds). MA, Cascadilla Press, October 31-November 2, 2003
- SAFFRAN JR, ASLIN RN, NEWPORT EL. Statistical learning by 8 month olds infants. *Science* 1996, 274 : 1926-1928
- SANO T. Roots in language acquisition: A comparative study of Japanese and European languages. Thesis, University of California, Los Angeles, 1996
- SANO T, HYAMS N. Agreement, finiteness, and the development of null arguments. *Proceedings of NELS* 1994, 24 : 543-558
- SCHANK RC, ABELSON R. Scripts, plans, goals, and understanding. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1977
- SELKIRK E. Phonology and Syntax: The Relation between Sound and Structure. Cambridge, MA, MIT Press, 1984
- SOURDOT M. Identification et différenciation des unités : Les modalités nominales. In : La syntaxe de l'enfant avant 5 ans. FRANÇOIS F, FRANÇOIS D, SABEAU-JOUANNET E, SOURDOT M (eds). Librairie Larousse, Paris, 1977 : 90-120
- SPERRY LL, SPERRY DE. Early development of narrative skills. *Cognitive Development* 1996, 11 : 443-465
- STEIN NL, GLENN CG. An analysis of story comprehension in elementary school children. In : New directions in discourse processing. FREEDLE RO (ed). Ablex, Norwood, NJ, 1979
- STOEL-GAMMON C. Phonetic inventories, 15-24 months: A longitudinal study. *Journal of Speech and Hearing Research* 1985, 28 : 505-512
- VAN DIJK TA, KINTSCH W. Strategies of discourse comprehension. Academic Press, New York, 1983
- VARNHAGEN CK, MORRISON FJ, EVERALL R. Aging and schooling effects in story recall and story production. *Developmental Psychology* 1994, 30 : 969-979
- VENEZIANO E, SINCLAIR H. The changing status of "filler syllables" on the way to grammatical morphemes. *J Child Lang* 2000, 17 : 1-40
- VIHMAN MM. More on language differentiation. *J Child Lang* 1986, 13 : 595-597
- VIHMAN MM. Early syllables and the construction of phonology. In : Phonological development: Models, research, implications. FERGUSON CA, MENN L, STOEL-GAMMON C (eds). York Press, Monkton, MD, 1992
- VIHMAN MM, DE BOYSSON-BARDIES B. The nature and origin of ambient language influence on infant vocal production and early words. *Phonetica* 1994, 51 : 159-169

WAUQUIER-GRAVELINES S. Les liaisons dangereuses : phonologie et psycholinguistique : une interface complexe. In : Psycholinguistique Cognitive : essai en l'honneur de J Segui. FERRAND L, GRAINGER J (eds). De Boeck, Paris, 2004 : 91-107

WELLS G. Language development in the preschool years. Cambridge University Press, New York, 1985

WERKER JF, TEES RC. Cross-language speech perception: Evidence for perceptual reorganization during the first year of life. *Infant Behavior and Development* 1984, **7** : 49-63

WERKER JF, LALONDE CE. Cross language speech perception: Initial capabilities and developmental change. *Developmental Psychology* 1988, **24** : 672-683

WEXLER K. Finiteness and head movement in early child grammars. Cambridge University press, Cambridge, UK, 1994

YUSSEN SR, STRIGHT AD, GLYSCH RL, BONK CE, LU I, AL-SABATY I. Learning and forgetting of narratives following good and poor text organization. *Contemporary Educational Psychology* 1991, **16** : 346-374

2

Apprentissage de la lecture

La compréhension d'un texte écrit dépend à la fois du niveau de compréhension orale de celui qui lit et de sa maîtrise de mécanismes spécifiques à la lecture. L'exemple de la lecture d'une partition de musique peut permettre de cerner ce que sont ces mécanismes. En effet, l'incapacité de lire un document de ce type n'est en général pas attribuée à des difficultés de compréhension de la musique, ni à des troubles visuels. Ce qui est supposé faire défaut dans ce cas, ce sont les 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. Ce sont en effet ces mécanismes qui sont spécifiques à la lecture, le processus de compréhension étant largement amodal, c'est-à-dire similaire quel que soit le mode de présentation – écrit ou oral – comme le suggèrent des travaux qui ont montré que, chez le lecteur qui a développé des procédures d'identification des mots écrits efficaces, les corrélations entre compréhension écrite et orale sont très élevées (Gernsbacher et coll., 1990 ; Lecocq, 1996). Dans ce chapitre, les recherches sur les mécanismes à l'œuvre chez le lecteur adulte qui sait lire (le lecteur dit « expert ») vont être examinées dans un premier temps. Sans cet éclairage, il n'est pas possible de comprendre l'apprentissage normal de la lecture et les difficultés de cet apprentissage. La deuxième partie du chapitre porte sur l'acquisition normale de la lecture⁴.

Synthèse des travaux sur le lecteur expert

Si la compréhension d'un texte s'effectue sans effort cognitif apparent chez le lecteur expert, c'est parce qu'elle s'appuie sur des mécanismes très rapides, et largement indépendants du contexte, qui lui permettent d'identifier en moyenne cinq mots écrits par seconde. C'est ce que suggèrent les travaux présentés dans les deux premières parties de cette section, la troisième étant cen-

4. De nombreuses parties de ce chapitre sont issues de l'ouvrage publié par Sprenger-Charolles et Colé (2003).

trée sur la nature des informations auxquelles ce lecteur a accès dans cette étape très précoce de la lecture : informations visuelles, phonologiques et sémantiques.

Contexte et identification des mots écrits

Contrairement à une idée répandue, le lecteur expert fixe pratiquement tous les mots d'un texte, et non un sur cinq en devinant les autres (Rayner, 1998). De plus, c'est l'efficacité des procédures d'identification des mots écrits largement indépendantes du contexte qui différencie ce lecteur du débutant, ou de celui qui a des difficultés de lecture, comme l'ont montré les études princeps de West et Stanovich (1978) et de Perfetti et coll. (1979).

Dans l'étude de West et Stanovich (1978), des enfants et des adultes devaient lire le plus vite possible un mot cible dans deux principales conditions : à la fin d'une phrase congruente (« le chien court derrière le chat ») ou non congruente (« la fille s'assied sur le chat »). Les temps sont plus longs dans la seconde condition pour les enfants mais pas pour les adultes. Toutefois, la présence d'un contexte congruent réduit le temps de lecture dans tous les groupes, cet effet étant néanmoins significativement plus faible chez les adultes. L'étude de Perfetti et coll. (1979) signale en plus, qu'à niveau scolaire équivalent (5^e année du primaire), ce sont les mauvais lecteurs qui profitent le plus du contexte. Le temps de lecture d'un mot est en effet plus long chez eux quand il est présenté seul que lorsqu'il est inséré dans le contexte d'une histoire, comme le montre la figure 2.1. Un plus fort effet du contexte a aussi été relevé chez des étudiants diagnostiqués dyslexiques durant leur enfance dans une comparaison impliquant des enfants de même niveau de lecture (Bruck, 1990).

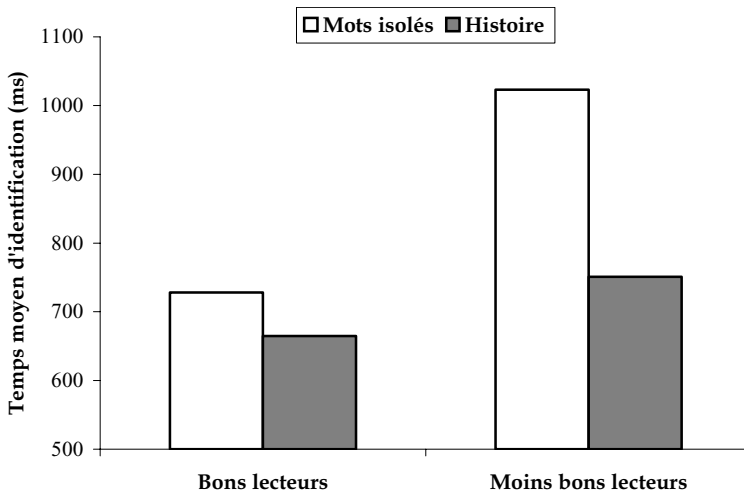


Figure 2.1 : Temps d'identification de mots présentés en isolat ou dans le contexte d'une histoire chez des enfants de 5^e année du primaire en fonction du niveau de lecture (Perfetti et coll., 1979)

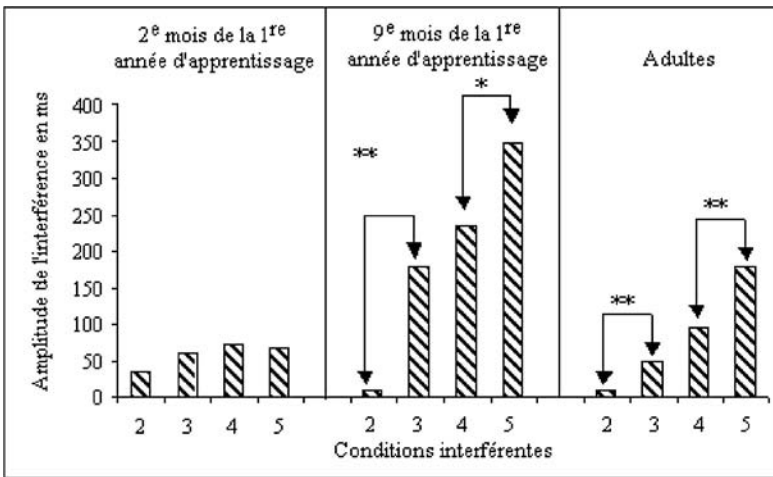
Le rôle du contexte dans l'identification des mots écrits décroît donc avec l'âge et le niveau de lecture, probablement parce que cette identification est, chez l'expert, si rapide qu'elle ne laisse pas le temps aux effets contextuels (plus lents) d'interférer. Un effet de facilitation contextuelle peut toutefois être observé dans certaines conditions chez l'expert, en particulier quand le mot est induit par le contexte (par exemple, « avalanche » dans la phrase « Les skieurs ont été ensevelis par une soudaine... », Stanovich et West, 1981). Mais cet effet disparaît lorsque les mots sont congruents par rapport au contexte mais non prédictibles (Forster, 1981), ce qui constitue le cas de figure très largement majoritaire en situation de lecture habituelle.

Automatismes dans l'identification des mots écrits

Une des propriétés essentielles de l'identification des mots écrits chez le lecteur expert est son caractère involontaire. Elle ne mobilise pas en effet ses ressources attentionnelles, c'est chez lui un automatisme, quasiment un réflexe (Perfetti et Zhang, 1995). L'effet dit « *Stroop* », qui résulte d'une interférence entre le sens d'un mot et sa forme, est considéré comme étant un indicateur de cette automatisaion. Ainsi, quand on demande à un lecteur expert de nommer la couleur de l'encre d'un mot écrit, 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, ce qui signale que le lecteur ne peut pas s'empêcher de lire, même quand on le lui demande. Les résultats à ce type de test permettent de cerner le niveau d'automatisme des procédures d'identification des mots écrits : plus ces procédures sont automatisées, plus il y aura compétition, et donc interférence, entre les deux noms de couleurs activés, celui du mot écrit et celui de la couleur de l'encre.

L'idée d'une reconnaissance des mots écrits quasi-réflexe peut être illustrée par l'étude de Guttentag et Haith (1978). Ces chercheurs ont présenté à des adultes et à des enfants scolarisés en début et en fin de 1^{re} année de primaire des images représentant des animaux, des meubles et des moyens de transport. Les images ont été montrées seules (condition contrôle) et dans quatre conditions expérimentales : soit avec des mots écrits appartenant à une catégorie sémantique différente de celle de l'image (« chat-cahier ») ou à la même catégorie sémantique (« chat-chien »), soit avec des symboles non alphabétiques ou des suites de lettres non prononçables. Les sujets devaient dénommer le plus rapidement possible l'image en ignorant le mot écrit. Les effets d'interférence d'une reconnaissance irrépissible des mots écrits sont évalués en comparant le temps de dénomination dans chacune des conditions par rapport à ceux obtenus dans la condition contrôle. Les résultats sont présentés dans la figure 2.2. Les adultes dénomment moins rapidement les dessins avec des lettres que ceux incluant des symboles non alphabétiques, ce qui suggère que les lettres sont traitées automatiquement.

De même, ils dénomment moins rapidement les dessins avec des mots écrits de la même catégorie sémantique ou d'une catégorie différente, ce qui indique que les procédures d'identification des mots écrits sont quasiment des réflexes. Enfin, l'effet d'interférence est significativement plus fort quand le mot écrit appartient à la même catégorie que le mot imagé que lorsque les deux mots ne sont pas proches sémantiquement, ce qui est révélateur d'un accès très rapide au sens des mots. Des effets d'interférence similaires qualitativement, mais plus forts, sont observés chez les enfants après 9 mois d'apprentissage de la lecture, mais pas après 2 mois, ce qui indique que, très rapidement, le lecteur débutant a mis en place des procédures d'identification des mots écrits proches de celles de l'expert.



* difference significative

Figure 2.2 : Différence entre la condition interférente et contrôle selon le type de stimulus interférent : 2 et 3, suite de caractères autres que des lettres (2) et lettres non prononçables (3) ; 4 et 5, mot de catégorie sémantique différente de celle de l'image (4) ou de la même catégorie sémantique (5) ; (d'après Guttentag et Haith, 1978)

Accès au code visuel, phonologique et sémantique des mots

Les résultats précédents indiquent que les procédures d'identification des mots écrits sont largement automatiques chez le lecteur expert. Il reste à savoir à quelles informations ce lecteur a accès quand il identifie un mot écrit. Les modèles dans ce domaine (Plaut et coll., 1996 ; Ans et coll., 1998 ; Coltheart et coll., 2001) postulent que l'identification des mots écrits est le résultat de l'activation de 3 types d'information ou codes : les codes orthographique, phonologique et sémantique. Le code orthographique d'un

mot comporte les lettres qui le composent et leur combinaison (t+o+u+r), le code phonologique, les phonèmes et leur combinaison (/t/ + /u/ + /r/) et le code sémantique comporte son (ou ses) sens.

La chronologie (on parle de décours temporel) de l'activation de ces codes peut être évaluée par la technique d'amorçage rapide : une amorce, mot ou pseudo-mot (c'est-à-dire une séquence de lettres sans signification qui respecte les règles orthographiques et phonologiques de la langue) précède l'apparition d'un mot-cible sur lequel il faut effectuer une tâche particulière. L'amorce et la cible partagent des propriétés communes, orthographiques (vélo-véla), phonologiques (vélo-vélau) ou sémantiques (vélo-moto) ou n'entretiennent aucune relation (vélo-table). Le temps de présentation de l'amorce est très court, de l'ordre de quelques millisecondes. Les tâches les plus fréquemment utilisées sont la décision lexicale (déterminer si l'item est un mot de la langue) et la lecture à haute voix.

Les travaux dans ce domaine ont mis en relief trois faits majeurs. D'une part, chez l'expert, les codes orthographique et phonologique d'un mot écrit sont très rapidement activés, le code orthographique étant activé avant le code phonologique (Ferrand et Grainger, 1992 et 1993). En effet, comme l'indique la figure 2.3, la facilitation due à la présence d'une amorce orthographique se manifeste pour une durée de présentation de cette amorce de l'ordre de 33 à 50 ms, la facilitation phonologique n'étant notée qu'après 50 ms.

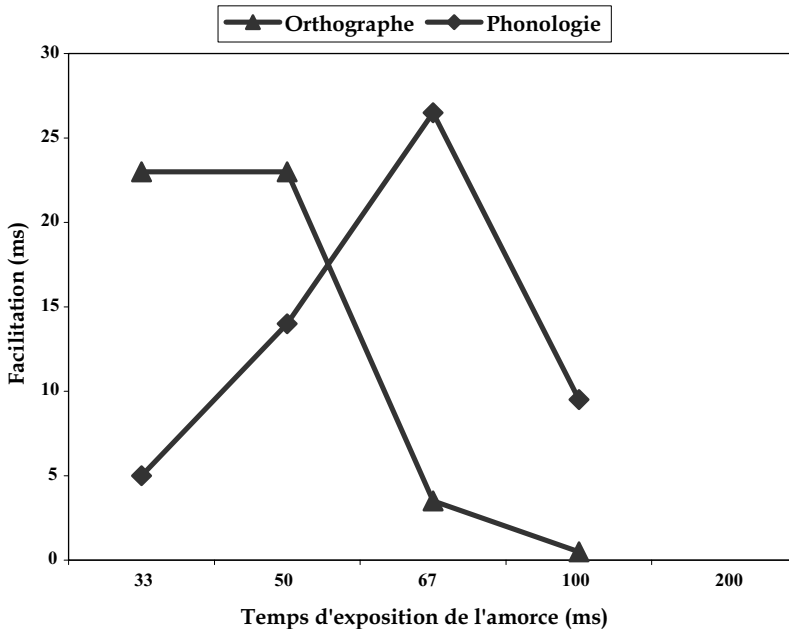


Figure 2.3 : Décours temporels de l'activation des codes orthographique et phonologique des mots (d'après Ferrand et Grainger, 1992 et 1993)

D'autres études indiquent une activation précoce du code orthographique des mots écrits avec des durées d'exposition de l'amorce de 30 et 60 ms chez des lecteurs débutants ayant un âge moyen au-dessous de 10 ans (Booth et coll., 1999). Toutefois, quel que soit le temps d'exposition, l'effet d'amorçage phonologique est faible et ne supplante jamais celui de l'amorçage orthographique, ce qui suggère que l'activation de ce code est moins rapide chez le débutant que chez l'expert. Enfin, le code sémantique du mot écrit est activé après son code orthographique et son code phonologique, autour de 200 ms chez le lecteur expert (Ferrand et Grainger, 1992 et 1993 ; Perea et Gotor, 1997). Des résultats similaires ont été relevés avec des enfants (Plaut et Booth, 2000). Il n'est pas facile de comparer ces études en raison des différences de durée d'exposition des amorces (800 ms chez les enfants).

Synthèse des travaux sur l'apprenti-lecteur

Le lecteur expert a recours à des procédures d'identification des mots écrits très rapides, fortement indépendantes du contexte et lors de cette étape précoce de traitement de l'information, il a accès aux codes orthographique et phonologique des mots écrits, avant d'avoir accès à leur code sémantique. L'objectif majeur de l'apprentissage de la lecture doit donc être d'acquérir un haut niveau d'automatisme dans l'identification des mots écrits. C'est le développement de telles procédures qui permettra à l'enfant d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale, en le dégageant du poids d'un décodage lent et laborieux, ou du recours à des anticipations contextuelles hasardeuses.

Dans cette section, après avoir développé un cadre de référence permettant de situer les problèmes auxquels le lecteur débutant est confronté, sont ensuite présentées les compétences susceptibles d'influer sur l'apprentissage de la lecture (capacités phonologiques et visuelles, QI, milieu socio-culturel...) et, enfin, la façon dont se mettent en place les mécanismes spécifiques à la lecture, à savoir les procédures d'identification des mots écrits. Une attention particulière est portée à la question de l'incidence des méthodes sur l'apprentissage de la lecture.

Cadre de référence

Pour comprendre les problèmes auxquels sont confrontés les enfants quand ils apprennent à lire en français, il est nécessaire d'avoir une idée précise de ce qu'implique cet apprentissage dans une écriture alphabétique, par rapport aux autres types d'écriture. Toutes les écritures, y compris les écritures logographiques comme celle du chinois (souvent incorrectement dénommées écritures idéographiques) transcrivent des unités de la langue orale, et non

des idées. Ce qui change c'est la taille des unités et leur nature : unités qui ont un sens, comme les mots, ou qui n'ont pas de signification, comme les syllabes ou les phonèmes. La transcription de l'oral s'effectue en effet à trois niveaux : le mot ou le morphème, la syllabe et le phonème. Ainsi celui qui s'occupe d'enfants présentant des troubles du langage est désigné par un seul mot en français (orthophonie) et par deux en anglais (*speech therapy*). Ces mots contiennent des sous-unités qui ont également un sens, les morphèmes, comme ortho- (orthodontiste, orthographe) et phon- (phoniatre, phonétique). Ces éléments sont les unités de base, non décomposables, de certaines écritures (celle du chinois). Dans d'autres écritures, les mots et les morphèmes peuvent être décomposés en sous-unités qui n'ont pas de sens : les syllabes et les graphèmes. Par exemple, le mot oral « cheval » comporte 2 syllabes (che-val) et 5 graphèmes (« ch », plus les 4 autres lettres). Les syllabes sont les unités de base, non décomposables, des écritures syllabiques (les *kanas* du japonais), l'unité de base d'une écriture alphabétique étant le graphème, qui correspond au phonème. D'autres écritures transcrivent les unités phonologiques et morphologiques par les consonnes et les voyelles respectivement, comme en arabe ou en hébreu. La figure 2.4 présente une schématisation des principaux problèmes auxquels le lecteur débutant est confronté : la disponibilité, la consistance et la taille des unités qui relie l'écrit à l'oral (Ziegler et Goswami, 2005 ; voir également Sprenger-Charolles, 2003).

Sémantique				
Unités qui ont un sens : procédure lexicale de lecture	Mot	↔	Mot	Unités qui ont un sens
	Morphème	↔	Morphème	
Unités sans signification : procédure sublexicale ou procédure phonologique	Syllabe	↔	Syllabe	Unités sans signification
	Attaque-Rime	↔	Attaque-Rime	
	Lettre → Graphème	↔	Phonème	
	Orthographe		Phonologie	
Taille et disponibilité des unités		Transparence des relations		Taille et disponibilité des unités

Figure 2.4 : Principaux niveaux de difficultés auxquels est confronté l'apprenti-lecteur dans des écritures alphabétiques (adapté de Ziegler et Goswami, 2005)

Le premier problème auquel le lecteur débutant est confronté vient de ce que, avant l'apprentissage de la lecture, il ne dispose pas de représentations orthographiques, à part pour quelques mots qu'il a pu apprendre par cœur. De même, il n'a alors pas forcément accès de façon explicite à certaines unités phonologiques, en particulier, le phonème, qui est le trait distinctif minimal

permettant de différencier – dans une langue donnée – deux mots, par exemple « bol » et « vol » en français. En effet, la prise en compte du phonème, indispensable pour apprendre à lire dans une écriture alphabétique, nécessite de se focaliser sur des éléments du langage parlé abstraits et, en plus, difficilement accessibles pour des raisons de co-articulation. En effet, les phonèmes ne sont pas prononcés les uns à la suite des autres, mais en un seul geste articulatoire à l'intérieur d'une syllabe (le mot « calcul » est prononcé /kal+/kül/ et non /k+a+l+k+ü+l/), ce qui rend difficile leur identification.

Le second problème est lié au degré de consistance des relations entre les unités de l'écrit et de l'oral, qui varie en fonction des langues. Ainsi, dans certaines écritures alphabétiques, comme en espagnol, les relations graphème-phonème sont très consistantes. Ce n'est pas le cas en anglais, le français occupant une position intermédiaire (Sprenger-Charolles et Colé, 2003). Les problèmes de consistance s'expliquent par l'histoire des langues (alors que l'oral évolue, l'écrit est plus conservateur) mais aussi par le fait que les lettres de l'alphabet ne permettent pas de transcrire les phonèmes des différentes langues. En effet, on ne dispose que de 5-6 lettres pour les voyelles, qui permettent de transcrire les 5 voyelles simples de l'espagnol, mais pas les quelques 10 à 16 voyelles du français ou de l'allemand. Dans ces deux écritures, il a donc fallu utiliser une combinaison de lettres, ou une lettre à laquelle s'ajoute une marque spécifique, pour transcrire, en particulier, certaines voyelles (le « ou » du français, par opposition au « u » qui s'écrit « ü » en allemand, et le « n » qui en français indique une voyelle nasale : « an », « on », « un », « in »). L'unité de base d'une écriture alphabétique n'est donc pas la lettre, mais le graphème qui renvoie au phonème, unité de base du système phonologique. Toutefois, la prise en compte d'unités plus larges peut réduire certaines inconsistances. C'est le cas des rimes en anglais, qui facilitent la lecture des voyelles, les relations graphème-phonème pour les voyelles étant fortement inconsistantes dans cette langue. Par exemple, la voyelle « i » se prononce de la même façon quand elle est suivie par la séquence « ght », comme dans les mots « *night, sight, light...* » (la rime de ces mots est « ight » et leur attaque « n », « s » ou « l »). Ce fait a conduit certains chercheurs à développer un modèle d'apprentissage de la lecture dans lequel une place centrale est accordée au découpage syllabique du mot en attaque-rime (Goswami et Bryant, 1990). On peut toutefois supposer que ce type d'unité ne devrait pas jouer un rôle majeur dans des langues qui comportent des voyelles clairement articulées et des syllabes ouvertes, c'est-à-dire se terminant par une voyelle, comme en français ou en espagnol par exemple (Delattre, 1965), puisque dans ce cas la rime du mot est également un phonème.

Enfin, le dernier problème est lié à la taille des unités. Il y a en effet beaucoup plus d'unités orthographiques à apprendre dans les écritures qui utilisent des unités de large taille (mot ou morphème) que dans celles qui utilisent des unités de petite taille (syllabe et phonème). Toutefois, les unités de grande taille ont un sens, pas celles de petite taille. Il en découle

que les unités de petite taille sont moins facilement accessibles que celles de grande taille.

La difficulté de l'apprentissage de la lecture doit varier en fonction de la disponibilité, de la consistance et de la taille des unités qui relient l'écrit à l'oral. Ainsi, dans une écriture logographique comme celle du chinois, l'apprenti-lecteur doit apprendre par cœur de nombreux mots qu'il ne peut décomposer en unités plus petites. La charge de la mémoire est donc énorme, toutefois les unités de base de l'écrit sur lesquelles il peut s'appuyer, les mots ou morphèmes, sont facilement accessibles, tout au moins celles qui font partie de son lexique oral. Inversement, dans une écriture alphabétique, l'utilisation d'un petit nombre de relations entre graphèmes et phonèmes permet à l'apprenti-lecteur d'avoir accès au large stock de mots qu'il connaît à l'oral. La charge mnésique n'est donc pas très importante. En revanche, pour relier les graphèmes aux phonèmes, il faut s'appuyer sur des unités orales peu accessibles, les phonèmes. Toutefois quand, dans une écriture alphabétique, l'établissement des relations graphème-phonème est entravé par leur inconsistance qui peut provenir de l'orthographe ou de la qualité des représentations phonémiques de l'apprenant, l'apprenti-lecteur peut utiliser des unités plus larges : attaque-rime, syllabe, morphème et mot.

Ce cadre de référence, inspiré du modèle développé par Ziegler et Goswami (2005 ; voir également Sprenger-Charolles, 2003 ; Sprenger-Charolles et coll., sous presse), permet de situer la majeure partie des questions auxquelles les chercheurs ont essayé de répondre. La suite de ce chapitre se limitera aux travaux ayant porté sur les écritures alphabétiques pour trois raisons. D'une part, parce que les petits français apprennent à lire dans une écriture alphabétique. D'autre part, parce que ce type d'écriture est largement répandu. Enfin, pratiquement tous les enfants commencent à apprendre à lire en recourant à un système alphabétique. C'est même le cas en chinois, un pinyin, qui utilise l'alphabet latin, ayant été introduit dans les années 1970 en Chine continentale pour faciliter l'apprentissage de la lecture. Ce système est maintenant obligatoire dans les écoles élémentaires, les caractères chinois étant introduits progressivement. Ce fait est un révélateur des difficultés rencontrées par l'enfant quand il doit apprendre à lire dans une écriture logographique.

Compétences nécessaires à l'apprentissage de la lecture (en dehors de la lecture)

D'après le cadre théorique présenté, parmi les capacités métalinguistiques (Gombert, 1992), les capacités d'analyse morphologique et phonémique devraient avoir une forte incidence sur l'apprentissage de la lecture. Les secondes permettent en effet d'identifier et de manipuler des éléments du langage oral (les phonèmes) qui, dans une écriture alphabétique, correspondent aux

plus petites unités de l'écrit (les graphèmes) alors que les premières permettent d'avoir accès aux plus petites unités sublexicales ayant un sens, les morphèmes. D'autres capacités non linguistiques, ainsi que des facteurs environnementaux, sont également supposés avoir une incidence sur cet apprentissage : les capacités visuelles des enfants, leur niveau cognitif et leur environnement socio-culturel. La 1^{re} partie de cette section fait le point sur les relations entre apprentissage de la lecture et capacités d'analyse phonologique, la 2^e sur l'implication des capacités d'analyse morphologique et la 3^e sur les autres facteurs qui peuvent avoir une incidence sur cet apprentissage.

Capacités d'analyse phonologique et apprentissage de la lecture

Avant l'apprentissage de la lecture, les capacités d'analyse phonémique des enfants, comparativement à leurs capacités d'analyse syllabique, sont faibles. Cela peut s'expliquer par le fait que le phonème ne se prononce en général pas seul, sauf s'il s'agit d'une voyelle. Ce serait la confrontation avec une écriture alphabétique qui permettrait le développement des capacités d'analyse phonémique. Liberman et coll. (1974) ont été les premiers à avoir mis en relief ce résultat, qui a été reproduit depuis dans de nombreuses études impliquant des pré-lecteurs de différentes langues. Ainsi, comme le montre le tableau 2.I, alors que les enfants réussissent mieux des tâches impliquant la manipulation de syllabes que des tâches similaires⁵ impliquant la manipulation de phonèmes avant l'apprentissage de la lecture, ce n'est plus le cas après cet apprentissage, tout au moins dans des écritures alphabétiques.

Ce tableau appelle plusieurs commentaires. Tout d'abord, à la fois avant et après l'apprentissage de la lecture, les enfants ont des scores élevés dans les épreuves de manipulation de syllabe, sauf les petits anglais, probablement parce que les frontières syllabiques ne sont pas claires dans leur langue. D'autre part, les petits turcs ont des scores surprenants en analyse phonémique avant l'apprentissage de la lecture, ce qui peut s'expliquer par le fait que les voyelles en turc servent à indiquer des changements morphologiques (par exemple, le pluriel), ce qui peut obliger les enfants turcs à traiter des modifications phonémiques subtiles avant même d'avoir appris à lire. En comparaison, les enfants italiens, allemands, français et anglais n'arrivent à atteindre un bon niveau d'analyse phonémique qu'après l'apprentissage de la lecture, ce qui suggère que cette capacité est le résultat de l'apprentissage de la lecture dans une écriture alphabétique. Les faibles scores d'analyse phonémique relevés chez les petits japonais, qui ont appris à

5. Par exemple, compter le nombre de syllabes ou de phonèmes contenus dans un mot, ou encore supprimer le premier ou le dernier élément d'un mot (syllabe ou phonème). Pour éviter les biais qui peuvent provenir de différences de niveau de vocabulaire, on utilise souvent des pseudo-mots.

lire dans une écriture syllabique, confortent cette interprétation (Mann, 1986). Les résultats observés chez des adultes illettrés et ex-illettrés vont dans le même sens. Ainsi, les capacités d'analyse phonémique des illettrés sont plus faibles que celles de sujets de même milieu ayant appris à lire tardivement (17 % contre 72 % pour les ex-illettrés : Morais et coll., 1979), mais pas leurs capacités d'analyse syllabique (Morais et coll., 1986). La simple maturation ne semble donc pas suffisante au développement des capacités d'analyse phonémique.

Tableau 2.1 : Capacités d'analyse syllabique et phonémique et apprentissage de la lecture

Langage	Pourcentage moyen de réponses correctes			
	Dernière année de maternelle		1 ^{re} année de primaire	
	Syllabe	Phonème	Syllabe	Phonème
Anglais ¹		48		74
Anglais ²	63,5	63	75	75,6
Français ³		45		98
Allemand ¹		17,5		69
Italien ⁴	77	34,4	88	93,1
Turc ²	93,5	67,1	97,5	94
Japonais ⁵			91	43

¹ D'après Mann et Wimmer, 2002 (tâche de suppression)

² D'après Durgunoglu et Oney, 1999 (tâche de comptage)

³ D'après Sprenger-Charolles et coll., 2000 (tâche de suppression, futurs normolecteurs : 5 et 7 ans respectivement)

⁴ D'après Cossu et coll., 1988, les données anglaises sont celles de Liberman et coll., 1974 (tâche de comptage)

⁵ D'après Mann, 1986 (tâche de comptage impliquant des unités intermédiaires entre le phonème et la syllabe, les mores)

Quant aux travaux sur les unités attaque-rime, très nombreux, ils ont principalement été effectués avec des enfants anglais qui semblent développer les capacités d'analyse syllabique avant celles portant sur les unités attaque-rime, ces dernières se développant avant les capacités d'analyse phonémique. C'est ce que rapportent Anthony et coll. (2003) qui ont examiné les résultats de plus de 1 000 enfants âgés de 2 à 6 ans, en contrôlant, entre autres, le type de tâche utilisée (voir également, Anthony et coll., 2002 ; Anthony et Lonigan, 2004). D'autres études montrent que les tâches impliquant la manipulation des unités attaque-rime sont toujours mieux réussies que celles impliquant les phonèmes, quel que soit l'âge des enfants (à 4 ans : Muter et coll., 1998 ; à 5 ans : Muter et coll., 1998 ; Goswami et East, 2000 ; Hulme et coll., 2002 ; à 6 ans : Nation et Hulme, 1997 ; Hulme et coll., 2002). Ce type de résultat pourrait cependant être

spécifique à l'anglais. En effet, des pré-lecteurs et lecteurs débutants néerlandophones ne traitent pas les unités attaque-rime comme étant des unités cohésives de l'oral (Geudens et Sandra, 2003).

D'autres travaux indiquent qu'il est nécessaire de tenir compte, non seulement du type d'unités, mais également du type de tâche. Ainsi, comme l'a montré Lecocq (1991), sur 10 épreuves impliquant des unités phonémiques, seulement 2 sont à peu près maîtrisées par des enfants de 4 ans, et 3 le sont un an plus tard. De plus, les enfants font des progrès substantiels dans ce domaine avant l'apprentissage de la lecture. L'amélioration des scores est en effet de plus de 67 % entre 3 ans et demi et 6 ans pour l'ensemble des épreuves d'analyse phonologique. Des progrès de l'ordre de 36 % sont cependant constatés entre 6 ans et 6 ans et demi, ce qui indique une nouvelle fois que l'apprentissage de la lecture stimule les compétences phonologiques et cela probablement de façon spécifique. En effet, l'évolution des scores de mémoire entre les mêmes âges est moindre (13 % et 11 %, respectivement).

Le fait que les capacités d'analyse phonémique ne soient pas celles qui sont les plus développées avant l'apprentissage de la lecture ne permet toutefois pas de se prononcer sur le rôle qu'elles peuvent jouer dans cet apprentissage. Or, parmi les capacités d'analyse phonologique, les meilleurs prédicteurs de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique. Dans ce domaine, en dehors de l'article princeps publié en 1983 par Bradley et Bryant dans la revue *Nature*, l'étude la plus souvent citée est celle de Bryant et coll. (1990). Cette étude est présentée en détail, non seulement pour montrer quels sont les moyens d'évaluation utilisés, mais également pour signaler certains problèmes de méthode.

Les enfants (N = 65) ont été suivis de 4 ans et demi à 6 ans et demi. Ils ont été vus deux fois entre temps (à 5 ans et demi et à 6 ans). Les capacités d'analyse des unités attaque-rime ont été évaluées lors des deux premières sessions et celles d'analyse phonémique lors de la troisième session. Pour les épreuves attaque-rime, l'enfant devait dire quel est, parmi trois mots, celui qui n'a pas la même fin (en l'occurrence la même rime, par exemple : « *peg, cot, leg* ») ou le même début (en l'occurrence la même attaque, par exemple : « *pin, pig, tree* »). Des images ont été utilisées afin d'éviter la surcharge mnésique. Les tests d'analyse phonémique comportaient des épreuves de suppression du premier et du dernier phonème de mots consonne-voyelle-consonne et une épreuve de comptage de phonème dans des items de 1 à 3 phonèmes. Les tests portant sur les unités attaque-rime renseignent sur les habiletés phonémiques ultérieures après avoir contrôlé l'effet de facteurs pouvant biaiser les résultats (âge, QI verbal et non verbal, milieu socioéconomique). Après les mêmes contrôles, les habiletés phonologiques (unités attaque-rime et phonèmes) expliquent une part importante de la variance en lecture.

Selon les auteurs, ces résultats signalent que la sensibilité aux unités attaque-rime permet l'émergence de la conscience phonémique, cette dernière ayant une incidence directe sur la lecture, tout comme la sensibilité aux unités attaque-rime. Toutefois, comparer le pouvoir prédictif de ces deux capacités est difficile, les évaluations n'ayant pas été faites au même moment. En plus, les tâches de chasse à l'intrus utilisées pour évaluer la sensibilité aux unités attaque-rime ne sont pas très spécifiques. En fait, les unités à l'attaque des mots correspondent le plus souvent à un phonème. Les résultats pourraient donc s'expliquer par le fait que les enfants peuvent très tôt manifester un certain niveau de sensibilité à des unités phonémiques, quand la tâche le leur permet. Cette interprétation est renforcée par une étude française (Lecocq, 1991) dans laquelle l'épreuve la plus prédictive du futur niveau de lecture, quel que soit le test de lecture utilisé, est une épreuve du type de celles utilisées par l'équipe de Bryant (trouver, parmi 4 mots celui qui n'a pas la même consonne initiale : « bon, bois, bain, dent »). Pourtant cette épreuve n'était pas la mieux réussie par les enfants : elle ne se situait qu'au 6^e rang des 14 épreuves administrées.

Dans l'étude de Bryant et coll. (1990), il n'a toutefois pas été tenu compte du niveau de pré-lecture des enfants. Comme le soulignent Castles et Coltheart (2004), on ne peut donc pas éliminer la possibilité que ce serait le niveau de lecture au temps 1 qui déterminerait celui observé au temps 2. Ces auteurs ont identifié 18 études dans lesquelles le niveau de pré-lecture a été évalué (Bradley et Bryant, 1983 ; Wagner et coll., 1994 ; Wagner et coll., 1997 ; Muter et coll., 1998 ; Caravolas et coll., 2001 ; Hulme et coll., 2002). Les preuves en faveur d'une contribution des capacités d'analyse syllabique et rimique sur le niveau ultérieur en lecture sont très limitées comparativement à celles en faveur d'une contribution des capacités d'analyse phonémique. En fait, parmi les études sélectionnées, toutes celles incluant un examen des capacités d'analyse phonémique précoces montrent une contribution significative de ces capacités sur les compétences ultérieures en lecture et en écriture. Ces résultats ont été reproduits dans des études plus récentes (Kirby et coll., 2003 ; Parrila et coll., 2004 ; Schatschneider et coll., 2004).

Un autre argument en faveur du rôle des capacités d'analyse phonémique dans l'apprentissage de la lecture provient d'études sur des dyslexiques. En effet, dans ce type de tâches, les dyslexiques ont des scores plus faibles que ceux des normolecteurs plus jeunes qu'eux, mais de même niveau de lecture (en anglais : Bruck, 1992 ; Fawcett et Nicholson, 1994 ; en allemand : Wimmer, 1993), ce qui ne peut être imputé au rôle de la lecture sur les capacités d'analyse phonémique, puisque les groupes sont appariés en fonction de ce niveau. En plus, les études longitudinales ont permis de relever un déficit d'analyse phonémique chez de futurs dyslexiques avant même l'apprentissage de la lecture (en allemand : Wimmer, 1993 et 1996 ; en français : Sprenger-Charolles et coll., 2000).

Un dernier argument en faveur du poids des compétences d'analyse phonémique sur l'apprentissage de la lecture vient des études d'entraînement. Dans une méta-analyse (Ehri et coll., 2001a), l'effet d'un entraînement de ces capacités sur la lecture a été évalué en calculant la différence, en écart-type, entre les groupes entraînés et les groupes témoins de 52 études. Des améliorations de l'ordre de 0,20, 0,50 et 0,80 écart-type ont été respectivement considérées comme faibles, modérées et notables (Cohen, 1988). L'effet moyen d'un entraînement phonémique est modéré (0,53). Toutefois, l'effet est plus important dans les études avec des enfants anglophones que dans celles avec des non-anglophones (des Danois, des Hollandais, des Finnois, des Allemands, des Norvégiens, des Espagnols et des Suédois), tout au moins lors du premier post-test (0,63 *versus* 0,36), pas par la suite (0,42 *versus* 0,47). Selon les auteurs, l'entraînement phonémique aurait un plus fort effet immédiat chez les anglophones parce qu'il les aiderait à clarifier les relations entre graphèmes et phonèmes, qui sont très inconsistantes dans leur langue. L'effet de ce type d'entraînement est également plus notable quand il a porté sur des enfants à risque pour l'apprentissage de la lecture (0,86), surtout à long terme (1,33), ce qui peut s'expliquer par le fait que ces enfants sont généralement diagnostiqués tôt et sur la base de la faiblesse de leurs scores en analyse phonémique. Il faudrait donc un certain temps pour que l'effet de l'entraînement porte ses fruits sur les capacités entraînées et, ensuite, sur la lecture. Chez les lecteurs en difficultés, l'effet de l'entraînement est plus faible, que ce soit sur la lecture (0,45), ou sur les capacités entraînées (0,62 contre 0,95 chez les enfants à risque), ce qui suggère qu'un déficit d'analyse phonémique est à la base des difficultés de lecture, un tel déficit étant difficile à compenser (voir aussi Vellutino et coll., 2004). Enfin, l'effet le plus notable est obtenu quand, en plus des activités d'analyse phonémique, les enfants ont à manipuler les lettres (0,67). Ce résultat (voir aussi les revues de Bus et Van Ijzendoorn, 1999 et de Castles et Coltheart, 2004), suggère que le développement des capacités d'analyse phonémique est un facteur important dans l'apprentissage de la lecture, mais pas une condition suffisante.

Capacités d'analyse morphologique et apprentissage de la lecture

Les modèles d'apprentissage de la lecture soit ne prennent pas en compte le niveau morphologique (Ziegler et Goswami, 2005), soit considèrent que ce type de traitement ne joue un rôle qu'à partir du moment où l'enfant maîtrise le décodage (Frith, 1985 ; Seymour, 1994). L'utilisation de la morphologie pour identifier les mots écrits serait donc un signe d'expertise. Cette question est examinée dans la partie suivante, la synthèse présentée ci-dessous portant sur les relations entre analyse morphologique et apprentissage de la lecture. Les travaux sur les relations entre capacités d'analyse morphologique et lecture ont porté sur la morphologie dérivationnelle (qui permet de dériver des familles de mots : « lait-laitier, laiterie... ») et

flexionnelle (qui sert à marquer le genre et le nombre, mais également la personne et le temps des verbes : « je chante ; tu chantes ; tu chanteras... »). Comme les épreuves évaluant les capacités d'analyse phonologique, celles évaluant les capacités d'analyse morphologique sont passées à l'oral, ces deux types de capacités étant souvent évaluées en même temps.

Le pouvoir explicatif des capacités d'analyse morphologique est plus faible que celui des capacités d'analyse phonologique : 4 % de variance en lecture expliquée contre 37 % en 1^{re} année du primaire (Carlisle et Nomanbhoy, 1993). Une autre étude a montré que, aussi bien en 1^{re} qu'en 2^e année, les capacités d'analyse phonémique sont reliées aux compétences d'identification des mots écrits, pas les capacités d'analyse morphologique (Muter et coll., 2004). Toutefois, cette dernière habileté mesurée en 1^{re} année renseigne sur le niveau de compréhension en lecture un an plus tard. Les résultats d'une étude française vont dans le même sens (Casalis et Louis-Alexandre, 2000). Les connaissances morphologiques en grande section de maternelle expliquent 6 % de la variance dans un test de lecture en 1^{re} année du primaire (la Bat-Elem, Savigny, 1974) et 22 % de la variance en compréhension écrite en 2^e année (Écosse, Lecocq, 1996). L'implication des connaissances morphologiques serait donc plus forte chez les enfants plus âgés. Cela est également suggéré par une étude dans laquelle les enfants ont été suivis de la 2^e à la 5^e primaire (Deacon et Kirby, 2004). Après avoir contrôlé le niveau de lecture, le QI verbal et non verbal et les compétences d'analyse phonologique en 2^e primaire, les compétences en analyse morphologique évaluées à la même époque renseignent sur le niveau de lecture ultérieur (de la 3^e à la 5^e primaire), qu'il s'agisse des capacités de décodage ou de compréhension. D'autres études indiquent que le poids des compétences d'analyse morphologique sur la lecture s'accroît avec le niveau scolaire alors que celui des compétences d'analyse phonologique décroît, tout en restant significatif (Shankweiler et coll., 1995 ; Carlisle, 2000 ; Mahony et coll., 2000).

Autres facteurs influant sur l'apprentissage de la lecture

Scarborough (1998a et b) a effectué une méta-analyse de 61 études incluant plus de 30 enfants suivis pendant un à trois ans depuis un âge se situant entre 4 ans et demi et 6 ans. Le tableau 2.II indique les corrélations moyennes entre les prédicteurs et le futur niveau de lecture. Les habiletés non verbales précoces, visuelles, motrices, et visuo-motrices, tout comme le QI non-verbal, ne sont que faiblement reliés au futur niveau de lecture. De plus, les mesures précoces les plus fortement corrélées aux performances ultérieures en lecture sont celles qui sont directement impliquées dans cette activité : les capacités phonologiques, la connaissance des lettres et les capacités de dénomination sérielle rapide, évaluées par un test qui permet de cerner la rapidité et la précision de l'accès au lexique à l'oral. Le même cons-

tat ressort d'une étude française (Kipffer-Piquard, 2003) dans laquelle 85 enfants ont été suivis de 4 à 8 ans. Le QI non verbal, tout comme la mémoire visuelle (évaluée par la reproduction de séquences visuelles qui varient en longueur, entre 2 et 7 items), ne sont que faiblement reliés au niveau de lecture à 8 ans (respectivement 0,18 et 0,19), à l'inverse de capacités d'analyse et discrimination phonémique (respectivement 0,44 et 0,53), de mémoire à court terme (évaluées par la répétition de pseudo-mots de 3 à 6 syllabes, 0,41), de connaissance des lettres (0,41), et de dénomination sérielle rapide (de 0,41 à 0,53 selon le test).

Tableau 2.II : Corrélations entre les prédicteurs en maternelle et les scores ultérieurs en lecture (résultats d'une méta-analyse de 61 études, d'après Scarborough, 2001)

Prédicteurs	Nombre d'études	Corrélation
Mesures impliquant le traitement de l'écrit		
Rudiments de lecture (connaissance des relations lettre-son...)	21	0,57
Identification des lettres	24	0,52
Mesures impliquant le langage oral		
Analyse phonologique	27	0,46
Dénomination sérielle rapide	14	0,38
Mémoire de phrases ou rappel d'histoires	11	0,45
Mémoire verbale de chiffres ou de mots	18	0,33
Vocabulaire (dénomination)	5	0,45
Vocabulaire (compréhension)	20	0,33
QI verbal	12	0,37
Mesures impliquant les habiletés non verbales		
QI non-verbal	8	0,26
Mémoire visuelle	8	0,31
Discrimination visuelle	5	0,22
Intégration visuo-motrice	6	0,16
Habiletés motrices	5	0,25

Ces données corrélationnelles ne prennent pas en compte le degré d'association entre les différentes mesures, qui peut être très fort. C'est ce qu'indiquent deux études, une avec des enfants danois (Petersen et Elbro, 1999), l'autre avec des enfants français (Kipffer-Piquard, 2003). L'étude danoise a porté sur 150 enfants. Les prédicteurs relevés avant l'apprentissage de la lecture étaient la connaissance des lettres, les capacités d'analyse phonologique et morphologique, la clarté de la prononciation et les antécédents de dyslexie dans la famille. Moins de la moitié des 11 variables significativement corrélées au futur niveau de lecture prédisent de façon unique cette compétence. De même, dans l'étude de Kipffer-Piquard (2003), 5 des

15 mesures relevées en grande section de maternelle prédisent le niveau en lecture en fin de 2^e primaire, alors que 12 d'entre elles étaient significativement corrélées à ce niveau. Ces 5 mesures expliquent 52,2 % de la variance en lecture, deux (dénomination rapide et discrimination phonémique) rendant compte de 43,2 % de cette variance.

Les études précédentes signalent les compétences précoces qui prédisent le futur niveau de lecture des enfants. Dans la pratique, il faut pouvoir se prononcer sur les cas individuels. Comme le soulignent Elbro et Scarborough dans une synthèse de la littérature (2003), le pourcentage de classifications correctes est élevé (de l'ordre de 80 %). C'est ce qu'indique l'étude ayant porté sur des enfants danois (Petersen et Elbro, 1999). Les 6 mesures prédictives relevées avant l'apprentissage de la lecture (dans trois épreuves d'analyse phonologique et morphologique, une de connaissance des lettres, une de prononciation plus une évaluation des antécédents familiaux de dyslexie) permettent de classer correctement, en fonction de leur niveau de lecture, 129 des 150 enfants (86 %) en fin de 2^e primaire. La classification est toutefois moins fiable pour les enfants qui, effectivement, ont rencontré des difficultés (60 % de classifications correctes pour ceux qui ont des scores au-dessous du 11^e percentile dans un test de lecture de mots) que pour ceux de l'autre groupe (94 %). Dans l'étude française, les enfants ont été séparés en deux groupes à la fin de la 2^e primaire sur la base de leurs scores au test de l'Alouette (Lefavrais, 1967)⁶ : les mauvais lecteurs (plus de 6 mois de retard en lecture), et les autres (moins de 5 mois de retard). Les prédicteurs sélectionnés pour la classification sont les deux qui expliquent la majeure partie de la variance en lecture (capacités de discrimination phonémique et de dénomination sérielle rapide). Ils permettent à eux seuls de classer correctement 83,5 % des enfants en fonction de leur niveau de lecture en fin de 2^e primaire (soit 71 sur 85). Comme dans l'étude danoise, la classification est moins fiable pour les futurs mauvais lecteurs (76 %) que pour les autres (87 %).

Enfin, le milieu socioculturel des enfants est moins fortement relié à leur futur niveau de lecture que ne le sont leurs habiletés linguistiques. Dans l'ensemble, d'après la synthèse de Elbro et Scarborough (2003), les corrélations sont au-dessous de 0,25. Le même constat ressort de l'analyse des pratiques familiales de lecture. Ainsi, selon deux méta-analyses qui ont évalué l'impact des lectures des parents sur le niveau de lecture des enfants, les corrélations entre ces deux domaines, bien que significatives, sont faibles : de l'ordre de 0,28 (Scarborough et Dobrich, 1994 ; Bus et coll., 1995). Les mesures de ce type sont donc moins informatives que celles qui prennent en compte les compétences langagières précoces pour identifier les enfants à

6. Ce choix se justifiant par les corrélations très élevées entre ce test et les autres épreuves de lecture, qu'elles évaluent les capacités de décodage ou de compréhension.

risque pour l'apprentissage de la lecture. La prédiction est toutefois plus faible quand il est tenu compte non pas des habitudes de lecture des parents, mais de leurs habiletés dans ce domaine. Ainsi, le fait d'avoir des parents souffrant de difficultés de lecture est un facteur de risque. Lorsque le niveau de lecture des parents est contrôlé, l'influence des facteurs socioéconomiques est réduite (Petersen et Elbro, 1999).

En résumé, ce sont les capacités d'analyse phonologique qui sont le plus fortement reliées à l'apprentissage de la lecture à son début, le pouvoir prédictif des compétences d'analyse morphologique augmentant en fonction du niveau scolaire, alors que celui des compétences d'analyse phonologique diminue, tout en restant significatif. De plus, les prédicteurs les plus forts de l'apprentissage de la lecture sont les compétences d'analyse phonologique, principalement au niveau phonémique, celles de mémoire phonologique à court terme, de dénomination rapide et le niveau de connaissance des lettres. Ces prédicteurs permettent de pronostiquer précocement les enfants à risque pour cet apprentissage, avec une fiabilité élevée. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre. Enfin, des entraînements à l'analyse phonémique ont des effets positifs sur la lecture, qui sont toutefois plus importants si, en plus, les correspondances entre lettres et phonèmes sont enseignées.

Développement des compétences spécifiques à la lecture

Les études sur le lecteur expert indiquent que les compétences spécifiques à la lecture se situent au niveau de l'identification des mots écrits, ces procédures étant largement indépendantes du contexte. D'après les modèles de référence dans le domaine (Plaut et coll., 1996 ; Coltheart et coll., 2001), pour identifier les mots écrits, ce lecteur peut utiliser la voie dite directe (aussi appelée voie lexicale ou procédure par adressage, ou encore procédure visuo-orthographique) ou la voie dite indirecte (aussi appelée voie sublexicale ou procédure par assemblage, ou encore procédure par médiation phonologique), ce qui renvoie, dans la terminologie utilisée dans le domaine de l'enseignement, à la lecture globale de mot, en opposition au décodage. Dans la suite, le terme « adressage » (ou procédure lexicale) est utilisé pour désigner la première procédure et le terme « décodage » (ou procédure sublexicale) pour désigner la seconde. Il faut toutefois tenir compte du fait que le décodage s'automatise progressivement : cette procédure ne fait donc pas seulement référence à la lecture lente et laborieuse du débutant, le lecteur expert peut en effet identifier très rapidement des mots qu'il ne connaît pas. De plus, l'expert a accès en quelques millisecondes aux codes orthographique, phonologique et sémantique des mots écrits : le lecteur supposé utiliser une procédure par adressage ne perçoit donc pas seulement les caractéristiques visuelles et sémantiques des mots écrits.

La question est de savoir comment se mettent en place ces procédures au cours de l'apprentissage de la lecture. Si, comme l'ont montré les travaux sur les compétences qui prédisent le futur niveau de lecture dans une écriture alphabétique, ce sont les capacités d'analyse phonémique qui apparaissent comme étant les meilleurs prédicteurs, on peut supposer que l'enfant va d'abord s'appuyer sur les correspondances graphème-phonème, et non sur des unités de plus grande taille⁷. La réussite de l'apprentissage de la lecture doit donc dépendre de la consistance de ces relations, qui varie en fonction des langues. La première partie de cette section présente les principaux résultats des études dans le domaine. Ensuite est examiné le rôle des méthodes d'enseignement sur l'apprentissage de la lecture.

Rôle de l'environnement linguistique sur l'apprentissage

Dans certaines langues, comme en espagnol ou en italien, les correspondances grapho-phonémiques sont très consistantes alors que dans d'autres, comme en anglais, elles sont peu consistantes, l'allemand et le français occupant une place intermédiaire⁸. On devrait donc relever des différences quantitatives entre anglophones et non anglophones, mais également des différences qualitatives. Ainsi, le décodage devrait être utilisé plus systématiquement quand l'orthographe est transparente que lorsqu'elle ne l'est pas, une orthographe opaque pouvant conduire à la mise en œuvre précoce de la procédure lexicale, ou à la prise en compte d'unités sublexicales plus larges que les graphèmes.

Une étude qui a impliqué des enfants de différents pays d'Europe permet de cerner l'incidence négative de l'opacité de l'orthographe sur les débuts de l'apprentissage de la lecture (Seymour et coll., 2003). Sauf pour les anglais et les français, uniquement des enfants en 1^{re} année d'apprentissage de la lecture ont été examinés, les anglophones étant les plus jeunes (5,6 ans). Toutefois, les anglophones de 2^e année ont approximativement le même âge (6,6 ans) que les enfants de 1^{re} année français et espagnols, mais ils ont un an de moins que les allemands (7,6 ans). Des mots familiers très fréquents ont été sélectionnés dans chaque langue : mots « plein » (en français : « voir, femme... », en anglais : « *high, boy...* ») et mots « fonction » (en

7. Nous ne reviendrons pas sur la question des stratégies logographiques (voir pour une synthèse Sprenger-Charolles et Colé, 2003), qui n'ont aucun pouvoir génératif (en anglais : Masonheimer et coll., 1984 ; Stuart et Coltheart, 1988 ; en allemand : Wimmer et Hummer, 1990 ; en français : Sprenger-Charolles et Bonnet, 1996).

8. Le français se caractérise toutefois par le fait que les correspondances grapho-phonémiques (utilisées pour la lecture) sont très consistantes alors que les correspondances phono-graphémiques (utilisées pour l'écriture) ne le sont pas (Peereman et Content, 1999). Ainsi, le mot « tableau » ne peut se lire que d'une seule façon alors qu'il peut s'orthographier « *tablo, tablau, thablo...* », ce qui permet de comprendre pourquoi les enfants apprennent plus facilement à lire qu'à écrire (Sprenger-Charolles et coll., 1998b et 2003 ; Eme et Golder, 2005).

français : « donc, alors... », en anglais: « *them, about...* »). Deux listes de pseudo-mots ont également été élaborées, une contenant des items d'une syllabique, l'autre de deux syllabiques. Les résultats des anglophones, des francophones, des germanophones et des hispanophones en fin de 1^{re} année du primaire ainsi que ceux des anglophones et des francophones en fin de 2^e année du primaire sont présentés dans la figure 2.5.

Les anglophones de 1^{re} année sont clairement des *outliers*. Les scores de ceux de 2^e année sont comparables à ceux des français de 1^{re} année mais inférieurs à ceux des espagnols et allemands de 1^{re} année (entre 15 et 34 % de différence). Les analyses statistiques indiquent que, en lecture de mots, la moyenne des anglophones de 1^{re} année est inférieure à celle des enfants français, danois et portugais de même niveau scolaire, qui, à leur tour, ont des résultats inférieurs à ceux de tous les autres enfants. Les anglophones de 2^e année forment un sous-groupe avec les Danois, les Portugais et les Français de 1^{re} année. En lecture de pseudo-mots, les scores des anglophones de 2^e année sont faibles et inférieurs à ceux de tous les enfants de 1^{re} année, sauf les danois. À âge équivalent (6,6 ans), le niveau de lecture des anglophones, qui ont pourtant bénéficié d'une année supplémentaire d'apprentissage de la lecture, est inférieur à celui de la majeure partie des autres enfants. Ces résultats sont d'autant plus remarquables que les anglophones de cette étude ont un niveau de lecture supérieur aux normes nationales et sont issus de milieux socioéconomiques plutôt favorisés.

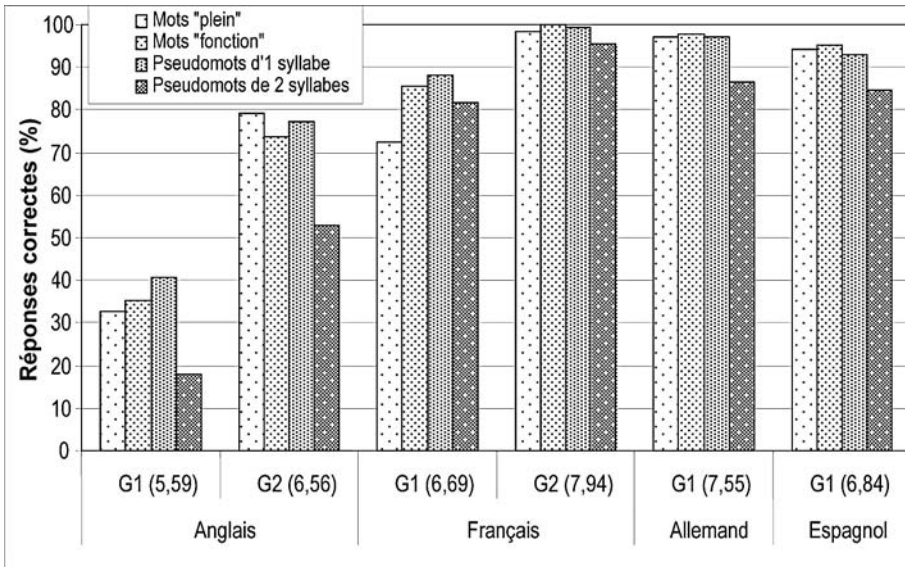


Figure 2.5 : Pourcentage de réponses correctes (d'après l'étude inter-langue de Seymour et coll., 2003)

Dans une autre étude, des enfants francophones et anglophones ont été suivis pendant 2 ans, de la grande section de maternelle à la fin de la 1^{re} année du primaire (Bruck et coll., 1997). Les auteurs ont examiné la lecture de mots simples (des items d'une syllabe, réguliers et de haute fréquence) et de pseudo-mots (construits en changeant la première lettre des mots). Les résultats, présentés dans la figure 2.6, indiquent que les scores des anglophones sont plus faibles que ceux des francophones, la différence entre les deux groupes étant encore une fois plus marquée pour les pseudo-mots que pour les mots.

Ces résultats, qui renforcent l'idée que la consistance des relations graphophonémiques a une incidence positive sur l'apprentissage de la lecture, sont d'autant plus importants qu'une des principales différences entre les deux groupes est que les petits anglophones ont bénéficié d'une sensibilisation précoce à la lecture en grande section de maternelle, pas les petits français. Les mêmes tendances ont été relevées dans une autre étude, qui impliquait en plus des enfants espagnols (Goswami et coll., 1998).

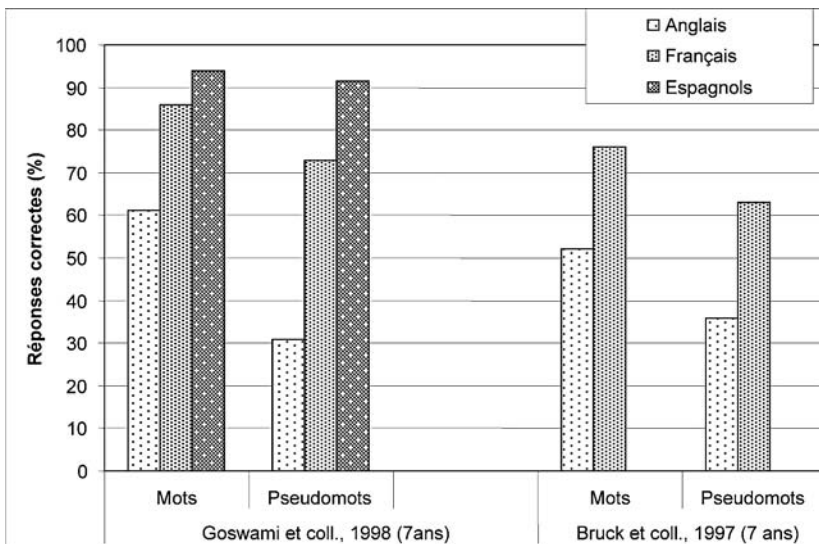


Figure 2.6 : Réponses correctes en lecture de mots et de pseudo-mots pour les enfants de 7 ans de l'étude de Goswami et coll. (1998) et pour ceux de même âge de l'étude de Bruck et coll. (1997)

Les résultats précédents signalent des différences quantitatives en faveur des enfants qui apprennent à lire dans une orthographe transparente. Ils suggèrent aussi que l'environnement linguistique a une incidence sur les procédures de lecture mises en œuvre. Ainsi, comparativement à des non-anglophones, les apprenti-lecteurs anglophones auraient des difficultés de

mise en œuvre du décodage, en témoignent leurs scores, toujours plus faibles, en lecture de mots nouveaux. C'est aussi ce qu'indique l'étude de Wimmer et Goswami (1994), qui a porté sur des enfants anglophones et germanophones de 7, 8 et 9 ans qui ont eu à lire des noms de chiffres ainsi que des pseudo-mots construits à partir de ces mots en changeant la consonne initiale. Les jeunes allemands (7 ans) font moins d'erreurs sur les pseudo-mots que les enfants anglais plus âgés (9 ans) et, lorsqu'ils se trompent, ils produisent surtout des néologismes (l'item écrit est remplacé par un mot qui n'existe pas mais qui a une prononciation voisine). En revanche, les jeunes anglais, soit ne répondent pas, soit font des erreurs de lexicalisation (le pseudo-mot est remplacé par un mot). De plus, les corrélations entre les temps de réponse pour les mots et les pseudo-mots sont élevées chez les jeunes allemands (0,93), pas chez les anglais (0,58).

Ces résultats, qui suggèrent que les jeunes allemands, mais pas les enfants anglais, utilisent largement la même procédure pour lire les mots et les pseudo-mots, ont été reproduits dans une étude ultérieure avec des enfants de même âge (Frith et coll., 1998). Les enfants devaient lire des mots, apparus en difficulté orthographique et en familiarité (*Summer/Sommer*) et des pseudo-mots dérivés des mêmes mots (*Rummer/Rommer*). Les performances des anglophones sont inférieures à celles des germanophones en lecture de mots (80 % *versus* 95 %) et, surtout, en lecture de pseudo-mots (59 % *versus* 88 %). Dans une seconde expérience, la fréquence et la lexicalité ont été manipulées. Pour les mots fréquents, les performances des enfants de 8 ans des deux groupes linguistiques sont similaires, alors que les anglophones manifestent de moins bons scores pour les mots rares ou inventés. Les mêmes enfants ont eu à lire des pseudo-mots composés de trois syllabes simples (« tarulo, surimo »). De nouveau, les scores des anglophones de 8 ans sont inférieurs, non seulement pour la précision (70 % *versus* 99 % pour les enfants allemands) mais également pour les temps de réponse (4,3 s *versus* 1,9 s). Cette étude a également permis de relever des différences dans le traitement des voyelles, source de nombreuses erreurs chez les petits anglais, mais pas chez les enfants allemands. Comme le soulignent les auteurs, ces résultats peuvent s'expliquer par la plus grande consistance de l'orthographe de l'allemand, principalement pour les voyelles. Cette inconsistance de l'orthographe conduit les jeunes anglais à s'aider d'informations lexicales quand ils apprennent à lire, alors que les jeunes allemands s'appuient essentiellement sur les correspondances graphème-phonème.

C'est ce qui ressort d'une autre étude dans laquelle on a présenté à des enfants anglais et allemands de 8 et 9 ans des pseudo-mots qui se prononcent comme un mot de la langue (homophones), des pseudo-mots non-homophones et des mots (Goswami et coll., 2001). Les enfants ont eu à effectuer une tâche de lecture à haute voix et une de décision lexicale (dire si l'item présenté sur l'écran d'un ordinateur est ou non un mot de la langue, en appuyant sur une touche différente pour les réponses « oui » et « non »).

La logique sous-tendant cette étude est que, dans la mesure où les pseudo-mots homophones se prononcent comme un mot de la langue, ils devraient être mieux lus en lecture à haute voix que les pseudo-mots non-homophones, en revanche, ils devraient entraîner un fort taux d'acceptations erronées dans la tâche de décision lexicale. En fait, en lecture à haute voix, l'effet facilitateur de l'homophonie n'est relevé que chez les enfants anglophones, alors que l'effet négatif de l'homophonie n'est observé en décision lexicale que chez les germanophones. Le résultat relevé en lecture à haute voix suggère donc une nouvelle fois que les anglais – mais pas les allemands – auraient besoin d'utiliser leurs connaissances lexicales pour lire des pseudo-mots. Celui observé en lecture silencieuse signale que, chez les enfants germanophones – mais pas chez les anglophones – l'information phonologique serait automatiquement activée au cours de la lecture (comme chez l'expert) et difficile à inhiber.

L'opacité de l'orthographe a aussi une incidence sur les unités sublexicales utilisées par l'apprenti-lecteur. Ainsi, comme l'indiquent les résultats de différentes études, la faible cohérence des correspondances graphème-phonème en anglais conduit l'enfant à développer des stratégies de lecture s'appuyant sur des unités de différentes tailles, alors que quand l'orthographe est transparente, une seule stratégie, s'appuyant sur les correspondances graphème-phonème, est utilisée. En particulier, vu que, en anglais, les inconsistances de prononciation des voyelles sont réduites quand il est tenu compte des consonnes qui suivent, les anglophones utilisent des unités de type rime. En revanche, la prise en compte des unités rime n'a pas d'incidence majeure dans des langues qui comportent des voyelles clairement articulées et qui, en plus, ont principalement des syllabes ouvertes, se terminant par une voyelle (dans ce cas la rime correspond à un phonème), comme en français ou en espagnol par exemple, comparativement à l'allemand et à l'anglais.

Cette question a été examinée dans une étude inter-langues (anglais, français, espagnol) par Goswami et coll. (1998). L'étude a porté sur des enfants de 7, 8 et 9 ans qui ont eu à lire des mots et des pseudo-mots qui avaient ou non la même rime que des mots. Un effet facilitateur de la présence de rimes est relevé chez les anglophones et les francophones, mais pas chez les hispanophones. Comme le soulignent Ziegler et Goswami (2005), la prise en compte des rimes a toutefois un effet plus massif sur les résultats des anglophones que sur ceux des francophones : pour les enfants de 7 ans, l'amélioration des scores est en effet de 15 % à 20 % pour les anglais contre 5 % chez les français. Un résultat similaire a été relevé dans une autre étude avec des enfants francophones de 1^{re} année du primaire (5 % de supériorité pour les pseudo-mots qui riment avec des mots en comparaison avec des items de contrôle, Sprenger-Charolles et coll., 1998b). Toutefois cet effet a été relevé en milieu de CP, alors que ni la fréquence, ni la lexicalité, n'influaient sur les performances en lecture. Il pourrait donc provenir d'une facilitation *via* le lexique oral, les pseudo-mots qui riment

avec des mots étant construits à partir de mots fréquents qui ont des codes articulatoires préprogrammés. Cette interprétation est renforcée par le fait que, avec les mêmes items et les mêmes enfants, cet effet n'a pas été observé en écriture, modalité dans laquelle les codes articulatoires ne sont pas directement impliqués, à la différence de la lecture à haute voix. Elle est également renforcée par la présence de corrélations élevées entre les deux types de pseudo-mots (0,90).

L'utilisation par des enfants anglais et allemand d'unités sublexicales de petite taille (graphème-phonème, CGP) ou plus larges (rimes) a été ré-évaluée par Goswami et coll. (2003). La logique de cette étude est qu'une procédure s'appuyant sur les rimes devrait faciliter la lecture de pseudo-mots qui peuvent être lus par une telle procédure (en anglais, « *dake* », qui rime avec « *cake* », en allemand, « *guff* », qui rime avec « *cuff* ») lorsque dans une liste uniquement des pseudo-mots de ce type sont inclus, et vice versa pour des items qui peuvent être lus correctement en n'utilisant que les CGP. Si les deux types d'items sont mélangés dans une même liste, les performances des enfants anglais devraient être plus affectées que celles des allemands. C'est bien le résultat observé. En effet, dans la seconde condition, les scores des allemands ne sont pas pénalisés, ce qui suggère une nouvelle fois qu'ils utilisent surtout les CGP, alors que ceux des anglophones le sont, ce qui signale qu'ils utilisent à la fois une stratégie se basant sur les CGP et une stratégie se basant sur les rimes.

D'autres études indiquent que l'incidence négative de l'opacité de l'orthographe ne se retrouve pas simplement au début de l'apprentissage. C'est ce que suggèrent deux études, l'une avec des enfants de 9 ans, anglophones et néerlandophones (Pate et coll., 2004), l'autre avec des adultes anglais, français et italiens (Paulesu et coll., 2001). Dans ces études, le temps de latence de la réponse vocale dans des tâches de lecture à haute voix a été examiné. La première étude montre une infériorité des anglais, quel que soit le type d'item à lire (les différences à leur détriment sont de 446 et 576 ms pour la lecture de mots et de pseudo-mots, respectivement). De même, les anglais adultes (Paulesu et coll., 2001) se démarquent à la fois des français et des italiens, mais surtout en lecture de pseudo-mots (90 et 260 ms de différence au détriment des anglais ; les différences étant de 30 et 120 ms en lecture de mots) ce qui suggère encore une fois que les anglophones utilisent probablement plus que les sujets non anglophones leurs connaissances lexicales pour lire.

En résumé, le niveau en lecture dépend du degré de transparence de l'orthographe. En effet, les scores les plus faibles se retrouvent chez les anglophones et les meilleurs chez les hispanophones. Les facteurs linguistiques induisent également des différences qualitatives. Ainsi, les anglophones utilisent davantage la procédure lexicale, probablement pour compenser la difficulté de mise en œuvre du décodage dans leur langue.

C'est ce que suggère, d'une part, le fait que, dans toutes les comparaisons inter-langues, les différences les plus fortes à leur détriment ont été relevées en lecture de pseudo-mots, et non en lecture de mots et, d'autre part, la présence d'un effet facilitateur de l'homophonie dans des tâches de lecture à haute voix. En revanche, la présence de corrélations très élevées entre les scores pour les mots et les pseudo-mots chez les germanophones (pas chez les anglophones), tout comme l'absence d'effets facilitateurs de la fréquence et de l'homophonie en lecture à haute voix, indique que ces enfants s'appuieraient essentiellement sur le décodage pour lire. De plus, l'effet négatif de l'homophonie en lecture silencieuse relevé chez eux (pas chez les anglais), signale qu'ils auraient des difficultés à inhiber l'information phonologique. La moindre consistance des unités grapho-phonémiques en anglais semble également favoriser un plus grand recours à des unités plus larges que le graphème, en particulier la rime des mots, ce qui s'explique par le fait que cette consistance est, surtout pour les voyelles, plus forte au niveau des rimes dans cette langue. Ce n'est pas le cas dans des langues qui ont des voyelles clairement articulées, comme en français, en espagnol et en allemand.

Exemple en français : données longitudinales de 6 à 10 ans

En raison de la consistance des relations grapho-phonémiques en français, on peut s'attendre à observer une forte utilisation du décodage au début de l'apprentissage de la lecture. Cette hypothèse a été évaluée dans des études longitudinales (entre autres, Sprenger-Charolles et Casalis, 1995 ; Sprenger-Charolles et Bonnet, 1996 ; Sprenger-Charolles et Siegel, 1997 ; Sprenger-Charolles et coll., 1998a et b ; Sprenger-Charolles et coll., 2003) et transversales (entre autres, Leybaert et Content, 1995 ; Colé et coll., 1999). Nous examinerons surtout les résultats des études longitudinales vu que, les mêmes enfants étant observés à différents moments, les changements relevés entre sessions peuvent être imputés à des déterminants antérieurs. Ceux de deux études vont être présentés en détail (Sprenger-Charolles et coll., 1998b, 2003). Dans ces études, n'ont été pris en compte que des enfants supposés ne pas devoir rencontrer de difficultés pour les apprentissages scolaires, en l'occurrence, ceux ne présentant pas de troubles comportementaux ou sensoriels (auditifs ou visuels), ayant un niveau cognitif normal et de langue maternelle française. Soixante non-lecteurs ont été sélectionnés sur cette base à 5 ans, à partir du bilan réalisé par le psychologue scolaire, le niveau de « non-lecture », tout comme le niveau cognitif verbal et non-verbal, ayant été évalué par des tests spécifiques. En début de primaire, ces enfants étaient scolarisés dans 20 classes de 9 écoles de la banlieue parisienne, ce qui a permis de neutraliser au mieux la variable pédagogique.

Les enfants ont eu à lire des mots réguliers et irréguliers de différents niveaux de fréquence (« table » versus « sable » ou « sept » versus

« short »)⁹. Les mots réguliers ont été appariés en difficultés orthographiques à des pseudo-mots (« table-lople », « riche-soche »).

Les premiers résultats pour les sessions de CP ont été publiés en 1998 (Sprenger-Charolles et coll., 1998b). En milieu de CP, les performances en lecture sont très fortement affectées par la régularité mais pas par la fréquence ni par la lexicalité. En effet, alors que les mots réguliers sont mieux lus que les mots irréguliers (41 % de réponses correctes contre 7 %), les différences entre mots fréquents et rares (30 % contre 28 %), tout comme celles entre mots et pseudo-mots (44 % contre 48 %) ne sont pas significatives. Les effets de fréquence et de lexicalité se manifestent toutefois dès la fin du CP (75 % de réponses correctes pour les mots fréquents contre 66 % pour les rares ; 88 % pour les mots réguliers contre 80 % pour les pseudo-mots). Néanmoins, à cette époque, les signes de mise en œuvre de la procédure sublexicale sont toujours présents, en particulier l'effet de la régularité qui est même plus marqué que lors de la session précédente. La différence entre les réponses correctes pour les mots réguliers et irréguliers augmente en effet de 15 % (de 34 % à 49 %). Il en est de même, pour la proportion des erreurs de régularisation, qui passe de 5 % à 27 %. Ces résultats indiquent que les enfants utilisent principalement la procédure sublexicale au début de l'apprentissage de la lecture, le poids de cette procédure augmentant dans le temps alors qu'apparaissent progressivement quelques manifestations de traitements lexicaux.

La majeure partie de ces enfants a été suivie jusqu'en fin du CM1 (Sprenger-Charolles et coll., 2003). Dans la mesure où, d'après les résultats précédents, les effets de fréquence et de lexicalité allaient dans le même sens et que les mots rares utilisés étaient suffisamment fréquents pour être connus de lecteurs débutants, les analyses n'ont porté que sur les effets de lexicalité et de régularité. Les résultats, présentés dans la figure 2.7, indiquent que les changements majeurs s'opèrent durant la première année du primaire. En milieu de CP en effet, les scores en lecture de mots réguliers et de pseudo-mots ne diffèrent pas et sont supérieurs à ceux pour les mots irréguliers, qui sont très faibles. En quelques mois, le tableau se modifie fortement. Une progression est relevée pour les trois types d'items mais elle est plus marquée pour les mots réguliers, qui sont alors mieux lus que les pseudo-mots, eux-mêmes mieux lus que les mots irréguliers, ce qui peut s'expliquer par le fait que les mots réguliers bénéficient à la fois de la régularité et de la fréquence d'exposition. Ni la fréquence d'exposition seule, ni la régularité seule suffisent, comme en témoigne la progression plus faible pour les mots irréguliers d'une part, et pour les pseudo-mots d'autre part. Ces résultats permettent de comprendre pourquoi les progrès des enfants espagnols, qui ne rencontrent pratiquement que des mots réguliers,

9. Une pré-enquête de familiarité réalisée avec des enfants de milieu de CP a permis de vérifier que même les mots les moins fréquents utilisés étaient connus d'eux à l'oral. Cette précaution se justifie par le fait qu'il faut éviter de confondre effets de fréquence et de lexicalité, ce qui peut être le cas quand les mots rares sont en fait des mots que les enfants ne connaissent pas.

sont si rapides alors que l'apprentissage de la lecture est lent et laborieux pour les enfants anglais, confrontés à une orthographe peu consistante.

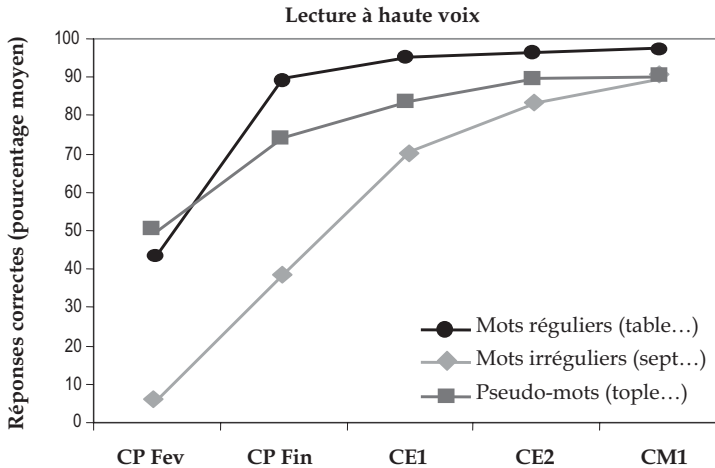


Figure 2.7 : Réponses correctes en lecture à haute voix de mots réguliers et irréguliers et de pseudo-mots : données longitudinales (d'après Sprenger-Charolles et coll., 2003)

Ces résultats peuvent toutefois être biaisés par le fait que les enfants devaient lire à haute voix. Cela ne semble pas être le cas vu ce qui a été observé, avec les mêmes enfants et aux mêmes époques, dans une tâche de lecture silencieuse dans laquelle, après l'énoncé d'une catégorie (fruit, couleur...) un mot appartenant ou non à cette catégorie était présenté. L'épreuve comportait des pièges visuels ou phonologiques. Par exemple, la question « est-ce que c'est une couleur? » était suivie de la présentation du mot « gris » (item correct), « blan » (intrus phonologique) ou « rouge » (intrus visuel), l'hypothèse étant que si les codes phonologiques des mots écrits sont activés en lecture silencieuse, les intrus phonologiques devraient entraîner plus de fausses acceptations que les intrus visuels. De fait, sauf en milieu de CP, il y a systématiquement plus d'acceptations erronées des intrus phonologiques que des intrus visuels (respectivement pour les sessions de milieu et fin de CP et de fin de CE1 : 83, 90 et 77 % pour les intrus phonologiques et 84, 70 et 54 % pour les intrus visuels, soit respectivement -1 %, +20 % et +23 % de différence au détriment des intrus phonologiques). Les enfants activent donc les codes phonologiques des mots écrits en lecture silencieuse. Ce résultat pourrait toutefois être dû à des connaissances orthographiques peu précises. Pour savoir si l'orthographe des mots utilisés était maîtrisée, le mot-cible a été présenté en même temps que les deux

intrus (« pomme » *versus* « pome, pomne » ; « loup » *versus* « lou, louq »), les enfants devant montrer le « bon mot », celui qui est bien écrit. Le nombre des réponses correctes double entre le milieu du CP et la fin du CE1 (de 42 % à 87 %). En fin de CE1, les représentations orthographiques sont bien établies, tout au moins pour les items proposés. Or, à la même époque, les enfants ne rejetaient correctement qu'environ 25 % des intrus phonologiques contre environ 50 % des intrus visuels dans l'épreuve de décision sémantique. Les scores observés dans l'épreuve de choix orthographique peuvent s'expliquer par le fait qu'il est plus facile de repérer le bon mot quand les trois items sont présentés en même temps que lorsqu'on ne voit qu'un seul mot, correct ou non. Ils ne permettent toutefois pas de comprendre pourquoi, dans l'épreuve de décision sémantique, ce sont les intrus phonologiques qui sont source de plus d'erreurs. De plus, l'examen des erreurs dans l'épreuve de choix orthographique (Sprenger-Charolles et coll., 1998a) a permis de constater que, en milieu de CP, les acceptations erronées concernent massivement les intrus phonologiques (46 %), qui sont aussi souvent choisis que les mots corrects (40 %) et bien plus fréquemment que les intrus visuels (14 %). En fin de CP, alors que les réponses correctes dominent, on relève toujours plus d'erreurs sur les intrus phonologiques (29 %) que sur les intrus visuels (6 %). Quelle que soit l'épreuve, les intrus phonologiques sont donc source d'erreurs plus nombreuses que les intrus visuels. Cette différence ne peut être imputée à une ignorance de l'orthographe puisqu'elle demeure, et s'accroît, alors que les connaissances orthographiques des enfants s'améliorent.

Comme cela a été relevé chez les enfants germanophones (Goswami et coll., 2001), les résultats obtenus en lecture à haute voix indiquent que les enfants francophones ont recours principalement au décodage grapho-phonémique en début d'apprentissage. De même, ceux observés en lecture silencieuse signalent qu'il leur est difficile d'inhiber l'information phonologique contenue dans des items¹⁰.

Incidence de la morphologie dans l'identification des mots écrits

Les modèles développementaux (Frith, 1985 ; Seymour, 1994) postulent que l'utilisation de la morphologie serait un signe d'expertise, ce qui est en accord avec des résultats indiquant que le lecteur expert semble traiter automatiquement les unités morphémiques (Colé et coll., 1997 ; Barber et coll., 2002). Les chercheurs qui se sont intéressés à la question de savoir si, et à partir de quand, l'apprenti-lecteur traite ce type d'unité ont princi-

10. Les enfants sont également capables d'apprendre des régularités non phonologiquement déterminées, comme le fait que certaines lettres peuvent se doubler, « pp », pas d'autres « jj », (Cassar et Treiman, 1997 ; Pacton et Fayol, 2000 ; Pacton et coll., 2001). Toutefois, il n'a pas été montré que la maîtrise de ce type de compétence a un rôle dans le développement de la lecture.

palement travaillé sur l'écriture. Cette question est pourtant loin d'être subalterne, au moins en français, qui a progressivement basculé du système des langues romanes (dans lequel, par exemple, les marques morphologiques de la personne sont notées à la finale des verbes, « *canto, cantas, canta* », sans pronom) au système des langues anglo-saxonnes (dans lequel ces marques sont indiquées par des pronoms). En plus, en français oral, les finales consonantiques des mots se sont amuiesées progressivement, si bien que les marques de dérivation ont pour la plupart disparu à l'oral (cf. « grand, petit, long... »). En revanche, l'écrit, plus conservateur que l'oral, a gardé des traces de l'ancien système, ou d'anciennes prononciations, ce qui est à l'origine des principales inconsistances des relations graphème-phonème en français.

Des effets facilitateurs de la morphologie ont été relevés chez des enfants anglais de 7 à 9 ans (Laxon et coll., 1999 ; Carlisle et Stone, 2003 ; Mann et Singson, 2003) et chez des enfants français dès la fin de la 1^{re} primaire (Marec-Breton et coll., 2005). L'étude de Laxon et coll. (1992) indique cependant que l'analyse morphologique des mots lus est sous la dépendance de facteurs phonologiques jusqu'à une période tardive. Ainsi, la lecture de mots suffixés est meilleure que celle de pseudo-suffixés (en français « chasser » *versus* « berger »), chez des enfants et des adultes, toutefois, les mots se terminant en « er » sont mieux lus que ceux finissant par « ed » par les enfants, pas par les adultes, ce qui peut s'expliquer par les règles phonologiques complexes qui gouvernent la prononciation du suffixe « ed » en anglais. C'est aussi ce qu'indique l'étude de Feldman et coll. (2002), qui a porté sur des enfants de 5^e primaire qui devaient compléter un mot cible à partir d'une amorce transparente ou opaque (en français « vol-voler » *versus* « beau-belle »). Un effet de facilitation morphologique est relevé, que l'amorce soit transparente ou pas, cet effet étant toutefois plus important pour les amorces transparentes. Les résultats d'autres études vont dans le même sens (en anglais : Mann et Singson, 2003 ; en italien : Burani et coll., 2002). Les enfants utilisent donc les unités morphologiques quand ils lisent, quelle que soit l'orthographe (en italien, en allemand et en anglais). Néanmoins, le recours à de telles unités est sous la dépendance de facteurs phonologiques jusqu'à une époque tardive.

Rôle des méthodes d'apprentissage de la lecture

Les recherches dans ce domaine sont essentiellement anglo-saxonnes. Il y a toutefois quelques études francophones, entre autres, celles de Braibant et Gérard (1996) et de Goigoux (2000).

Les études anglo-saxonnes ont fait l'objet de deux synthèses, suite à une requête du congrès des États-Unis qui, en 1997, a demandé que soit évaluée l'incidence des pratiques pédagogiques sur l'apprentissage de la lecture. Une synthèse porte sur l'incidence des méthodes d'enseignement sur l'apprentissage

de la lecture (Ehri et coll., 2001b) ; l'autre sur l'effet d'un entraînement des capacités d'analyse phonémique sur cet apprentissage (Ehri et coll., 2001a)¹¹.

La première synthèse de Ehri et coll. (2001) inclut 38 études effectuées avec des enfants anglophones scolarisés aux États-Unis, au Canada, en Grande-Bretagne et en Australie. L'effet d'un type particulier de méthode a été évalué en comparant les résultats d'enfants intégrés dans des groupes qui ont bénéficié de méthodes supposées avoir un effet positif sur l'apprentissage de la lecture à ceux d'enfants qui ont été exposés à des méthodes différentes : le groupe dit « témoin ». Les études examinées ont été conduites dans des situations scolaires ordinaires : il ne s'agit donc pas d'expériences de laboratoire. Les différences relevées après l'apprentissage entre les groupes sont présentées en nombre d'écart-type. Des améliorations de l'ordre de 0,20 ; 0,50 et 0,80 écart-type ont été considérées comme étant respectivement faibles, modérées ou importantes (Cohen, 1988).

Cette synthèse avait 4 objectifs principaux :

- évaluer si un enseignement systématique des correspondances grapho-phonémiques aide plus efficacement les enfants à apprendre à lire qu'un enseignement ne tenant que peu, ou pas du tout, compte de ces correspondances ;
- évaluer si cet enseignement est plus efficace dans certaines circonstances, entre autres, en fonction, d'une part, de son moment d'introduction, très précoce (c'est-à-dire en 1^{re} année du primaire, voire en grande section de maternelle) ou plus tardif (à partir de la 2^e année du primaire) et, d'autre part, des habiletés des enfants : est-ce que ce type de méthode est aussi efficace pour des enfants n'ayant pas été repérés comme étant à risque pour l'apprentissage de la lecture que pour ceux supposés à risque pour cet apprentissage ou pour des lecteurs en difficultés ;
- évaluer si ce type d'enseignement a un effet non seulement sur les capacités de décodage mais également sur la compréhension de texte ;
- enfin, évaluer si les différences sont significatives quelles que soient les méthodes auxquelles ont été exposés les enfants du groupe témoin : entre autres, les méthodes de type « mixte », qui enseignent de façon non systématique le décodage, et les méthodes « *whole word* » ou « *whole language* ». Dans la méthode « *whole word* », les enfants apprennent d'abord quelques mots par cœur ; c'est seulement après cette étape, et en général pas avant la fin de la première année du primaire, que débute l'apprentissage des correspondances grapho-phonémiques. À la différence de cette méthode, dans l'approche « *whole language* » l'enseignement des correspondances grapho-phonémiques n'est pas différé, il est simplement réalisé en fonction des besoins des enfants.

11. Les résultats de cette synthèse sont présentés dans la partie « Compétences nécessaires à l'apprentissage de la lecture ».

L'effet moyen d'un enseignement systématique des relations grapho-phonémiques a été évalué sur les performances des enfants en lecture et en écriture de mots ainsi qu'en compréhension de textes, comparativement aux autres méthodes. Les principaux résultats sont présentés dans les figures 2.8a (avantage de la méthode phonique selon la tâche) et 2.8b (avantage de la méthode phonique selon le niveau de lecture et le niveau socio-économique : moyenne sur les 4 tâches).

Comme l'indique la figure 2.8a, un enseignement systématique des correspondances grapho-phonémiques en 1^{re} année de primaire, voire dès la grande section de maternelle (sur la figure, les résultats des deux années sont confondus) aide efficacement les élèves. Cette supériorité se manifeste sur toutes les mesures. En revanche, lorsque cette méthode est introduite plus tardivement (à partir de la 2^e année du primaire), son impact est plus faible. Ce dernier résultat peut toutefois être biaisé par le fait que la très grande majorité des études comportant un enseignement tardif des correspondances grapho-phonémiques (78 %) a porté sur des enfants en difficultés.

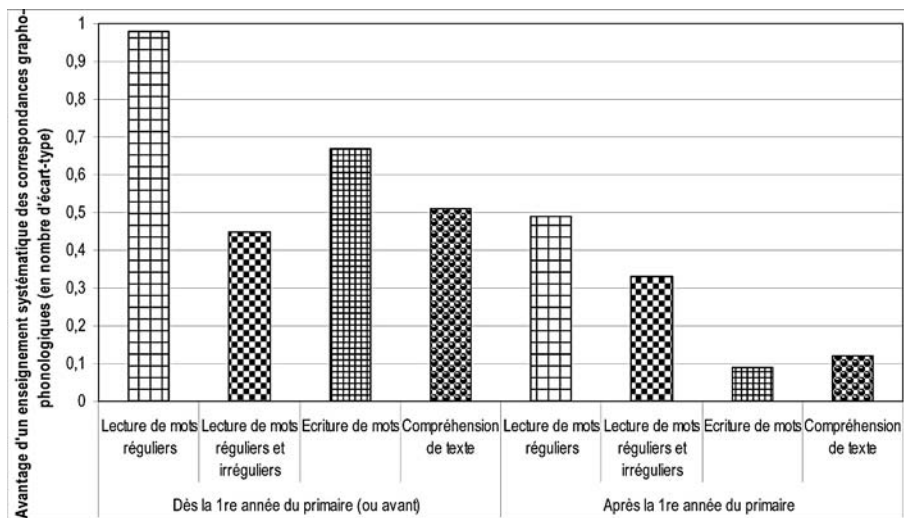


Figure 2.8a : Résultats de la méthode phonique selon la tâche (d'après Ehri et coll., 2001b)

De plus, un enseignement systématique des correspondances grapho-phonémiques est particulièrement bénéfique pour les enfants à risque pour l'apprentissage de lecture, en l'occurrence, ceux qui avaient de faibles capacités d'analyse phonémique ou qui étaient intégrés dans des classes spéciales pour enfants en difficultés, ou encore ceux issus des milieux socio-économiques les moins favorisés (voir la figure 2.8b).

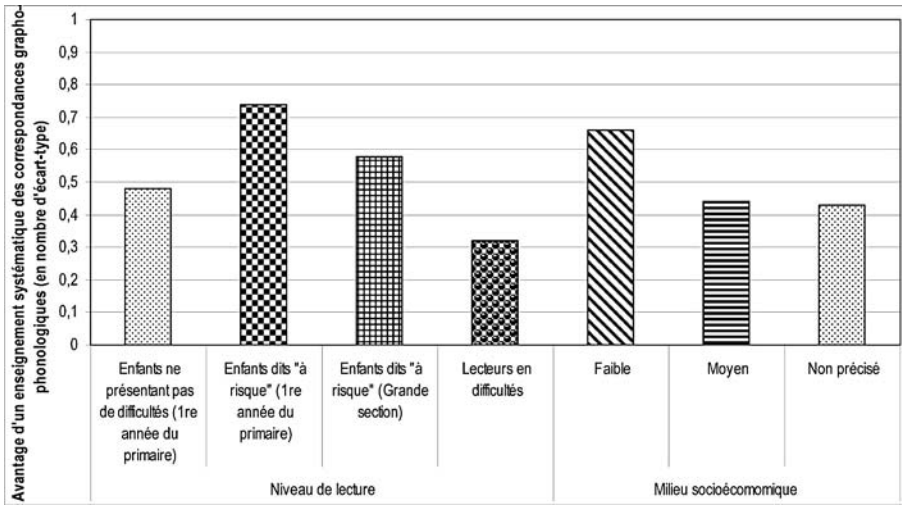


Figure 2.8b : Résultats de la méthode phonique selon le niveau de lecture et le niveau socioéconomique : moyenne sur les 4 tâches (d'après Ehri et coll., 2001b)

Parmi les méthodes qui s'appuient systématiquement sur les relations grapho-phonologiques, il a été possible de distinguer trois principales approches : celles qui utilisent les correspondances entre les graphèmes et les phonèmes, celles qui s'appuient sur des unités plus larges telles que les rimes des mots et les approches mixtes. Ces trois approches ont toutes une incidence positive sur la lecture, les meilleurs résultats étant toutefois relevés quand sont enseignées les relations grapho-phonémiques. Enfin, les méthodes s'appuyant systématiquement sur les relations grapho-phonologiques se sont avérées être supérieures à toutes les autres méthodes, y compris aux méthodes mixtes qui enseignent ces relations, mais de façon non systématique.

Les résultats des études intégrées dans cette synthèse sont robustes : ils ont été relevés systématiquement quelle que soit la taille des groupes (20 enfants dans certaines études contre 320 dans d'autres), et quel que soit le mode d'affectation dans les groupes (dans 63 % des études cette affectation n'a pas été effectuée au hasard). Comme le soulignent les auteurs, ces résultats permettent d'avancer qu'un enseignement systématique et précoce des relations grapho-phonémiques aide plus efficacement les élèves qu'une approche peu, ou pas du tout, centrée sur ces relations.

Deux études francophones, celle de Braibant et Gérard (1996) et celle de Goigoux (2000), ont évalué l'impact d'une méthode centrée sur le décodage comparativement à celui d'une méthode idéovisuelle, qui rejette l'enseignement des relations grapho-phonémiques parce que le recours à la phonologie ralentirait la vitesse de lecture et nuirait à la compréhension. L'hypothèse de ces études était que les enfants ayant bénéficié d'un enseignement idéovisuel devraient avoir des performances supérieures à celles des enfants soumis à un enseignement centré sur le décodage, particulièrement en compréhension de textes écrits.

L'étude de Braibant et Gérard a été conduite auprès de 450 enfants scolarisés dans 25 classes de 2^e année de 12 écoles francophones de l'agglomération bruxelloise. Les caractéristiques de cette population étaient proches des moyennes de référence (origine sociale, âge, sexe, retard scolaire...). La nécessité de ne pas favoriser les élèves qui ont appris à lire selon une méthode plutôt qu'une autre a conduit les auteurs à renoncer à une évaluation des compétences de lecture à voix haute, cette tâche étant généralement utilisée uniquement par les enseignants qui utilisent une méthode phonique. De même, les capacités de compréhension n'ont pas été évaluées par un test qui implique le recours à des stratégies d'anticipation contextuelles, ce type de stratégies étant privilégié par les enseignants pratiquant une méthode idéovisuelle.

Les capacités de décodage ont été évaluées par une épreuve de lecture silencieuse. Un dessin sous lequel était écrit un mot était présenté aux enfants qui devaient décider si ce mot correspondait bien à celui représenté par l'image. Cette épreuve comportait des « mots inadaptés », par exemple, le mot « boire » sous le dessin d'une « poire ». La compréhension a été évaluée par un test dans lequel l'enfant devait choisir, parmi 4 images, celle qui correspondait à un petit texte écrit. Par exemple, le texte « il est temps de se lever pour aller à l'école » était accompagné des images suivantes : l'une avec une maman montrant l'heure à sa fille qui était dans son lit, sur une autre figuraient deux enfants sur le chemin de l'école, les deux dernières images présentaient respectivement une maman lavant sa petite fille et deux enfants en train de se laver. Trois principaux constats ressortent de cette étude.

Tout d'abord, le niveau de lecture en 2^e année du primaire (capacités de décodage et de compréhension) est largement expliqué par la méthode d'enseignement et les pratiques pédagogiques, le pouvoir explicatif de ces variables étant bien plus important que celui des facteurs socioculturels. Les autres facteurs associés à la réussite en lecture sont principalement la langue parlée à la maison et les compétences linguistiques des enfants. Ces deux facteurs n'ont toutefois pas la même incidence sur les différentes mesures des capacités de lecture. Ainsi, les enfants qui ne parlent pas le français à la maison comprennent moins bien ce qu'ils lisent, alors que leurs capacités de décodage sont aussi bonnes que celles des enfants dont la langue maternelle est le français. De même, les compétences linguistiques (vocabulaire, capacités syntaxiques) interviennent dans la réussite au test de compréhension alors qu'elles n'influencent pas de manière significative les capacités de décodage.

Ensuite, quelle que soit l'origine sociale des élèves, l'approche idéovisuelle est moins efficace que l'approche phonique. En fait, comme l'indiquent les résultats présentés dans la figure 2.9, les enfants de milieux les moins favorisés qui ont été exposés à une méthode enseignant le décodage ont des résultats supérieurs à ceux des enfants de milieu plus favorisés confrontés à une méthode idéovisuelle, et ce encore une fois tant dans le test évaluant leurs capacités de décodage que dans celui évaluant leurs capacités de compréhension.

Enfin, les enfants soumis à une approche idéovisuelle ont des scores plus faibles que ceux de l'autre groupe, en plus, cette approche augmente les différences entre les élèves et les classes. En revanche, les résultats des enfants qui ont été exposés à une approche phonique sont plus élevés mais aussi plus homogènes. Par exemple, dans le test de compréhension écrite supposé pourtant leur être plus favorable que le test de décodage, près de 50 % des élèves exposés à une méthode idéovisuelle ont obtenu un score faible (inférieur au percentile¹² 25), près de 25 % d'entre eux ayant même des résultats très faibles (inférieurs au percentile 10). De très bons résultats (supérieurs au percentile 75) n'ont été relevés que chez 10 % de ces enfants. Sur la base des mêmes calculs, 20 % des enfants exposés à une méthode phonique ont obtenu de très bons scores dans la même épreuve, et seulement 10 % des scores faibles.

Ces données ont été confirmées par une étude longitudinale française (Goigoux, 2000). D'après les résultats aux épreuves développées pour cette étude (compréhension et connaissance du code) mais aussi d'après ceux de l'évaluation nationale à l'entrée au CE2, les scores des enfants exposés à une méthode idéovisuelle sont inférieurs à ceux des enfants qui ont bénéficié de la méthode phonique.

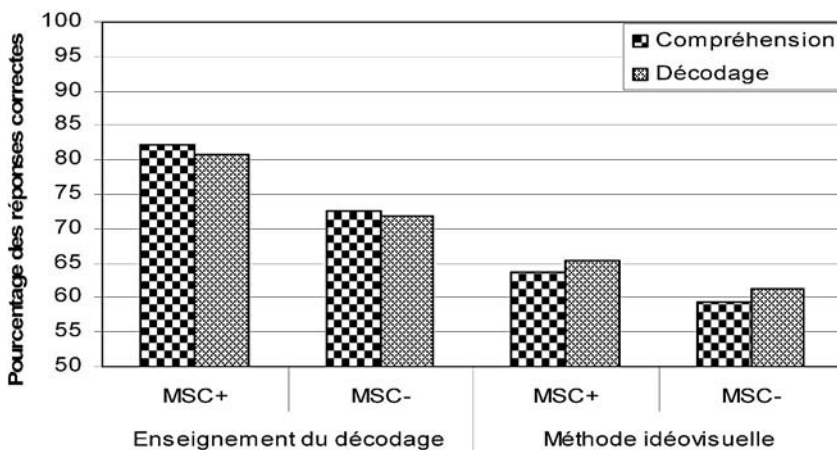


Figure 2.9 : Résultats aux tests de compréhension et de décodage en fonction de l'approche pédagogique et du milieu socioculturel des enfants (MSC+ ou MSC- : milieu favorisé et défavorisé, d'après Braibant et Gérard, 1996)

12. Les percentiles, qui permettent de situer le niveau d'un enfant, sont calculés en fonction des résultats obtenus à un test standardisé. Les scores dans les percentiles 10 et 25 sont ceux obtenus respectivement par les 10% et les 25% des enfants les plus faibles de la population de référence, ceux dans le percentile 75 correspondant aux scores des 25% des enfants les plus forts. Quand, dans une étude spécifique, comme cela est ici le cas, 50 % des enfants ont des scores inférieurs au percentile 25 alors que 10% ont des scores supérieurs au percentile 75, cela signale que, par rapport à ce qui est attendu normalement, il y a une sur-représentation des enfants les plus faibles et un sous-représentation des plus forts.

Ainsi, d'après ces travaux, l'enseignement systématique des correspondances grapho-phonémiques est plus efficace que toutes les autres méthodes et l'impact de ce type d'enseignement est plus fort lorsqu'il débute précocement. Les enfants exposés à ce type d'enseignement obtiennent des résultats significativement supérieurs à ceux des enfants qui ont bénéficié d'autres méthodes, non seulement dans les activités de décodage, mais aussi en compréhension de textes écrits. Enfin, ce type d'enseignement est particulièrement bénéfique pour les enfants à risque de difficultés d'apprentissage de la lecture, soit en raison de la faiblesse de leur langage oral, soit du fait de leur milieu socioculturel.

Rôle du décodage dans l'apprentissage de la lecture

D'autres études indiquent que la maîtrise du décodage est le *sine qua non* de l'apprentissage de la lecture. Cela peut s'expliquer par le fait que le décodage permet de lire tous les mots réguliers, qu'ils soient ou non connus. Cette procédure de lecture fonctionne également, au moins partiellement, pour la lecture de mots irréguliers qui contiennent toujours des correspondances grapho-phonémiques régulières. On peut donc les lire en partie correctement en utilisant les correspondances graphème-phonème et, par une confrontation avec le lexique oral, corriger ensuite les erreurs. En effet, si on lit le mot « femme » en utilisant les relations grapho-phonémiques les plus fréquentes, on obtient l'item /fɛm/ qui n'existe pas. Dans la mesure où un mot fréquent de prononciation voisine existe /fam/, on peut inférer que le « e » de « femme » doit être lu /a/, comme dans les adverbes en « emment ». En fonction de la fréquence des correspondances grapho-phonémiques et de celle des mots, des associations fortes entre unités orthographiques et phonologiques peuvent ainsi se créer, tant au niveau sublexical (entre graphèmes et phonèmes), qu'au niveau lexical (entre représentations orthographiques et phonologiques du mot), voire à des niveaux intermédiaires (les rimes, en anglais), permettant ainsi à l'apprenti-lecteur de dépasser le stade du décodage lent et laborieux, et de lire tous les mots, y compris ceux qu'il n'a jamais rencontrés, par l'une ou l'autre des deux procédures de lecture.

Le rôle du décodage dans l'acquisition de la lecture a été mis en relief par des études qui ont montré que les enfants ayant au départ les meilleurs scores en lecture de pseudo-mots progressent le plus, y compris en lecture de mots irréguliers (Byrne et coll., 1992). Dans d'autres études, des corrélations positives entre réponses correctes et production d'erreurs phonologiques ont été relevées. Ainsi, les enfants qui, au début de l'apprentissage, font surtout des erreurs de régularisation sur les mots irréguliers sont aussi ceux qui produisent le plus de réponses correctes, ce qui est surprenant, les erreurs étant généralement négativement corrélées aux réponses correctes (Sprenger-Charolles et coll., 1998b). D'autres évidences viennent d'études qui ont comparé les effets d'entraînements phonologiques et visuels. Les résultats signalent que les entraînements phonologiques sont les plus efficaces. Ainsi,

au tout début de l'apprentissage, des enfants incapables de décoder même des mots très simples apprennent plus facilement les mots associés à des indices phonologiques qu'à des indices visuels (Ehri et Wilce, 1983 ; Laing et Hulme, 1999). Des résultats similaires ont été obtenus avec des enfants plus âgés (2^e primaire, Share, 1999). Cette recherche a été effectuée en hébreu qui possède une orthographe transparente au niveau des correspondances grapho-phonémiques, tout au moins quand les voyelles sont explicitement transcrites, ce qui était le cas. Les items tests, des pseudo-mots représentant des noms fictifs de villes, d'animaux, de fleurs... ont été présentés dans des textes courts. Trois jours après la première présentation, on a demandé aux enfants de rappeler l'histoire. Puis, on leur a présenté quatre orthographes différentes des items-tests : l'item-test lui-même, un homophone, un item visuellement similaire (modification d'une lettre), et un item comportant une transposition de deux lettres. Les items-tests sont mieux et plus vite reconnus que les autres. De plus, dans des conditions qui interfèrent avec le traitement phonologique (écoute simultanée de productions non pertinentes), l'effet de l'apprentissage est fortement réduit. Enfin, la contribution d'un apprentissage visuel (des symboles non-alphabétiques remplaçant les lettres de l'hébreu) est très faible. L'auteur en conclut que le décodage est la clé de l'apprentissage de la lecture, non seulement pour les débutants mais plus largement quel que soit le niveau d'habileté du lecteur.

Le décodage a donc un rôle crucial dans la dynamique développementale. En conséquence, tout déficit de cette procédure doit entraîner des difficultés de mise en place du lexique orthographique. Si, comme il est maintenant largement admis, les enfants qui souffrent de difficultés spécifiques et sévères d'apprentissage de la lecture – les dyslexiques – présentent des déficiences dans les traitements impliquant la phonologie (Ramus, 2003), le décodage ne devrait pas se mettre correctement en place chez eux, ni par voie de conséquence, la procédure lexicale. En conséquence, on ne devrait pas rencontrer de profils dissociés de type dyslexie phonologique (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure phonologique de lecture) ou dyslexie de surface (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure lexicale de lecture) dans la dyslexie du développement.

En conclusion, l'apprentissage de la lecture dépend de la transparence des correspondances grapho-phonémiques, qui est très élevée dans certaines langues (en espagnol) et très faible dans d'autres (en anglais), le français occupant une position intermédiaire. De fait, les scores de lecture les plus bas s'observent chez les anglophones, et les plus hauts chez les hispanophones. Ces résultats s'expliquent bien à la lumière de ceux obtenus en français. En effet, en milieu de CP, les scores en lecture de mots réguliers et de pseudo-mots ne diffèrent pas et sont supérieurs à ceux relevés pour les mots irréguliers (comme « sept »), alors très faibles. En quelques mois (fin CP),

le tableau se modifie fortement. Les mots réguliers sont alors mieux lus que les pseudo-mots, eux-mêmes mieux lus que les mots irréguliers. Cela provient sans doute de ce que les mots réguliers bénéficient à la fois de la régularité et de la fréquence d'exposition. Ni la fréquence d'exposition seule, ni la régularité seule suffisent, comme l'indique la progression plus faible relevée pour les mots irréguliers d'une part, et pour les pseudo-mots d'autre part, comparativement aux mots réguliers. Ces données permettent de comprendre pourquoi les progrès des enfants espagnols sont si rapides alors que l'apprentissage de la lecture est lent et laborieux en anglais. Les facteurs linguistiques induisent également des différences qualitatives. Ainsi, la procédure lexicale est davantage utilisée quand l'orthographe est opaque, probablement pour compenser les difficultés de mise en œuvre du décodage. Les facteurs linguistiques induisent aussi des différences dans les unités de lecture utilisées. Par exemple, l'anglais favorise une plus grande utilisation des rimes des mots parce que, dans cette langue la prononciation des voyelles dépend largement des consonnes qui suivent. En revanche, les rares études dans le domaine de la morphologie indiquent que, quelle que soit la langue, les enfants utilisent des unités morphologiques quand ils lisent. Toutefois, cette capacité est sous la dépendance de facteurs phonologiques jusqu'à une période tardive. Enfin, quelle que soit la langue, c'est la capacité de décodage qui détermine le succès de l'apprentissage de la lecture, les meilleurs décodeurs précoces étant ceux qui progressent le plus.

Ces données permettent de comprendre pourquoi l'enseignement systématique, et précoce, des correspondances grapho-phonémiques est celui qui aide le plus efficacement les élèves. De plus, ce type d'enseignement se révèle particulièrement bénéfique pour les enfants de milieu socioéconomique défavorisé, et pour ceux signalés à risque pour l'apprentissage de la lecture. Ces données permettent aussi de comprendre pourquoi les entraînements à l'analyse phonémique ont un effet sur l'apprentissage de la lecture, qui est toutefois plus important si, en plus, les enfants pouvaient manipuler les lettres correspondant aux phonèmes, ce qui suggère que le développement de la conscience phonémique est un facteur important dans l'apprentissage de la lecture, mais pas une condition suffisante. Elles permettent enfin de comprendre pourquoi les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont les capacités d'analyse phonémique et le niveau de connaissance des lettres, auxquelles s'ajoutent les habiletés de dénomination rapide et de mémoire phonologique à court terme. En comparaison, le poids des habiletés non verbales et des facteurs socioculturels, est moindre. De même, les preuves à l'appui d'une contribution précoce des capacités d'analyse d'unités phonologiques plus larges (syllabe, attaque-rime et morphème) sont faibles. Ces résultats proviennent sans doute de ce que les capacités d'analyse phonémique sont cruciales au début de l'apprentissage de la lecture dans une écriture alphabétique, parce qu'elles permettent à l'enfant d'accéder au principe de ce type d'écriture. En revanche, le niveau d'inter-

vention des capacités de dénomination rapide est moins clair. On peut toutefois supposer que, quand l'enfant utilise le décodage, cette capacité lui permettrait d'accéder de façon rapide et précise au mot oral qui correspond à la chaîne de lettres qu'il a décodée, ce qui faciliterait la création de liens entre code orthographique et code phonologique des mots. Vu le très fort pouvoir prédictif de cette capacité, l'utilisation de ce type de tâche dans les batteries prédictives doit être recommandée.

BIBLIOGRAPHIE

ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychological Review*, 1998, **105** : 678-723

ANTHONY JL, LONIGAN CJ, BURGESS SR, DRISCOLL K, PHILLIPS BM, CANTOR BG. Structure of preschool phonological sensitivity: Overlap sensitivity to rhyme, words, syllables, and phonemes. *Journal of Experimental Child Psychology* 2002, **82** : 65-92

ANTHONY JL, LONIGAN CJ, DRISCOLL K, PHILLIPS BM, BURGESS SR. Phonological sensitivity: A quasi parallel progression of word structure units and cognitive operation. *Reading Research Quarterly* 2003, **38** : 470-487

ANTHONY JL, LONIGAN CJ. The nature of phonological awareness: Converging evidence from four studies of preschool and early grade school children. *Journal of Educational Psychology* 2004, **96** : 43-55

BARBER H, DOMINGUEZ A, DE VEGA M. Human brain potentials indicate morphological decomposition in visual word recognition. *Neuroscience Letters* 2003, **318** :149-152

BOOTH JR, PERFETTI CA, MACWHINNEY B. Quick, automatic and general activation of orthographic and phonological representations in young readers. *Developmental Psychology* 1999, **35** : 3-19

BRADLEY L, BRYANT P. Categorizing sounds in learning to read: A causal connection. *Nature* 1983, **301** : 419-421

BRAIBANT JM, GÉRARD FM. Savoir lire : une question de méthodes ? *Bulletin de psychologie scolaire et d'orientation*, 1996, **1** : 7-45

BRUCK M. Word-recognition skills of adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 439-454

BRUCK M. Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology* 1992, **28** : 874-886

BRUCK M, GENESEE F, CARAVOLAS M. A cross linguistic study of early literacy acquisition. In: Foundations of reading acquisition and dyslexia: Implications for early intervention. BLACHMAN B (ed). Lawrence Erlbaum associates, Mahwah, NJ, 1997 : 145-162

BRYANT PE, MACLEAN M, BRADLEY LL, CROSSLAND J. Rhyme and alliteration, phoneme detection, and learning to read. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 429-438

BURANI C, MARCOLINI S, STELLA G. How early does morpholexical reading develop in readers of a shallow orthography? *Brain and Language* 2002, **81** : 568-586

BUS AG, VAN IJZENDOORN MH, PELLEGRINI AD. Joint book reading makes for success in learning to read: A meta-analysis on intergenerational transmission of literacy. *Review of Educational Research* 1995, **65** : 1-21

BUS AG, VAN IJZENDOORN MH. Phonological awareness and early reading: A meta-analysis of experimental training studies. *Journal of Educational Psychology* 1999, **91** : 77-85

BYRNE B, FREEBODY P, ET GATES A. Longitudinal data on the relations of word-reading strategies to comprehension, reading time and phonemic awareness. *Reading Research Quarterly* 1992, **27** : 141-151

CARAVOLAS M, HULME C, SNOWLING M. The foundation of spelling abilities: Evidence from a 3 year longitudinal study. *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 751-774

CARLISLE JF. Awareness of the structure and meaning of morphologically complex words: Impact on reading. *Reading and Writing* 2000, **12** : 169-190

CARLISLE JF, NOMANBHOY DM. Phonological and morphological awareness in first graders. *Applied Psycholinguistics* 1993, **14** : 177-195

CARLISLE JF, STONE CA. The effects of morphological structure on children's reading of derived words in English. In : Reading complex words: Cross-language studies. ASSINK EMH, SANDRA D (eds). Kluwer Academic, New York, 2003 : 27-52

CASALIS S, LOUIS ALEXANDRE MF. Morphological analysis, phonological analysis and learning to read French: a longitudinal study. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2000, **12** : 303-335

CASTLES A, COLTHEART M. Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition* 2004, **91** : 77-111

COHEN J. Statistical power analysis for behavioural sciences. Academic Press, New York, 1977 (réédité en 1988)

COLÉ P, MAGNAN A, GRAINGER J. Syllable-sized units in visual word recognition: Evidence from skilled and beginning readers. *Applied Psycholinguistics* 1999, **20** : 507-532

COLÉ P, SEGUI J, TAFT M. Words and morphemes as units for lexical access. *Journal of Memory and Language* 1997, **37** : 312-330

COLTHEART M, RASTLE K, PERRY C, LANGDON R, ZIEGLER J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 2001, **108** : 204-256

COSSU G, SHANKWEILER D, LIBERMAN IY, KATZ L, TOLA G. Awareness of phonological segments and reading ability in Italian children. *Applied Psycholinguistics* 1988, **9** : 1-16

DEACON SH, KIRBY JR. Morphological awareness: Just "more phonological"? The roles of morphological and phonological awareness in reading development. *Applied Psycholinguistics* 2004, **25** : 223-238

DELATTRE P. Comparing the phonetic features of English, French, German and Spanish. Jumius Gross Verlag, Heidelberg, 1965

DURGUNOGLU AY, ONEY B. A cross-linguistic comparison of phonological awareness and word recognition. *Reading & Writing: An Interdisciplinary Journal* 1999, **11** : 281-299

EHRI L, WILCE LS. Development of word identification speed in skilled and less skilled beginning readers. *Journal of Educational Psychology* 1983, **75** : 3-18

EHRI LC, NUNES SR, WILLOWS DM, SCHUSTER BV, YAGHOUB ZADEH Z, SHANAHAN T. Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly* 2001a, **36** : 250-287

EHRI LC, NUNES SR, STAHL SA, WILLOWS DM. Systematic phonics instruction helps students learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Review of Educational Research* 2001b, **71** : 393-447

ELBRO C, SCARBOROUGH H. Early identification. In: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer Academic Publishers b.v., 2003

EME E, GOLDER C. Word-reading and word-spelling styles of French beginners: Do all children learn to read and spell in the same way? *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2005, **18** : 157-188

FAWCETT AJ, NICOLSON RI. Persistence of phonological awareness deficit in older children with dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1994, **7** : 361-376

FELDMAN LB, RUECKL J, DILIBERTO K, PASTIZZO M, VELLUTINO F. Morphological analysis by child readers as revealed by the fragment completion task. *Psychonomic Bulletin* 2002, **9** : 529-535

FERRAND L, GRAINGER J. Phonology and orthography in visual word recognition: Evidence from masked non word priming. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1992, **45** : 353-372

FERRAND L, GRAINGER J. The time course of orthographic and phonological code activation in the early phases of visual word recognition. *Bulletin of the Psychonomic Society* 1993, **31** : 119-122

FORSTER KI. Priming and the effects of sentence and lexical contexts on naming time: Evidence for autonomous lexical processing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1981, **33** : 465-495

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. In: Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). Erlbaum, London, 1985 : 301-330

FRITH U, WIMMER H, LANDERL K. Differences in phonological recoding in German- and English-speaking children. *Scientific Studies of Reading* 1998, **2** : 31-54

GERNSBACHER MA, VARNER KR, FAUST ME. Investigating differences in general comprehension skills. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 1990, **16** : 430-445

GEUDENS A, SANDRA D. Beyond implicit phonological knowledge: No support for an onset-rime structure in children's explicit phonological awareness. *Journal of Memory and Language* 2003, **49** : 157-182

GOIGOUX R. Apprendre à lire à l'école: les limites d'une approche idéovisuelle. *Psychologie Française* 2000, **45** : 233-243

GOSWAMI U, BRYANT P. Phonological skills and learning to read. Hove, England, Lawrence Erlbaum, 1990

GOSWAMI U, GOMBERT JE, BARRERA LF. Children's orthographic representations and linguistic transparency: nonsense word reading in English, French and Spanish. *Applied Psycholinguistics* 1998, **19** : 19-52

GOSWAMI U, EAST M. Rhyme and analogy in beginning reading: Conceptual and methodological issues. *Applied Psycholinguistics* 2000, **21** : 63-93

GOSWAMI U, ZIEGLER JC, DALTON L, SCHNEIDER W. Pseudohomophone effects and phonological recoding procedures in reading development in English and German. *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 648-664

GOSWAMI U, ZIEGLER JC, DALTON L, SCHNEIDER W. Nonword reading across orthographies: How flexible is the choice of reading units? *Applied Psycholinguistics* 2003, **24** : 235-247

GUTTENTAG RE, HAITH MM. Automatic processing as a function of age and reading ability. *Child Development* 1978, **49** : 707-716

HULME C, HATCHER PJ, NATION K, BROWN A, ADAMS J, STUART G. Phoneme awareness is a better predictor of early reading skill than onset-rime awareness. *Journal of Experimental Child Psychology* 2002, **82** : 2-28

HULME C, MUTER VV, SNOWLING M. Segmentation does predict early progress in learning to read better than rhyme: A reply to bryant. *J Exp Child Psychol* 1998, **71** : 39-44

KIPFFER-PIQUARD A. Étude longitudinale prédictive de la réussite et de l'échec spécifiques à l'apprentissage de la lecture (suivi de 85 enfants de 4 à 8 ans). Thèse de Doctorat, Université Paris 7-Denis Diderot, 2003 (Thèse publiée en 2006 par l'Atelier National de Reproduction des thèses. Lille : ANRT)

KIRBY JR, PARRILA RK, PFEIFFER SL. Naming Speed and Phonological Awareness as Predictors of Reading Development. *Journal of Educational Psychology* 2003, **95** : 453-464

LAING E, HULME C. Phonological and semantic processes influence beginning readers' ability to learn to read words. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **73** : 183-207

LAXON V, RICKARD M, COLTHEART V. Children read affixed words and non-words. *British Journal of Psychology* 1992, **83** : 407-423

LECOQC P. Apprentissage de la lecture et dyslexie. Mardaga, Bruxelles, 1991

LECOQC P. ECOSSE : Une épreuve de compréhension syntaxico-sémantique, 1996

LEFAVRAIS P. Test de l'Alouette: Manuel. Les Éditions du Centre de Psychologie Appliquée, Paris, 1967

LEYBAERT J, CONTENT A. Reading and spelling acquisition in two different teaching methods: A test of the independence hypothesis. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 65-88

LIBERMAN IY, SHANKWEILER D, FISHER WF, CARTER B. Explicit syllable and phoneme segmentation in the young child. *Journal of Experimental Child Psychology* 1974, **18** : 201-212

MAHONY D, SINGSON M, MANN V. Reading ability and sensitivity to morphological relations. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2000, **12** : 191-218

MANN VA, SINGSON M. Linking morphological knowledge to english decoding ability: Large effects of little suffixes. In: Reading complex words: Cross-language studies. ASSINK EMH, ET SANDRA D (eds). New York: Kluwer Academic/Plenum publishers, 2003 : 1-24

MANN VA. Phonological awareness: The role of reading experience. *Cognition* 1986, **24** : 65-92

MANN V, WIMMER H. Phoneme awareness and pathways into literacy: A comparison of German and American children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 653-682

MAREC-BRETON N, GOMBERT JE, COLÉ P. Traitements morphologiques lors de la reconnaissance des mots écrits chez des apprentis lecteurs. *L'Année Psychologique* 2005, **105** : 9-45

MASONHEIMER PE, DRUM PA, EHRI LC. Does environmental print identification lead children into word reading? *Journal of Reading Behavior* 1984, **16** : 257-271

MORAIS J, CARY L, ALEGRIA J, BERTELSON P. Does awareness of speech as a sequence of phones arise spontaneously? *Cognition* 1979, **7** : 323-333

MORAIS J, BERTELSON P, CARY L, ALEGRIA J. Literacy training and speech segmentation. *Cognition* 1986, **24** : 45-64

MUTER V, HULME C, SNOWLING M, TAYLOR S. Segmentation, not rhyming, predicts early progress in learning to read. *J Exp Child Psychol* 1998, **71** : 3-27

MUTER V, HULME C, SNOWLING MJ, STEVENSON J. Phonemes, rimes, vocabulary, and grammatical skills as foundations of early reading development: Evidence from a longitudinal study. *Developmental Psychology* 2004, **40** : 665-681

NATION K, HULME C. Phonemic segmentation, not onset-rime segmentation, predicts early reading and spelling skills. *Reading Research Quarterly* 1997, **32** : 154-167

PACTON S, FAYOL M. The impact of phonological cues on children's judgements of nonwords: The case of double letters. *Current Psychology Letters: Behaviour, Brain and Cognition* 2000, **1** : 39-54

PACTON S, PERRUCHET P, FAYOL M, CLEEREMANS A. Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities. *Journal of Experimental Psychology General* 2001, **130** : 401-426

PATE TK, SNOWLING MJ, DE JONC PF. A cross-linguistic comparison of children learning to read in English and Dutch. *Journal of Educational Psychology* 2004, **96** : 785-779

PARRILA R, KIRBY JR, MCQUARRIE L. Articulation rate, naming speed, verbal short-term memory and phonological awareness: Longitudinal predictors of early reading development? *Scientific Study of Reading* 2004, **8** : 3-26

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

PEEREMAN R, CONTENT A. LEXOP: A lexical database providing orthography-phonology statistics for French monosyllabic words. *Behavioral Research Methods, Instruments and Computers* 1999, **31** : 376-379

PEREA M, GOTOR A. Associative and semantic priming effects occur at very short stimulus-onset asynchronies in lexical decision and naming. *Cognition* 1997, **62** : 223-240

PERFETTI CA, GOLDMAN SR, HOGABOAM TW. Reading skill and the identification of words in discourse context. *Memory and Cognition* 1979, **7** : 273-282

PERFETTI CA, ZHANG S. The universal word identification reflex. In : The psychology of learning and motivation. MEDIN DL (ed). Vol 33, Academic Press, San Diego, 1995 : 159-189

PETERSEN DK, ELBRO C. Pre-school prediction and prevention of dyslexia: A longitudinal study with children of dyslexic parents. In : Learning to read: An integrated view from research and practice. NUNES T (ed). Kluwer, Dordrecht, 1999 : 133-154

PLAUT DC, MCCLELLAND JL, SEIDENBERG MS, PATTERSON KE. Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domain. *Psychological Review* 1996, **103** : 56-115

PLAUT DC, BOOTH JR. Individual and developmental differences in semantic priming: Empirical and computational support for a single mechanism account of lexical processing. *Psychological Review* 2000, **107** : 786-823

RAMUS F. Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general motor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology* 2003, **13** : 212-218

RAYNER K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin* 1998, **124** : 372-422

RAYNER K, FOORMAN BR, PERFETTI CA, PESETSKY D, SEIDENBERG MS. How psychological science informs the teaching of reading. *Psychological Science* 2001, **2** : 31-74

SAVIGNY M. Bat-Élem. Éditions de Psychologie Appliquée, Issy-les-Moulineaux, 1974

SCARBOROUGH HS. Early identification of children at risk for reading disabilities. Phonological awareness and some other promising predictors. In : Specific reading disability: A view of the spectrum. SHAPIRO BK, ACCRADO PJ, CAPUTE AJ (eds). York Press, New York, 1998a : 75-119

SCARBOROUGH HS. Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: Contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid naming, and IQ. *Annals of Dyslexia* 1998b, **48** : 115-136

SCARBOROUGH HS. Connecting early language and literacy to later reading (dis)abilities: Evidence, theory, and practice. In : Handbook of early literacy research. NEUMAN SB, DICKINSON DK (eds). New York: Guilford Press, 2001 : 97-110

SCARBOROUGH HS, DOBRICH W. On the efficacy of reading to preschoolers. *Developmental Review*, 1994, **14** : 245-302

SCHATSCHNEIDER C, FLETCHER JM, FRANCIS DJ, CARLSON CD, FOORMAN BR. Kindergarten Prediction of Reading Skills: A Longitudinal Comparative Analysis. *Journal of Educational Psychology* 2004, **96** : 265-282

SEYMOUR PHK. Un modèle du développement orthographique à double fondation. In : Apprentissage de la lecture et de l'écriture. JAFFRÉ JP, SPRENGER-CHAROLLES L, FAYOL M (eds). Actes du colloque du Ministère de l'Éducation et de la Culture. Nathan, Paris, 1994 : 57-79

SEYMOUR PHK, ARO M, ERSKINE JM. Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology* 2003, **94** : 143-174

SHANKWEILER DP, CRAIN S, KATZ L, FOWLER A, LIBERMAN A, et coll. Cognitive profiles of reading disabled children: Comparison of language skills in phonology, morphology and syntax. *Psychological Science* 1995, **6** : 149-156

SHARE DL. Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 95-129

SPRENGER-CHAROLLES L. Reading acquisition: Cross linguistic data. In: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Dordrecht, Kluwer, 2003 : 43-66

SPRENGER-CHAROLLES L, CASALIS S. Reading and spelling acquisition in French first graders: Longitudinal evidence. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 1-25

SPRENGER-CHAROLLES L, BONNET P. New doubts on the importance of the logographic stage. *Current Psychology of Cognition* 1996, **15** : 173-208

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS. 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

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P. Lecture et Dyslexie: Approches cognitives. Dunod, Paris, 2003

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BÉCHENNEC D. Phonological mediation and orthographic factors in silent reading. *Scientific Study of Reading* 1998a, **2** : 3-29

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BONNET P. Phonological mediation and orthographic factors in reading and spelling. *Journal of Experimental Child Psychology* 1998b, **68** : 134-155

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, LACERT P, SERNICLAES W. On Subtypes of Developmental Dyslexia: Evidence from Processing Time and Accuracy Scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 88-104

- SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BÉCHENNEC D, 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, **84** : 194-217
- SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, SERNICLAES W. Reading Acquisition and developmental dyslexia. Psychology Press, London, 2006
- STANOVICH KE, WEST RF. The effects of sentence context ongoing word recognition: Tests of a two process theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1981, **7** : 658-672
- STUART M, COLTHEART M. Does reading develop in a sequence of stages. *Cognition* 1988, **30** : 139-151
- VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): What we have learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2004, **45** : 2-40
- WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA. Development of reading related phonological processing abilities: New evidence of bi-directional causality from a latent variable longitudinal study. *Developmental Psychology* 1994, **30** : 73-87
- WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA, HECHT SA, BARKER TA, et coll. Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: A five year longitudinal study. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 468-479
- WEST RF, STANOVICH KE. Automatic contextual facilitation in readers of three ages. *Child Development* 1978, **49** : 717-727
- WIMMER H. Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics* 1993, **14** : 1-33
- WIMMER H. The early manifestation of developmental dyslexia: Evidence from German children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1996, **8** : 171-188
- WIMMER H, GOSWAMI U. The influence of orthographic consistency on reading development: Word recognition in English and German children. *Cognition* 1994, **51** : 91-103
- ZIEGLER JC, GOSWAMI U. Reading acquisition, developmental dyslexia and skilled reading across languages: A psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin* 2005, **13** : 3-29

3

Apprentissage de la production écrite et de l'orthographe

L'étude de la production verbale écrite et de son apprentissage nécessite que soient prises en considération plusieurs dimensions. Premièrement, alors que le langage utilise les canaux oral et auditif, l'écriture mobilise la motricité manuelle et la vision. L'apprentissage de la production écrite exige d'abord que le geste graphique soit contrôlé et puisse être dirigé de manière à produire les unités distinctives de l'écriture. Cet apprentissage est à la fois indépendant et relié à la compréhension de la dimension dite symbolique de l'écrit. L'écrit sert à re-représenter des signifiés, lesquels sont déjà représentés par la parole. L'écriture est un recodage de la parole, ce que les enfants doivent découvrir. En français, du fait que le système orthographique est de type alphabétique, il leur faut dans le même temps réaliser que ce recodage s'effectue par des unités abstraites, les phonèmes, correspondant à des lettres ou configurations de lettres (graphèmes). Cette dimension phonographique est fondamentale et constitue une première source de difficultés. Ce n'est pas la seule. Le caractère irrégulier (ou opaque ou non consistant) du français écrit, essentiellement dans le sens de la production verbale écrite (et non ou beaucoup plus faiblement en lecture), a pour conséquence que l'apprentissage et la maîtrise de la production écrite exigent la disponibilité de connaissances lexicales et morphologiques. Ces dernières entrent parfois en compétition avec la dimension phonographique, la morphographie (codage de la dimension morphologique) l'emportant sur la phonologie, en particulier pour conserver aux mots leur relation à des mots de la même famille (c'est ainsi que « il faisait » se transcrit « fai- » par analogie avec « faire » bien qu'il se prononce comme « ferai »). Ce sont ces dimensions, le déroulement de leur apprentissage et les difficultés qu'elles soulèvent qui constituent l'objet du présent chapitre.

Dimension symbolique de l'écrit

Avant de savoir lire et écrire, les enfants ont une certaine familiarité avec l'écrit (Tolchinsky, 2003). Dès 3-4 ans, ils différencient l'écriture du dessin et comprennent même vaguement ce qu'est la lecture. Ils peuvent avoir

appris des associations régulières entre référents et/ou situations, formes graphiques et/ou sonores (la désignation de « Total » ou « Auchan » : formes écrites et configurations stables associées à des prononciations elles-mêmes stables) ainsi que des prénoms. Toutefois, ces acquis ne correspondent pas à ce qui caractérise la lecture ou l'écriture. En effet, les dimensions contextuelles (couleurs, environnement, situation) importent autant voire plus que les caractéristiques alphabétiques des items, c'est-à-dire la nature et l'ordre des lettres. La procédure dite logographique d'appariement direct entre sens et forme graphique est peu développée au moins en français. De plus, la production qui oblige à traiter les lettres une à une pour les transcrire s'accorde mal avec un traitement global des mots.

Les connaissances relatives à l'écrit sont en fait très tôt beaucoup plus précises. Les enfants de 3-4 ans sont en mesure de différencier l'écriture du dessin, même s'ils ne comprennent pas encore la fonction alphabétique de l'écrit (Lavine, 1977 ; Gombert et Fayol, 1992). Ils perçoivent dès 4-5 ans les caractéristiques de l'écrit : sa direction, sa linéarité, la présence d'unités, de blancs entre les mots... (Tolchinsky-Landsmann et Levin, 1985). Longtemps, ils considèrent que le mot correspondant à l'entité la plus volumineuse doit être le plus long : en quelque sorte, le mot « train » devrait être plus long que le mot « bicyclette ». Ils tendraient également à ne représenter que les noms, et pas les verbes ou les adjectifs (Ferreiro et Teberosky, 1982 ; Tolchinsky-Landsmann et Levin, 1987). Ils découvrent progressivement que l'écrit représente la parole et que les mots et les lettres ne correspondent pas aux traits physiques des objets auxquels ils renvoient. Toutefois, ils peinent, encore à 5 ans, à différencier les lettres de symboles qui leur ressemblent mais n'en sont pas. Il faut également attendre l'âge de 6 ans pour voir la dynamique de la production graphique se différencier de celle du dessin (Adi-Japha et Freeman, 2001).

Apprentissage de l'écriture

L'apprentissage de la dimension graphique de l'écriture (PE) s'étale sur plusieurs années et pose des problèmes à tous les enfants à un certain moment et à quelques-uns pendant très longtemps. La vitesse d'écriture, initialement très lente, augmente progressivement de la première primaire à la classe de troisième (Graham et coll., 1998). Les enfants présentant des difficultés d'apprentissage (*Learning Disabled*) écrivent plus lentement que leurs pairs de mêmes âges et peinent plus qu'eux à accélérer leur rythme d'écriture lorsque le besoin s'en fait sentir (Weintraub et Graham, 1998). Malgré la pratique, le tracé de certaines lettres (q, j, z, u, n, k) reste difficile jusqu'en troisième primaire (Graham et coll., 2001).

Les études de corrélations conduites par Graham et coll. (1997) sur 600 enfants, de la première à la sixième année de scolarité, établissent que

les performances graphiques relevées en vitesse et exactitude de tracé des lettres sont significativement associées aux performances rédactionnelles et que leur poids baisse avec l'élévation du niveau scolaire. Ce poids est très important chez les plus jeunes (Cunningham et Stanovich, 1990) et reste non négligeable chez les adultes. Connelly et coll. (2005) rapportent qu'en situation d'examen, mais non en temps libre (Walczyk, 2000), la fluidité de l'écriture explique encore quelques 30 % de la variance de la qualité des rédactions d'étudiants de premier cycle universitaire évaluée par des juges.

Ces données suggèrent que la performance en écriture pourrait être causalement impliquée dans les variations de la quantité et de la qualité des productions verbales écrites de textes. Une série d'études expérimentales est venue confirmer les résultats des approches corrélationnelles. Bourdin et Fayol (1994, 1996, 2000) ont montré que la modalité de production (orale *versus* écrite) influe sur les performances en rappel de mots des enfants jusqu'en troisième primaire : les produits étaient de meilleure qualité à l'oral qu'à l'écrit. Toutefois, dès que des adultes devaient transcrire en utilisant une graphie connue mais peu utilisée (les majuscules), leurs performances rejoignaient celles des enfants de CE2. C'était donc bien la difficulté de l'écriture qui influait sur la performance. Ces résultats ont ensuite été étendus à la production de phrases (Bourdin et Fayol, 1996) puis de textes (Bourdin et Fayol, 2002). Ainsi, même les adultes composent des textes de moins bonne qualité lorsque la gestion de la tâche devient difficile au point sans doute d'approcher les limites de capacité (Connelly et coll., 2005). Fayol et Miret (2005) ont montré que les enfants de troisième année primaire (CE2) présentant des performances relativement faibles en écriture (évaluées par la production en temps limité des lettres de l'alphabet) commettaient plus d'erreurs d'orthographe que leurs pairs dans une épreuve de dictée, une fois contrôlés les niveaux en orthographe lexicale, en connaissance des règles d'accord, en vocabulaire et en niveau de raisonnement non verbal. Toutefois, la relation causale n'était pas directement testée.

Ce sont les études introduisant un entraînement qui ont apporté les arguments les plus décisifs à la thèse de la relation causale entre performance en écriture et performance en composition verbale écrite. Berninger et coll. (1997), Jones et Christensen (1999) puis Graham et coll. (2000) ont montré que le fait de fournir une instruction et un entraînement supplémentaires à des enfants de première primaire qui avaient des difficultés d'apprentissage de l'écriture se traduisait par une amélioration immédiate et différée de l'écriture elle-même mais aussi de la composition des phrases (Graham et coll., 2000) ou des textes (Berninger et coll., 1997 ; Jones et Christensen, 1999). Ces progrès n'induisaient pas pour autant une amélioration de l'attitude envers l'écrit, évaluée à partir d'une échelle. Toutefois, la durée limitée de l'expérience rendait peu probable une telle modification.

En résumé, l'apprentissage de l'écriture est relativement long et pose à tous les enfants des problèmes qui apparaissent dominés vers la troisième année

primaire chez la majorité des enfants. Pendant la phase de mise en place de cet apprentissage pour tous les enfants et encore au-delà de cette période pour ceux qui peinent à automatiser la graphie, les difficultés soulevées par l'écriture rejaillissent sur la quantité et, de manière moins assurée, sur la qualité des productions textuelles.

Accès au principe alphabétique

Dans les écritures alphabétiques, l'étape cruciale de l'apprentissage réside dans la compréhension que les séquences de lettres entretiennent des correspondances régulières – parfois complexes – avec les séquences sonores, ce qu'on appelle le principe alphabétique (ONL, 1998). En production, cela nécessite que l'enfant soit parvenu à une certaine maîtrise de sa langue maternelle et puisse la traiter comme un objet d'observation lui permettant, par exemple :

- de segmenter les énoncés en syllabes /kado/, /ka/ /do/ (Ferreiro et Teberosky, 1982 ; Tolchinsky et Teberosky, 1998), plus tard, en phonèmes /ka/, /k/ /a/ ou en configurations intermédiaires (attaques/rimes) ;
- de conserver en mémoire cette segmentation tout en transcrivant, même de manière non conventionnelle (« cado ») ;
- de contrôler ultérieurement par lecture (/c/ + /a/, /ka/ + /d/ + /o/, /do/ /kado/) l'exactitude (relative) de ce qu'il a fait.

Cette compréhension du principe alphabétique suffit plus ou moins à assurer l'apprentissage, selon les propriétés du système orthographique. Par exemple, les appariements entre phonèmes et graphèmes sont plus réguliers en espagnol, en italien, voire en allemand, qu'en français ou en anglais (Sprenger-Charolles, 2003).

L'enfant s'appuie initialement sur ses connaissances relatives à l'écriture de ses nom et prénom (Treiman et Tincoff, 1997 ; Treiman et coll., 2001). La connaissance du nom (surtout) et du son des lettres joue alors un rôle essentiel (Foulin, 2005). Associée aux capacités de segmentation de la parole et de catégorisation des unités phonologiques, elle permettrait la mise en place des premières correspondances entre configurations phonologiques et configurations de lettres (Treiman, 1994). Ainsi, Treiman (1994) a observé que des enfants de niveau préscolaire devant transcrire des syllabes telles que /gar/, /zef/ et /tib/ commencent par produire une seule lettre (respectivement R, F et T). Dans une certaine mesure, cela signifie qu'ils ont compris l'existence d'une relation avec la forme phonologique des « mots ». Plus tard, l'écriture se transforme par exemple en « cr » (pour « car »), le « r » représentant le son /ar/. Les noms des lettres sont utilisés plus fréquemment pour certaines formes que pour d'autres (par exemple, plus pour « r » que pour « l »). À ce niveau, les enfants ont compris que l'écriture

représente les sons, mais leurs connaissances de la phonologie, de l'alphabet et de leurs relations sont encore rudimentaires. De là les erreurs diverses traduisant la construction progressive du principe alphabétique.

Progressivement, du fait à la fois de la pratique et de l'instruction reçue, l'enfant aboutit à la prise de conscience de l'ensemble des phonèmes et de leurs associations avec les graphèmes du système orthographique. Il met en place une procédure générative de production lettre à lettre (en écriture) reposant sur la médiation phonologique. Cette orthographe phonologique se manifeste par des régularisations (« femme » est transcrit « fam ») (Sprenger-Charolles et coll., 1998). Elle conduit à des formes certes erronées (« cado », « cadot », « kadou ») mais qui respectent la forme phonologique du mot (/kado/). En lecture, cette procédure favorise un auto-apprentissage, en ce sens que les individus qui la maîtrisent, même partiellement, sont en mesure de déchiffrer les mots écrits non encore rencontrés et de chercher à mettre en relation la forme sonore ainsi composée avec une forme sonore déjà disponible dans leur lexique mental oral (Share, 1995).

Dans les systèmes orthographiques dits transparents, ou dans ceux qui s'en rapprochent (italien, finlandais, serbo-croate...), l'accès au principe alphabétique suffit pratiquement à permettre de lire et de transcrire tous les mots nouveaux, quels qu'ils soient. Comme les appariements entre phonèmes et graphèmes sont réguliers en espagnol, en italien, voire en allemand. Les jeunes Espagnols ou Italiens exploitent précocement les régularités du système et lisent et écrivent ainsi de nombreux mots qu'ils n'ont jamais rencontrés auparavant (Thorstad, 1991 ; Cuetos, 1993 ; Manrique et Signorini, 1994 ; Defior et Serrano, 2005). Par contraste, les apprentissages de la lecture et de l'écriture des mots sont plus tardifs (et problématiques) en anglais du fait de l'opacité des relations entre phonèmes et graphèmes en perception comme en français (Seymour et coll., 2003 ; Sprenger-Charolles, 2003) en raison de l'inconsistance de la relation entre phonologie et orthographe en production. Le français occupe une position particulière : les relations graphèmes-phonèmes sont relativement régulières et rapprochent le français des systèmes transparents en lecture. En revanche, les relations phonèmes-graphèmes sont inconsistantes (irrégulières), le français étant proche en production de l'anglais (Seymour et coll., 2003 ; Sprenger-Charolles, 2003).

Construction du lexique orthographique

L'accès à une lecture efficiente nécessite la reconnaissance rapide et exacte des mots déjà rencontrés, et plus particulièrement de ceux qui sont fréquents. Cela s'avère même pour les systèmes orthographiques transparents, dont on aurait pu penser que l'application rapide du décodage dispenserait de la mémorisation de l'orthographe des mots. On peut penser que la

production verbale écrite efficiente a les mêmes exigences. Celles-ci sont d'autant plus indispensables que la transcription du français, comme celle de l'anglais, ne peut s'effectuer en référence aux seules associations phonèmes-graphèmes (Véronis, 1988). Des informations lexicales spécifiques aux mots (l'écriture du mot « thym »), des informations orthographiques générales (l'absence de consonnes doubles en début ou en fin de mots), enfin des informations relatives à la morphologie (les pluriels nominaux se font en ajoutant « s ») doivent être mobilisées selon les circonstances.

Débuts du lexique orthographique

Les premières conceptions, stadistes (Frith, 1980 et 1985), de l'acquisition de la production orthographique considéraient que celle-ci s'effectuait d'abord par la mise en place du principe alphabétique. Celui-ci induisait l'utilisation d'une orthographe phonologique (« chapo », « maman », « lontan »...). L'apparition des aspects conventionnels (stade dit orthographique) était réputée tardive, comme d'ailleurs le recours aux procédures correspondantes (l'analogie : écrire erronément « départ » par analogie avec « regard »). Une importante série de données a conforté ce schéma. Notamment, de nombreux travaux ont rapporté une relation positive entre les habiletés de décodage phonémique et les performances orthographiques ultérieures (Ehri, 1997 ; Caravolas et coll., 2001 ; Sprenger-Charolles et coll., 1998 et 2003).

Les travaux de Share (1999) suggèrent que l'apprentissage de l'orthographe des mots dépend fortement du recodage phonologique. En effet, il dépend de ce que les enfants disent quand ils les prononcent plutôt que de ce qu'ils en voient. Les erreurs orthographiques (par rapport aux configurations présentées) correspondent souvent aux prononciations erronées des enfants. De plus, dans une épreuve de choix de la graphie correcte parmi quatre proposées, les choix erronés respectent la prononciation plus que la ressemblance visuelle. Enfin, le fait de diminuer le traitement phonologique a un impact négatif sur l'apprentissage de l'orthographe. Share et Shalev (2004) ont repris le même paradigme pour étudier les performances de normolecteurs et d'enfants (de quatrième, cinquième et sixième années scolaires) ayant des difficultés d'apprentissage de la lecture, dyslexiques ou simplement faibles lecteurs. Les résultats confirment l'implication de la phonologie : tous apprennent les (pseudo) mots mais cet apprentissage est dépendant des performances phonologiques. C'est le niveau de décodage qui détermine la performance d'apprentissage des mots. Les travaux de Share confortent donc la thèse de la prééminence de la phonologie et montrent comment elle contribue à la constitution du lexique orthographique. Encore faut-il souligner que les performances en production orthographique, supérieures au hasard dès la première rencontre avec les items, restent modestes (de l'ordre de 65 % d'exactitude), et ne s'améliorent pas significativement au cours des

rencontres suivantes (de 2 à 8 rencontres selon les expériences). On est donc loin d'une acquisition parfaite de la forme orthographique des mots. Share et Shalev (2004) invoquent les recherches de Torgesen et coll. (2000) qui attestent l'efficacité d'un entraînement prolongé sur les performances en lecture, mais aucune donnée n'est disponible relativement à la production orthographique (sauf Ehri et Saltmarsh, 1995).

La constitution du lexique orthographique est très précoce. Sa mise en évidence repose sur la recherche de deux effets caractéristiques de l'existence du lexique : l'effet de fréquence – les mots fréquents sont mieux et plus rapidement écrits que les mots rares – et l'effet d'analogie – l'écriture d'items inconnus ne peut s'effectuer en se référant à des mots que si ceux-ci sont déjà mémorisés. Les effets d'analogie comme ceux de fréquence étaient initialement réputés tardifs (9-10 ans). Les travaux de Goswami (1988) puis de Nation et Hulme (1996) les ont fait apparaître plus précoces (6 ans). Bosse et coll. (2003) ont utilisé une procédure consistant à enseigner à des enfants de première et deuxième années primaires les mots de référence par rapport auxquels des pseudo-mots susceptibles d'être orthographiés de manière analogique étaient élaborés. Elles ont ainsi fait apparaître un effet d'analogie dès la première année de scolarité. En utilisant des pseudo-mots construits en référence aux mots présents dans le manuel de lecture de la classe, Martinet et coll. (2004) ont confirmé l'apparition très précoce des analogies en production orthographique. De plus, chez Bosse et coll. (2003) comme chez Martinet et coll. (2004), les formes orthographiques retenues pour les analogies étaient des formes orthographiques rares (le « oi » correspondant au /o/ de « oignon »). En conséquence, les transcriptions obtenues ne pouvaient l'être par simple application à un nouvel item de connaissances orthographiques générales qui existent aussi.

En résumé, dès les tout-débuts de l'apprentissage de la lecture, les enfants sont en mesure de mémoriser des formes orthographiques, et notamment certaines au moins des spécificités de celles-ci. Cela, sans attendre de maîtriser l'ensemble des correspondances phonèmes-graphèmes. Ce constat est en faveur de l'existence d'un traitement orthographique spécifique (Bonin et coll., 2001). En revanche, on sait peu de choses sur les différences inter-individuelles, sur les nombres d'expositions nécessaires pour que ces apprentissages d'instances se réalisent (voir Cousin et coll., 2002) et sur la manière dont l'orthographe se fait de plus en plus conventionnelle.

Acquisition des connaissances orthographiques générales

Les données disponibles montrent que les enfants mémoriseraient les formes orthographiques des mots les plus fréquents, le recodage phonologique jouant un rôle fondamental dans cette acquisition. Toutefois, la phonologie ne suffit pas, particulièrement dans un système orthographique comme celui

du français. L'acquisition de l'orthographe conventionnelle repose sur trois autres dimensions. D'abord, la mémorisation d'instances : mots stockés comme tels, notamment lorsqu'ils ont une composition très particulière (« thym » ; « yacht »...) (Cousin et coll., 2002). Ensuite, l'extraction de régularités sous-lexicales suffisamment fréquentes pour apparaître dans de nombreux mots : les configurations graphotactiques, successions régulières de lettres (Jaffré et Fayol, 1997 ; doubles consonnes ; fréquente transcription de /o/ par « eau » en fin de mots) (Pacton et coll., 2004 et 2005). Enfin, utilisation de la morphologie, dérivationnelle ou flexionnelle (formation du pluriel ou du féminin des mots, formation des diminutifs...).

Les connaissances relatives à l'orthographe propre à tel ou tel mot ne sont pas seules impliquées. Les individus disposent aussi de connaissances générales concernant par exemple les suites de lettres acceptables dans leur système orthographique. Ainsi, en français, les consonnes ne peuvent être doublées qu'en milieu, jamais au début ou en fin de mot. L'intérêt des chercheurs pour ce type de connaissance est récent. Il s'est traduit par une série de travaux utilisant des épreuves soit de dictée soit de jugement de pseudo-mots. Par exemple, Treiman (1993) rapporte que les enfants de première primaire produisant des textes utilisaient très précocement le graphème « ck », mais jamais en début de mot, conformément aux contraintes graphotactiques (portant sur la succession des lettres, Jaffré et Fayol, 1997) de l'anglais.

En français, Pacton et coll. (2002) ont demandé à des élèves du CE1 au CM1 d'écrire sous dictée des pseudo-mots trisyllabiques tels que /obidar/, /ribore/ ou /bylevo/. Ces pseudo-mots étaient construits de telle sorte qu'il était possible d'étudier si les élèves transcrivaient /o/ différemment en fonction de sa position (« eau » est fréquent en position finale, rare en position médiane, et inexistant en position initiale ; Fayol et coll., 1996) et de son contexte consonantique (« eau » est plus fréquent après un « v » qu'après un « f »). Même les enfants de deuxième année primaire utilisaient une variété de graphèmes pour transcrire /o/. De plus, les transcriptions de /o/ variaient en fonction de la position et de l'environnement consonantique : « eau » était davantage utilisé en position finale qu'en positions initiale et médiane et, en position finale, était plus souvent utilisé après « v » (où il est fréquent) qu'après « f » (où il est rare). De façon similaire, en position médiane, « au » était plus fréquemment utilisé entre un « p » et un « v » qu'entre un « p » et un « r », ce qui correspond aux régularités du français. Ces résultats confirment et prolongent ceux de Varnhagen et coll. (1999) portant sur des enfants anglais de la première à la troisième années primaires auxquels il était demandé de transcrire des pseudo-mots contenant une voyelle ambiguë pouvant se transcrire par « o » ou par « a ».

Les épreuves de productions mettent donc en évidence une sensibilité précoce à certaines régularités orthographiques. Toutefois, les difficultés et le

coût du graphisme risquent de masquer l'existence de connaissances plus étendues et plus précises. De là le recours à des tâches de jugement.

Les tâches de jugement portant sur des paires de pseudo-mots permettent de proposer un choix entre (au moins) deux termes d'une alternative qui n'apparaîtraient pas nécessairement dans les écritures des élèves. Par exemple, Cassar et Treiman (1997) ont demandé à des élèves de première primaire de désigner lequel de deux pseudo-mots tels que « affe » et « ahhe » ou « yill » et « yihh » (« f » et « l » peuvent être doublés en anglais mais « h » ne peut pas) ressemblait le plus à un mot. Dès la première année primaire, les pseudo-mots incluant des consonnes fréquemment doublées (« yill ») étaient plus souvent choisis que ceux incluant des consonnes jamais doublées en anglais (« yihh »). Afin de tester si des élèves de l'école élémentaire sont sensibles à la fréquence de doublement des consonnes, Pacton et coll. (2001) ont exploité le fait qu'en français certaines consonnes sont fréquentes en formats simple et double (« m ») alors que d'autres ne sont fréquentes qu'en format simple (« d ») en français. Les sélections de pseudo-mots incluant des consonnes fréquentes en format simple et double (« m ») ont été comparées aux sélections de pseudo-mots incluant des consonnes fréquentes uniquement en format simple (« d »), d'une part pour des paires de pseudo-mots incluant ces consonnes en format simple (« imose », « idose »), d'autre part pour des paires de pseudo-mots incluant ces consonnes en format double (« ummise », « uddise »). Dès le CP, les enfants se révélaient sensibles à la fréquence de doublement des consonnes et pas seulement à la fréquence relative de ces mêmes consonnes. En outre, l'amplitude de cet effet augmentait avec le niveau scolaire.

Les phénomènes précédemment décrits pourraient ne valoir que pour les systèmes orthographiques opaques, lesquels incitent probablement plus que ceux qui sont transparents à prêter attention aux séquences de lettres (graphotactiques) (voir notamment les données rapportées par Share, 2004, en première primaire pour ce qui concerne l'apprentissage de l'hébreu par comparaison avec les faits relevés en hollandais et en anglais). Or, Lehtonen et Bryant (2005) ont décrit chez des enfants finlandais de la première à la troisième primaire les mêmes types de phénomènes que ceux mis en évidence par Pacton et coll. (2001) relativement au doublement des consonnes. Leurs observations vont même au-delà des précédentes : les enfants finlandais sont sensibles aux régularités orthographiques ne présentant pas de contrepartie phonologique (l'absence de doublement des consonnes en début de mot) alors qu'ils ne sont que plus tardivement sensibles à celles qui précisément font apparaître des correspondances entre formes phonologiques et formes orthographiques (voir Pacton et Fayol, 2000).

En résumé, très tôt, dès la première année primaire, les enfants exposés à l'écrit en extraient des régularités orthographiques qui ne se réduisent ni à celles qui correspondent à des régularités phonologiques ni à la simple mémorisation d'instances. Ils sont en mesure de les mobiliser dans des tâches

de production orthographique, manifestant ainsi très précocement l'acquisition de certaines conventions orthographiques, qui ne vont toutefois pas jusqu'à l'extraction de règles, même lorsque ce serait possible. Trop peu de celles-ci ont été étudiées pour qu'on puisse déterminer les conditions de leur prise en compte (Royer et coll., 2005) et les éventuelles différences inter-individuelles affectant leur apprentissage.

Acquisition et mise en œuvre de la morphologie

L'acquisition des deux premières dimensions dépend de la fréquence de rencontre et de la stabilité des segments (lexicaux ou sous-lexicaux) : elle est donc très liée à la pratique de la lecture. La troisième dimension est moins connue. D'une part, on relève très précocement des traces d'utilisation de marques relevant de la morphologie. Toutefois, les recherches dissociant les effets des contraintes graphotactiques de celles associées à la morphologie font apparaître que l'utilisation de la morphologie est relativement tardive, au moins si on considère que la morphologie correspond à des règles dont l'application ne doit pas dépendre de la fréquence. En effet, de nombreux exemples attestent que l'emploi des marques morphologiques n'est pas initialement indépendant de la fréquence de rencontre des items auxquels elle s'applique (Mousty et Leybaert, 1999 ; Kemp et Bryant, 2003 ; Pacton et Fayol, 2004 et 2005).

Les premiers travaux et modèles d'apprentissage de l'orthographe postulaient que la prise en compte de la morphologie était tardive. Aussi, une partie des recherches a-t-elle tenté de déterminer les âges ou niveaux à partir desquels elle était utilisée par les enfants. Les résultats sont mitigés. Treiman, Cassar et Zukowski (1994) relèvent une influence de la morphologie dès la première ou la deuxième années primaires. Sénéchal (2000) dicte à des enfants de deuxième et quatrième années des mots soit « opaques » (« jument », « tabac ») soit « morphologiques » (au sens où la lettre finale peut être déterminée à partir de dérivés ; « grand », « camp »). Aux deux niveaux de classe, elle relève que les performances sont meilleures avec les mots morphologiquement transparents (23 % en CE1 et 54 % en CM1) qu'avec les mots opaques (10 % en CE1 et 37 % en CM1). Outre la relative faiblesse de ces scores, les dispositifs de recueil des données ne permettaient pas d'exclure que les enfants aient mémorisé et employé des configurations orthographiques récurrentes (des régularités graphotactiques) dont l'apparition ne traduirait donc pas nécessairement le recours à la morphologie. En d'autres termes, il se pourrait que l'apparition de productions conformes à la morphologie adulte tienne non pas à la maîtrise de celle-ci mais à la mémorisation de régularités statistiques dépendantes du contexte linguistique. Comme la morphologie est corrélée à d'autres types d'informations, phonologiques, orthographiques et sémantiques, il se pourrait ainsi que des effets qui lui sont attribués soient dus

aux autres facteurs (Seidenberg et Gonnerman, 2000). Une série de recherches a précisé cet objectif de dissocier l'effet de ces facteurs et d'étudier leurs éventuelles interactions (Pacton et Fayol, 2004 ; Pacton et coll., 2002a, 2002b et 2005).

Morphologie dérivationnelle

La transcription de /o/ permet d'étudier la sensibilité des individus à diverses régularités orthographiques. Premièrement, il existe au moins huit transcriptions différentes de /o/ qui diffèrent en termes de fréquence (« o » est très fréquent ; « aud » ou « os » sont plus rares). Deuxièmement, la transcription de /o/ varie en fonction de sa position dans les mots (« eau » est fréquent en position finale, rare en position médiane et ne survient jamais en début de mots ; Fayol et coll., 1996). Troisièmement, la transcription de /o/ varie en fonction du contexte dans lequel il apparaît. Par exemple, en fin de mots, /o/ est fréquemment transcrit « eau » après « r » ou « t » mais ne l'est jamais après « f ». Quatrièmement, dans certains mots morphologiquement complexes, /o/ correspond à un suffixe diminutif : les mots éléphantéau et renardeau sont constitués d'un radical (« éléphant » et « renard » respectivement), suivi du suffixe diminutif « eau ». À l'exception de « chiot », /o/ est toujours transcrit « eau » quand il correspond à un morphème diminutif. Le fait que la transcription de /o/ soit contrainte à la fois par des régularités graphotactiques (la probabilité de successions des graphèmes, Jaffré et Fayol, 1997) et par des régularités morphologiques a permis d'étudier les interactions entre deux types de contraintes.

Afin d'étudier l'influence de la position et des contraintes graphotactiques sur la transcription de /o/, Pacton et coll. (2004, 2005) ont utilisé à la fois des épreuves de production sous dictée et de jugement de paires de pseudo-mots. Les résultats étant équivalents, seules les données relatives à la tâche de production sont rapportées. Ainsi des élèves de la deuxième à la quatrième années primaires devaient écrire sous dictée des pseudo-mots trisyllabiques incluant le phonème /o/ en positions initiale, médiane ou finale. Nous ne rapportons ici que les données relatives à la position finale du fait qu'elles sont illustratives des résultats dans leur ensemble. Parmi les pseudo-mots incluant /o/ en position finale, /o/ survenait dans un contexte (la consonne précédant /o/) dans lequel /o/ est soit fréquemment transcrit « eau » en français (« bitavo » : « eau » est fréquent après « v ») soit jamais transcrit « eau » en français (« bylefo » : « eau » n'apparaît jamais après « f »).

Dès la deuxième année, la plupart des élèves utilisaient au moins trois transcriptions différentes de /o/ et la variété des transcriptions utilisées augmentait avec le niveau scolaire. L'utilisation d'une graphie plutôt que d'une autre variait en fonction de la position de /o/ dans le non-mot. Cet effet, significatif dès le CE1, augmentait avec le niveau scolaire. La transcription de « o » était influencée par le contexte dans lequel il survenait en position finale. La graphie « eau » était davantage utilisée lorsque /o/ suivait une consonne après laquelle il est fréquemment transcrit « eau » que lorsqu'il

suivait une consonne après laquelle il n'est jamais transcrit « eau », ce qui correspond à la distribution de ces graphies en français. L'amplitude de cet effet, significatif dès la deuxième année, augmentait en fonction du niveau scolaire.

Pacton et coll. (2005) ont ensuite exploré l'impact des régularités graphotactiques (de type probabiliste) et morphologiques (pouvant être décrites par une règle) ainsi que les éventuelles interactions entre ces deux types de régularités sur la transcription des sons /o/ et /et/. L'influence des régularités graphotactiques a été étudiée en dictant à des élèves douze non-mots tels que « vitaro » et « vitafo », précédés de l'article indéfini masculin « un » (condition « base »). Le phonème /o/ était précédé soit d'une consonne après laquelle il est fréquemment transcrit « eau » en français (« vitaro ») soit d'une consonne après laquelle il n'est jamais transcrit « eau » (« vitafo »). Si les écritures des élèves étaient influencées par les régularités graphotactiques, /o/ devrait être plus souvent transcrit « eau » dans « vitaro » que dans « vitafo ». Afin de tester l'influence des contraintes morphologiques, une semaine après avoir effectué la tâche décrite ci-dessus, il était demandé aux élèves d'écrire les mêmes non-mots insérés dans des phrases telles que « un petit vitar est un vitaro », qui fournissent une information quant à la structure morphologique des non-mots.

Les résultats ont mis en évidence un effet des contraintes graphotactiques : « eau » était davantage utilisé lorsqu'il suivait une consonne après laquelle il est fréquemment transcrit « eau » que lorsqu'il suivait une consonne après laquelle il n'est jamais transcrit « eau ». L'amplitude de cet effet ne différait pas en fonction du niveau scolaire. La transcription de /o/ était également influencée par les contraintes morphologiques : /o/ était plus souvent transcrit « eau » dans la condition « diminutif » que dans la condition « base » ; l'amplitude de cet effet augmentait avec le niveau scolaire. Un résultat important est que l'effet des contraintes graphotactiques ne différait pas significativement selon que les non-mots étaient dictés dans la condition « base » ou « diminutif » et que cet effet demeurait stable avec le niveau scolaire. La persistance d'effets des contraintes graphotactiques dans la condition « diminutif », en dépit de la possibilité de recourir à une règle orthographique, suggère que, même après au moins cinq ans de pratique de l'écrit, les élèves ne recouraient pas à une règle spécifiant comment transcrire /o/ lorsqu'il correspond à un suffixe diminutif. En effet, le recours à une telle règle prédit que les contraintes morphologiques auraient dû l'emporter sur (ou au moins réduire) l'effet des contraintes graphotactiques dans la condition « diminutif ». Ceci conduit à s'interroger sur ce qui se produit lorsque des règles sont explicitement enseignées, ce qui est systématiquement le cas avec la morphologie flexionnelle.

Morphologie flexionnelle

Plusieurs caractéristiques différencient en français la morphologie flexionnelle de la morphologie dérivationnelle. Premièrement, la première porte

sur un nombre restreint de domaines : le genre et le nombre des noms, adjectifs et verbes (les accords), le système verbal (la conjugaison). Cela s'avère dans toutes les langues et les systèmes orthographiques, encore que certains aient de plus un genre neutre. Deuxièmement, elle est très productive : par exemple, les accords nominaux en « s » s'appliquent à la plupart des noms et adjectifs. D'un système orthographique à l'autre existent des variations. Ainsi, contrairement au français, l'anglais ne marque pas le pluriel des adjectifs. Troisièmement, elle porte sur un nombre restreint de marques : « s », « e », « nt », les flexions verbales plus nombreuses. Toutefois, la question des effets respectifs des dimensions phonologiques, orthographiques et morphologiques se pose là encore. Les travaux conduits sur l'anglais, le portugais et le grec (Nunes et coll., 1997 ; Bryant et coll., 1999 et 2000 ; Kemp et Bryant, 2003 ; voir Bryant et Nunes, 2003, pour une synthèse) convergent avec ceux réalisés sur le français pour faire apparaître que l'emploi de la morphologie flexionnelle en production est relativement tardif et passe par des étapes pouvant à tort laisser penser que les règles morphologiques sont précocement maîtrisées.

Kemp et Bryant (2003) ont montré qu'il est possible aux jeunes Anglais d'acquérir le marquage du pluriel nominal (« s » à la fin des noms comme « buns » mais pas à la fin de ceux tel que « jazz ») sans qu'ils aient besoin de disposer d'une règle morphologique. Il leur suffit d'apprendre implicitement les régularités associant « z » à une voyelle (presque tous les mots comportant un « z » final comportent une voyelle avant celui-ci) et « s » aux consonnes (aucune séquence telle que « mz », « nz », « lz » n'existe). La mémorisation de telles régularités suffit à écrire la plupart des mots pluriels sur une base phonographique, mais pas tous. Précisément, les enfants commettent des erreurs d'inflexion lorsqu'ils doivent transcrire des mots pluriels tels que « *pleas* », « *fees* », « *pies* » ou non pluriels tels que « *please* » ou « *seize* », items dans lesquels le phonème /z/ suit une voyelle longue. Qui plus est, ces mêmes erreurs surviennent, mais plus rarement, chez des adultes. En somme, les régularités statistiques sont acquises et utilisées très tôt par les enfants et encore disponibles chez les adultes. Ces derniers semblent encore s'y référer, comme l'ont montré Pacton et coll. (2005) relativement à la morphologie dérivationnelle. Bryant et ses collaborateurs ont étendu ces conclusions à d'autres marques, notamment celle du prétérit (« *ed* »), pour laquelle l'évolution au fil de la scolarité est similaire à celle relevée en français pour les marques du pluriel nominal, adjectival et verbal (Nunes et coll., 1997).

En français, spécificité apparemment unique au monde, les marques du pluriel n'ont le plus souvent pas de correspondant oral (sauf en cas de liaisons). Les enfants ne peuvent donc ni les acquérir ni les mobiliser à partir des informations phonologiques. L'étude de leur acquisition et de leur utilisation permet ainsi d'envisager comment sont traitées des marques présentant une relative autonomie par rapport à la phonologie.

Cousin et coll. (2002 et 2003) ont demandé à des enfants de première et deuxième années primaires de compléter des syntagmes comportant les déterminants déjà écrits en transcrivant des noms au singulier ou au pluriel (« ceci est un... »). Préalablement, la fréquence d'exposition à ces mots fléchis au singulier ou au pluriel avait été contrôlée, soit en référence au manuel de lecture en cours dans les classes (Cousin et coll., 2002 et 2003) soit en présentant systématiquement aux élèves ces mots au singulier ou au pluriel, fréquemment (10 fois) ou rarement (une fois) sur plusieurs semaines. Les performances montrent que les enfants des premières et deuxièmes années primaires transcrivent d'autant plus facilement les mots qu'ils doivent le faire sous la modalité de rencontre la plus fréquente. Réciproquement, les erreurs surviennent d'autant plus souvent que les noms rencontrés fréquemment au pluriel doivent être transcrits au singulier : beaucoup sont alors terminés par un « s » alors que l'accord devrait se faire au singulier. En somme, les enfants maîtrisant les correspondances phonèmes-graphèmes ont déjà mémorisé des instances alors même qu'ils méconnaissent encore les marques et règles de la morphologie du nombre. Pourtant, en deuxième année primaire, alors que les marques et règles ont été enseignées, les instances mémorisées interfèrent encore avec l'utilisation (des règles et procédures) de la morphologie.

Totereau et coll. (1997) ont étudié l'apprentissage de la morphologie du nombre des noms et des verbes par des enfants de la première à la troisième années primaires. La compréhension et la production de la morphologie nominale (« Ø » versus « s ») et verbale (« Ø » versus « nt »), ont été testées à l'aide d'épreuves inspirées de Berko (1958). Les résultats ont essentiellement montré que :

- la performance en compréhension était plus précoce et meilleure qu'en production ;
- les réussites avec les noms étaient à la fois plus précoces et plus fréquentes qu'avec les verbes.

Totereau et coll. (1998) ont montré par une analyse détaillée des erreurs de production que les performances en production suivaient une évolution complexe. En début de première primaire, les enfants ne marquent le plus souvent le pluriel ni pour les noms ni pour les verbes : ils écrivent les mots sous leur forme neutre (le singulier pour le nom, la forme de la troisième personne du singulier pour le verbe). Pourtant, ils connaissent pour la plupart la marque du pluriel nominal et savent l'interpréter mais ils ne la mettent pas en œuvre. Il se pourrait qu'une partie des accords réalisés soit effectuée à partir des régularités statistiques mémorisées au cours des lectures, les autres accords n'étant pas effectués. Il se pourrait aussi que les enfants de ce niveau ne disposent pas d'une capacité attentionnelle suffisante pour gérer l'application de l'accord nominal, l'essentiel de leur attention étant capté par, d'une part, la détermination de l'orthographe du mot et, d'autre part, la réalisation graphique. En accord avec cette conception, les enfants de première et deuxième primaires

sont en mesure de détecter les erreurs d'accord (ici nominal) et de les corriger alors même qu'ils les commettent eux-mêmes très souvent (Largy, 2001).

Dans une deuxième phase, notamment en deuxième et troisième primaires, les enfants utilisent le « s » (pluriel nominal) à la fois pour les noms (correctement) et pour les verbes (erronément), surgénéralisant la flexion « s » aux verbes. Tout se passe comme s'ils utilisaient une règle du type si pluriel alors « s », dont la condition (si pluriel) serait sous-spécifiée car ne différenciant pas les catégories syntaxiques. En conséquence, des erreurs de substitution (de « s » à « nt ») apparaissent.

Dans une troisième phase, les enfants utilisent la flexion « nt » pour les verbes mais ils tendent à en surgénéraliser l'emploi à quelques noms (« les ferment » au lieu de « les fermes »), notamment lorsque ces noms ont un homophone verbal. De nouvelles erreurs de substitution se manifestent donc (de « nt » à « s » cette fois). Tout se passe comme si le pluriel notionnel activait des flexions concurrentes (« s » « nt »), induisant des interférences. La compétition entre marques se résoudrait par l'utilisation correcte ou erronée de la flexion en fonction de plusieurs facteurs : l'ambiguïté lexicale, les noms et les verbes ayant des homophones respectivement verbaux ou nominaux (« timbre », « fouille ») sont plus sensibles aux effets d'interférence que les autres ; les fréquences relatives des items, les mots homophones sont plus souvent infléchis avec la marque du plus fréquent d'entre eux, nom ou verbe.

Ces effets d'interférence ne disparaissent pas. On les retrouve chez l'adulte cultivé lorsque celui-ci doit transcrire des phrases incluant des homophones nom/verbe dans des conditions de surcharge (lorsque la transcription s'effectue tout en maintenant en mémoire d'autres informations ; Fayol et coll., 1994 ; Largy et coll., 1996). Ces effets permettent de soulever un problème théorique fondamental : celui des processus qui régissent l'accord. En effet, dans une phrase telle que « L'épicier sort les cagettes et il les asperge », le verbe « asperge » pourrait être mal accordé (« aspergent ») du fait de la pluralité induite par la présence du pronom, le verbe étant alors transcrit au pluriel. Or, les erreurs qui surviennent, nombreuses même chez des adultes cultivés, sont du type « asperges », le verbe étant infléchi comme un nom. Or, de telles erreurs sont très rares dans des phrases incluant les verbes « montre » ou « range ». La raison tient à ce que la fréquence d'occurrence du nom « asperge » est significativement plus élevée que celle de son correspondant verbal (« asperge ») alors que c'est l'inverse pour « montre » (verbe plus fréquent que le nom) et que ce problème ne se pose pas pour « range » (qui n'a pas d'homophone nominal). Comment expliquer que les erreurs de substitutions de « s » à « nt » affectent de manière privilégiée les verbes ayant un homophone nominal plus fréquent ? Il est impossible d'invoquer le recours à une règle. Par définition, l'application d'une règle ne dépend pas de la fréquence des items. Les erreurs d'accord sont probablement dues à la récupération soit des associations entre un mot (« asperge ») et une flexion (« s ») soit d'instances toutes composées (« asperges ») activées globale-

ment, les premières ou les secondes étant récupérées en mémoire dès qu'un contexte pluriel est activé. Une telle récupération de la marque plurielle nominale ne peut survenir que rarement avec « montre » puisque cet item n'est pas associé de manière dominante avec « s ».

L'évolution ci-dessus décrite conduit à proposer que les savoirs enseignés et mémorisés verbalement ont initialement un statut de connaissances déclaratives. La pratique conduirait à la mise en place d'un apprentissage de procédures de type condition–action. La difficulté provient de ce qu'il existe deux marques (« s » et « nt ») dont l'utilisation repose sur des conditions qui sont à la fois partiellement communes (la pluralité) et différentes (nom ou adjectif « s » ; verbe « nt »). La condition de cette règle (si pluriel) serait initialement sous-spécifiée, du fait qu'elle ne distingue pas entre catégories syntaxiques, de là les surgénéralisations erronées qui disparaîtraient au fur et à mesure que les spécifications seraient acquises. Au début, le coût d'application de la procédure serait très élevé, ce qui rendrait son utilisation très sensible à la difficulté des tâches, y compris le coût de la transcription graphique. L'existence initiale d'erreurs d'omission et leur diminution rapide en fonction de la pratique s'interprètent facilement dans le cadre de ce modèle. Les données recueillies au cours d'un apprentissage contrôlé portant sur plus de 300 enfants de la première à la troisième primaires font également apparaître les effets de la pratique et du feedback : en quelques semaines, la plupart des erreurs avaient disparu, que les accords portent sur des noms, des adjectifs ou des verbes (Fayol et coll., 1999a et b ; Thévenin et coll., 1999). Toutefois, il est toujours possible de trouver une situation suffisamment coûteuse pour que la mobilisation de la procédure d'accord se trouve perturbée, y compris chez l'adulte qui, parfois, « oublie » les marques du pluriel, verbal ou nominal (Fayol et coll., 1994). Les données qui concernent les accords en genre s'inscrivent elles-aussi sans difficulté dans ce cadre théorique (Fayol, 2002).

La pratique conduirait également au stockage en mémoire d'instances spécifiques d'associations entre certaines racines et certains morphèmes sous réserve qu'elles soient suffisamment fréquentes. Par exemple, le mot « asperge », plus fréquemment rencontré comme nom serait de ce fait plus facilement associé à « s » qu'à « nt ». Ces associations seraient remémorées comme telles lorsque les conditions de cette récupération sont remplies (Logan, 1988 ; Logan et Klapp, 1991). En somme, la production verbale écrite induirait non seulement l'automatisation des procédures (algorithmes) d'accord mais également la mémorisation d'associations entre morphèmes voire d'instances toutes fléchies.

Les individus, enfants ou adultes, disposeraient ainsi de deux processus différents pour traiter les accords : l'application plus ou moins automatisée et rapide de la procédure et la récupération directe en mémoire des instances. On est ainsi amené à concevoir qu'une compétition pourrait survenir entre l'utilisation d'une procédure et la récupération d'instances en mémoire (Logan, 1988). Le recours à la récupération d'instances en mémoire serait

adaptatif en ce sens qu'il permet d'effectuer la plupart des accords sans faire appel à des procédures attentionnellement coûteuses et fragiles. Toutefois, les procédures restent disponibles et mobilisables dans certaines circonstances, par exemple comme procédure de recours (Fayol et coll., 1999a et b ; Thévenin et coll., 1999). Ce recours nécessite, d'une part, que les capacités attentionnelles soient suffisantes et, d'autre part, que le système cognitif détecte une erreur (Largy et coll., 1996 ; Hupet et coll., 1998).

Relations lecture-écriture et acquisition de l'orthographe

Dans un système alphabétique idéal, les correspondances entre phonèmes et graphèmes devraient être bi-univoques : chaque phonème serait associé à un seul graphème, et réciproquement. Or, si aucun système orthographique ne répond exactement à cet idéal, certains, dits transparents (espagnol, italien...), s'en rapprochent plus que d'autres, dits opaques (anglais). On imagine sans peine que la question des relations entre lecture et écriture ne se pose pas de la même manière dans les systèmes transparents ou opaques. Dans les premiers, les informations perçues et celles qui doivent être mobilisées en écriture sont organisées de manière similaire. Ce qui n'est pas le cas avec les systèmes opaques. Ainsi, en français, les irrégularités sont relativement réduites en lecture (/ch/ se lit différemment dans « échouer » et « échos ») mais nombreuses en écriture (/o/, /f/... se transcrivent de plusieurs manières). Véronis (1988) estime ainsi que l'application des correspondances phonèmes-graphèmes ne permet d'écrire correctement que la moitié des mots du français. C'est ce qu'indiquent les données statistiques disponibles. En effet, les relations entre la prononciation d'un mot et son orthographe (P-O, écriture) sont moins consistantes que celles entre l'orthographe d'un mot et sa prononciation (O-P, lecture), et cela quel que soit le mode de calcul : au niveau d'un découpage des mots en attaque-rime (tableau 3.1a) ou en graphème-phonème (tableau 3.1b). De plus, ce sont les fins de mots qui posent surtout problème en français (tableau 3.1c), ce qui est dû à l'amuisement progressif des marques morphologiques, tant dérivationnelles (« grand »), que flexionnelles (« grands »).

Tableau 3.1a : Consistance des relations entre l'orthographe d'un mot et sa prononciation (O-P, lecture) et entre la prononciation d'un mot et son orthographe (P-O, écriture). Analyse à partir des unités attaque-rime : anglais, allemand et français (d'après Ziegler et coll., 1996 et Ziegler, 1998)

	Relations O-P (lecture) %	Relations P-O (écriture) %
Anglais	88	72
Français	95	50
Allemand	94	74

Tableau 3.Ib : Consistance des correspondances entre graphème et phonème (CGP, lecture) et entre phonème et graphème (CPG, écriture) pour les voyelles : anglais et français (d'après Peereман et Content, 1998 et 1999)

	Consistance des CGP (lecture) %	Consistance des CPG (écriture) %
Anglais	48	67
Français	94	68

Tableau 3.Ic : Consistance des correspondances entre graphème et phonème (CGP, lecture) et entre phonème et graphème (CPG, écriture) en fonction de la position dans des mots français (d'après Manulex, adapté de Peereман et coll., sous presse)

	Consistance des CGP (lecture) %	Consistance des CPG (écriture) %
Début de mot	96	91
Milieu de mot	80	76
Fin de mot	92	45

En conséquence, il serait nécessaire d'examiner plus en détail la question des relations entre lecture et écriture, notamment en ce qui concerne l'apprentissage et en fonction des différents systèmes orthographiques.

En l'état actuel de nos connaissances, on admet généralement que la production orthographique est plus difficile que la lecture (Bosman et Van Orden, 1997, pour le français, Sprenger-Charolles et coll., 1998 et 2003 ; Eme et Golder, 2005) : la première requiert une connaissance détaillée des lettres et de leur ordre alors que la seconde peut s'accommoder d'une représentation plus sommaire de cette organisation. On sait aussi que les performances en lecture et en écriture sont assez fortement corrélées chez les enfants (voir Ehri, 1997, p. 257 pour une vue d'ensemble en fonction des niveaux scolaires) et le restent, plus modestement, chez les adultes ($r = 0,57$ selon Cunningham et Stanovich, 1997). Toutefois, ces corrélations ne fournissent pas d'indication quant à une éventuelle liaison causale : la lecture nourrit-elle l'orthographe ? Est-ce l'inverse ? Ou toutes deux sont-elles corrélées par l'intermédiaire d'une troisième dimension (le lexique mental) ? Plusieurs observations étayent la thèse d'une relation causale entre la lecture et l'écriture, par exemple que l'exposition, même limitée, de bons orthographes à des erreurs orthographiques induit la production d'orthographe erronées (Brown, 1988 ; Jacoby et Hollingshead, 1990).

Les recherches portant sur le développement et l'apprentissage ont mis en évidence que l'écriture influait au moins initialement plus sur l'apprentissage de la lecture que l'inverse. Caravolas et coll. (2001) ont étudié l'impact de la

lecture, de l'écriture pré-conventionnelle (phonologique), de la conscience phonologique et de la connaissance des lettres sur l'acquisition de l'orthographe conventionnelle chez 153 enfants au cours des trois premières années de scolarité. Les productions orthographiques ont été recueillies à 4 reprises à partir d'une tâche de dénomination écrite et analysées selon leur exactitude phonologique puis selon leur exactitude conventionnelle. Les enfants ont également été soumis à une série d'autres tests (vocabulaire, QI, écriture de mots, connaissance des lettres, isolation du dernier phonème de mots, empan verbal de mots, lecture de mots).

Les résultats montrent que, relativement à l'orthographe phonologique, la connaissance des sons des lettres et les performances dans la tâche consistant à isoler le dernier phonème des mots sont d'excellents prédicteurs de l'exactitude en orthographe phonologique. Celle-ci est un meilleur prédicteur de la lecture que l'inverse. Au début, le développement de l'orthographe n'est donc prédit que par deux variables : la capacité à isoler les phonèmes et la connaissance des sons des lettres. L'apprentissage des correspondances lettres-sons aiderait le pré-lecteur à établir des représentations stables et concrètes des phonèmes, améliorant ainsi la conscience phonologique. Relativement à l'orthographe conventionnelle, la lecture est un bon prédicteur de l'orthographe conventionnelle ultérieure. L'orthographe conventionnelle apparaît ainsi comme un amalgame des habiletés phonographiques (évaluées par les performances en orthographe phonologique) et des connaissances orthographiques acquises par l'intermédiaire de la lecture. À cela s'ajoute que les meilleurs prédicteurs de la lecture et de l'orthographe aux temps t sont les performances en lecture et orthographe aux temps $t-1$, auxquelles s'ajoutent les connaissances des sons des lettres et la conscience phonologique.

Ainsi, dans une certaine mesure, la lecture et la production orthographique précoces reposent sur des habiletés différentes. Comme le proposaient Frith (1985) ainsi que Bryant et Bradley (1980), durant la phase alphabétique, l'orthographe phonologique induit (*drive*) le développement de la lecture. Ultérieurement, la lecture devient un prédicteur de l'orthographe conventionnelle.

Orthographe et production de textes

Les mêmes raisonnements et les mêmes démarches que ceux appliqués à l'impact du niveau de performance graphique sur la qualité et la quantité des productions textuelles ont été suivis en ce qui concerne l'orthographe. Toutefois, les données rapportées par les auteurs anglo-saxons ne portent le plus souvent que sur la dimension lexicale de celles-ci (voir Nunes et coll., 1997). Elles ne se généralisent donc pas facilement au français écrit, dont la

morphologie du nombre et du genre soulève des problèmes spécifiques du fait de son caractère majoritairement silencieux.

Relativement aux études de corrélations, Graham (1999) comme Juel (1988) ont rapporté que les performances en orthographe expliquaient une part significative et importante de la variance (entre 40 et 50 % pour le premier, environ 30 % pour le second) relevée en composition écrite chez les débutants. Concernant les recherches portant sur des entraînements, Berninger et coll. (1998) ont obtenu des améliorations significatives de la quantité d'écrit produit en introduisant en deuxième année primaire une instruction supplémentaire portant sur l'orthographe. Graham et coll. (2002) ont également induit des améliorations en orthographe et en production de phrases en intervenant auprès d'enfants en difficulté d'apprentissage de l'écrit. Toutefois, la stabilité des acquis est apparue faible sous six mois. Enfin, Berninger et coll. (2002) ont montré l'intérêt d'intervenir à la fois sur l'orthographe, en enseignant explicitement divers types de connexions entre formes sonores et formes graphiques, et sur la composition écrite pour obtenir une amélioration en composition, y compris en ce qui concerne l'orthographe des mots.

En résumé, les données relatives à l'orthographe lexicale et au coût de sa mise en œuvre s'accordent avec celles qui ont été rapportées relativement à l'impact de la dimension graphique sur la quantité et la qualité des productions textuelles des enfants. Toutes confirment que le coût élevé de la dimension orthographique (lexicale) se traduit par une performance faible en composition ; diminuer ce coût soit en allégeant la tâche soit en améliorant les performances par instruction induit des progrès presque toujours en quantité de texte produit, moins systématiquement en ce qui concerne la qualité des textes. La stabilité des améliorations est moins régulièrement testée et attestée.

En conclusion, l'étude de l'apprentissage de la production orthographique (et de la reconnaissance des mots) suggère que quatre dimensions interviennent. La première a trait à la phonologie et à l'apprentissage des associations phonèmes-graphèmes. En l'état actuel de nos connaissances, c'est cette dimension qui a le poids le plus important, au moins lors de la phase initiale de l'apprentissage (Majeres, 2005). La deuxième concerne la mémorisation, d'une part, d'instances fréquemment rencontrées (personne ne sait encore déterminer combien de rencontres sont nécessaires pour que soit assurée la mémorisation ; Share, 1999) et, d'autre part, de régularités graphotactiques constituant autant « d'unités » sous-lexicales susceptibles d'être combinées pour transcrire les mots (là encore, nous n'avons aucune indication du degré d'exposition à un corpus donné nécessaire pour que les régularités puissent en être extraites). La troisième est relative à la morphologie, plus ou moins assimilable à des procédures applicables à tous les mots concernés par ce que la grammaire formalise comme une règle (l'accord en nombre des noms,

adjectifs et verbes), ce qui n'implique pas que les individus recourent effectivement à de telles règles. Enfin, la quatrième dimension relève des processus mobilisables par les enfants : très précocement, les capacités d'établir des associations entre configurations phonologiques et graphémiques, de mémoriser des instances, d'extraire des régularités et d'effectuer des analogies semblent disponibles. Ce qui évolue, ce sont les bases de connaissance sur lesquelles opèrent ces processus. Or, nous savons encore peu de choses relativement à l'évolution de ces bases de connaissances et, notamment à leur organisation. De même, nous ignorons à peu près tout des effets de l'enseignement des règles d'accord, et plus généralement de celui des règles susceptibles de prévenir ou de corriger les erreurs, et de la manière dont les individus gèrent l'ensemble de ces règles, c'est-à-dire des rapports entre les apprentissages implicites réalisés sans intention et les apprentissages explicites effectués essentiellement sous l'influence de l'enseignement dispensé.

Malgré ces ignorances, la description des acquis relatifs à l'apprentissage chez le tout-venant permet d'envisager des sources potentielles de difficultés et d'expliquer le choix du matériel utilisé pour construire les épreuves. C'est ainsi que les chercheurs ont élaboré des épreuves portant sur la phonologie seule, sur les relations phonèmes-graphèmes, sur les connaissances lexicales et sous-lexicales, et sur la morphologie. Toutefois, une question récurrente concerne la relation entre la connaissance d'un item ou d'une procédure d'accord et sa mise en œuvre dans une activité complexe (dictée, composition écrite...). Cette question pose le double problème des évaluations et de l'enseignement dispensé. Les évaluations fournissent-elles des indications fiables des savoirs et des savoir-faire orthographiques ? L'instruction dispensée est-elle suffisamment systématique et prolongée pour assurer non seulement la connaissance des formes lexicales et des règles morphologiques mais aussi la possibilité de les mobiliser et de les appliquer dans des situations plus complexes que celles qui correspondent aux exercices ?

BIBLIOGRAPHIE

ADI-JAPHA E, FREEMAN NH. Development of differentiation between writing and drawing systems. *Developmental Psychology* 2001, **37** : 101-114

BERKO J. The child's learning of English morphology. *Word* 1958, **14** : 150-177

BERNINGER VW, VAUGHAN KB, ABBOTT RD, ABBOTT SP, et coll. Treatment of handwriting problems in beginning writers: Transfer from handwriting to composition. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 652-666

BERNINGER VW, VAUGHAN KB, ABBOTT RD, BROOKS A, ABBOTT SP, et coll. Early intervention for spelling problems: Teaching spelling units of varying size within a multiple connection framework. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 587-605

BERNINGER VW, VAUGHAN K, ABBOTT RD, BEGAY K, COLEMAN KB, et coll. Teaching spelling and composition alone or together: Implications for the simple view of writing. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 291-304

BONIN P, PEEREMAN R, FAYOL M. Do phonological codes constraint the selection of orthographic codes in written picture naming? *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 688-720

BOSMAN AMT, VAN ORDEN GC. Why spelling is more difficult than reading. In: Learning to spell. PERFETTI CA, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1997 : 173-194

BOSSE ML, VALDOIS S, TAINURIER MJ. Analogy without priming in early spelling development. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2003, **16** : 693-716

BOURDIN B, FAYOL M. Is written production more difficult than oral production: A working memory approach. *International Journal of Psychology* 1994, **29** : 591-620

BOURDIN B, FAYOL M. Mode effects in a sentence production task. *CPC/Current Psychology of Cognition* 1996, **15** : 245-264

BOURDIN B, FAYOL M. Even in adults, written production is still more costly than oral production. *International Journal of Psychology* 2002, **37** : 219-222

BOURDIN B, FAYOL M. Is graphic activity cognitively costly? A developmental approach. *Reading and Writing* 2000, **13** : 183-196

BROWN AS. Encountering misspellings and spelling performance: Why wrong isn't right. *Journal of Educational Psychology* 1988, **4** : 488-494

BRYANT P, NUNES T, AIDINIS A. Different morphemes, same spelling problems: Cross-linguistic developmental studies. In: Learning to read and write: A cross-linguistic perspective. HARRIS M, HATANO G (eds) Cambridge University Press, Cambridge, 1999

BRYANT P, NUNES T, SNAITH R. Children learn an untaught rule of spelling. *Nature* 2000, **403** : 157-158

BRYANT P, BRADLEY L. Why children sometimes write words which they do not read. In: Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). London, Academic Press, 1980

BRYANT P, NUNES T. Morphology and spelling. In: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer, Dordrecht, 2003

CARAVOLAS M, HULME C, SNOWLING MJ. The foundations of spelling ability: Evidence from a 3-year longitudinal study. *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 751-774

CASSAR M, TREIMAN R. The beginnings of orthographic knowledge: Children's knowledge of double letters in words. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 631-644

CONNELLY V, DOCKRELL JE, BARNETT J. The slow handwriting of undergraduate students constrains overall performance in exam essays. *Educational Psychology* 2005, **25** : 97-105

COUSIN MP, LARGY P, FAYOL M. Sometimes, early learned instances hinder the implementation of agreement rules. A study in written French. *Current Psychology Letters* 2002, **8** : 51-65

COUSIN MP, LARGY P, FAYOL M. Produire la morphologie flexionnelle du nombre nominal : Etude chez l'enfant d'école primaire. *Rééducation Orthophonique* 2003, **213** : 115-129

CUETOS F. Writing processes in a shallow orthography. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1993, **5** : 17-28

CUNNINGHAM AE, STANOVICH KE. Early spelling acquisition: Writing beats the computer. *Journal of Educational Psychology* 1990, **82** : 159-162

CUNNINGHAM AE, STANOVICH KE. Early reading acquisition and its relation to reading experience and ability 10 years later. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 934-945

DEFIOR S, SERRANO F. The initial development of spelling in spanish: From global to analytical. *Reading and Writing* 2005, **18** : 81-98

EHRI L. Learning to read and learning to spell are one and the same, almost. In: Learning to spell: Research, theory, and practice. PERFETTI C, RIEBEN L, FAYOL M. (eds). Mahwah, NJ, Erlbaum, 1997

EHRI LC, SALTMARSH J. Beginning Readers Outperform Older Disabled Readers in Learning to Read Words by Sight. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 295-326

EME E, GOLDER C. Word-reading and word-spelling styles of French beginners: do all children learn to read and spell in the same way? *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2005, **18** : 157-188

FAYOL M, LARGY P, LEMAIRE P. Subject- verb agreement errors in French. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1994, **47A** : 437-464

FAYOL M, LÉTÉ B, GABRIEL MA. Du développement de la correspondance un phonème-plusieurs graphèmes chez les enfants de 6 à 7 ans. *LIDIL* 1996, **13** : 67-85

FAYOL M, HUPET M, LARGY P. The acquisition of subject-verb agreement in written french. From novices to experts errors. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1999a, **11** : 153-174

FAYOL M, THÉVENIN MG, JAROUSSE JP, TOTEREAU C. From learning to teaching to learning french written morphology. In: Learning to read: an integrated view from research and practice. NUNES T (ed), Kluwer, Dordrecht (The Netherland), 1999b

FAYOL M. L'apprentissage de l'accord en genre et en nombre en Français écrit. Connaissances déclaratives et connaissances procédurales. *Faits de Langue*, 2002

FAYOL M, MIRET A. Écrire, orthographier et rédiger des textes. *Psychologie Française* 2005, **50** : 391-402

FERREIRO E, TEBEROSKY A. Literacy before schooling. Heinemann, New York, 1982

FOULIN JN. Why is letter-name knowledge such a good predictor of learning to read? *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2005, **18** : 129-155

FRITH U. Unexpected spelling problems. In: Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. In: Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). Erlbaum, London, 1985 : 301-330

GOMBERT J, FAYOL M. Writing in preliterate children. *Learning and Instruction* 1992, 2 : 23-41

GOSWAMI U. Children's use of analogy in learning to spell. *British Journal of Developmental Psychology* 1988, 6 : 21-33

GRAHAM S. Handwriting and spelling instruction for students with learning disabilities: a review. *Learning Disability Quarterly* 1999, 22 : 78-98

GRAHAM S, BERNINGER VW, ABBOTT RD, ABBOTT SP, WHITAKER D. Role of mechanics in composing of elementary school students: A new methodological approach. *Journal of Educational Psychology* 1997, 89 : 170-182

GRAHAM S, BERNINGER VW, WEINTRAUB N. The relationship between handwriting style and speed and legibility. *Journal of Educational Research* 1998, 91 : 290-297

GRAHAM S, HARRIS KR, KINK B. Is handwriting causally related to learning to write? Treatment of handwriting problems in beginning writers. *Journal of Educational Psychology* 2000, 92 : 620-633

GRAHAM S, WEINTRAUB N, BERNINGER V. Which manuscript letters do primary grade children write legibly. *Journal of Educational Psychology* 2001, 93 : 488-497

GRAHAM S, HARRIS KR, CHORZEMPA BF. Contribution of spelling instruction to the spelling, writing, and reading of poor spellers. *Journal of Educational Psychology* 2002, 94 : 669-689

HUPET M, FAYOL M, SCHELSTRAETE MA. Effects of semantic variables on the subject-verb agreement processes in writing. *British Journal of Psychology* 1998, 89 : 59-75

JACOBY LL, HOLLINGSHEAD A. Reading student essays may be hazardous to your spelling: Effects of reading incorrectly and correctly spelled words. *Canadian Journal of Psychology* 1990, 44 : 345-358

JAFFRÉ JP, FAYOL M. Orthographes. Des systèmes aux usages. Flammarion, Paris, 1997

JONES D, CHRISTENSEN CA. Relationship between automaticity in handwriting and students' ability to generate written text. *Journal of Educational Psychology* 1999, 91 : 44-49

JUEL C. Learning to read and write: A longitudinal study of 54 children from first to fourth grades. *Journal of Educational Psychology* 1988, 80 : 437-447

KEMP N, BRYANT P. Do bees buzz? Rule-based and frequency-based knowledge in learning to spell plural -s. *Child Development* 2003, 74 : 63-74

LARGY P. La révision des accords nominal et verbal chez l'enfant. *L'Année Psychologique* 2001, 101 : 221-245

- LARGY P, FAYOL M, LEMAIRE P. The homophone effect in written French: The case of verb-noun inflection errors. *Language and Cognitive Processes* 1996, **11** : 217-255
- LAVINE L. Differentiation of letter-like forms in pre-reading children. *Developmental Psychology* 1977, **23** : 89-94
- LEHTONEN A, BRYANT P. Doublet challenge: Form comes before function in children's understanding of their orthography. *Developmental Science* 2005, **8** : 211-217
- LOGAN GD. Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review* 1988, **95** : 492-527
- LOGAN GD, KLAPP ST. Automatizing alphabet arithmetic: I. Is extended practice necessary to produce automaticity? *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1991, **17** : 179-195
- MAJERES RL. Phonological and orthographic coding skills in adult readers. *The Journal of Genetic Psychology* 2005, **132** : 267-280
- MANRIQUE AMB, DE SIGNORINI A. Phonological awareness, spelling and reading abilities in Spanish-speaking children. *British Journal of Educational Psychology* 1994, **64** : 429-439
- MARTINET C, VALDOIS S, FAYOL M. Lexical orthographic knowledge develops from the beginning of literacy acquisition. *Cognition* 2004, **91** : B11-22
- MOUSTY P, LEYBAERT J. Évaluation des habiletés de lecture et d'orthographe au moyen de BELEC : données longitudinales auprès d'enfants francophones testés en 2^{ème} et 4^{ème} années. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée* 1999, **49** : 325-347
- NATION K, HULME C. The automatic activation of sound-letter knowledge: An alternative interpretation of analogy and priming effects in early spelling development. *Journal of Experimental Child Psychology* 1996, **63** : 416-435
- NUNES T, BRYANT P, BINDMAN M. Morphological spelling strategies: Developmental stages and processes. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 637-649
- ONL. Apprendre à lire. CNDP et O. Jacob, 1998
- PACTON S, FAYOL M. The impact of phonological cues on children's judgements of nonwords plausibility: The case of double letters. *Current Psychology letters: Brain Behavior and Cognition* 2000, **1** : 39-54
- PACTON S, PERRUCHET P, FAYOL M, CLEEREMANS A. Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities. *Journal of Experimental Psychology General* 2001, **130** : 401-426
- PACTON S, FAYOL M, PERRUCHET P. The acquisition of untaught orthographic regularities in French. In: Precursors of Functional Literacy. VERHOEVEN L, ERLBRO C, REITSMA DP (eds). Kluwer, Dordrecht, 2002 : 121-136
- PACTON S, FAYOL M, PERRUCHET P. Acquérir l'orthographe du Français: Apprentissages implicites et explicites. In : La maîtrise du langage. FLORIN A, MORAIS J (eds). Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 2002 : 95-118
- PACTON S, FOULIN JN, FAYOL M. L'apprentissage de l'orthographe lexicale. *Rééducation Orthophonique* 2005, **222** : 47-68

PACKTON S, FAYOL M. Learning to spell in a deep orthography: The case of French. In: Trends in language acquisition research. BERMAN R, GILLIS T (eds). Kluwer, Dordrecht, 2004 : 164-176

PACKTON S, FAYOL M, PERRUCHET P. Children's implicit learning of Graphotactic and Morphological regularities. *Child Development* 2005, **76** : 324-339

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

PEEREMAN R, CONTENT A. LexOP. A Lexical database with Orthography-Phonology statistics for French monosyllabic words. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers* 1999, **31** : 376-379

PEEREMAN R, LÉTÉ B, SPRENGER-CHAROLLES L. Manulex-infra: distributional characteristics of infra-lexical and lexical units in child-directed written material. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers*, sous presse

ROYER C, SPINELLI E, FERRAND L. On the status of mute letters in French: Simple graphemes or part of complex graphemes. *Current Psychology Letters* 2005, **16**

SEIDENBERG MS, GONNERMAN LM. Explaining derivational morphology as the convergence of codes. *Trends in Cognitive Sciences* 2000, **4** : 353-361

SÉNÉCHAL M. Morphological effects in children's spelling of french words. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 76-85

SEYMOUR PH, ARO M, ERSKINE JM. Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology* 2003, **94** : 143-174

SHARE DL. Phonological recoding and self-teaching: Sine qua non of reading acquisition. *Cognition* 1995, **55** : 151-218

SHARE DL. Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 95-129

SHARE DL. Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 267-298

SHARE DL, SHALEV C. Self-teaching in normal and disabled readers. *Reading and Writing : An Interdisciplinary Journal* 2004, **17** : 769-800

SPRENGER-CHAROLLES L. Linguistic processes in reading and spelling: The case of alphabetic writing systems: English, French, German and Spanish. In: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer, Dordrecht, 2003

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BONNET P. Reading and spelling acquisition in French: The role of phonological mediation and orthographic factors. *Journal of Experimental Child Psychology* 1998, **68** : 134-165

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BECHENNEC D, 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, **84** : 167-263

THÉVENIN MG, TOTEREAU C, FAYOL M, JAROUSSE JP. L'apprentissage/enseignement de la morphologie écrite du nombre en français. *Revue Française de Pédagogie* 1999, **126** : 39-52

THORSTAD G. The effect of orthography on the acquisition of literacy skills. *British Journal of Psychology* 1991, **82** : 527-537

TOLCHINSKY L. Childhood conceptions of literacy. In: Handbook of children's literacy. NUNES T, BRYANT P (eds). Kluwer, Dordrecht, 2003

TOLCHINSKY L, TEBEROSKY A. The development of word segmentation and writing in two scripts. *Cognitive Development* 1998, **13** : 1-24

TOLCHINSKY-LANDSMANN L, LEVIN I. Writing in preschoolers: An age-related analysis. *Applied Psycholinguistics* 1985, **6** : 319-339

TOLCHINSKY-LANDSMANN L, LEVIN I. Writing in four- to six-year-olds: Representation of semantic and phonetic similarities and differences. *Journal of Child Language* 1987, **14** : 127-144

TORGESSEN JK. Individual differences in response to early interventions in reading: The lingering problem of treatment resisters. *Learning Disabilities Research and Practice* 2000, **15** : 55-64

TOTEREAU C, THEVENIN MG, FAYOL M. The development of the understanding of number morphology in written French. In: Learning to spell. PERFETTI C, FAYOL M, RIEBEN L (eds). LEA, Hillsdale, NJ, 1997 : 97-114

TOTEREAU C, BARROUILLET P, FAYOL M. Overgeneralizations of number inflections in the learning of written French: The case of nouns and verbs. *British Journal of Developmental Psychology* 1998, **16** : 447-464

TREIMAN R. Use of consonant letter names in beginning spelling. *Developmental Psychology* 1994, **30** : 567-580

TREIMAN R, CASSAR M, ZUKOWSKI A. What types of linguistic information do children use in spelling? The case of flaps. *Child Development* 1994, **65** : 1310-1329

TREIMAN R. Beginning to spell: A study of first-grade children. Oxford University Press, New York, 1993

TREIMAN R, TINCOFF R. The fragility of the alphabetic principle: Children's knowledge letter names can cause them to spell syllabically rather than alphabetically. *Journal of Experimental Child Psychology* 1997, **64** : 425-451

TREIMAN R, KESSLER B, BOURASSA D. Children's own names influence their spellings. *Applied Psycholinguistics* 2001, **22** : 555-570

VARNHAGEN CK, BOECHLER PM, STEFFLER DJ. Phonological and orthographic influences on children's vowel spelling. *Scientific Studies in Reading* 1999, **3** : 363-379

VÉRONIS J. From sound to spelling in French: Simulation on a computer. *Cahiers de Psychologie Cognitive* 1988, **8** : 315-334

WALCZYK JJ. The interplay between automatic and control processes in reading. *Reading Research Quarterly* 2000, **35** : 554-566

WEINTRAUB N, GRAHAM S. Writing legibly and quickly: a study of children's ability to adjust their handwriting to meet common classroom demands. *Learning Disabilities Research and Practice* 1998, **13** : 146-152

ZIEGLER JC. La perception des mots, une voie à double sens ? *Annales de la fondation Fyssen* 1998, **13** : 81-88

ZIEGLER JC, JACOBS AM, STONE GO. Statistical analyses of the bidirectional inconsistency of spelling and sound in French. *Behavior Research Methods, Instruments and Computers* 1996, **28** : 504-515

4

Apprentissage de l'arithmétique

Il est impossible d'évoquer la genèse du nombre et des habiletés numériques chez l'enfant sans évoquer Piaget et de ses collaboratrices (Piaget et Szeminska, 1941 ; Piaget et Inhelder, 1959). L'objectif de Piaget était de montrer que la construction de la notion de nombre ne dépend pas du langage, mais de l'action intériorisée devenue réversible, c'est-à-dire de ses aspects opératifs. Pour Piaget, le nombre est solidaire d'une structure d'ensemble sans laquelle il n'y a pas de conservation des totalités numériques. Il n'est intelligible que dans la mesure où il demeure identique à lui-même quelle que soit la disposition des unités dont il est composé. C'est la raison pour laquelle Piaget a essentiellement étudié le nombre au travers de tâches dites de conservation. La conservation du nombre résulterait d'une coordination des diverses dimensions en jeu (l'espace occupé par une collection et la densité) et relèverait d'une pensée opératoire et logique.

Bien qu'ayant eu une énorme importance tant en psychologie qu'en pédagogie, l'approche « logiciste » de Piaget ne peut expliquer les premières acquisitions de l'enfant. D'une part, la tâche de conservation du nombre a reçu d'innombrables critiques (pour une revue, Fayol, 1990). Les données empiriques suggèrent que la réussite à cette tâche ne relève pas de la logique opératoire que Piaget y décelait et qu'elle n'a pas le caractère essentiel qu'il lui prêtait. D'autre part, bien avant l'accès au stade opératoire concret, les enfants d'école maternelle manifestent préalablement à tout apprentissage académique, un large éventail d'habiletés numériques comme le comptage, le dénombrement, et même la résolution de problèmes additifs simples (Siegler, 1996). Ces constats affaiblissent l'importance d'une supposée rupture développementale aux alentours de 7 ans marquée par l'accès à une première forme de logique concrète et dont l'indice le plus fiable serait la conservation du nombre.

Cependant, l'approche piagetienne a fortement contribué à renouveler notre conception des rapports entre l'enfant et le nombre. D'une part, la découverte par Piaget d'une intelligence préverbale chez le bébé a ouvert la voie aux études portant sur les compétences numériques précoces chez le nourrisson. D'autre part, l'attention portée à une compréhension du nombre allant au-delà de la simple maîtrise d'habiletés d'énumération, de dénombrement ou de calcul conserve toute sa valeur.

Prémices du nombre

Les capacités des animaux, des bébés et des peuplades dites « primitives » à discriminer des quantités ont été étudiées afin de repérer des capacités numériques élémentaires.

Capacités numériques chez l'animal

Les performances des animaux (singes, rats, pigeons) à des tâches de comparaison ou de discrimination de quantités d'objets ou d'événements montrent que les animaux réussissent mais de manière imparfaite (pour une synthèse, Brannon, 2005). Leurs choix, d'une part, ne sont pas aléatoires et, d'autre part, présentent une variabilité d'un essai à l'autre et d'une quantité à l'autre autour d'une moyenne. Cette variabilité augmente avec l'accroissement de la taille (ou magnitude) des entités à comparer. Les données collectées auprès de différentes espèces ont mis en évidence que le rapport de la dispersion des évaluations sur la taille de la quantité à estimer était une constante, ce qui correspond à une donnée classique de la psychophysique (la loi de Weber). Les animaux disposeraient d'une représentation mentale des magnitudes qui serait formellement analogue à des points sur une ligne de nombres. Cette représentation serait « floue » en ce sens que, même après un long entraînement, les animaux ne parviennent pas à déterminer exactement la numérosité d'une collection ou d'une série discrète de 4, 6 ou 8 éléments (Hauser et coll., 2000).

Capacités numériques chez le bébé

La sensibilité des jeunes enfants (de moins de 12 mois) à la quantité est réputée très précoce. Par exemple, ils discriminent les groupes d'objets ou de jetons sous réserve que les quantités soient petites (1, 2 et 3 items) (Starkey et Cooper, 1980 ; Strauss et Curtis, 1981 ; Antell et Keating, 1983). Il se pourrait même qu'ils disposent d'une représentation amodale des quantités puisqu'ils sont en mesure de discriminer et apparier les nombres d'événements (Canfield et Smith, 1996 ; Wynn, 1996 ; Sharon et Wynn, 1998) et les ensembles de sons (Bijeljac-Babic et coll., 1993) sur la base de la quantité. Toutefois, ces résultats déjà anciens ont donné lieu à des analyses critiques qui interdisent de les tenir pour acquis.

Une question importante et mal résolue a trait au caractère numérique ou non des représentations ainsi mises en évidence. S'agit-il de représentations d'emblée spécifiquement numériques, et donc discrètes, ce qui étayerait l'hypothèse de l'existence d'un système inné dédié au traitement du nombre (Wynn, 1998) ? S'agit-il plutôt d'un système traitant des quantités continues, le caractère numérique discret n'étant pas inhérent à ce mode de traitement et n'apparaissant que plus tard ? S'agit-il d'un système général, non spécifiquement dédié au nombre ni à la quantité, traitant des objets dis-

crets, et dont certaines propriétés pourraient laisser penser qu'on a affaire à des traitements numériques (Simon, 1997) ?

Plusieurs séries de recherches prétendent établir que les enfants n'ayant pas encore acquis le langage ont une représentation précise des petites quantités. Toutefois, dans la plupart des expériences, le matériel confond le nombre d'éléments et diverses dimensions continues étroitement corrélées à la numérosité (la surface, le volume) (Starkey et Cooper, 1980). Ce constat a conduit Feigenson et coll. (2002) à réaliser une série d'expériences dans lesquelles ils utilisent de petits ensembles d'objets tridimensionnels conduisant à manipuler conjointement les dimensions numérique et continue. De manière générale, les données rapportées par Feigenson et coll. montrent que les jeunes enfants sont en mesure de discriminer les petites quantités ($1/2$; $2/3$), et que ces discriminations sont très précocement associées à la relation plus/moins. En revanche, elles remettent en question la spécificité d'un système dédié au seul traitement numérique.

Lorsque les collections comportent plus de 4 ou 5 objets, les très jeunes enfants se réfèrent à une représentation analogique fournissant une quantification approximative. Le traitement pourrait dépendre d'un autre type de processus associé à une ligne analogique numérique (Mix et coll., 2002). Deux expériences ont produit des données sans équivoque à l'appui de cette thèse. Il a été montré en contrôlant la surface, la densité, la brillance et l'enveloppe des collections que les enfants de 6 mois manifestent une déshabitude quand on passe de 8 à 16 jetons (puis de 16 à 32) mais non de 8 à 12 (Xu, 2000 ; Xu et Spelke, 2000). Ces données suggèrent que les enfants ont besoin d'un rapport de $1/2$ pour discriminer les quantités, au moins lorsqu'elles dépassent une certaine taille et/ou qu'elles sont traitées comme des dimensions continues.

Des données complémentaires mettent en évidence que les nouveau-nés de 9 mois sont en mesure d'évaluer le caractère réaliste ou non des quantités (>5) résultant de l'ajout ou du retrait d'une quantité donnée à une collection initiale (McCrink et Wynn, 2004).

En résumé, les nouveau-nés semblent, comme les animaux, en mesure de mobiliser deux systèmes différents pour le traitement des quantités. L'un, précis mais ne s'appliquant qu'aux petits ensembles discrets (1, 2 et 3) ; l'autre, extensible aux très grandes quantités, opérant sur les dimensions continues ou traitant comme tels les ensembles d'éléments discrets, fournissant une évaluation approximative suivant la loi de Weber (Fayol et Seron, 2005). La question du caractère spécifiquement numérique de ces modes de traitement reste posée, tout comme celle des caractéristiques des représentations sur lesquelles ils pourraient s'effectuer.

Capacités numériques chez les peuplades dites « primitives »

Les études anthropologiques ont également mis en évidence chez des peuplades dites « primitives » des capacités numériques élémentaires similaires à

celles des bébés. L'opposition entre peuples civilisés et peuples dits « primitifs » qui s'articule, entre autres, sur une opposition entre mentalité logique et mentalité pré-logique doit beaucoup aux considérations des ethnographes de la fin du 19^e siècle et du début du 20^e (Lévy-Bruhl, 1912). Le « primitivisme » sous-jacent à cette conception qui considère que les systèmes les plus primitifs sont les plus simples et que le comptage dans les sociétés sans écriture serait immergé dans le concret, confinant ainsi bien des peuplades à la fameuse suite « un, deux, trois, beaucoup », perdue encore dans les travaux de synthèse les plus répandus (Ifrah, 1994). Or, de nombreux travaux d'africanistes montrent l'omniprésence de systèmes numériques dans des groupes qui font peu de cas de leurs procédés de calcul et de leur système de numération (Fainzang, 1985). Des nombres élevés peuvent être atteints en poursuivant un compt qui fonctionne par « application » de l'ensemble des doigts et des orteils sur chacun d'entre eux. Ces études anthropologiques attestent de l'existence de systèmes numériques plus ou moins élaborés, y compris dans les sociétés présentées comme les plus « primitives ». Par ailleurs, si la connaissance et l'utilisation de systèmes verbaux permettant une évaluation précise des quantités ne sont pas attestées dans certaines peuplades, les individus qui en sont membres sont néanmoins capables de réaliser des évaluations globales approximatives du même type que celles qui ont été mises en évidence chez les nouveau-nés (Pica et coll., 2004).

Il reste de nombreuses interrogations sur les capacités numériques élémentaires et aucun modèle ne permet actuellement de rendre parfaitement compte de toutes les observations. Nous savons que les bébés, les peuplades dites « primitives » et les animaux sont à la fois capables de détecter certains types de propriétés auxquelles les enfants plus âgés et les adultes de nos sociétés peuvent attacher des représentations numériques et d'évaluer de manière approximative les quantités, vraisemblablement en s'appuyant sur les propriétés continues (longueur, surface, intensité...). Certains résultats peuvent être interprétés comme attestant l'existence de capacités numériques innées, produit de l'évolution des espèces. Même si tel est le cas, ces capacités ne constituent qu'un point de départ. Les connaissances mathématiques plus complexes que l'être humain a développées au cours de son histoire vont bien au-delà et font appel à des systèmes numériques symboliques.

Premiers apprentissages

Les premiers apprentissages numériques font appel au système verbal et obéissent à une chronologie dont les processus ont fait l'objet de plusieurs modèles explicatifs.

Acquisition de la chaîne verbale

Dans nos sociétés, les activités ayant trait à la numération orale mobilisent un système verbal faisant intervenir un lexique et des règles de combinaison.

Les systèmes verbaux sont des systèmes conventionnels reposant sur deux grands principes :

- la lexicalisation qui est un processus élémentaire associant à une cardinalité une dénomination et une seule (cinq ; seize) ;
- une syntaxe constituée de règles combinatoires permettant d'élaborer une infinité de formulations complexes correspondant à n'importe quelle cardinalité (exemple : six cent soixante-quinze millions trois cent dix mille deux).

Dans le cas du nombre, les règles syntaxiques opposent des combinaisons de types additif (cent trois) ou multiplicatif (trois cents) (Power et Longuet-Higgins, 1978). Le système numérique oral français repose sur la lexicalisation des cardinalités allant jusqu'à 16, des dizaines de vingt à soixante, de cent, mille, million et milliard, sur une syntaxe codant uniquement des relations additives jusqu'à 79 (exemple : vingt-cinq = vingt + cinq) et sur une syntaxe combinant les relations additives et multiplicatives (exemple : quatre cent six = quatre x cent + six) (Fayol, 2002).

La chaîne verbale orale s'acquiert entre deux et six ans. Fuson et coll. (1982) ont établi que les suites numériques produites par les enfants en cours d'apprentissage s'organisent initialement suivant trois parties :

- stable et conventionnelle, qui s'accroît avec l'âge, surtout à partir de 4 ans et demi ;
- stable et non conventionnelle, qui concerne surtout les nombres entre 10 et 19 ;
- ni stable ni conventionnelle, qui change d'un essai à l'autre.

Cette construction progressive de la suite numérique reflète un apprentissage par cœur de type sériel. Elle est lente et difficile et les différences interindividuelles sont faibles. À partir de 4 ans et demi, le nombre de formes verbales disponibles augmente rapidement et certains enfants commencent à utiliser les règles de la combinatoire. Les différences interindividuelles se creusent alors entre les enfants utilisant déjà la combinatoire et ceux qui en sont encore à l'apprentissage par cœur. Ces différences sont particulièrement marquées entre les performances des enfants occidentaux, confrontés à des systèmes verbaux irréguliers, et les enfants du sud-est asiatique qui acquièrent très vite des systèmes à la base dix saillante (Miller et Paredes, 1996) (pour une synthèse, voir Fayol, 2002).

Processus de quantification

Trois processus de quantification sont distingués : le dénombrement, le *subitizing* et l'estimation (Fayol, 1990 ; Geary, 1994 ; Dehaene, 1997 ; Camos, 1999). En ce qui concerne l'émergence du dénombrement dans l'enfance, deux points de vue théoriques s'opposent : la théorie dite des « principes en premier » et celle dite des « principes après ». La théorie des principes en premier affirme que les principes guidant le dénombrement seraient innés.

Ces principes, définis par Gelman et Gallistel (1978), sont au nombre de cinq : le principe de correspondance un à un (chaque élément de la collection à dénombrer est associé à une seule étiquette) ; le principe d'ordre stable (la suite des étiquettes constitue une liste ordonnée) ; le principe de cardinalité (la dernière étiquette utilisée représente le cardinal de la collection) ; le principe d'abstraction (l'hétérogénéité des éléments n'a pas d'impact sur leur dénombrement) ; le principe de non-pertinence de l'ordre (l'ordre dans lequel les éléments sont dénombrés n'a pas d'incidence sur le cardinal de la collection). Selon ce modèle, ces principes de dénombrement contraindraient l'action et permettraient de reconnaître les procédures légitimes.

Par opposition à la théorie des « principes en premier », la théorie des « principes après » postule que les principes sont progressivement abstraits d'une pratique répétée des procédures de dénombrement acquises par imitation (Fuson, 1988). Le dénombrement serait d'abord une activité sans but, une routine, et l'enfant ne découvrirait que progressivement le lien avec la cardinalité. L'émergence de ce lien trouverait son origine dans le *subitizing*.

Le *subitizing* est un processus perceptif rapide et sûr d'appréhension immédiate de la quantité pour les petites numérosités, c'est-à-dire inférieures à 3 ou 4 objets (Mandler et Shebo, 1982). Divers modèles ont été proposés afin d'expliquer cette différence de traitement entre les collections inférieures à 4 et celles qui sont supérieures à 4 objets. Mandler et Shebo (1982) proposent que le *subitizing* repose sur la reconnaissance de configurations canoniques, ou patrons perceptifs. Pour leur part, Gallistel et Gelman (1992) défendent un point de vue radical selon lequel le *subitizing* ne serait rien d'autre qu'un dénombrement très rapide utilisant des étiquettes non verbales. Enfin, d'autres auteurs pensent qu'il relèverait de l'application d'un processus général d'estimation. En une ou deux secondes, les adultes peuvent estimer la numérosité d'une collection pouvant aller jusqu'à plusieurs centaines de points, sous réserve d'entraînement (Krueger, 1982). La variabilité dans l'estimation s'accroît avec la numérosité. L'empan du *subitizing* serait alors simplement l'intervalle dans lequel l'estimation est suffisamment précise pour produire un seul candidat. Bien que ces auteurs fassent l'amalgame entre *subitizing* et estimation, ils n'expliquent toutefois pas le processus permettant l'estimation. Si quelques modèles mathématiques ont été proposés pour expliquer ce processus (van Oeffelen et Vos, 1982), l'estimation tout comme le *subitizing* restent des processus encore mal connus.

Émergence des outils arithmétiques

Les travaux portant sur le bébé et le jeune enfant ont montré que, très tôt, les humains disposent d'une compréhension intuitive des transformations affectant les quantités : ajouts et retraits, parfois hâtivement assimilés à des

additions et soustractions simples (Wynn, 1992). Cette conception n'est toutefois pas acceptée par tous. En revanche, il est clair que dès 5 ans, et avant tout enseignement formel, beaucoup d'enfants de diverses cultures résolvent des problèmes arithmétiques simples (ajouts et retraits de quantités correspondant à des nombres à 1 chiffre) à l'aide du comptage (Siegler et Jenkins, 1989). Les stratégies utilisées par les jeunes enfants dérivent de leur habileté préexistante à dénombrer des collections. Bien qu'il existe des différences liées à la culture (Saxe, 1982), et même au sexe dans les stratégies utilisées, il existe d'importantes ressemblances dans le développement de l'arithmétique chez l'enfant (Geary, 1994).

Opérations simples

Pour résoudre les additions simples comme $4+3$, les enfants disposent de cinq classes générales de stratégies : l'utilisation d'objets, le comptage sur les doigts, le comptage verbal, les décompositions et enfin la récupération directe en mémoire du résultat (Carpenter et Moser, 1983 ; Siegler, 1987). Les mêmes classes de stratégies sont observées pour les soustractions, auxquelles s'en ajoute une autre faisant appel à l'addition indirecte correspondante (exemple : $3+?=7$ pour résoudre $7-3$; Baroody, 1984).

En ce qui concerne les additions simples, Fuson (1982) a montré que les enfants, dès l'âge de 3 ans, peuvent utiliser des objets pour répondre à des questions telles que « combien font 3 gâteaux et 2 gâteaux ? » en matérialisant chaque nombre à additionner par une collection d'objets et en dénombrant la collection résultante à l'aide du pointage manuel. Cependant, les enfants de 4 et 5 ans utilisent plus fréquemment le comptage sur les doigts ou le comptage verbal pour résoudre les additions simples (Siegler et Shrager, 1984).

La transition du comptage sur les doigts au comptage verbal est progressive et dépend principalement de la capacité de l'enfant à contrôler mentalement le déroulement du calcul et à conserver une trace de ce qui a déjà été et de ce qui reste à compter. En ce qui concerne les stratégies verbales, les enfants d'école maternelle semblent utiliser le plus fréquemment les stratégies « tout compter » et « surcompter ». La première consiste à compter les deux nombres en partant de 1 : $3 + 4$ est résolu en comptant 1, 2, 3, puis en poursuivant par un nombre de pas équivalent au second opérande : 4, 5, 6, 7. La seconde consiste à débiter directement le comptage à partir du premier opérande : 3, 4, 5, 6, 7. La stratégie de comptage verbal la plus sophistiquée et privilégiée dès la première année de primaire aboutit à compter non plus à partir du premier mais à partir du plus grand des deux nombres (stratégie dite du Min pour minimum, Groen et Parkman, 1972). Cette stratégie semble être « inventée » par les enfants et ne pas leur être enseignée.

Des procédures équivalentes sont relevées avec les soustractions. Dès 4 ou 5 ans, beaucoup d'enfants sont capables de résoudre des soustractions

simples à l'aide de matériel manipulable. Trois stratégies principales ont été décrites (Carpenter et Moser, 1984) : « séparer de », consiste, pour calculer $5-3$, à ôter 3 objets d'un ensemble de 5 et à dénombrer le résidu ; « ajouter à partir de », consiste à placer 3 objets, puis à ajouter des objets jusqu'à obtention d'un ensemble de 5. Le nombre d'objets ajoutés constitue le résultat ; « apparier », consiste à placer deux ensembles de 5 et 3 objets en correspondance terme à terme et à dénombrer les objets restant isolés.

Même chez de jeunes enfants, la sélection de la procédure de résolution dépend du problème posé. Par exemple, la question « Jean a 5 billes, il en donne 3 à Luc, combien lui en reste-t-il ? » sera préférentiellement résolue par une stratégie « séparer de », alors que le problème « Jean a 5 billes, Luc a 3 billes, combien Jean a-t-il de billes de plus que Luc » le sera par mise en correspondance des deux ensembles (apparier) (Carpenter et Moser, 1983 ; Riley et coll., 1983 ; De Corte et Verschaffel, 1987 ; Fayol, 1991 pour une synthèse). Cette flexibilité suggère que l'arithmétique intuitive des enfants de l'école maternelle repose en partie sur une représentation analogique des situations problèmes qu'ils ont à résoudre. Le comptage sur les doigts ou le comptage verbal simulent au moins initialement ces stratégies élémentaires.

Ces stratégies ne sont pas enseignées aux enfants mais découvertes par eux (Siegler et Jenkins, 1989). À son entrée à l'école primaire, l'enfant a déjà une longue expérience de la pratique de l'addition et a développé diverses stratégies. De toutes celles-ci, la plus rapide et la plus sûre est la récupération directe du résultat en mémoire. Rarement enseignée avec l'addition ou la soustraction, l'utilisation récursive des procédures de comptage pour résoudre un même problème conduirait à une association en mémoire à long terme du problème avec le résultat. Lorsque cette association est suffisamment forte, le résultat serait directement activé par la présentation des opérandes et récupéré en mémoire (Ashcraft, 1992). Cependant, la récupération de ces faits numériques semble plus fréquente pour l'addition que pour la soustraction qui demeurerait principalement résolue par des procédures de comptage.

À l'inverse de ce qui a été observé pour les additions et soustractions, il ne semble pas exister de développement spontané de procédures de comptage pour les multiplications et divisions chez les enfants d'âge préscolaire. Ceci est probablement lié au fait qu'il n'existe pas pour la multiplication (et a fortiori pour la division) d'algorithme élémentaire de calcul suffisamment fiable et rapide (Roussel et coll., 2002). Les multiplications simples semblent principalement acquises par apprentissage par cœur des tables (Geary, 1994), et les résultats récupérés directement en mémoire, ce qui pose un double problème. Le premier a trait à la mémorisation des associations entre opérandes et résultats (Lemaire et coll., 1994) ; le second concerne la récupération du seul résultat associé à une paire donnée d'opérandes alors même que cette paire est parfois reliée à plusieurs résultats (Campbell, 1987 ; Lemaire et coll., 1996 ; Barrouillet et coll., 1997). La division a été la

moins étudiée des quatre opérations. Les enfants semblent utiliser deux stratégies principales de résolution. La première consiste en une récupération des faits multiplicatifs associés (Campbell, 1997). La seconde s'appuie sur l'addition récursive du diviseur jusqu'à atteinte du dividende.

Opérations complexes

Les opérations complexes sont celles qui portent sur des nombres à plusieurs chiffres et dont la résolution passe habituellement par des algorithmes de calcul reposant sur la notation positionnelle. Les recherches dans ce domaine sont rares (Charness et Campbell, 1988). La plupart des études se sont limitées à la description des erreurs les plus fréquemment commises par les enfants dans l'utilisation de la retenue, erreurs souvent appelées *bugs* (VanLehn, 1990). Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour identifier avec précision les difficultés que rencontrent les enfants, les déterminants de ces difficultés et les moyens d'y remédier.

Modèles développementaux

Les premiers modèles concevaient le développement de l'arithmétique comme une succession de stades caractérisés chacun par un type de stratégie. Par exemple, le *Min model* de Groen et Parkman (1972) postulait que les jeunes enfants utilisent la stratégie « tout compter », que les enfants de 6 et 7 ans utilisent la stratégie Min et que les enfants plus âgés et les adultes utilisent la stratégie de récupération directe du résultat en mémoire. Cette conception est aujourd'hui abandonnée au profit de la conception de Siegler. Selon Siegler (1996), les enfants disposent à tous les âges d'un éventail de stratégies, même pour résoudre les problèmes en apparence les plus simples. Le problème se pose alors de savoir comment est sélectionnée une stratégie particulière pour un problème donné. Selon Siegler (1996), le choix des stratégies s'accompagne de cinq phénomènes fondamentaux : la variabilité, la flexibilité adaptative, le changement, les différences individuelles, et enfin la généralisation. La variabilité renvoie au fait que les individus utilisent une variété de stratégies, même pour résoudre un même problème. Ce choix de stratégie est adaptatif : les individus tendent à utiliser la stratégie la plus efficace et la moins coûteuse pour un problème donné (Siegler et Shrager, 1984). Le changement se traduit par le fait qu'au cours du développement, de nouvelles stratégies sont acquises, la fréquence d'utilisation des stratégies antérieures se modifie, celles qui se maintiennent deviennent toujours plus précises et rapides et enfin, la pertinence des choix de stratégies disponibles s'améliore (Siegler et Jenkins, 1989). Les différences interindividuelles sont par ailleurs considérables (Siegler, 1988). Enfin, le choix d'une stratégie nécessite que les leçons tirées des expériences passées soient généralisées aux problèmes et situations nouvelles (Siegler et Shipley, 1995). Ce choix n'est

pas systématiquement déterminé par l'utilisation consciente et délibérée de connaissances dites métacognitives. Il dépendrait de la force d'association entre le problème à résoudre et les diverses réponses préalablement produites par le système, ainsi que d'informations stockées et automatiquement traitées sur la précision, la vitesse et le coût de mise en œuvre de chaque stratégie pour un problème donné. Ces informations seraient acquises à l'aide de processus associatifs élémentaires mis en œuvre lors des expériences passées (Siegler et Shrager, 1984 ; Siegler et Shipley, 1995).

Performance experte

Les modèles disponibles considèrent plus ou moins explicitement que le développement conduit à l'utilisation d'une stratégie unique de récupération des résultats en mémoire, pour l'addition comme pour la multiplication. Or de nombreuses données conduisent à nuancer ce point de vue. Par exemple, Lefevre et coll. (1996) rapportent que les adultes résolvent 30 % des additions simples par des procédures algorithmiques de calcul. En outre, les stratégies utilisées par les enfants dépendent fortement de l'environnement pédagogique et culturel et le recours systématique à la récupération en mémoire d'un apprentissage systématique des tables. Ainsi, Geary (1996) rapporte que les enfants chinois de CE2 sont extrêmement plus rapides que leurs homologues américains pour résoudre les additions. Cette différence de vitesse et d'exactitude entre enfants asiatiques et nord-américains tient autant aux pratiques scolaires qu'aux différences culturelles dans l'importance que les parents accordent aux acquisitions arithmétiques et à l'attention qu'ils portent aux progrès de leurs enfants (Campbell et Xue, 2001).

Enfin, les stratégies utilisées par les enfants dépendent à la fois de l'environnement pédagogique et de la compréhension qu'ils ont des concepts qui sous-tendent les procédures. La découverte par les jeunes enfants des procédures algorithmiques pour les additions simples ainsi que la maîtrise des algorithmes de résolution des opérations complexes par les élèves de l'école primaire sont largement déterminées par leurs connaissances conceptuelles sur les nombres, la notation positionnelle ou encore le sens et la nature des opérations (Fuson, 1990). Nous avons déjà mentionné la supériorité des enfants asiatiques sur les enfants nord-américains, mais aussi européens dans le domaine de l'arithmétique. Fuson et Kwon (1992) observaient que pratiquement tous les enfants coréens de cours élémentaire, dont les performances en résolution d'opérations sont excellentes, maîtrisaient aussi correctement la notation positionnelle, comprenaient l'organisation en base 10 des nombres, et étaient capables d'expliquer les procédures efficaces. Ces connaissances conceptuelles ont été observées dans d'autres pays asiatiques (Stevenson et Stigler, 1992). Parallèlement, les faibles performances des enfants nord-américains en résolution d'opérations s'accompagnent en réalité d'une fréquente incompréhension de la notation positionnelle

(Fuson, 1990). Les connaissances procédurales et conceptuelles semblent ainsi étroitement liées. Dans une étude longitudinale du CP au CM1, Hiebert et Wearne (1996) ont montré que les enfants qui avaient la compréhension la mieux développée au mois de décembre de l'année de CP étaient ceux qui présentaient les habiletés procédurales les plus solides au CM1.

L'évolution des stratégies de résolution des opérations met en évidence le rôle primordial que joue le langage dans la cognition numérique de l'être humain. Au départ verbales et gestuelles, ces stratégies évoluent vers de simples systèmes d'exploitation de la chaîne numérique verbale culminant dans la récupération d'informations en mémoire. Ainsi, les habiletés arithmétiques entretiennent des rapports étroits avec le langage, rapports dont l'analyse constitue le contenu de la partie suivante.

Langage et mathématiques

Dans la vie courante, la pratique des activités numériques est tellement associée à l'utilisation du langage que l'une et l'autre paraissent indissociables. Or, les données issues de la psychologie comparative, de la pathologie et de la psychologie du développement montrent que la relation entre langage et activités numériques est moins étroite qu'on ne le pense intuitivement. Ce constat oblige à reconsidérer le rôle du langage : intervient-il ? Si oui, quand ? Comment ? À propos de quelles activités (par exemple le comptage, le dénombrement, la résolution des opérations) ?

Relations complexes entre nombre et langage

Les nouveau-nés, les enfants d'âge scolaire et les adultes semblent disposer d'une capacité primitive et précoce d'évaluation approximative des quantités. Cette capacité étant préverbale, le problème se pose des relations qu'elle entretient avec les systèmes verbaux. Les descriptions de doubles dissociations (Butterworth, 1999) suggèrent que les capacités numériques peuvent être spécifiquement affectées par un trouble sans que les capacités langagières le soient, et inversement. Ce constat est un argument fort en faveur de l'indépendance de ces deux capacités (Dehaene et Cohen, 2000).

Le langage n'apparaît plus comme le médium supportant nécessairement les traitements numériques et autorisant seul les traitements arithmétiques. Il faut donc s'interroger sur l'éventuel impact du langage sur la réalisation des activités arithmétiques. Certaines thèses postulent l'existence d'une représentation amodale (McCloskey, 1992) alors que d'autres considèrent que le langage est le mode privilégié de représentation des nombres (Brysbart et coll., 1998). Il existe indéniablement des relations entre activités arithmétiques et activités langagières. La difficulté tient à la délimitation

et à la détermination de ces relations (Campbell, 1994a et b ; Brysbaert et coll., 1998 ; Spelke et Tsivkin, 2001).

Évolution des relations entre nombre et langage

L'existence de capacités précoces d'évaluation des quantités a laissé penser que l'acquisition des premiers nombres devrait être rapide et facile. Il s'agirait d'établir des associations simples entre des étiquettes verbales et des quantités petites et peu nombreuses (par exemple, un, deux et trois) qui sont très tôt discriminées. En fait, l'acquisition de la signification cardinale des noms de nombres soulève deux problèmes, qui ont été largement sous-estimés (Fayol, 2002). Le premier concerne le caractère abstrait du codage de l'accroissement des quantités par les dénominations (English et Halford, 1995) : l'ordre des noms de nombre code de manière conventionnelle l'accroissement des quantités. Le second a trait au caractère catégoriel de l'emploi des termes du lexique des nombres (Mix, 1999) : les enfants doivent acquérir la capacité à évoquer mentalement les quantités à partir des dénominations et cela indépendamment des caractéristiques concrètes des entités qui sont concernées. Ces deux dimensions soulèvent chacune des problèmes spécifiques, qui existent dans toutes les langues, comme l'atteste la lenteur équivalente de l'acquisition des premiers nombres (de un à dix) dans les cultures orientales et occidentales (Miller et Paredes, 1996).

Les comparaisons inter-langues attestent que les enfants asiatiques (Chine, Corée, Japon...) obtiennent des performances supérieures aux enfants occidentaux dans des épreuves d'arithmétique, même avant que l'école n'intervienne sur l'apprentissage (Wang et Lin, 2005). Cette supériorité paraît tenir au moins en partie au fait que le Chinois comme le Coréen et les autres langues de cette partie du monde présentent un système régulier (et décimal) de dénomination verbale des nombres entre dix et cent. Ceux-ci (exemple : trente-sept) sont élaborés en énonçant successivement le nombre de dizaines (exemple : trois dix) et le nombre d'unités (exemple : sept), soit « trois dix sept ». Cette organisation facilite l'acquisition et l'utilisation de la suite verbale des noms de nombres. La structure de la suite verbale dans les langues occidentales contraint les enfants en général, et les Français en particulier, à un apprentissage par cœur qui entraîne un retard croissant par rapport aux jeunes asiatiques. De plus, pour ce qui concerne plus spécifiquement les jeunes Français, les irrégularités de construction de soixante-dix, quatre-vingts et quatre-vingt dix ajoutent de nouvelles difficultés qui se traduisent par des erreurs et des retards supplémentaires dans l'apprentissage (Fayol et coll., 2000). Toutefois, ce retard pourrait n'être que verbal et n'avoir aucune incidence sur la représentation et le traitement des quantités.

Une question fondamentale consiste à chercher à déterminer si les variations langagières influent sur les performances lors des activités arithmé-

tiques. Il semble que ce soit le cas relativement à la résolution d'opérations arithmétiques simples (exemple : l'addition ou la multiplication). Ces opérations se résolvent soit en recourant à une procédure (exemple : pour $m+n$ ajouter n fois un à m) soit en retrouvant en mémoire une association entre un couple d'opérandes et un résultat ($3 \times 2 = 6$). Une question importante a trait à l'éventuel impact de la forme des éléments de la suite numérique sur la compréhension de la structure décimale des nombres et sur l'impact de celle-ci relativement à la résolution des opérations. Certaines caractéristiques du langage facilitent (Ho et Fuson, 1998) ou, au contraire, rendent plus difficile (Levine et coll., 1992) la résolution d'opérations simples. Par exemple, la structure des dénominations aide à décomposer ou recomposer des sommes ou des différences : la vérification de l'opération « VI = 5 + 1 » est plus rapide que celle de « VI = 3 + 3 » (Noël et Seron, 1997). La difficulté est de déterminer s'il s'agit de dimensions centrales, ayant trait à la qualité des représentations, ou de dimensions périphériques liées aux traitements des formats d'entrée et de sortie (Miller et Zhu, 1990).

Les faits arithmétiques, quant à eux, renvoient aux problèmes (additions, soustractions, multiplications) dont la solution ne requiert pas le recours à des processus de calcul. Le débat relatif au format, amodal ou modal, de stockage et de récupération des faits arithmétiques reste ouvert. Certaines thèses suggèrent un stockage indépendant de la modalité (McCloskey, 1992), d'autres défendent l'idée d'un format verbal unique de stockage des tables de multiplication et de quelques additions sous forme d'associations verbales (Dehaene et Cohen, 2000). Les dissociations décrites, les corrélations entre troubles du langage et troubles des faits arithmétiques mais aussi la mise en évidence d'effets d'amorçage constituent autant d'arguments en faveur d'un codage verbal des faits arithmétiques chez les adultes. À ces données s'en ajoutent d'autres ayant trait aux performances des enfants. La forme des mots-nombres influe sur leur vitesse de prononciation, laquelle détermine l'empan de la mémoire de travail (Ellis, 1992). Le langage peut ainsi avoir un effet indirect sur la cognition arithmétique. Les langues dans lesquelles la vitesse d'articulation des noms de nombres est très élevée permettent de disposer de capacités plus importantes de mémoire de travail et, donc, à la fois, d'utiliser des procédures de résolution plus coûteuses (Ellis, 1992) et de mémoriser plus facilement les associations entre opérandes et résultats. À terme, la représentation des faits arithmétiques et les processus de traitement s'en trouvent affectés et diffèrent d'une communauté linguistique à l'autre (Campbell, 1994a et b).

Différences linguistiques et transcodage

Les problèmes liés au transcodage et à la compréhension de la notation positionnelle chez les enfants de nos écoles paraissent liés aux problèmes

linguistiques générés par certaines spécificités du français. La faible transparence de la base dix dans les langues occidentales influe négativement sur l'apprentissage de la numération écrite. Cette dernière ne comporte qu'un nombre limité de chiffres (10 : de 0 à 9) et recourt à la notation positionnelle pour coder les puissances de 10. En conséquence, plus la correspondance oral/écrit est régulière comme en Chinois (*shi yi*=dix un=11 ; *er shi san*=deux dix trois=23), Coréen ou Japonais, plus l'acquisition de la numération écrite est facile et rapide (Miura et coll., 1994). La mise en évidence de difficultés d'apprentissage du code indo-arabe en relation avec la structure des dénominations verbales dans la langue maternelle pose le problème de leur influence à plus long terme (Fayol et coll., 1996).

L'absence de transparence des systèmes verbaux occidentaux rend plus tardive et plus complexe la maîtrise du système par comparaison avec les performances des enfants d'Asie de sud-est. Cependant, une fois automatisées, les associations entre cardinalités et dénominations ou combinaisons, les problèmes disparaissent ou deviennent négligeables, sauf peut-être en France où l'utilisation de dizaines complexes pour 70, 80 et 90 rend problématique l'acquisition et continue à produire des effets négatifs encore en troisième primaire (Seron et Fayol, 1994), et même chez les adolescents en difficulté scolaire (Barrouillet et coll., 2004).

Les recherches conduites auprès d'enfants présentant des troubles du langage mettent en évidence que leurs performances sont relativement bonnes lorsqu'elles portent sur des données numériques en chiffres arabes (Donlan et Gourlay, 1999). Ces enfants manifestent le classique effet de distance symbolique lorsqu'ils doivent comparer des quantités exprimées soit sous forme analogique (dessins d'objets ou collections de jetons) soit en chiffres arabes. Ces données suggèrent que les tâches de jugement symbolique font appel à des représentations non verbales et sont traitées sans recodage verbal (Fazio, 1996). En revanche, les recherches conduites auprès des enfants sourds ont révélé que ces derniers présentent des difficultés en mathématiques dont les causes semblent, paradoxalement, difficiles à identifier.

Mathématiques chez l'enfant sourd

Une des causes possibles des faibles performances des enfants sourds serait leurs difficultés en lecture. En effet, lorsque les tests requièrent beaucoup de lecture, les performances en mathématiques sont corrélées avec la compréhension en lecture (Pau, 1995). De plus, de nombreux termes spatiaux sont utilisés en mathématiques. Ces termes représentent une difficulté particulière pour les enfants sourds (Durkin et Shire, 1991). Il en va de même de ceux qui induisent des confusions entre les mots-nombres (par exemple en anglais, entre « *eighteen* » et « *eighty* ») principalement dues à la similarité phonologique (Secada, 1984). Enfin, les enfants sourds, comme tous les enfants ayant des troubles du langage, ont des difficultés particulières avec

les connecteurs logiques comme « si », « parce que » et même avec des quantificateurs comme « quelques » ou « la plupart ».

Si les difficultés en lecture des enfants sourds peuvent donc être une cause de leurs moindres performances en mathématiques, elles ne permettent néanmoins pas d'expliquer leurs faibles performances dans des tâches ne demandant pas de lecture comme les tâches de conservation (Watts, 1982) ou la Tour de Hanoï (Luckner et McNeill, 1994). De plus, le degré de perte auditive n'a que très peu d'impact sur les scores aux tests mathématiques (Wood et coll., 1983). D'autres facteurs que les capacités langagières ont donc été avancés pour expliquer leurs moindres performances. Kohen-Raz et Masalha (1988) montrent, par exemple, que des facteurs non-verbaux tels que certaines habiletés motrices peuvent être impliqués dans les difficultés des enfants sourds. Ces facteurs sont éventuellement liés aux dysfonctionnements neurologiques que l'on trouve dans la population sourde (Kaga et coll., 1981). Une autre hypothèse suggère que ce n'est pas la surdité en elle-même qui cause les difficultés en mathématiques mais que c'est le manque d'information et la moindre opportunité d'apprentissages « accidentels » (par exemple grâce aux chansons ou émissions enfantines) dont elle est la cause qui entraînent un moins bon apprentissage (Rapin, 1986).

En résumé, les rapports entre langage et nombre ne sont pas aussi étroits et directs que l'évolution des habiletés numériques chez l'enfant pourrait le laisser penser. Cette relative indépendance renforce l'hypothèse que les systèmes verbaux viennent se greffer sur les systèmes analogiques, antérieurs sur les plans phylo- et ontogénétique, décrits chez l'animal et le bébé. Ces systèmes verbaux, dont le principe initial consiste à affecter une étiquette verbale unique à chaque numérosité, limitent l'usage spontané du nombre aux entiers naturels, comme le montre bien l'étude des tribus d'Amazonie. C'est sans doute la raison pour laquelle l'introduction des fractions et des décimaux pose de tels problèmes aux enfants de l'école primaire.

Décimaux et fractions

Bolon (1993) rapporte une étude menée auprès de 135 élèves de 6^e qui révèle que 65 % des enfants ne savent pas placer $9/4$ sur une droite graduée de 0 à 9 (voir aussi Perrin-Glorian, 1986). Plus de la moitié des enfants ont des difficultés avec les produits, l'écriture fractionnaire d'un décimal, l'écriture décimale d'une fraction, les approximations. Ces difficultés sont loin d'être résolues au lycée. Les erreurs observées ne sont pas aléatoires. Elles sont reproductibles et persistantes, probablement dues à des représentations et conceptions erronées qui font ensuite obstacle à la suite de l'apprentissage des décimaux et des fractions.

Décimaux

Brousseau (1983) distingue trois origines différentes pour les obstacles didactiques : ceux d'origine ontogénique qui surviennent du fait des limitations de l'enfant à un moment de son développement ; ceux d'origine didactique qui semblent ne dépendre que d'un choix ou d'un projet du système éducatif ; ceux d'origine épistémologique qui sont constitutifs de la connaissance visée. On retrouve parfois ces derniers dans l'histoire des concepts eux-mêmes, et il est illusoire de vouloir y échapper.

Associer les décimaux à des mesures et les séparer du monde des fractions a créé un certain nombre d'obstacles didactiques qui provoquent des erreurs caractéristiques telles que penser que 8,35 est plus petit que 8,257 puisque 35 est plus petit que 257 (Comiti et Neyret, 1979), ou qui permettent des écritures ambiguës comme $1,850 \text{ kg} = 1\ 850 \text{ g}$, ce qui n'est vrai que si le nombre reste étroitement associé à l'unité de mesure. De là différentes tentatives et propositions visant à rapprocher décimaux et fractions (Comiti et Neyret, 1979 ; Brousseau, 1983).

Fractions

Les enfants paraissent disposer d'une représentation naïve très précoce des fractions (Mix et coll., 1999 ; Gallistel et Gelman, 1992) et ont de nombreuses occasions de les manipuler dans leur vie quotidienne (situation de partage). Malgré cela, l'apprentissage des fractions se révèle très difficile pour la plupart d'entre eux (Clements et Del Campo, 1990). Diverses raisons ont été émises afin d'expliquer ces difficultés. Tout d'abord, les toutes premières connaissances acquises par les enfants au sujet des fractions reposent quasi-exclusivement sur les situations de partage (Watson et coll., 1999). Cette conception des fractions comme « la partie d'un tout » empêche de les considérer comme des nombres. Une deuxième source possible de difficultés serait l'association faite par les enfants entre les fractions et des objets concrets, comme pour l'apprentissage des nombres entiers. Le fait que les fractions évoquent une représentation concrète rend l'idée même d'opérations sur les fractions difficilement concevable. Toutefois, certains auteurs préconisent de conserver le lien existant entre les fractions et leurs diverses représentations concrètes. Ce serait en multipliant les représentations concrètes associées à chaque fraction que les enfants pourraient abstraire le concept de fraction (Streefland, 1997).

En résumé, les difficultés rencontrées par les enfants dans l'apprentissage des fractions peuvent être attribuées à la prédominance d'un modèle inapproprié, à l'utilisation de représentations concrètes, à la difficulté de concevoir les fractions comme des nombres, à l'application sans réelle compréhension de procédures calculatoires, sans qu'on puisse déterminer les poids respectifs de chacun de ces facteurs.

Résolution de problèmes

La résolution de problème demeure l'activité dans laquelle les élèves rencontrent le plus de difficultés, comme l'indiquent toutes les études internationales (Fayol et coll., 1997). Ainsi, les processus cognitifs sous-tendant la résolution de problèmes font-ils l'objet de nombreuses études en psychologie. De même, la formulation et le contexte de présentation des problèmes, l'impact qu'ils ont sur les performances et les progrès des élèves sont au cœur des préoccupations des spécialistes de la didactique et de l'éducation.

Problèmes verbaux : le point de vue cognitif

Tous les chercheurs s'accordent pour admettre qu'il existe différents types de problèmes additifs et pour considérer que ces grandes catégories ne sont pas réductibles à l'opération mise en jeu (Fayol, 1991). Pour résoudre un problème arithmétique à énoncé verbal, les sujets doivent posséder des connaissances conceptuelles relatives aux accroissements, diminutions, combinaisons et comparaisons. C'est sur cette base que les taxonomies ont été construites. La classification la plus connue (Riley et coll., 1983) distingue trois grands ensembles de problèmes. En premier lieu, les problèmes de changement impliquent tous au moins une transformation temporelle appliquée à un état initial et aboutissant à un état final. La seconde catégorie correspond aux problèmes de type combinaison qui concernent des situations statiques (par exemple, Marc a 5 billes, Luc a 3 billes, combien ont-ils de billes ensemble ?). Une troisième catégorie regroupe les problèmes de comparaison dans lesquels il s'agit également de comparer des situations statiques à l'aide de formulations du type « plus de / moins de ». La validité écologique de cette classification a été attestée car d'une part, des problèmes du même type donnent lieu à des réussites décalées dans le temps (par exemple, les problèmes de comparaison et les problèmes à états initiaux inconnus sont les plus tardivement réussis). D'autre part, des types de problèmes différents donnent lieu à des taux de réussite différents chez des sujets de même âge ou de même niveau scolaire. La classification précédente repose sur les concepts d'accroissement, de diminution, combinaison et comparaison. La seule classification purement conceptuelle provient de Vergnaud (1982), qui a isolé 6 catégories de relations en fonction de trois types de concepts principaux : la mesure, les transformations temporelles et les relations statiques.

Plus que l'opération à effectuer, la sémantique et la structure du problème déterminent pour une large part les performances et les stratégies des sujets. En effet, ces facteurs déterminent la forme, la nature et la difficulté de construction de la représentation. Pour comprendre un problème, il faut s'en construire une représentation soit par particularisation d'un schéma soit par construction d'une représentation de situation (Richard, 1990).

Un schéma est un ensemble de connaissances abstraites qui peuvent être définies comme les traces laissées en mémoire par les situations rencontrées précédemment et organisées en objet structuré ayant un certain nombre de propriétés caractéristiques (Schank et Abelson, 1977 ; Kintsch et Greeno, 1985). Ainsi, le sujet extrairait les caractéristiques invariantes de chaque catégorie de problème et constituerait ainsi des cadres correspondant à leur structure. Ces cadres, disponibles en mémoire à long terme, comporteraient un certain nombre de places vides (ou variables) qui seraient remplies (instanciées) par des informations spécifiques (des objets) fournies par l'énoncé. Ainsi, le sujet sélectionnerait le schéma correspondant à l'organisation relationnelle des données et mettrait en œuvre les procédures pertinentes. Le problème est alors résolu. Cette conception rend compte du fait que certains problèmes sont plus difficiles à résoudre que d'autres du fait qu'ils correspondent directement ou non à des schémas utilisables (Kintsch et Greeno, 1985). Elle permet également d'expliquer l'effet facilitateur du placement de la question en tête d'un énoncé arithmétique (Devidal et coll., 1997).

En l'absence de schéma disponible en mémoire à long terme, les sujets sont obligés de construire en mémoire de travail une représentation *ad hoc* de la situation problème dite modèle de situation (Kintsch, 1979) ou modèle mental (Johnson-Laird, 1983). Cette représentation conserve les relations entretenues entre les divers éléments qu'elle intériorise (Van Dijk et Kintsch, 1983). Ainsi, les aides à la construction d'une représentation adéquate, soit en fournissant du matériel concret (Jaspers et Van Lieshout, 1994a et b), soit en enseignant à représenter sur des diagrammes les relations entre les différentes quantités du problème (Willis et Fuson, 1988), améliorent les performances.

La théorie des schémas et celle des modèles de situation ou modèles mentaux fournissent donc une interprétation des changements de performances en fonction des caractéristiques sémantiques des énoncés de problèmes (Thévenot et coll., 2004). Cependant, ces performances ne dépendent pas exclusivement des caractéristiques des énoncés mais peuvent être dépendantes de caractéristiques inhérentes aux individus confrontés aux problèmes. En effet, une grande partie de la variance observée en résolution de problèmes verbaux est attribuable aux capacités de compréhension du texte (De Corte et Verschaffel, 1985 ; Cummins et coll., 1988). De même, comme cela a été montré pour la résolution d'opérations simples, les difficultés en résolution de problèmes semblent liées à des déficits en mémoire de travail (Swanson, 1994 ; Passolunghi et Siegel, 2001).

Il est également impossible de négliger la situation dans laquelle est plongé l'élève : dans une classe, avec un instituteur, à l'école. Certains auteurs (De Corte et Verschaffel, 1985) ont montré que la connaissance d'un schéma général, représentation de ce qu'est un texte de problème à l'école, était indispensable pour mener à bien la résolution. D'autres auteurs

(Carpenter et coll., 1983), en examinant les caractéristiques des énoncés et les objectifs des enseignants, ont expliqué comment ce schéma pouvait se construire, puis parfois devenir une caricature de lui-même. C'est cette caricature qui explique l'apparition de comportements détachés du monde réel et de tout bon sens.

De Corte et Verschaffel (1985) ont suggéré qu'une partie des erreurs observées était imputable à l'absence d'un *Word Problem Schema*, ou WPS. Ce schéma, formel et général, pilote la lecture de l'énoncé. Il est surordonné par rapport aux schémas sémantiques et relationnels évoqués plus haut et met en œuvre des processus d'interprétation pragmatiques qui s'ajoutent aux processus d'interprétation sémantique. Il engage des connaissances concernant la structure, le rôle, et les objectifs « du » problème arithmétique en général, tel qu'il est habituellement proposé à l'école. De Corte et Verschaffel (1985), mais aussi Brissiaud (1988), ou encore Coquin-Viennot (1996 et 2000) ont montré que le WPS, absent au début de la première année d'école, semble acquis par une majorité d'élèves vers 8 ans. Il est mobilisé sur la base du contexte (classe de mathématique) et du type de texte. Les connaissances pragmatiques sont rendues nécessaires par la nature stéréotypée des problèmes scolaires qui s'opposent aux problèmes quantitatifs de la vie réelle (Nesher, 1980). La raison de cet écart tiendrait à ce que les problèmes de l'école servent à enseigner l'arithmétique appliquée et non à résoudre des questions de la vie réelle. Les deux sont associés à des registres différents, sans correspondance (Gerofsky, 1996).

Il est facile de faire apparaître des erreurs qui manifestent les conceptions des élèves, (Brousseau, 1983 et 1990 ; Carpenter et coll., 1983). Les réponses absurdes seraient attribuables au caractère stéréotypé de la plupart des problèmes à énoncés verbaux, celui-ci résultant du *classroom climate*, autrement dit au contrat didactique résultant de l'objectif poursuivi par le maître (Gravemeijer, 1997). Verschaffel et coll. (1997) ont montré que l'attitude de déconnexion de la réalité s'observe chez des étudiants d'instituts de formation des maîtres dans les Flandres au même titre que chez les élèves. Il n'est, dans ces conditions, pas surprenant que le phénomène perdure en classe.

En conclusion, quatre remarques principales semblent pouvoir être dégagées, lesquelles indiquent en retour quatre directions possibles d'investigation à court et moyen terme.

Premièrement, il ne fait plus de doute que les êtres humains disposent dès la naissance, ou très précocement, d'habiletés proto-numériques qui orientent le comportement des jeunes enfants dans les situations dont les aspects quantitatifs sont pertinents. Apparemment héritées de l'évolution et présentes chez d'autres espèces, ces capacités iraient au-delà d'un sens naturel et fondamental du nombre et de la quantité et incluraient une compréhension intuitive de l'arithmétique simple, notamment la perception et

la manipulation approximative des quantités. Ces représentations intuitives constitueraient une base sur laquelle fonder les premiers apprentissages (Fayol et Seron, 2005).

Deuxièmement, nous disposons de connaissances relativement précises de l'évolution des performances des enfants entre 3 et 7-8 ans. Même si certains aspects mériteraient d'être éclaircis, par exemple les processus qui permettent l'émergence de nouvelles stratégies, tout ou presque semble avoir été dit sur l'acquisition de la chaîne numérique verbale, son réinvestissement dans les procédures de quantification, et l'impact qu'ont ces dernières sur la création spontanée de stratégies permettant de résoudre les situations simples d'addition et de soustraction. Ces habiletés sur lesquelles nous avons le plus de connaissances sont aussi celles qui posent le moins de problèmes, comme l'apprentissage des algorithmes élémentaires de calcul des additions ou des soustractions simples (à un chiffre) (Fayol et coll., 1997). Les données disponibles permettent d'établir des trajectoires de développement et, donc, d'évaluer la relative conformité des performances d'un enfant en référence à celles de ses pairs. Ce qui a conduit à l'élaboration récente de plusieurs tests (Tedi-Math, Numerical).

Troisièmement, les rapports entre langage et arithmétique sont relativement bien étudiés et connus. Les recherches ont permis de dresser un panorama des différences interculturelles dues aux spécificités des diverses langues et de collecter des données relatives aux troubles qui résultent des difficultés de langage. Sans constituer un obstacle insurmontable, l'opacité des langues européennes, et plus particulièrement du français qui y ajoute la difficulté des dizaines complexes, contribue aux différences internationales qui sont systématiquement en faveur des pays asiatiques. Même si ces différences ne sont pas seulement imputables à la langue, les langues qui rendent transparent le système décimal sont probablement les plus appropriées à l'enseignement de l'arithmétique, notamment lors du passage au format indo-arabe et à la résolution des opérations complexes (par exemple soustractions avec retenues ou divisions). Il reste un domaine à explorer, celui qui a trait aux possibles substitutions de systèmes non verbaux (abaques, système indo-arabe) lors de l'apprentissage, pour des populations présentant des troubles spécifiques du langage.

Quatrièmement, il semble que les difficultés commencent lorsque les habiletés élémentaires, implicitement acquises et mises en œuvre au sein d'une culture donnée, doivent être intégrées et réinvesties dans des habiletés plus complexes comme l'utilisation des décimaux, les opérations sur de grands nombres, la compréhension de l'écriture positionnelle et ses rapports avec la base 10, ou encore la résolution de problèmes, qui demeure le principal écueil auquel se heurtent les enfants de l'école élémentaire. C'est bien dans le passage du nombre intuitif aux mathématiques que se situe la difficulté (Dehaene, 1997). C'est aussi là que nos connaissances sont les plus lacunaires.

Quelques domaines devraient donner lieu à des explorations précises. Le premier concerne les liens entre, d'une part, le système proto-numérique et les intuitions dont nous avons hérité grâce à l'évolution et, d'autre part le système numérique verbal. Les tentatives sont en effet rares qui prennent pour objet d'étude la cognition numérique dans la petite enfance, entre 2 et 4 ans. Il s'agit pourtant d'un moment clef du développement où il devrait être possible de déterminer si l'apprentissage du système numérique verbal s'appuie sur le système proto-numérique préexistant, ou bien s'il s'agit de deux constructions indépendantes qui ne sont qu'ensuite, et difficilement, mises en relation. Il devrait ainsi être possible de déterminer si les approches initiales du nombre doivent ou non s'appuyer sur les intuitions préverbales précoces.

Le deuxième domaine a trait à la résolution des opérations à plusieurs chiffres. Si les opérations à un chiffre et leur résolution ont été très largement étudiées, en revanche on sait peu de chose sur les obstacles auxquels se heurtent les enfants dans l'acquisition des algorithmes complexes qui constituent toujours une part importante des apprentissages scolaires. Rien ou presque n'est connu des processus en jeu dans l'acquisition et la mise en œuvre des algorithmes complexes de la multiplication ou de la division, du rôle qu'y jouent les connaissances conceptuelles ayant trait à la notation positionnelle, ou encore de l'effet en retour que peut avoir l'apprentissage de ces algorithmes sur les connaissances conceptuelles concernant les nombres et leur écriture.

La troisième perspective concerne les difficultés que rencontrent les enfants avec les fractions et les nombres décimaux. Très peu d'informations sont disponibles sur les processus cognitifs qui sous-tendent la compréhension et le traitement de ces nombres. Doivent-ils réellement, comme le suggèrent de nombreux didacticiens, être abordés comme de nouveaux nombres, ou doit-on s'appuyer sur la compréhension intuitive dont semblent disposer les êtres humains pour les nombres entiers ? Est-il réellement possible de les aborder comme des nombres totalement nouveaux lorsque le langage, dont nous avons vu l'importance dans les acquisitions numériques, les traite comme de simples nombres entiers accolés ?

Enfin, la résolution de problème demeure la difficulté majeure à laquelle sont confrontés les enfants. Il est donc nécessaire de développer une meilleure compréhension à la fois des processus cognitifs en jeu dans cette activité et des modalités d'intervention didactiques. Cependant, l'analyse des processus cognitifs est rendue ardue par la complexité de la tâche. En effet, un modèle général de la résolution de problèmes nécessite l'intégration d'un modèle de la compréhension de texte, d'un modèle descriptif et dynamique de la structure des représentations quantifiées qui résultent de cette compréhension, et enfin d'un modèle rendant compte de la mobilisation et de la mise en œuvre des connaissances numériques nécessaires à l'atteinte des buts fournis par ces représentations. L'émergence d'un tel

modèle est rendue d'autant plus difficile que ces trois points sont traités par des domaines de recherche distincts (la compréhension de texte, le raisonnement, l'arithmétique cognitive).

BIBLIOGRAPHIE

ANTELL S, KEATING DP. Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development* 1983, **54** : 695-701

ASHCRAFT MH. Cognitive arithmetic: A review of data and theory. *Cognition* 1992, **44** : 75-106

BAROODY AJ. Children's difficulties in subtraction : some causes and questions. *Journal of Research in Mathematics Education* 1984, **15** : 203-213

BARROUILLET P, FAYOL M, LATHULIÈRE E. Selecting between competitors in multiplication tasks: An explanation of the errors produced by adolescents with learning difficulties. *International Journal of Behavioral Development* 1997, **21** : 253-275

BARROUILLET P, CAMOS V, PERRUCHET P, SERON X. ADAPT: A Developmental, Asemantic, and Procedural model for Transcoding from verbal to Arabic numerals. *Psychological Review* 2004, **111** : 368-394

BOLON J. L'enseignement des décimaux à l'école élémentaire. *Grand* 1993, **52** : 49-79

BRANNON EM. What animals know about numbers. In: Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New York, 2005

BRISSIAUD R. De l'âge du capitaine à l'âge du berger : quel contrôle de la validité d'un énoncé de problème au CE2 ? *Revue Française de Pédagogie* 1988, **82** : 23-31

BROUSSEAU G. Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. *Recherches en didactique des mathématiques* 1983, **4** : 165-198

BROUSSEAU G. Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en Didactique des Mathématiques* 1990, **9** : 309-336

BRYSSBAERT M, FIAS W, NOËL MP. The whorfian hypothesis and numerical cognition: Is twenty four processed in the same way as four and twenty. *Cognition* 1998, **66** : 51-77

BUTTERWORTH B. What counts: How every brain is hardwired for math. The Free Press, New York, NY, 1999

CAMOS V. Le dénombrement : activité complexe à deux composantes. *Rééducation Orthophonique* 1999, **199** : 21-31

CAMPBELL JID. Network interference and mental multiplication. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition* 1987, **15** : 349-364

CAMPBELL JID. The role of associative interference in learning and retrieving arithmetic facts. In: Cognitive processes in mathematics. SLOBODA JA, ROGERS D (eds). Oxford, UK, Clarendon Press, 1994a

- CAMPBELL JID. Architecture for numerical cognition. *Cognition* 1994b, **53** : 1-44
- CAMPBELL JID. On the relation between skilled performance of simple division and multiplication. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1997, **23** : 1140-1159
- CAMPBELL JID, XUE Q. Cognitive arithmetic across cultures. *Journal of Experimental Psychology : General* 2001, **130** : 299-315
- CANFIELD RL, SMITH EG. Number-based expectations and sequential enumeration by 5-month-old infants. *Developmental Psychology* 1996, **32** : 269-279
- CARPENTER TP, MOSER JM. The acquisition of addition and subtraction concepts. In : Acquisition of mathematical concepts and processes. LESCH R, LANDAU M (eds). New York, Academic Press, 1983
- CARPENTER TP, MOSER JM. The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal of Research in Mathematics Education* 1984, **15** : 179-202
- CARPENTER TP, LINDQUIST M, MATTHEWS W, SILVER EA. Results of the third NAEP mathematics assesment: Secondary School. *Mathematics Teacher* 1983, **76** : 652-659
- CHARNESS N, CAMPBELL JID. Acquiring skill at mental calculation in adulthood: A task decomposition. *Journal of Experimental Psychology: General* 1988, **117** : 115-129
- CLEMENTS MA, DEL CAMPO G. How natural is fraction knowledge? In : Transforming children's mathematics education: International perspectives. STEFFE LP, WOODS T (eds). Hillsdale, NJ, LEA, 1990
- COMITI C, NEYRET R. À propos des problèmes rencontrés lors de l'enseignement des décimaux en classe de cours moyen. *Grand N* 1979, **18** : 5-20
- COQUIN-VIENNOT D. Lire une image pour produire un énoncé de problème arithmétique. In : UCIS'96 (Using Complex Information Systems): Cognitive, ergonomic, educational aspects. ROUET JF, LEVONEN JJ (eds). Poitiers, LACO, CNRS, Université de Poitiers, 1996 : 215-219
- COQUIN-VIENNOT D. Lecture d'énoncés de problèmes arithmétiques : effet d'une introduction thématique sur la construction de la représentation. *Archives de Psychologie* 2000, **68** : 41-58
- CUMMINS D, KINTSCH W, REUSSER K, WEIMER R. The role of understanding in solving word problems. *Cognitive Psychology* 1988, **20** : 405-438
- DE CORTE E, VERSCHAFFEL L. Beginning first graders' initial representation of arithmetic word problems. *Journal of Mathematical Behavior* 1985, **4** : 3-21
- DE CORTE E, VERSCHAFFEL L. The effect of semantic structure on first graders' strategies for solving addition and subtraction word problems. *Journal for Research in Mathematics Education* 1987, **18** : 363-381
- DEHAENE S. La bosse des maths. Editions Odile Jacob, Paris, 1997
- DEHAENE S, COHEN L. Un modèle anatomique et fonctionnel de l'arithmétique mentale. In : Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres. PESENTI M, SERON X (eds). Solal, Marseille, 2000

DEVIDAL M, FAYOL M, BARROUILLET P. Stratégies de lecture et résolution de problèmes arithmétiques. *L'Année Psychologique* 1997, **97** : 9-31

DONLAN C, GOURLAY S. The importance of non-verbal skills in the acquisition of place-value knowledge: Evidence from normally-developing and language-impaired children. *British Journal of Developmental Psychology* 1999, **17** : 1-19

DURKIN K, SHIRE B. Lexical ambiguity in mathematical contexts. In: Language in mathematical education: Research and practice. DURKIN K, SHIRE B (eds). Milton Keynes: Open University Press, 1991

ELLIS N. Linguistic relativity revisited: The bilingual word-length effect in working memory during counting, remembering numbers, and mental calculation. In: Cognitive processes in bilingual. HARRIS RJ (ed). Elsevier Publishers, Amsterdam, 1992

ENGLISH LD, HALFORD GS. Mathematics education. L.E.A., Mahwah, NJ, 1995

EVANS JSTBT, OVER DE. Rationality and reasoning. Psychology Press, Hove, UK, 1996

FAINZANG S. Les Sexes et leurs nombres. Sens et fonction du 3 et du 4 dans une société burkinabé. *L'Homme* 1985, **XXV-4** : 97-109

FAYOL M. L'enfant et le nombre. Delachaux & Niestlé, Paris, 1990

FAYOL M. Du nombre à son utilisation: la résolution de problème additifs. In : Les chemins du nombre. BIDEAUD J, MELJAC C, FISHER JP (eds). Lille PU 1991. Traduction: Pathways to number. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1992

FAYOL M. Langage et développement de l'apprentissage de l'arithmétique cognitive. In : Le développement des activités numériques. BIDEAUD J, LEHALLE H (eds). Hermès, Paris, 2002

FAYOL M, SERON X. On numerical representations. Insights from experimental, neuropsychological, and developmental research. In : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL (ed). Academic Press, New York : 2005

FAYOL M, BARROUILLET P, RENAUD A. Pourquoi l'écriture des grands nombres est-elle aussi difficile? *Revue de Psychologie de l'Education* 1996, **1** : 109-132

FAYOL M, BARROUILLET P, CAMOS V. Early mathematics learning: What can research tell us ? Direction XXII de la Communauté Européenne, Bruxelles, 1997

FAYOL M, CAMOS V, ROUSSEL JL. Acquisition et mise en oeuvre de la numération par des enfants de 2 à 9 ans. In : La neuropsychologie du calcul. PESENTI M, SERON X (ed). SOLAL, Marseille, 2000

FAZIO BB. Mathematical abilities of children with specific language impairment: A follow-up study. *Journal of Speech and Hearing Research* 1996, **39** : 839-849

FEIGENSON L, CAREY S, SPELKE E. Infants' discrimination of number vs. continuous extent. *Cognitive Psychology* 2002, **44** : 33-66

FUSON KC. An analysis of the counting on solution procedure in addition. In: Addition and subtraction: A cognitive perspective. CARPENTER TP, MOSER JM, ROMBERG TA (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1982 : 67-81

- FUSON KC. Children's counting and concepts of number. Springer-Verlag, New York, 1988
- FUSON KC. Conceptual structures for multiunit numbers: Implications for learning and teaching multi-digit addition, subtraction, and place value. *Cognition and Instruction* 1990, **7** : 343-403
- FUSON KC, RICHARDS J, BRIARS DJ. The acquisition and elaboration of the number word sequence. In : Children's logical and mathematical cognition: Progress in cognitive developmental research. BRAINERD CJ (ed). Springer-Verlag, New-York, 1982 : 33-92
- FUSON KC, KWON Y. Korean children's single-digit addition and subtraction: Numbers structured by ten. *Journal of Research in Mathematics Education* 1992, **23** : 148-165
- GALLISTEL CR, GELMAN R. Preverbal and verbal counting and computation. *Cognition* 1992, **44** : 43-74
- GEARY DC. Children's mathematical development: Research and practical applications. APA, Washington, DC, 1994
- GEARY DC. The problem size effect in mental addition: Developmental and cross-national trends. *Mathematical Cognition* 1996, **2** : 63-93
- GELMAN R, GALLISTEL CR. The child's understanding of number. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1978
- GEROFSKY S. A Linguistic and Narrative View of Word Problems in Mathematics Education. *For the Learning of Mathematics* 1996, **16** : 36-45
- GRAVEMEIJER K. Solving Word Problems: a Case of Modelling? *Learning and Instruction* 1997, **7** : 389-397
- GROEN GJ, PARKMAN JM. A chronometric analysis of simple addition. *Psychological Review* 1972, **79** : 329-343
- HAUSER MD, CAREY S, HAUSER LB. Spontaneous number representation in semi-free-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences* 2000, **267** : 829-833
- HIEBERT J, WEARNE D. Instruction, understanding and skill in multidigit addition and subtraction. *Cognition and Instruction* 1996, **14** : 251-283
- HO CS, FUSON K. Children's knowledge of teen quantities as tens and ones: Comparisons of Chinese, British, and American kindergartners. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 536-544
- IFRAH G. Histoire universelle des chiffres. Robert Laffont, Paris, 1994
- JASPERS MWM, VAN LIESHOUT ECDM. A CAI program for instructing text analysis and modelling of word problems to educable mentally retarded children. *Instructional Science* 1994a, **22** : 115-136
- JASPERS MWM, VAN LIESHOUT ECDM. The evaluation of two computerised instruction programs for arithmetic word-problem solving by educable mentally retarded children. *Learning and Instruction* 1994b, **4** : 193-215

JOHNSON-LAIRD PN. Mental Models: Toward a cognitive science of language, inference, and consciousness. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1983

KAGA K, MARCH RR, TANAKA Y. Influence of labyrinthine hypoactivity on gross motor development of infants. In : Vestibular and oculomotor physiology. COHEN B (ed). New York Academy of Science, New York, 1981

KINTSCH W. On modeling comprehension. *Educational Psychologist* 1979, **14** : 3-14

KINTSCH W, GREENO JG. Understanding and solving word arithmetic problems. *Psychological Review* 1985, **92** : 109-129

KOHEN-RAZ R, MASALHA M. Relations of basic arithmetic and motor skills in deaf elementary school children. *Perceptual and Motor Skills* 1988, **66** : 275-282

KRUEGER LE. Single judgments of numerosity. *Perception & Psychophysics* 1982, **31** : 175-182

LEFEVRE J, SADESKY GS, BISANZ J. Selection of procedures in mental addition: Reassessing the problem size effect in adults. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1996, **22** : 216-230

LEMAIRE P, ABDI H, FAYOL M. The role of working memory resources in simple cognitive arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology* 1996, **8** : 73-103

LEMAIRE P, BARRETT S, FAYOL M, ABDI H. Automatic activation of addition and multiplication facts in elementary school children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1994, **57** : 224-258

LEVINE SC, JORDAN NC, HUTTENLOCHER J. Development of calculation abilities in young children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1992, **53** : 72-103

LEVY-BRUHL L. Les fonctions mentales dans les sociétés inférieures. Vrin, Paris, 1912

LUCKNER JL, MCNEILL JH. Performance of a group of deaf and hard-of-hearing students and a comparison group of hearing students on a series of problem-solving tasks. *American Annals of the Deaf* 1994, **139** : 371-376

MANDLER G, SHEBO BJ. Subitizing: An analysis of its component processes. *Journal of Experimental Psychology: General* 1982, **11** : 1-22

MCCLOSKEY M. Cognitive mechanisms in numerical processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition* 1992, **44** : 107-157

MCCRINK K, WYNN K. Large-number addition and subtraction by 9-month-old infants. *Psychol Sci* 2004, **15** : 776-781

MILLER KF, ZHU J. The trouble with teens: Accessing the structure of number names. *Journal of Memory and Language* 1990, **30** : 48-68

MILLER KF, PAREDES DR. On the shoulders of giants: Cultural tools and mathematical development. In : The nature of mathematical thinking. STERNBERG R, BEN ZEEV T (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1996 : 83-117

MIURA IT, OKAMOTO Y, KIM CC, CHANG CM, STEERE M, FAYOL M. Comparisons of children's cognitive representation of number: China, France, Japan, Korean, Sweden and the United States. *International Journal of Behavioral Development* 1994, **17** : 401-411

- MIX KS. Similarity and numerical equivalence: Appearances count. *Cognitive Development* 1999, **14** : 269-297
- MIX KS, LEVINE SC, HUTTENLOCHER J. Early fraction calculation ability. *Developmental Psychology* 1999, **35** : 164-174
- MIX KS, HUTTENLOCHER J, LEVINE SC. Multiple cues for quantification in infancy: Is number one of them? *Psychological Bulletin* 2002, **128** : 278-294
- NESHER P. The Stereotyped Nature of School Word problems. *For the Learning of Mathematics* 1980, **1** : 41-48
- NOËL MP, SERON X. On the existence of intermediate semantic representations. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 1997, **23** : 687-720
- PASSOLUNGI MC, SIEGEL LS. Short-term memory, working memory, and inhibitory control in children with difficulties in arithmetic problem solving. *Journal of Experimental Child Psychology* 2001, **80** : 44-57
- PAU CS. The deaf child and solving problems of arithmetic: The importance of comprehensive reading. *American Annals of the Deaf* 1995, **140** : 279-286
- PERRIN-GLORIAN MJ. Représentations des fractions et des nombres décimaux chez des élèves de CM2 et de collège. *Petit x* 1986, **10** : 5-29
- PIAGET J, SZEMINSKA A. La genèse du nombre chez l'enfant. Delachaux & Niestlé, Neuchâtel, 1941
- PIAGET J, INHELDER B. La genèse des structures logiques élémentaires. Delachaux & Niestlé, Neuchâtel, 1959
- PICA P, LEMER C, IZARD V, DEHAENE S. Exact and approximate arithmetic in an amazonian indigene group. *Science* 2004, **306** : 499-503
- POWER RJD, LONGUET-HIGGINS JC. Learning to count: A computational model of language acquisition. *Proceedings of the Royal Society of London* 1978, **B200** : 391-417
- RAPIN I. Helping deaf children acquire language: Lessons from the past. *International Journal of Paediatric Otorhinolaryngology* 1986, **11** : 213-223
- RICHARD JF. Les activités mentales: Comprendre, raisonner, trouver des solutions. Armand Colin, Paris, 1990
- RILEY MS, GREENO JG, HELLER JI. Development of children's problem solving ability in arithmetic. In: The development of mathematical thinking. GINSBURG HP (ed). Academic Press, New York, 1983
- ROUSSEL JL, FAYOL M, BARROUILLET P. Procedural vs. direct retrieval strategies in arithmetic: A comparison between additive and multiplicative problem solving. *European Journal of Cognitive Psychology* 2002, **14** : 61-104
- SAXE GB. Developing forms of arithmetical thought among the Oksapmin of Papua New Guinea. *Developmental Psychology* 1982, **18** : 583-594
- SCHANK RC, ABELSON RP. Scripts, plans, goals, and understanding. Laurence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1977

SECADA WG. Counting in sign: The number string, accuracy and use. Unpublished Doctoral Dissertation, Department of Education, Northwestern University, 1984

SERON X, FAYOL M. Number transcoding in children: A functional analysis. *British Journal of Developmental Psychology* 1994, **12** : 281-300

SHARON T, WYNN K. Infants' individuation of actions from continuous motion. *Psychological Science* 1998, **9** : 357-362

SIEGLER RS. Individual differences in strategy choice: Good students, not-so-good students, and perfectionists. *Child Development* 1988, **59** : 833-851

SIEGLER RS. The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General* 1987, **116** : 250-264

SIEGLER RS. *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. Oxford University Press, New York, 1996

SIEGLER RS, SHRAGER J. Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? *In: Origins of cognitive skills*. SOPHIAN C (ed). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1984

SIEGLER RS, JENKINS E. How children discover new strategies. Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1989

SIEGLER RS, SHIPLEY C. Variation, selection, and cognitive change. *In: Developing cognitive competence: New approaches to process modeling*. SIMON TJ, HALFORD GS (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1995

SIMON TJ. Reconceptualizing the origins of number knowledge: A non-numerical account. *Cognitive Development* 1997, **12** : 349-372

SPELKE ES, TSIVKIN S. Language and number: a bilingual training study. *Cognition* 2001, **78** : 45-88

STARKEY P, COOPER RG. Perception of numbers by human infants. *Science* 1980, **210** : 1033-1035

STEVENSON HW, STIGLER JW. *The learning gap: Why our schools are failing and what we can learn from Japanese and Chinese education*. Summit Books, New York, 1992

STRAUSS MS, CURTIS LE. Infant perception of numerosity. *Child Development* 1981, **52** : 1146-1152

STREEFLAND L. Charming fractions or fractions being charmed? *In: Learning and teaching mathematics: An international perspective*. NUNES T, BRYANT P (eds). Psychology Press, Hove, 1997

SWANSON HL. Short-term memory and working memory: Do both contribute to our understanding of academic achievement in children and adults with learning disabilities? *Journal of Learning Disabilities* 1994, **27** : 34-50

THEVENOT C, BARROUILLET P, FAYOL M. Représentation mentale et procédures de résolution de problèmes arithmétiques : l'effet du placement de la question. *L'Année Psychologique* 2004, **104** : 683-699

- VAN DIJK T, KINTSCH W. Strategies of discourse comprehension. Academic Press, New York, 1983
- VAN OEFFELEN MP, VOS PG. A probabilistic model for the discrimination of visual number. *Perception & Psychophysics* 1982, **32** : 163-170
- VANLEHN K. Mind bugs: The origin of procedural misconceptions. MIT Press, Cambridge, MA, 1990
- VERGNAUD G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. In : Addition and subtraction: A cognitive perspective. CARPENTER TP, MOSER JM, ROMBERG TA (eds). Erlbaum, Hillsdale, 1982
- VERSCHAFFEL L, DE CORTE E, BORGHART I. Pre-Service Teachers' Conceptions and Beliefs About the Role of Real-World Knowledge in Mathematical Modelling of School Word Problems. *Learning and Instruction* 1997, **7** : 339-360
- WANG J, LIN E. Comparative studies on US and chinese mathematics learning and the implications for standards-based mathematics teaching reform. *Educational Researcher* 2005, **34** : 3-13
- WATSON JM, CAMPBELL KJ, COLLIS KJ. Structural development of the concept of fraction by young children. *Journal of Structural Learning and Intelligent Systems* 1999, **13** : 171-193
- WATTS WJ. The performance of deaf, partially hearing and normally hearing children on conservation tasks of weight and area. *Teacher of the Deaf* 1982, **6** : 5-9
- WILLIS GB, FUSON KC. Teaching children to use schematic drawings to solve addition and subtraction word problems. *Journal of Educational Psychology* 1988, **80** : 192-201
- WOOD D, WOOD H, HOWARTH P. Mathematical abilities of deaf school-leavers. *British Journal of Developmental Psychology* 1983, **1** : 67-73
- WYNN K. Addition and subtraction in human infants. *Nature* 1992, **358** : 748-750
- WYNN K. Infants' individuation and enumeration of actions. *Psychological Science* 1996, **7** : 164-169
- WYNN K. Psychological foundations of number: Numerical competence in human infants. *Trends in Cognitive Sciences* 1998, **2** : 296-303 (N9)
- XU F. Numerical competence in infancy : Two systems of representation. Paper presented at the 12th Biennial International Conference on Infant Studies, 2000
- XU F, SPELKE ES. Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition* 2000, **74** : B1-B11

5

Apprentissage du langage écrit chez les sourds

Le rôle clé des habiletés phonologiques pour l'apprentissage de l'écrit conduit à s'interroger sur la façon dont les sourds apprennent à lire et à écrire, notamment dans une langue alphabétique. D'une part les sourds éprouvent de très grosses difficultés dans cet apprentissage (pour une revue, voir Transler, 2005), d'autre part chez eux, comme chez les entendants, l'apprentissage du langage écrit est tributaire de la possibilité de former des représentations phonologiques.

Connaissances phonologiques du sourd

Contrairement à l'intuition du sens commun, les observations sont nombreuses qui établissent que les sourds ne sont pas démunis de connaissances phonologiques, ou du moins de capacités de les acquérir. Ainsi, Dodd (1976) observe les productions orales de dix enfants âgés de 9 à 12 ans, sourds profonds prélinguistiques ayant eu une éducation orthophonique importante. Huit de ces dix enfants disposent d'un répertoire de phonèmes complet à quelques unités près.

Ces informations phonologiques semblent être parfois utilisées par la mémoire de travail. Campbell et Wright (1990) montrent en effet sur des sujets sourds que le rappel sériel d'images est d'autant moins bon que les images représentent des objets dont le nom est plus long, ce qui suggère que le maintien en mémoire passe par l'autorépétition des noms des objets. Plusieurs autres études montrent, chez les sourds, de moins bons rappels ou de moins bonnes reconnaissances de listes lorsqu'elles sont composées de mots phonologiquement proches (Hanson, 1982 ; Waters et Doehring, 1990).

C'est essentiellement dans le traitement de l'écrit que ces connaissances phonologiques se manifestent. Merrills et coll. (1994) comparent dans une tâche de décision lexicale les temps de réponse d'adultes sourds et de sujets entendants de différents niveaux de lecture. Dans tous les groupes, les sujets mettent moins de temps à désigner comme n'étant pas un mot une suite non

prononçable (ex : « thrd ») qu'un pseudo-mot prononçable (ex : « hogh »). Ceci suggère que tous les sujets, y compris les sujets sourds, utilisent une conversion graphie-phonie pour décider de la lexicalité des items. Des résultats existent d'ailleurs qui montrent chez des sourds, une tendance à régulariser la prononciation des mots dont l'écriture est irrégulière (Dodd et Hermelin, 1977).

Différentes unités phonologiques semblent ainsi utilisées par les sourds dans ces tâches de traitements de l'orthographe. Transler et coll. (1999) soumettent des lecteurs débutants sourds et entendants à une tâche de copie de mots et pseudo-mots trisyllabiques dont la longueur oblige les sujets à se référer plusieurs fois au modèle pour réaliser la copie. L'analyse porte sur les caractéristiques du premier segment copié avant une seconde prise d'informations sur le modèle. Dans 53 % des cas chez les entendants et dans 52 % des cas chez les sourds, ce premier segment est constitué d'une ou de deux syllabes complètes sans adjonction d'autres lettres. Compte tenu des caractéristiques des items à copier, ce type de segmentation ne pouvait être opéré par hasard qu'à un taux de 27,4 %. La syllabe semble donc une unité utilisée par les sujets sourds, comme par les sujets entendants, pour maintenir une information orthographique en mémoire à court terme.

D'autres données suggèrent que des unités plus fines sont utilisées, même par les sourds, dans les toutes premières étapes du traitement des mots écrits. Paire-Ficout (1998) utilise le paradigme « d'amorçage sémantique médiatisé par la phonologie ». Le principe de l'amorçage sémantique est simple. Il s'agit, dans une tâche de décision lexicale, de faire précéder l'item sur lequel doit porter la décision, d'un autre item qui lui est ou non sémantiquement relié. Il a ainsi été montré que « océan » est plus rapidement reconnu comme étant un mot s'il est précédé (amorcé) par le mot « mer » que s'il est précédé par un mot qui ne lui est pas sémantiquement relié. Dans l'amorçage sémantique médiatisé par la phonologie, on amorce le mot « océan », par exemple par le mot « maire », qui est un homophone du voisin sémantique « mer ». Chez l'entendant, il est établi qu'un tel amorçage accélère également la décision lexicale, ce qui étaye l'hypothèse d'une intervention des traitements phonologiques dans l'identification des mots. Paire-Ficout met en évidence ce même effet chez les sujets sourds. La seule différence entre sourds et entendants dans cette tâche est la durée nécessaire entre le début de la présentation de l'amorce et la présentation de l'item cible. Pour que la facilitation se produise, les sourds ont besoin de 150 ms là où les entendants n'ont besoin que de 100 ms. Ces résultats demandent bien sûr à être confirmés par d'autres études, il n'en reste pas moins qu'ils constituent un élément important en faveur de l'hypothèse de l'utilisation de la phonologie par le lecteur sourd.

Contrairement aux études qui viennent d'être évoquées, d'autres études, généralement plus anciennes, distinguent sujets entendants et sujets sourds, précisément sur le fait que les seconds, contrairement aux premiers, ne

s'appuieraient pas sur la phonologie dans les traitements orthographiques. Ainsi, Conrad (1970) demande à des enfants sourds et à des enfants entendants d'apprendre des listes de lettres soit proches visuellement (KNVXYZ), soit proches phonologiquement (BCDPTV soit phonologiquement /bi/ /si/ /di/ /pi/ /ti/ /vi/). Dans le rappel, alors que les entendants font plus d'erreurs pour la seconde liste, les sourds font plus d'erreurs dans la première. De même, dans une tâche de barrage de lettres dans des listes de mots, les sujets entendants ont tendance à oublier les lettres qui ne se prononcent pas, ce qui n'est pas le cas chez les sourds (Locke, 1978). Pour ce qui concerne des unités plus larges, Campbell et Wright (1988) ont montré que les sourds ont des performances inférieures à celles des entendants dans des tâches de jugement de rime et que leurs réponses semblent s'appuyer plus sur l'orthographe que sur la prononciation.

De plus, au sein même des études, les résultats conduisent parfois à des conclusions divergentes. Leybaert et Alegria (1995) montrent que, comme les entendants, les enfants sourds ont plus de facilité à écrire des mots dont l'orthographe retranscrit fidèlement la phonologie (ex : ours), que des mots comportant une lettre muette (ex : petit) ou des mots irréguliers (ex : clown). Ce résultat plaide en faveur de l'utilisation de la phonologie. En revanche, les mots mal orthographiés sont homophones des mots bien orthographiés dans 90 % des cas chez l'entendant et seulement dans 30 % des cas chez le sourd. Des résultats de même type sont également rapportés par Burden et Campbell (1994).

En fait, la plupart des études tentant d'établir l'existence de connaissances phonologiques chez les sourds distinguent, à cet égard, une population présentant des performances qualitativement voisines de celles observées chez les entendants et une population qui s'en différencie clairement. En utilisant le même type d'expérience que Conrad (listes de lettres), Locke et Locke (1971) distinguent les performances des sourds dont la parole est intelligible de ceux dont la parole est peu intelligible. Alors que les seconds ont des résultats comparables à ceux rapportés par Conrad (confusions visuelles et pas de confusions phonologiques), les premiers ont des résultats intermédiaires entre ceux des seconds et ceux des entendants. En d'autres termes, tout en étant plus sensibles que les entendants à la proximité visuelle, ils présentent comme eux des confusions phonologiques.

De même, Leybaert et coll. (1983) mettent en évidence que les sourds intelligibles sont plus sensibles que les autres à « l'effet Stroop ». Il s'agit de dénommer la couleur de l'encre utilisée pour écrire des noms de couleur. Les auteurs retrouvent chez l'entendant le résultat classique : il est plus rapide de donner la bonne réponse lorsque par exemple, c'est le mot « rouge » qui est écrit en rouge, que lorsque c'est le mot « bleu » qui est écrit en rouge. Ce phénomène révèle le caractère automatique et irrépensible de l'identification des mots écrits. Chez les sourds, cet effet d'interférence se manifeste surtout chez les sujets intelligibles. Dans une expérience voisine,

Leybaert et Alegria (1993) montrent que, chez les entendants et les sourds intelligibles, mais pas chez les sourds peu intelligibles, cet effet se révèle en utilisant des pseudo-mots homophones des noms de couleurs. Ainsi chez ces sujets, « vair » mais pas « vour » gêne la dénomination de la couleur (par exemple rouge) de l'encre avec laquelle ces mots sont écrits.

Transler et coll. (2001) demandent à des enfants sourds et entendants lecteurs débutants de choisir entre deux pseudo-mots présentés à l'écrit, celui qui ressemble le plus à un pseudo-mot donné comme modèle. Il s'agit par exemple de savoir entre « denc » et « dane » lequel ressemble plus à « danc ». Les deux items test sont voisins orthographiques de l'item cible, mais seul l'un des deux est homophone de cet item. Alors que les sourds peu ou moyennement intelligibles semblent répondre au hasard (en moyenne 4,5 choix de l'homophone sur 10 essais), les sourds très intelligibles, comme les entendants choisissent majoritairement l'homophone (respectivement 6,75/10 et 6,92/10).

Cette différence entre sourds en fonction du niveau d'intelligibilité de la parole se retrouve entre les sourds de niveaux de lecture différents. En effet, de nombreux auteurs, notamment Hanson (1982), ont montré que le niveau de lecture des sourds est fortement corrélé à l'utilisation d'un code de parole. Les différences en fonction de l'intelligibilité de la parole se retrouvent donc lors de la comparaison de sourds de différents niveaux de lecture. Conrad (1979) utilise une tâche de rappel de listes de mots rimant (*few, do, blue...*) ou de mots visuellement proches (*have, lane...*). Les deux types de listes sont présentés à l'écrit. Contrairement aux sourds mauvais lecteurs, les sourds bons lecteurs et les entendants font plus d'erreurs de rappel dans les listes rimant que dans les autres. L'auteur met ainsi en évidence un lien entre l'utilisation de codes phonologiques dans la tâche de rappel et le niveau de lecture. De plus, tout étant égal par ailleurs, Conrad trouve que les sourds non intelligibles ont, en lecture, en moyenne deux ans de retard sur les sourds intelligibles.

Ce lien entre intelligibilité de la parole, lecture et habiletés phonologiques suggère que l'apprentissage de la lecture pourrait jouer un rôle chez les sourds dans la formation des connaissances phonologiques. Deux arguments militent dans ce sens : d'abord, bien entendu, la modalité auditive étant très défaillante chez le sourd, un système visuel phonologiquement motivé comme l'est le système alphabétique constitue une voie d'accès évidente à la phonologie. Ensuite, les recherches chez l'entendant ont maintenant très clairement établi que l'apprentissage de la lecture d'un système alphabétique provoque chez l'apprenti-lecteur la prise de conscience de l'identité des phonèmes (pour des revues, voir Gombert, 1990 ; Goswami et Bryant, 1990).

Pour ce qui concerne les sourds, plusieurs des résultats présentés ci-dessus suggèrent que les représentations orthographiques et leurs traductions phonologiques jouent un rôle important dans la constitution du lexique des

sujets sourds. Ainsi, Alegria (1992) montre, dans des tâches de dénomination de dessins, une tendance des sourds à régulariser la prononciation des mots dont l'écriture est irrégulière.

Plus généralement, se pose le problème de la constitution des connaissances phonologiques chez des sujets dépourvus d'une audition efficace.

Certes, la plupart des sourds disposent de restes auditifs, éventuellement améliorés par un appareillage. Toutefois, la détérioration sensorielle est trop importante pour permettre les discriminations fines nécessaires à la reconnaissance auditive et à la catégorisation des contrastes phonémiques entre syllabes. Il faut donc chercher ailleurs les voies de la constitution des connaissances phonologiques attestées chez de nombreux sourds.

Utilisation des modalités kinesthésiques et visuelles

Une de ces voies pourrait s'appuyer sur les données kinesthésiques fournies par l'articulation. On rejoint là la conception ancienne de Liberman à propos de l'entendant (Liberman et Mattingly, 1985). Les orthophonistes connaissent depuis longtemps l'importance de ce facteur qu'ils utilisent souvent dans les rééducations. Quand on conseille à quelqu'un de placer sa langue contre les dents ou contre le palais pour prononcer /ta/ ou /la/, on lui fait distinguer deux phonèmes à partir de données kinesthésiques. La très forte discriminabilité de ces données, jointe à la très grande fréquence de leur perception dans la production de la parole et à la propension de notre système cognitif à extraire les régularités perceptives, suggère un rôle essentiel de cette voie dans la construction des connaissances phonologiques. Toutefois, l'existence de cette voie suppose une oralisation et ne concerne donc pas l'ensemble de la population sourde.

La modalité sensorielle la plus naturellement utilisée par les sourds est la modalité visuelle. Il a d'ailleurs été montré que la surdité congénitale s'accompagne parfois d'une supériorité dans les traitements visuels (Bellugi et coll., 1990). Pour ce qui concerne la perception visuelle des contrastes phonologiques, le moyen le plus étudié est la lecture labiale.

En effet, comme le souligne Campbell (1987), l'information lue sur les lèvres a la même organisation temporelle que l'information entendue, les deux étant deux traces de la même activité : l'articulation. Cela justifie l'hypothèse de la construction des connaissances phonologiques sur base de lecture labiale. D'ailleurs, Dodd (1976) rapporte que chez les enfants sourds les contrastes phonologiques visibles sont les plus précoces à être produits correctement. Cette hypothèse est étayée par les performances dans des tâches de rappel de listes. Campbell et Wright (1989) montrent ainsi que des enfants sourds de niveau de lecture de 3^e année d'apprentissage, à qui on

a présenté des listes de syllabes écrites, ont de meilleures performances de rappel pour les syllabes dont la consonne initiale est très visible en lecture labiale (F, TH, B) que pour celle dont la consonne initiale est peu visible (D, SH, Z). Cette facilitation se manifeste également dans l'orthographe. En effet, comme le rapportent Leybaert et Alegria (1993), les fautes d'orthographe commises par les sourds peuvent souvent s'expliquer par des confusions entre des phonèmes dont les configurations labiales sont identiques (« pychama » ou « pisama » pour « pyjama » ; « bouge » ou « bousse » pour « bouche »).

L'utilisation d'un langage signé comme le « Langage Parlé Complété » (LPC, adaptation française du *Cued Speech* créé par Cornett, 1967), qui permet de distinguer les synonymes labiaux¹³ constitue pour les sourds une aide notable dans la constitution de connaissances phonologiques suffisamment différenciées pour motiver l'ensemble des contrastes alphabétiques (Leybaert, 1993 ; Hage, 1994 ; Alegria et Leybaert, 2005). Il semble notamment que les enfants sourds ayant appris précocement le LPC aient beaucoup moins de difficultés que les autres enfants sourds dans l'acquisition de la langue écrite (Alegria et coll., 1999).

L'utilisation d'un système signé qui symbolise les lettres, la « dactylologie », semble également avoir le même effet (Padden et Clark, 2005). Cependant, la logique même de ces systèmes conduit à faire l'hypothèse que le LPC facilite la maîtrise de l'orthographe en assistant la construction des connaissances phonologiques, alors que la dactylologie constitue un apprentissage de l'orthographe qui fournit un guide pour la prise de conscience des contrastes phonémiques. La directionnalité de la liaison causale serait ainsi inverse.

En tout état de cause, ces études et cette réflexion sur les connaissances phonologiques du sourd invitent à affirmer qu'en l'espèce, c'est le caractère de seconde articulation qui est ici important et non la modalité d'appréhension de cette seconde articulation, comme le suggère le terme même de phonologie. De fait, les unités de seconde articulation sont de nature visuo-kinesthéso-phonologique.

Pour être plus clairement plurimodales, les connaissances phonologiques dont il vient d'être traité n'en sont pas moins communes aux sourds et aux entendants, même si certains des moyens de leur élaboration sont en général ignorés des entendants. D'autres connaissances sont, elles, spécifiques à la population sourde.

142 13. Syllabes donnant lieu à des mouvements labiaux identiques.

Connaissances « kinologiques »

Une langue très utilisée par les sourds est la Langue des signes (LSF, pour Langue des signes française). Chaque signe y a une valeur sémantique, sa configuration peut toutefois être décrite selon cinq paramètres : la configuration de la main, sa position, son orientation, le mouvement et l'expression du visage qui lui est associée. Même si certaines de ses caractéristiques ont une valeur sémiotique, d'une part les locuteurs ne la saisissent pas nécessairement, d'autre part, leur système cognitif semble traiter les ressemblances perceptives indépendamment de tout voisinage sémantique.

D'abord, la motivation analogique du geste n'est pas nécessairement perçue. Ainsi, Meier (1982) signale que le très jeune enfant comprend le signe désignant le « lait » qui mime la traite d'un animal, sans avoir aucune connaissance de l'origine du lait.

Par ailleurs, le bébé sourd élevé dans un environnement langagier signé produit des gestes ressemblant à des mots signés bien avant d'être capables de les comprendre. Ainsi, Petitto et Marentette (1991) observent chez des enfants sourds de un an environ, cinq fois plus de gestes correspondant à des unités élémentaires de la langue des signes que chez leur *alter ego* entendants. Même si d'autres auteurs ne retrouvent pas les mêmes résultats (Meier et Willerman, 1995), il semble bien qu'il soit possible, à l'instar de ce qui se passe pour les langues orales, de parler de babillage gestuel, au moins chez les 10 % d'enfants sourds de parents sourds qui utilisent la langue des signes dans la communication quotidienne.

L'observation du développement du langage signé chez l'enfant sourd confirme l'existence d'une deuxième articulation. Newport et Meier (1985) affirment que les erreurs observables chez les enfants sourds en cours d'acquisition de la langue des signes révèlent qu'ils comparent les formes complexes à des formes plus simples et donc qu'ils tentent de trouver des composants communs aux différents items lexicaux (Mayberry, 1995). De même, plus tard, quand on leur demandera de se rappeler de listes de signes, d'une part ils feront plus de confusions par proximité gestuelle que de confusions sémantiques, d'autre part le rappel sera d'autant moins bon que les listes à mémoriser contiendront plus de signes qui se ressemblent (Hanson, 1982). Concernant les connaissances que les sourds possèdent sur la structure des mots, il convient donc de signaler l'existence d'unités gestuelles de deuxième articulation qui n'entretiennent pas de lien direct avec les phonèmes. Ces unités gestuelles sont désignées sous le vocable de « kinème ». Par analogie, il est donc possible d'affirmer l'existence d'unités « kinologiques » impliquées dans les patrons d'activation lexicale chez le sourd signeur.

La supériorité des sourds sur les entendants dans les traitements visuels a déjà été signalée. Il convient de souligner qu'elle semble surtout établie chez les signeurs (Bellugi et coll., 1990). Si cette plus grande efficacité des

traitements visuels peut conduire à l'hypothèse d'un avantage des sourds signeurs dans les traitements orthographiques, les constats empiriques montrent qu'il n'en est rien. De fait, il est désormais établi que ce qui fait obstacle à l'apprentissage de la lecture n'est pas la discrimination et la catégorisation des lettres, mais l'identification des phonèmes qui sont les unités de base de la traduction alphabétique. Or, comme le signale Paire-Ficout (1998), la langue des signes et l'écriture alphabétique sont tellement différentes qu'aucune médiation directe de type phonologique ou visuel ne permet le passage immédiat de l'une à l'autre.

Il existe toutefois quelques ponts entre langue des signes et orthographe. En effet, la langue des signes intègre quelques signes dactylogiques (par exemple, dans le signe correspondant au mot « vacance », les majeurs et index forment le « v » de l'initial). De même, les noms propres comme les mots inconnus sont généralement épelés en dactylogogie. Toutefois, ces ponts ne constituent pas un moyen d'établir des correspondances entre les kinèmes et les lettres, notamment dans la LSF qui inclut beaucoup moins de signes dactylogiques que l'ASL (*American Sign Language*). La situation est comparable à celle que connaît le lecteur du mandarin. En effet, la langue chinoise peut être analysée en phonèmes mais, malgré les éléments phonologiques qui complètent le radical idéographique de la plupart des mots écrits en mandarin, il n'est pas possible de fonder la lecture et l'écriture sur l'exploitation systématique des unités de deuxième articulation. Dans le cas de la langue des signes, à la fois la langue des signes et le système alphabétique ont des unités de deuxième articulation mais, hormis le cas marginal de la présence de signes dactylogiques dans la langue des signes, ces unités appartiennent à deux systèmes qui ne peuvent être mis en correspondance. Ainsi Krakon et Hanson (1985) montrent que les lecteurs sourds signeurs ne font pas les mêmes erreurs dans le rappel de signes et dans le rappel de mots écrits.

Avant l'adoption relativement récente d'un système alphabétique, l'apprentissage de la lecture et de l'écriture des logogrammes chinois commençait dès 3 ans et durait une dizaine d'années avant l'atteinte d'un niveau d'expertise permettant la lecture autonome. Certains apprentis-lecteurs sourds sont dans cette situation d'apprentissage qui réclame du temps, mais à la différence des enfants chinois ils se trouvent dans un contexte de scolarisation qui n'est pas adapté à ce type d'apprentissage mais à celui, beaucoup plus simple et rapide, d'un système alphabétique. En l'absence d'une pédagogie privilégiant l'élaboration d'habiletés phonologiques, cela se traduit par un taux très élevé d'illettrisme chez les adultes sourds ; le rapport Gillot (1998) estime que 80 % des sourds profonds sont illettrés en France.

En conclusion, les recherches sur l'apprentissage du langage écrit par les enfants sourds ont un double intérêt. D'abord elles confirment le rôle central des capacités de traitement phonologique dans la maîtrise d'un écrit alphabé-

tique et invitent à vérifier systématiquement ces capacités chez les enfants entendants présentant un trouble de l'apprentissage. Ensuite, elles imposent, en collaboration avec les associations concernées, que les méthodes d'apprentissage utilisées pour les enfants sourds soient évaluées afin que soient prises des orientations claires visant à la disparition d'un illettrisme qui est un facteur supplémentaire d'exclusion pour cette population.

BIBLIOGRAPHIE

ALEGRIA J. Lecture, phonologie et surdité. In : Les entretiens Nathan : lecture et écriture. BENTOLILA A (ed). Actes II, Nathan, Paris, 1992 : 75-100

ALEGRIA J, CHARLIER B, MATTYS S. Phonological processing of lipread and Cued-Speech information in the deaf. *European Journal of Cognitive Psychology* 1999, **11** : 451-472

ALEGRIA J, LEYBAERT J. Le langage par les yeux chez l'enfant sourd : lecture labiale et Langage Parlé Complété. In : L'acquisition du langage par l'enfant sourd : les signes, l'oral et l'écrit. TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE (eds). Solal, Marseille, 2005 : 213-252

BELLUGI U, O'GRADY L, LILLO-MARTIN D, O'GRADY M, VAN HOEK K, CORINA D. Enhancement of spatial recognition in deaf children. In: From gesture to language in hearing and deaf children. VOLTERRA V, ERTING C (eds). Springer-Verlag, New York, 1990 : 278-298

BURDEN V, CAMPBELL R. The development of word-coding skills in the born deaf: an experimental study of deaf school-leavers. *British Journal of Developmental Psychology* 1994, **12** : 331-349

CAMPBELL R. The cerebral lateralization of lip-reading. In: Hearing by eye: the psychology of lip-reading. DODD B, CAMPBELL R (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1987 : 243-255

CAMPBELL R, WRIGHT H. Deafness, spelling and rhyme: how spelling supports written word and picture rhyming skills in deaf subjects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1988, **40A** : 771-788

CAMPBELL R, WRIGHT H. Immediate memory in the orally trained deaf: effects of "lipreadability" in the recall of written syllables. *British Journal of Psychology* 1989, **80** : 299-312

CAMPBELL R, WRIGHT H. Deafness and immediate memory for pictures: Dissociations between "Inner Speech" and the "Inner Ear". *Journal of Experimental Child Psychology* 1990, **50** : 259-286

CONRAD R. Short-term memory processes in deaf. *British Journal of Psychology* 1970, **31** : 179-195

CONRAD R. The deaf school child. Harper & Row, London, 1979

CORNETT O. Cued speech. *American Annals of the Deaf* 1967, **112** : 3-13

DODD B. The phonological system of deaf children. *Journal of Speech and Hearing Disorders* 1976, **41** : 185-198

DODD B, HERMELIN B. Phonological coding by the prelinguistically deaf. *Perception and Psychophysics* 1977, **21** : 413-417

GILLOT D. Rapport de Madame Dominique Gillot, Députée du Val-d'Oise au Premier ministre. France, 1998. <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/BRP/984001595/0000.pdf>

GOMBERT JE. Le développement métalinguistique. Presses Universitaires de France, Paris, 1990

GOSWAMI UC, BRYANT PE. Phonological skills and learning to read. Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1990

HAGE C. Développement de certains aspects de la morpho-syntaxe chez l'enfant à surdité profonde : rôle du Langage Parlé Complété. Thèse de Doctorat en Sciences Psychologiques non publiée, Université Libre de Bruxelles, 1994

HANSON VL. Short term recall by deaf signers of American Sign Language: Implications of encoding strategy for order recall. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition* 1982, **8** : 572-583

KRAKOV RA, HANSON VL. Deaf signers and serial recall in the visual modality: memory for signs, fingerspelling and print. *Memory and Cognition* 1985, **13** : 265-272

LEYBAERT J. Reading in the deaf: the role of phonological codes. In: Phonological perspectives of deafness. MARSCHARK M, CLARK D (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1993 : 269-309

LEYBAERT J, ALEGRIA J, FONCK E. Automaticity in word recognition and in word naming by the deaf. *Cahiers de Psychologie Cognitive* 1983, **3** : 255-272

LEYBAERT J, ALEGRIA J. Is word processing involuntary in deaf children? *British Journal of Developmental Psychology* 1993, **11** : 1-29

LEYBAERT J, ALEGRIA J. Spelling development in deaf and hearing children: evidence for use of morpho-phonological regularities in French. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 89-109

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

LOCKE JL, LOCKE VL. Deaf children's phonetic, visual and dactylic coding in a grapheme recall task. *Journal of Experimental Psychology* 1971, **89** : 142-146

LOCKE JL. Phonemic effects in the silent reading of hearing and deaf children. *Cognition* 1978, **6** : 175-187

MAYBERRY RI. Mental phonology and language comprehension, or what does that sign mistake mean? In: Language, gesture and space. EMMOREY K, REILLY JS (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1995 : 355-370

MEIER RP. Icons, analogues, and morphemes: the acquisition of verb agreement in ASL. Unpublished doctoral dissertation, University of California in San Diego, 1982

MEIER RP, WILLERMAN L. Prelinguistic gesture in deaf and hearing infant. In: Language, gesture and space. EMMOREY K, REILLY JS (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1995 : 391-409

MERRILS JD, UNDERWOOD G, WOOD DJ. The word recognition skills of profoundly, prelingually deaf children. *British Journal of Developmental Psychology* 1994, **12** : 365-384

NEWPORT EL, MEIER RP. The acquisition of American Sign Language. In: The crosslinguistic study of language acquisition, Vol 1, The data. SLOBIN DI (ed). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1985 : 881-938

PADDEN CA, CLARK D. Comment l'alphabet devient représenté en langue des signes. In : L'acquisition du langage par l'enfant sourd : les signes, l'oral et l'écrit. TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE (eds). Solal, Marseille, 2005 : 71-88

PAIRE-FICOUT L. Étude des mécanismes d'accès à la signification de mots écrits chez des lecteurs sourds sévères et profonds prélinguistiques : rôle des représentations dérivées de la lecture labiale. Thèse non publiée de Doctorat de Psychologie de l'Université Lumière Lyon 2, 1998

PETITTO LA, MARENTETTE PF. Babbling in the manual mode: evidence for the ontogeny of language. *Science* 1991, **251** : 1397-1536

TRANSLER C, GOMBERT JE, LEYBAERT J. Decoding processes in deaf children, a similarity judgment between pseudowords. *Applied Psycholinguistics* 2001, **22** : 61-82

TRANSLER C. Comment l'enfant sourd développe puis utilise le principe du B-A/ba/. In : L'acquisition du langage par l'enfant sourd : les signes, l'oral et l'écrit. TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE (eds). Solal, Marseille, 2005 : 317-326

TRANSLER C, LEYBAERT J, GOMBERT JE. Do deaf children use spoken syllables as reading units? *Journal of Deaf Study and Deaf Education* 1999, **4** : 124-143

WATERS GS, DOEHRING DG. Reading acquisition in congenitally deaf children who communicate orally: insights from an analysis of component reading, language and memory skills. In: Reading and its development: component skill approaches. CARR T, LEVY BA (eds). Academic Press, San Diego, 1990 : 323-373

II

Troubles spécifiques des apprentissages

Introduction :

Des difficultés d'apprentissage aux troubles spécifiques

Les enfants en difficultés d'apprentissage de la lecture en début de scolarité sont nombreux, entre 5 % et 15 % selon les recensements¹⁴. De plus, un faible niveau en lecture a forcément une incidence négative sur les autres apprentissages, à court, comme à long terme. En effet, comme l'indique un rapport de l'OCDE (2000) : « se multiplient les indices sérieux montrant que la formation continue après l'école tend à accentuer, plutôt qu'à atténuer, les différences de compétence découlant d'une réussite inégale à l'enseignement initial » (p. 70-71).

Ces mauvais lecteurs n'ont cependant pas tous des difficultés spécifiques d'apprentissage. En introduction de cette partie II de l'expertise, il nous a donc paru essentiel d'examiner certaines études qui ont porté sur les difficultés d'apprentissage, en général. Les travaux passés en revue émanent pour la plupart d'organismes officiels (OCDE, Insee, Ministère de la culture ou de l'éducation...).

Enquêtes sur les pratiques et sur les compétences de lecture

De nombreux travaux francophones ont évalué l'influence des caractéristiques socioculturelles des populations sur leur rapport au livre et sur leurs pratiques de lecture¹⁵. Dans ces travaux, et en particulier dans l'enquête sur les pratiques culturelles des Français qui a été effectuée tous les 8 ans depuis 1973 (Donnat, 1998 ; Hersent, 2000), on qualifie les lecteurs de « faibles », « moyens » et « forts » en fonction du nombre de « livres » que les personnes interrogées déclarent avoir lu dans l'année, respectivement de 1 à 9 livres pour les premiers, plus de 24 pour les derniers. Ces enquêtes ont toutefois suscité quelques critiques. En particulier, Hersent (2000) souligne que ces travaux se sont focalisés uniquement sur le « livre », aux dépens d'autres supports et qu'ils n'ont pris en compte que les réponses des enquêtés. Il s'est

14. Voir le chapitre 7 de l'expertise

15. Voir en particulier, les travaux de C Baudelot, R Chartier, AM Chartier, J Dumazedier, R Escarpit, J Hébrard, JC Passeron, N Robine, B Seibel, F de Singly...

donc demandé, d'une part, si les habiletés de lecture peuvent se mesurer par la quantité de livres lus. En d'autres termes, est-on « faible » lecteur parce qu'on lit moins ou parce qu'on lit mal, les deux pouvant bien entendu être reliés ? D'autre part, quel crédit est-il possible d'accorder aux déclarations des enquêtés ? Ne tendent-ils pas, selon leurs groupes sociaux d'appartenance, à surévaluer ou à dévaluer leurs pratiques de lecture ?

D'autres travaux, également effectués à partir d'enquêtes, ont examiné les compétences de lecture. Ainsi, une étude de l'Insee (1989) indique qu'il y aurait en France 9 % d'adultes « illettrés » : en l'occurrence ceux qui disaient avoir des difficultés à lire un journal, à remplir un chèque, tout comme ceux qui, selon l'enquêteur, ne comprenaient pas bien les questions posées. Cependant, ce pourcentage doit être relativisé dans la mesure où il inclut des sujets qui avaient des difficultés avec la langue écrite ou avec la langue orale. Or, la faiblesse de la maîtrise de la langue orale ne peut être mise au compte de l'illettrisme.

Évaluations des compétences en lecture et en mathématiques

D'autres études ont évalué les compétences en lecture et en mathématiques à partir des réponses à des tests. Les résultats examinés dans cette introduction sont issus de deux études internationales qui ont porté sur des élèves de 15 ans (OCDE, 2000 et 2004), d'une étude française du Ministère de l'éducation qui a pris en compte des enfants scolarisés en début de CE2 (MEN, 2001) et de deux études de l'Insee qui ont porté sur des adultes (2004 et 2005).

Niveau en lecture et en mathématiques d'après les études internationales

Dans les deux études internationales portant sur des élèves de 15 ans, les résultats relevés dans chaque pays en lecture (OCDE, 2000 et 2004) et mathématiques (OCDE, 2000, uniquement) ont été comparés à la moyenne internationale.

Le niveau de lecture a été évalué par la compréhension de différents types de documents : récits, articles de journaux, textes accompagnés de graphiques ou de schémas. Les scores des enfants français se situent au niveau de la moyenne internationale, sans évolution significative dans le temps (OCDE, 2000 et 2004). De plus, d'après l'étude de 2000, 4 % des enfants français ont des difficultés sévères de lecture (moyenne internationale, 6 %) et, en France, comme au niveau international, il y a plus de garçons que de filles dans cette catégorie (6 % *versus* 2 % ; moyenne internationale : 8 % et 4 %).

En mathématiques (OCDE, 2000), les résultats des élèves français sont au-dessus de la moyenne internationale, tout comme les scores des 5 % les plus faibles. À la différence de la lecture, il n'y a pas plus de garçons que de filles parmi ceux qui ont les scores les plus faibles (respectivement 10 % et 11 % en France, 15 % et 16 % au niveau international).

Deux facteurs cruciaux : l'origine sociale et l'environnement linguistique

Dans l'évaluation du niveau de lecture et de mathématiques des élèves en début de CE2 menée par le Ministère de l'éducation nationale (MEN, 2001), il a été relevé que les filles ont de meilleurs résultats que les garçons en lecture, mais pas en mathématiques ; ces résultats sont semblables à ceux des deux études internationales de l'OCDE. Toutefois, une des variables le plus fortement reliée aux résultats est l'origine sociale des élèves. Toutes choses égales par ailleurs (en particulier, âge et sexe), un écart significatif sépare les scores des enfants d'ouvriers de ceux des enfants de cadres, et cela aussi bien en lecture qu'en mathématiques. De plus, certains enfants qui sont dans des situations que l'on peut qualifier de « fragiles » (ceux dont les parents sont dits « inactifs », 7,6 % de la population) ont des scores inférieurs à ceux des enfants d'ouvriers pour la lecture et les mathématiques. Les mêmes tendances avaient été relevées dans les études antérieures du Ministère de l'éducation.

De même, d'après l'étude de 2000 de l'OCDE, le fait d'être issu d'un milieu social peu favorisé multiplie par deux la probabilité d'avoir des difficultés en lecture, comme en mathématiques. Cette étude signale toutefois qu'une partie de cet effet pourrait être due à des variables non contrôlées : entre autres, l'environnement linguistique. L'incidence de ce facteur sur les performances est en effet aussi forte que celle du milieu socioculturel (OCDE, 2000).

L'impact de l'environnement linguistique sur la réussite en lecture et en mathématiques ressort également de la récente étude de l'Insee (2004 et 2005). Dans cette étude, les performances en lecture d'adultes ont été évaluées par des exercices en rapport avec la vie quotidienne (lire le titre et le nom des invités d'une émission, noter une liste de courses, comprendre le résumé d'un film). Les personnes qui ont des scores inférieurs à 60 % de réponses correctes dans ces trois domaines sont considérées comme en difficultés face à l'écrit. Plusieurs groupes ont été constitués en fonction du lieu de naissance (en France ou hors de France) et de la langue parlée majoritairement à la maison (le français, pour les sujets dits francophones). Parmi les francophones natifs, 7 % ont des difficultés en lecture. Ce chiffre est de 11 % chez les francophones nés hors de France et chez les non francophones nés en France. En revanche, parmi les non francophones nés hors de France, plus de 30 % de ceux qui ont appris à lire en français et plus de 60 % de ceux

qui ont appris à lire dans une autre langue ont des difficultés de lecture. Les résultats indiquent également que l'environnement linguistique a un impact sur la compréhension orale ainsi que, mais dans une moindre mesure, sur les scores en mathématiques.

Relations entre les différentes compétences évaluées

L'étude de l'Insee (2004 et 2005) a également examiné les relations entre compréhension en lecture, compréhension orale et aptitudes à résoudre des problèmes simples de calcul. Dans ce dernier cas, les questions sont posées à l'oral afin d'être compréhensibles par les personnes ayant des difficultés de lecture. Trois groupes ont été constitués : ceux qui ont des résultats faibles (moins de 50 % de réponses correctes), moyens (entre 50 % et 80 %) et bons (plus de 80 %).

Les relations entre compréhension en lecture et à l'oral sont élevées. Ainsi, parmi les adultes qui ont les scores les plus élevés en lecture, 73 % ont également de bonnes performances en compréhension orale et seulement 2 % des résultats faibles alors que, parmi les personnes ayant des résultats faibles en lecture, 32 % ont également des résultats faibles en compréhension orale et seulement 25 % un niveau élevé. De même, en ce qui concerne les relations entre lecture et mathématiques, parmi les adultes qui ont les scores les plus élevés en lecture, 45 % ont de bonnes performances en mathématiques et seulement 4 % des résultats insuffisants alors qu'environ 50 % de ceux ayant des difficultés de lecture sont également en situation d'échec en mathématiques, seulement 9 % ayant de bons résultats. Les relations entre les différentes compétences évaluées sont donc fortes.

Cette étude indique en plus que pratiquement la moitié des sujets qui ont des difficultés de compréhension écrite n'arrivent pas à lire correctement des mots inventés alors que presque tous sont capables de lire des mots courants. En revanche, il y a peu de différence entre les scores pour ces deux types d'items chez les sujets qui comprennent bien les textes écrits, leurs performances étant dans les deux cas pratiquement au maximum. Le déficit relevé chez les sujets qui ont des difficultés sévères de compréhension écrite lorsqu'ils doivent lire des mots qu'ils n'ont jamais rencontrés indique que, pour pouvoir lire correctement, il faut non seulement être capable de comprendre ce qu'on lit, il faut aussi pouvoir identifier les mots écrits de façon précise.

Capacités de lecture d'enfants de milieux défavorisés

Quelques études de psychologie cognitive ou de neurosciences ont évalué les compétences en lecture de sujets issus de milieux socioéconomiques défavorisés. Ces études signalent qu'une partie de leur retard en lecture pourrait

provenir d'un déficit linguistique et, plus spécifiquement, d'un déficit phonologique lié au traitement des sons de la parole. Par exemple, Noble et McCandliss (2005) ont montré que les capacités phonologiques et le niveau socioéconomique sont directement corrélés et agissent sur les performances en lecture indépendamment mais aussi probablement de façon additive. Ainsi, à déficit phonologique de même importance, un faible niveau socioéconomique serait un facteur aggravant. L'hypothèse est que les enfants issus d'un milieu social peu favorisé auraient des difficultés pour mettre en œuvre des stratégies compensatoires.

Cette hypothèse est confortée par les résultats d'une étude de neuro-imagerie (Shaywitz et coll., 2003) qui a comparé deux populations d'adultes en difficultés sévères de lecture : des mauvais lecteurs persistants et des mauvais lecteurs qui ont progressé. Cette étude révèle des activations d'aires cérébrales non habituellement dévolues à la lecture uniquement chez ceux qui ont progressé. Or, ces deux groupes n'étaient pas de même niveau socioéconomique : les mauvais lecteurs persistants avaient été scolarisés dans des écoles qui recrutaient surtout des enfants de milieu « défavorisé ». Cette étude suggère donc que certains facteurs environnementaux pourraient entraver la mise en place de stratégies de compensation, tant au niveau comportemental (la différence de progrès en lecture) que neuronal.

Troubles spécifiques des apprentissages

Les travaux de recherches indiquent clairement que les facteurs décrits ci-dessus (facteurs socioculturels présents dans l'environnement de l'enfant et les capacités cognitives générales propres à chaque enfant) ne suffisent pas à expliquer l'ensemble des difficultés d'apprentissage rencontrées chez les enfants. De nombreuses données montrent qu'il existe des enfants en difficulté d'apprentissage dans tous les milieux socioculturels y compris les plus favorisés et également à tous les niveaux de capacités cognitives générales y compris les plus élevés. Cette situation a conduit les chercheurs à formuler l'hypothèse de l'existence de troubles spécifiques des apprentissages. Historiquement, c'est le cas d'un enfant intelligent et sans handicap socioculturel mais avec une difficulté sévère et spécifique à la lecture qui a conduit à la première description de la dyslexie développementale (Pringle Morgan, 1896). Depuis, des milliers de cas ont été rapportés dans la littérature scientifique. Pour étudier les caractéristiques propres à la dyslexie, les chercheurs sont amenés à exclure les enfants qui présentent des facteurs de risque tels que le déficit intellectuel généralisé, les troubles sensoriels, les facteurs de risque socioculturels ou linguistiques. Il s'agit d'une précaution méthodologique indispensable à l'étude des causes d'un trouble spécifique sans risque de confusion. Cependant, cette focalisation de la recherche sur des troubles isolés ne doit pas laisser croire que les chercheurs ignorent la multiplicité des

facteurs impliqués dans la plupart des difficultés scolaires. De plus, un enfant dyslexique peut cumuler d'autres facteurs de risque qui contribuent à ses difficultés. Des études récentes s'intéressent tout particulièrement aux interactions entre ces différents facteurs (biologiques, culturels...). Par exemple, le milieu socioculturel d'un enfant dyslexique peut avoir un effet compensateur ou aggravant sur ses capacités de lecture (Noble et McCandliss, 2005).

En conclusion, il ressort de la synthèse d'études portant sur des populations « tout-venant », c'est-à-dire non sélectionnées a priori en fonction de certains critères, que le milieu social et l'environnement linguistique ont tous deux une forte incidence sur les performances en lecture et en mathématiques. Il en ressort également que, dans ces populations, les relations entre compréhension écrite, compréhension orale et performances en mathématiques sont élevées, ce qui s'explique probablement par un facteur sous-jacent, dont il n'est en général pas tenu compte dans ces études : le niveau cognitif des sujets.

Quand on veut étudier des populations supposées avoir des troubles spécifiques des apprentissages, il convient donc de contrôler voire d'éliminer les facteurs susceptibles d'entraîner des difficultés générales d'apprentissage. C'est pour cette raison que la plupart des études portant sur les troubles spécifiques des apprentissages (celles qui sont évoquées dans cette partie) n'intègrent pas les sujets qui ont un faible niveau cognitif, tout comme ceux issus d'un milieu sociologique très fragile, ou encore, particulièrement pour la lecture, ceux ayant appris à lire dans une langue qui n'est pas celle parlée le plus souvent à la maison.

L'enjeu n'est pas seulement théorique. En effet, les travaux examinés dans la présente expertise indiquent que les enfants ayant des difficultés spécifiques d'apprentissage ne répondent pas de la même façon que les autres enfants aux différentes interventions, tant pédagogiques que rééducatives, dont ils peuvent bénéficier.

BIBLIOGRAPHIE

DONNAT O. Les pratiques culturelles des Français : Enquête 1997. La Documentation française, Paris, 1998 : 359 p

HERSENT JF. Sociologie de la lecture en France : État des lieux (essai de synthèse à partir des travaux de recherche menés en France). Direction du livre et de la lecture, 2000 <http://www.culture.gouv.fr/culture/dll/sociolog.rtf>

INSEE. L'obstacle de la langue : une approche de l'illettrisme des adultes dans la France. Insee Première, 27, Juin 1989

INSEE. Les compétences des adultes à l'écrit, en calcul et en compréhension orale. Insee Première, 1044, Octobre 2005

MEN (MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION). Les élèves en début de CE2 : Évaluation 2000. Note d'information 01-35, Juillet 2001

NOBLE KG, MCCANDLISS BD. Reading development and impairment: behavioral, social, and neurobiological factors. *J Dev Behav Pediatr* 2005, **26** : 370-378

OCDE. Knowledges and skills for life. First results from PISA 2000. OECD, Paris, 2000

OCDE. Profil de performance des élèves en compréhension de l'écrit et en sciences. Apprendre aujourd'hui, réussir demain. Premier résultats de PISA 2003. OCDE, Paris, 2004

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, FULBRIGHT RK, SKUDLARSKI P, MENCL WE, et coll. Neural systems for compensation and persistence: young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry* 2003, **54** : 25-33

6

Définitions et classifications

Les « troubles spécifiques des apprentissages » concernent une large palette de troubles qui va des troubles du langage et de la parole aux troubles des aptitudes motrices (Lyon, 1996 ; Culbertson, 1998 ; Kronenberger et Dunn, 2003). Les troubles qui font l'objet de cette expertise sont ceux plus directement liés aux acquisitions scolaires : le trouble spécifique de la lecture et du calcul ainsi que le trouble de l'écriture.

Dans les dernières années, plusieurs définitions ont été proposées pour ces troubles et elles ne cessent d'ailleurs d'évoluer. En effet, les connaissances sur lesquelles elles se fondent ont progressé rapidement, grâce aux nombreuses recherches conduites, particulièrement sur les difficultés de lecture (Lyon et coll., 2003). Cependant, certaines définitions ne donnent pas de critères diagnostiques précis, laissant ainsi une marge de fluctuation dans leur utilisation.

Troubles spécifiques des apprentissages

Les « troubles des apprentissages », qui concernent des problèmes faisant obstacle à la réussite scolaire, peuvent apparaître dans un contexte de retard global (Gillberg et Soderstrom, 2003) ou plus spécifique en cas de déficits limités à certains processus cognitifs (Snowling, 2002). Il sera question ici essentiellement de définitions et critères concernant les troubles présents en dehors d'un retard global du développement.

Les troubles des apprentissages (*learning disabilities*, terme utilisé pour la première fois par Kirk en 1963) ont fait l'objet de différentes définitions, qui ont évolué avec le temps. Pour Kirk (1963), les troubles des apprentissages étaient caractérisés par des problèmes de développement du langage oral et de la lecture ainsi que par un déficit des compétences de communication, nécessaires à l'interaction sociale, ces troubles ne pouvant être attribués à un handicap sensoriel ou à un retard mental.

Rutter (1989) propose quelques années plus tard la définition suivante :

« Les troubles développementaux des apprentissages sont un ensemble de difficultés des apprentissages qui ne peuvent être attribuées ni à un retard intellectuel, ni à un handicap physique, ni à des conditions adverses de l'environnement. Ces difficultés sont inattendues compte-tenu des autres aspects du développement, elles apparaissent très tôt dans la vie et interfèrent avec le développement normal. Elles persistent souvent jusqu'à l'âge adulte ».

Dans cette définition, on retrouve les principaux critères utilisés pour caractériser les troubles spécifiques des apprentissages (qu'il s'agisse de troubles du langage oral, de la lecture, de l'écriture ou du calcul), critères qui sont à la base des définitions proposées par la suite (Fletcher et coll., 2004), à savoir :

- critère de « discordance » (*discrepancy*) entre les difficultés à des épreuves liées au trouble en question et les bonnes performances à d'autres épreuves cognitives (il s'agit souvent du QI^{17}) ;
- critère d'exclusion : les troubles ne doivent pas avoir comme cause primaire ni un retard global, ni un handicap sensoriel, ni un environnement défavorable (pédagogie inadaptée, niveau socioculturel insuffisant, diversité linguistique), ni troubles mentaux avérés ;
- le trouble est dû à des facteurs intrinsèques à l'enfant (ce point dérive directement des deux précédents et met l'accent sur l'origine neurobiologique des troubles).

Ces critères sont retrouvés dans la classification internationale des maladies, la CIM-10 (OMS, 1994), et dans le Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux, le DSM-IV (*American Psychiatric Association*, 2004).

La CIM-10, qui définit des critères diagnostiques, comprend un chapitre « Troubles du développement psychologique » dans lequel une section est dédiée aux troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires. Dans cette partie sont décrits les critères diagnostiques des troubles suivants : Trouble spécifique de la lecture, Trouble spécifique de l'orthographe, Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique, Trouble mixte des acquisitions scolaires. Les critères diagnostiques communs aux troubles des acquisitions scolaires de la CIM-10 sont présentés dans le tableau 6.I.

Tableau 6.I : Critères diagnostiques communs aux troubles spécifiques des acquisitions scolaires selon la CIM-10

-
- La note obtenue aux épreuves, administrées individuellement, se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI
 - Le trouble interfère de façon significative avec les performances scolaires ou les activités de la vie courante
 - Le trouble ne résulte pas directement d'un déficit sensoriel
 - La scolarisation s'effectue dans les normes habituelles
 - Le QI est supérieur ou égal à 70
-

160 16. Quotient intellectuel (QI) mesuré entre 6 et 16 ans à l'aide du WISC-IV (Wechsler, 2005).

Le DSM-IV, dans la partie « Troubles diagnostiqués pendant la première enfance, la deuxième enfance ou l'adolescence », définit dans un chapitre à part les troubles des apprentissages. Ce chapitre comprend le trouble de la lecture, celui du calcul et de l'expression écrite ainsi qu'un trouble des apprentissages non spécifié. Les caractéristiques diagnostiques communes de ces troubles selon le DSM-IV sont présentées dans le tableau 6.II.

Tableau 6.II : Caractéristiques communes des troubles spécifiques des apprentissages selon le DSM-IV

-
- Performances à des tests standardisés (en lecture, calcul ou expression écrite), passés de façon individuelle, nettement au-dessous du niveau attendu par rapport à l'âge, aux autres performances scolaires et à l'intelligence de l'enfant. « Nettement au-dessous » se définit par une discordance de plus de 2 écarts-types entre les performances à ces tests et le QI (dans certains cas une différence moins importante est suffisante, 1 ou 1,5 écarts-types)
 - Ces problèmes d'apprentissage doivent interférer de manière significative avec la réussite scolaire ou avec les activités de la vie courante liées à la lecture, le calcul ou l'écriture
 - Si un déficit sensoriel est présent, les difficultés d'apprentissage doivent être supérieures à celles habituellement associées à ce déficit
-

Les deux classifications ont certes des parties communes, mais elles ne se superposent pas pour autant. Ainsi, dans la CIM-10 il est question d'un trouble spécifique de l'orthographe qui n'apparaît pas en tant que tel dans le DSM-IV où il fait partie des problèmes décrits dans le trouble de l'expression écrite. Les critères d'inclusion (notes à des épreuves <2 écarts-types) et d'exclusion (QI<70) sont plus stricts dans la CIM-10.

Selon une tendance récente (Vaughn et Fuchs, 2003 ; Fletcher et coll., 2004), l'appellation « troubles des apprentissages » ne devrait pas être attribuée seulement sur la base des résultats à différentes épreuves, mais elle devrait être réservée aux enfants dont les troubles résistent à un traitement conséquent (prise en charge pédagogique et/ou orthophonique).

Les progrès des connaissances des dernières années ont amené certains auteurs à évoquer dans leurs définitions l'origine neurobiologique (Galaburda et coll., 1999) voire même héréditaire (Pennington et Gilger, 1996 ; Lyytinen et coll., 2004) des troubles des apprentissages. En outre, ces définitions incluent de plus en plus les mécanismes cognitifs des troubles, même si ces processus cognitifs sont encore l'objet de discussions et d'explorations (Padget et Yancey, 1998).

Il faut souligner que dans le cadre de la recherche, les critères adoptés peuvent varier en fonction du nombre de sujets observés. En effet, les études qui portent sur des effectifs importants utilisent, pour des raisons de faisabilité, des critères moins stricts et moins nombreux que les études sur des petits groupes d'enfants.

Trouble spécifique de la lecture

Parmi les troubles spécifiques des apprentissages, le trouble de la lecture ou dyslexie est de loin le trouble des apprentissages le mieux exploré ; il a donné lieu au plus grand nombre de travaux et de définitions.

D'une façon générale, la dyslexie est définie comme un trouble de l'identification des mots écrits.

Depuis la description du premier cas – qu'on qualifierait aujourd'hui de dyslexie développementale – par Morgan en 1896 et les travaux d'Orton en 1928, qui a évoqué le premier une origine neurodéveloppementale du trouble, les définitions n'ont pas cessé d'évoluer. Rutter (1978), sur la base des propositions de la *World Federation of Neurology* (1968), écrit que « la dyslexie est un trouble manifesté par une difficulté à apprendre à lire, malgré un enseignement conventionnel, une intelligence adéquate et un bon environnement socioculturel. Elle est dépendante de troubles cognitifs fondamentaux qui sont souvent d'origine constitutionnelle ». La CIM-10 décrit pour le Trouble spécifique de la lecture des critères diagnostiques adaptés à des âges différents (tableau 6.III).

Tableau 6.III : Critères diagnostiques du Trouble spécifique de la lecture selon la CIM-10

Présence soit de 1 soit de 2 :

1. La note obtenue à une épreuve standardisée d'exactitude ou de compréhension de la lecture se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant ; l'évaluation des performances en lecture et du QI doit se faire avec des tests administrés individuellement et standardisés en fonction de la culture et du système scolaire de l'enfant
 2. Antécédents de difficultés sévères en lecture, ou de résultats de tests ayant répondu au critère 1 à un âge antérieur ; en outre, le résultat obtenu à un test d'orthographe se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et du QI
-

Le critère du DSM-IV pour le trouble spécifique de la lecture est le suivant : les réalisations en lecture (exactitude, rapidité ou compréhension), évaluées par des tests sont nettement en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.

Les autres critères de la CIM-10 et du DSM-IV, communs aux différents troubles (enseignement adapté à l'âge, environnement socioculturel favorable et intelligence adéquate), ont été détaillés précédemment. À noter que la CIM-10 spécifie que le trouble de la lecture ne doit pas résulter directement d'un trouble neurologique avéré. La principale différence entre les deux classifications concerne la comorbidité du trouble de la lecture avec d'autres troubles des apprentissages (notamment les troubles du calcul et de

l'écriture). En cas de comorbidité, dans la CIM-10 le diagnostic de trouble de la lecture est prédominant par rapport à tous les autres, tandis que le DSM-IV permet de porter plusieurs diagnostics.

Dans les définitions plus récentes de la dyslexie, il est de plus en plus question des mécanismes cognitifs perturbés et de l'étiologie des troubles (Shaywitz et Shaywitz, 2005). Les recherches des dernières années sur ces facteurs, en particulier sur les compétences impliquées dans le processus de la lecture, ont beaucoup progressé et les définitions se sont adaptées aux nouvelles connaissances. Ainsi, la définition récemment proposée par Lyon et coll. (2003) et qui remplace une définition précédente des mêmes auteurs propose :

« La dyslexie est un trouble spécifique de l'apprentissage dont les origines sont neurobiologiques. Elle est caractérisée par des difficultés dans la reconnaissance exacte et/ou fluente de mots ainsi que par une orthographe des mots (*spelling*) et des capacités de décodage limitées. Ces difficultés résultent typiquement d'un déficit dans la composante phonologique du langage qui est souvent inattendu par rapport aux autres capacités cognitives de l'enfant et à l'enseignement dispensé dans sa classe. Les conséquences secondaires peuvent inclure des problèmes dans la compréhension en lecture. Cela peut entraîner une expérience réduite dans la lecture qui pourrait empêcher la croissance du vocabulaire de l'enfant et ses connaissances générales. »

S'il est vrai que la plupart des études récentes soulignent que la dyslexie est liée à un trouble du système phonologique (Morris et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Snowling, 2001 ; Ramus et coll., 2003 ; Vellutino et coll., 2004), d'autres données plaident pour l'existence d'autres troubles cognitifs responsables d'autres types de dyslexie (Mattis et coll., 1975 ; Stein, 2001 ; Valdois et coll., 2004). Certains auteurs proposent de réserver l'appellation « dyslexie » au sous-groupe majoritaire, porteur de troubles phonologiques prédominants (Kamhi et Catts, 2002). Cependant, la prise en compte d'un déficit en phonologie comme critère d'inclusion dans la définition de la dyslexie a été également critiquée (Frith, 1999).

Enfin, il est important de rappeler que c'est dans le cadre de la dyslexie que le critère de discordance (entre les performances à des tests de lecture et le QI de l'enfant) a été le plus appliqué et contesté par la suite (Shapiro, 1996 ; Fletcher et coll., 2002 ; Shaywitz et Shaywitz, 2003). Deux arguments s'opposent à ce critère. En premier lieu, la croissance du vocabulaire des dyslexiques pourrait être négativement influencée par les problèmes de lecture (voir la définition de Lyon et coll. 2003, ci-dessus) et le QI verbal, qui intègre le niveau de vocabulaire, pourrait alors diminuer progressivement conduisant les dyslexiques à être de moins en moins discordants (Stanovich, 1986). Par ailleurs, ce critère suppose que le dysfonctionnement des processus cognitifs à l'origine des troubles de lecture des individus discordants soit différent du dysfonctionnement d'individus ayant des notes comparables aux tests de lecture mais un QI moins contrasté. Plusieurs travaux n'ont pas

trouvé de différence entre ces deux groupes pour une variété de tâches cognitives comprenant la phonologie, d'autres aspects du langage et de la mémoire (Siegel, 1992 ; Fletcher et coll., 1994 ; Stanovich et Siegel, 1994).

Trouble spécifique du calcul

Les troubles spécifiques du calcul et/ou de l'arithmétique ont fait l'objet de moins d'études que la dyslexie (Shalev et coll., 2000). En général, le terme de dyscalculie développementale se réfère à un trouble des compétences mathématiques présent chez des enfants avec une intelligence normale (Temple, 1997). La CIM-10 définit des critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique (tableau 6.IV).

Tableau 6.IV : Critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'acquisition de l'arithmétique selon la CIM-10

-
- La note obtenue à un test standardisé de calcul se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant
 - Les notes obtenues à des épreuves d'exactitude et de compréhension de la lecture, ainsi que d'orthographe se situent dans les limites de la normale (\pm deux écarts-types par rapport à la moyenne)
 - L'absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture ou en orthographe
-

Le DSM-IV définit les critères suivants pour le « trouble du calcul » : les aptitudes en mathématiques, évaluées par des tests sont nettement en dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.

La principale différence entre les deux classifications, comme cela a été décrit précédemment, concerne la comorbidité du trouble du calcul ou de l'arithmétique avec le trouble de la lecture. En cas de comorbidité, dans la CIM-10 le diagnostic de trouble de la lecture est prédominant, tandis que le DSM-IV permet de porter les deux diagnostics.

Les mécanismes cognitifs perturbés à l'origine de la dyscalculie sont variés et ont donné lieu à différentes classifications de sous-types de dyscalculie (Kosc, 1974 ; Rourke et Strang, 1978 ; Badian, 1983 ; Temple, 1992).

Malgré une avancée certaine des études lors des dernières années, les perturbations des mécanismes cognitifs à la base de la dyscalculie, comme pour la dyslexie, sont encore objets d'études et leur inclusion dans les définitions du trouble paraît prématurée (Neümarker, 2000 ; Shalev et Gross-Tsur, 2001 ; Ardila et Rosselli, 2002).

L'étiologie était déjà au centre de l'une des premières définitions proposées de la dyscalculie. Ainsi, Kosci (1974) évoque l'origine génétique ou congénitale des troubles ainsi que leur base neurobiologique. D'autres auteurs ont soutenu par la suite l'origine neurobiologique du trouble (Rourke et Conway, 1997), voire génétique (Alarcon et coll., 1997 ; Shalev et coll., 2001).

Enfin, dans la définition de la dyscalculie, comme dans celle des autres troubles des apprentissages, une pédagogie inadaptée vaut critère d'exclusion. Or, l'apprentissage des mathématiques serait plus lié au type de pédagogie, notamment à la façon dont les concepts sont présentés, que les autres apprentissages (Lyon, 1996). Selon un certain nombre de cliniciens et chercheurs, le facteur étiologique prédominant dans le retard en mathématiques serait un enseignement insuffisant (Russell et Ginsburg, 1984 ; Carnine, 1991).

Trouble spécifique de l'écriture

L'écriture étant un processus multidimensionnel, le trouble de l'écriture est celui qui pose le plus de problèmes de définition. Au centre d'un trouble de l'expression écrite se trouve une compétence très réduite dans l'organisation et la présentation de l'information à travers l'écriture, comparée à une compétence plus élevée à organiser et présenter l'information oralement (Kronenberg et Dunn, 2003).

Différentes composantes peuvent être à l'origine d'un trouble de l'écriture : difficulté d'écriture liée à l'aspect moteur ; difficulté à terminer la tâche ; orthographe insuffisante ; problèmes avec la composition écrite au niveau du choix des mots, de la construction des phrases, de la planification et de l'organisation du texte (Berninger et coll., 2001).

Le terme dysgraphie, qui renvoie plutôt à un trouble de la calligraphie touchant également la réalisation de formes géométriques, a été parfois utilisé pour représenter un trouble général de l'écriture. O'Hare et Brown (1989) proposent la définition de cinq groupes de dysgraphies : trois groupes de dysgraphie motrice (déficit visuo-spatial, de la coordination et de la planification motrice...) et deux autres groupes caractérisés par des troubles du langage (déficit dans l'orthographe, la ponctuation, la structure des phrases et déficit dans la conceptualisation).

Dans la littérature des troubles de l'écriture, il est plus souvent question de dysorthographe que de dysgraphie. La dysorthographe est un trouble spécifique de l'orthographe, qui accompagne la dyslexie. Le dysfonctionnement cognitif à la base des deux troubles est probablement commun. Dans la dysorthographe, l'orthographe des mots (*spelling*) est très déficitaire, conséquence directe du trouble phonologique des dyslexiques.

Il n'y a donc pas une seule définition du trouble de l'écriture et les classifications internationales l'illustrent bien : la définition de la CIM-10 correspond

à la dysorthographe, tandis que celle du DSM-IV, correspond à un trouble de l'expression écrite plus général.

La CIM-10 dans sa partie « Troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires » ne définit pas de trouble général de l'écriture mais une section est consacrée au « Trouble spécifique de l'orthographe » (tableau 6.V).

Tableau 6.V : Critères diagnostiques du Trouble spécifique de l'orthographe selon la CIM-10

-
- La note obtenue à un test standardisé d'orthographe se situe à au moins deux écarts-types en dessous du niveau escompté, compte tenu de l'âge chronologique et de l'intelligence générale de l'enfant
 - Les notes obtenues à des épreuves d'exactitude et de compréhension de la lecture, ainsi que de calcul se situent dans les limites de la normale
 - L'absence d'antécédents de difficultés significatives en lecture
-

Les critères diagnostiques du DSM-IV du « trouble de l'expression écrite » sont les suivants : les capacités d'expression écrite, évaluées par des tests standardisés (ou par l'estimation de la qualité fonctionnelle de ces capacités), sont nettement au-dessous du niveau escompté compte tenu de l'âge chronologique du sujet, de son niveau intellectuel (mesuré par des tests) et d'un enseignement approprié à son âge.

Le DSM-IV préconise de ne pas porter un diagnostic de « trouble de l'expression écrite » en présence de fautes d'orthographe uniquement. Il spécifie qu'on doit pouvoir observer « (...) un mélange de difficultés touchant les capacités du sujet à composer des textes écrits, objectivées par des erreurs de grammaire ou de ponctuation aux sein des phrases, par une mauvaise construction des paragraphes, de nombreuses fautes d'orthographe et une très mauvaise écriture ». Il spécifie également que si le mauvais graphisme est dû à un déficit de la coordination motrice, il faut envisager un diagnostic de « trouble de l'acquisition de la coordination ». En cas de comorbidité, comme pour le trouble du calcul, dans la CIM-10 le diagnostic de trouble de la lecture est prédominant par rapport à celui de l'orthographe. Dans le DSM-IV, il est permis de porter les deux diagnostics.

L'étiologie du trouble spécifique de l'écriture n'est probablement pas unique et est moins bien connue que pour la dyslexie et la dyscalculie (Gregg, 1991).

Limites des définitions et validité des critères

Malgré les progrès des dernières années, en particulier pour la dyslexie, la plupart des définitions des troubles des apprentissages ne sont pas très opérationnelles et les critères diagnostiques ne sont pas bien définis. Pour ces rai-

sons, les classifications internationales, CIM-10 et DSM-IV, sont souvent ignorées sur le terrain, aussi bien par les cliniciens que par les chercheurs qui utilisent leurs propres classifications. Certains points des classifications soulèvent des questions qui sont toujours objet de débat.

Le choix du type d'épreuves utilisées pour mettre en évidence les troubles d'apprentissage est fondamental (Shapiro, 2001 ; Alm, 2004). En l'absence de tests de référence, la définition du trouble peut reposer soit sur le symptôme, soit sur des caractéristiques plus intrinsèques à l'individu (cognitives voire biologiques). L'utilisation de mesures, sélectionnées sans un fondement théorique cohérent au départ, peut donner lieu à des classements dont la pertinence n'est pas démontrée (Hooper et Willis, 1989 ; Culbertson, 1998). C'est dans le domaine de la lecture que l'élaboration des instruments est la plus avancée (Olson et coll., 1994 et 1999). Cependant la base théorique de la dyslexie, sur laquelle doivent se fonder ces mesures, fait toujours l'objet de recherches.

Un des problèmes est constitué par le caractère arbitraire du seuil à partir duquel on définit le trouble (de 2 à 1 écart-type au-dessous de la moyenne). Si le choix se porte sur 1 écart-type, dans une distribution normale on trouve 16 % d'individus sous le seuil. Si on choisit 2 écarts-types (c'est le cas de la CIM-10), on n'en trouve plus que 2,5 %. Quelques fois, on utilise les mois/années de retard d'apprentissage (généralement de 1 à 2 ans). On peut donc penser que le trouble est une entité en partie arbitraire, puisque dépendante du seuil choisi a priori. Néanmoins, en pratique clinique, le suivi de chaque enfant avec l'utilisation de nombreux tests permet de poser réellement un diagnostic.

La « discordance » est l'un des concepts clé de certaines définitions. Il s'agit du décalage entre la note obtenue aux épreuves liées au trouble et le niveau intellectuel global de l'enfant. Ce niveau peut être mesuré à l'aide de tests ou subtests différents : le QI (quelquefois il s'agit du QIT, Quotient intellectuel total, d'autres fois du QIP, Quotient intellectuel performance ; Wechsler, 1991), les Matrices de Raven (1981), le K.ABC (Kaufman et coll., 1993) ou autres tests. L'utilisation de l'épreuve du QI pour mettre en évidence un écart éventuel est contestée (Vellutino et coll., 2000 ; O'Brien, 2001 ; D'Angiulli et Siegel, 2003) et le concept même de discordance est de plus en plus critiqué (Shaywitz et Shaywitz, 2003 ; Francis et coll., 2005). Comme décrit précédemment, il suppose que les individus discordants sont différents dans les caractéristiques cognitives des troubles, des individus moins ou non-discordants ayant une note basse aux épreuves mais avec un QI moins contrasté. Il y a actuellement de plus en plus d'arguments contre ce présupposé (Fletcher et coll., 1994). De plus, de nombreuses façons ont été proposées pour évaluer la discordance (Lindgren et coll., 1985 ; Yule et coll., 1974 ; Shaywitz et coll., 1992 ; Katusic et coll., 2001). La tendance actuelle prône l'inclusion d'enfants avec un profil moins contrasté dans le classement de ces troubles.

Les questions suscitées par le concept de discordance, ainsi que la comorbidité assez fréquente de plusieurs troubles des apprentissages entraînent pour

certain auteurs la mise en question du concept de spécificité. La classification du DSM-IV, postérieure à celle de la CIM-10 n'utilise pas toujours le terme « spécifique », sans changer pour autant la définition. L'abandon de ce terme dans certaines définitions serait la conséquence de la prise en compte de ce débat qui reste d'actualité (Rispens et Van Yperen, 1997 ; Mc Arthur et coll., 2000).

Les critères d'exclusion d'enfants avec des problèmes sensoriels peuvent être très strictement appliqués pour les uns (par exemple avec des examens de l'audition et de la vision) et de façon plus sommaire pour d'autres. La présence d'éventuels troubles mentaux, critère d'exclusion selon certaines définitions, pose également des problèmes d'évaluation.

D'autres aspects des différentes classifications laissent une marge importante à des interprétations variables. C'est le cas des notions de « problèmes interférant de manière significative avec... les activités de la vie courante » ainsi que du jugement selon lequel en cas de déficit sensoriel « les difficultés d'apprentissage doivent être supérieures à celles habituellement associées à ce déficit » (DSM-IV).

Reste le problème de l'influence du milieu socioculturel, difficile à évaluer pour un individu donné (sauf cas extrêmes). Un environnement défavorable est considéré comme critère d'exclusion dans la plupart des définitions des troubles spécifiques des apprentissages. Ainsi, les problèmes d'apprentissage d'un enfant issu de milieu défavorisé sont très souvent attribués d'emblée à son milieu. À l'inverse, les troubles spécifiques d'apprentissage d'un enfant issu d'un milieu plus favorisé ont une plus grande probabilité d'être reconnus comme tels.

En conclusion, ce qui précède montre bien qu'il y a un certain accord dans les définitions des troubles spécifiques des apprentissages même si les critères utilisés pour le diagnostic varient. Ce fait n'empêche pas qu'on dispose aujourd'hui de nombreux instruments de dépistage performants, surtout dans le domaine de la lecture et que de nombreux travaux scientifiques de validité certaine, sont basés sur des définitions dont l'interprétation peut varier. Il reste cependant nécessaire d'arriver à établir des classifications des troubles spécifiques des apprentissages fondées sur des critères communs, partagés à la fois par les chercheurs et les cliniciens. Parmi ces critères, une réflexion à part est nécessaire sur le rôle à attribuer au milieu socioculturel dans les définitions des troubles spécifiques des apprentissages.

BIBLIOGRAPHIE

- 168 ALARCON M, DEFRIES JC, PENNINGTON BF. A twin study of mathematics disability. *Journal of Learning Disabilities* 1997, 30 : 617-623

ALM J. Dyslexia: relevance of concepts validity of measurements, and cognitive functions. Comprehensive summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Social Sciences, 2004, 60p

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. Troubles des apprentissages (auparavant troubles des acquisitions scolaires). In : DSM-IV-TR. manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux. American Psychiatric Association, Masson, 2004 : 56-65

ARDILA A, ROSSELLI M. Acalculia and dyscalculia. *Neuropsychol Rev* 2002, **12** : 179-231

BADIAN NA. Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. In : Progress in learning disabilities. MIKLEBUST HR (ed). Stratton, NY, 1983

BERNINGER VW, STAGE SA, SMITH DR, HILDEBRAND D. Assessment for reading and writing intervention: A three-tier model for prevention and remediation. In : A volume in the educational psychology series, handbook of psychoeducational assessment: ability, achievement, and behavior in children. ANDREWS JJW, SAKLOFSKE DH, JANZEN H (eds). Academic Press, San Diego, 2001 : 195-223

CARNINE D. Reforming mathematics instruction: The role of curriculum materials. *Journal of Behavioral Education* 1991, **1** : 37-57

CULBERTSON JL. Learning disabilities. In : Handbook of child psychopathology. OLLENDICK T, HERSEN M (eds). Plenum Press, 1998 : 117-156

D'ANGIULLI A, SIEGEL LS. Cognitive functioning as measured by the WISC-R: do children with learning disabilities have distinctive patterns of performance? *Journal of Learning Disabilities* 2003, **36** : 48-58

FLETCHER JM, FOORMAN BR, BOUDOUSQUIE A, BARNES MA, SCHATTSCHNEIDER C, FRANCIS DJ. Assessment of reading and learning disabilities: A research-based intervention-oriented approach. *J School Psychol* 2002, **40** : 27-63

FLETCHER JM, COULTER WA, RESCHIV DJ, VAUGHN S. Alternative approaches to the definition and identification of Learning Disabilities: some questions and answers. *Annals of Dyslexia* 2004, **54** : 304-331

FLETCHER JM, SHAYWITZ SE, SHANKWEILER D, KATZ L, LIBERMAN IY, et coll. Cognitive profiles of reading disability: comparisons of discrepancy and low achievement definitions. *Journal of Educational Psychology* 1994, **86** : 6-23

FRANCIS DJ, FLETCHER JM, STUEBING, KK, LYON GR, SHAYWITZ BA, SHAYWITZ SE. Psychometric approaches to the identification of LD: IQ and achievement scores are not sufficient. *J Learn Disabil* 2005, **38** : 98-108

FRITH U. Paradoxes in the definition of dyslexia. *Dyslexia: An Interantional Journal of Research and Practice* 1999, **5** : 192-214

GALABURDA AM. Developmental dyslexia: A multilevel syndrome. *Dyslexia* 1999, **5** : 183-191

GILLBERG C, SODERSTROM H. Learning disability. *Lancet* 2003, **362** : 811-821

GREGG N. Disorders of written expression. In : Written language disorders: Theory into practice. BAIN A, BAILET L, MOATS L (eds). Austin Pro-ed, 1991

HOOPER SR, WILLIS WG. Learning disability subtyping: Neuropsychological foundations, conceptual models, and issues in clinical differentiation. Springer-Verlag, NY, 1989

KAMHI AG, CATTI HW. The language basis of reading: Implications for classification and treatment of children with reading disabilities. In : Speaking, reading and writing in children with language learning disabilities: new paradigms in research and practice. BULTER KG, SILLIMAN ER (eds). Lawrence Erlbaum Associates, 2002 : 45-72

KATUSIC SK, COLLIGAN RC, BARBARESI WJ, SCHAID DJ, JACOBSEN SJ. Incidence of reading disability in a population-based birth cohort, 1976-1982, Rochester, Minn. *Mayo Clin Proc* 2001, **76** : 1081-1092

KAUFMAN AS, KAUFMAN NL. Assessment Battery for Children (K.ABC). ECPA, 2003

KIRK SA. Behavioral diagnosis and remediation of learning disabilities. *Proceedings of the Conference on Exploration into the Problems of the Perceptually Handicapped Child* 1963, **1** : 1-23

KOSC L. Developmental dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities* 1974, **7** : 164-177

KRONENBERGER WG, DUNN DW. Learning disorders. *Neurol Clin* 2003, **21** : 941-952

LINDGREN SD, DE RENZI E, RICHMAN LC. Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development* 1985, **56** : 1404-1417

LYON GR. Learning disabilities. In : Child psychopathology. MASH E, BARKLEY-RUSSELL A (eds). Guilford Press, 1996 : 390-435

LYON GR, SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Defining dyslexia, comorbidity, teachers' knowledge of language and reading. A definition of dyslexia. *Ann Dyslexia* 2003, **53** : 1-14

LYYTINEN H, AHONEN T, EKLUND K, GUTTORM T, KULJU P, et coll. Early development of children at familial risk for dyslexia-follow-up from birth to school age. *Dyslexia* 2004, **10** : 146-178

MATTIS S, FRENCH JH, RAPIN I. Dyslexia in children and young adults: Three independent neuropsychological syndromes. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1975, **17** : 150-163

MCARTHUR GM, HOGBEN JH, EDWARDS VT, HEATH SM, MENGLER ED. On the "specifics" of specific reading disability and specific language impairment. *J Child Psychol Psychiatry* 2000, **41** : 869-874

MORGAN WP. A case of congenital word-blindness. *British Medical Journal* 1896, **2** : 1378

MORRIS RD, STUEBING KK, FLETCHER JM, SHAYWITZ SE, LYON GR, et coll. Subtypes of reading disability: variability around a phonological core. *J of Ed Psychology* 1998, **90** : 347-373

NEUMARKER KJ. Mathematics and the brain: uncharted territory? *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2000, **9** (suppl 2) : II/2-11/10

O'BRIEN G. Defining learning disability: what place does intelligence testing have now? *Dev Med Child Neurol* 2001, **43** : 570-573

O'HARE AE, BROWN JK. Childhood dysgraphia. Part 1. An illustrated clinical classification. *Child Care Health Dev* 1989, **15** : 79-104

OLSON RK, FORSBERG H, WISE B, RACK J. Measurement of word recognition, orthographic and phonological skills. In : Frames of reference for the assessment of learning disabilities: New views on measurement issues. LYON GR (ed). Paul H. Brookes, Baltimore/London/Toronto/Sydney, 1994 : 243-275

OLSON RK, DATTA H, GAYAN J, DEFRIES JC. A behavioral-genetic analysis of reading disabilities and component processes. In : Converging methods for understanding reading and dyslexia. KLEIN R, MCMULLEN P (eds). Cambridge, MA, MIT Press, 1999 : 133-152

OMS (ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ). Troubles spécifiques du développement des acquisitions scolaires. In : Classification Internationale des Maladies. Chapitre V (F) : Troubles mentaux et troubles du comportement. Critère de diagnostic pour la recherche. OMS, Masson, 1994 : 132-135

ORTON ST. Specific reading disability-strephosymbolia. *Journal of the American Medical Association* 1928, **90** : 1095-1099

PADGET SY. Lessons from research on dyslexia: Implications for a classification system for learning disabilities. *Learn Disability Quarterly* 1998, **21** : 167-178

PENNINGTON BF, GILGER JW. How is dyslexia transmitted? In : Developmental dyslexia. Neural, cognitive and genetic mechanisms. CHASE CH, ROSEN GD, SHERMAN GF (eds). York Press, 1996

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003, **126** : 841-365

RAVEN J. Progressives matrices standard. EAP, 1981

RISPENS J, VAN YPEREN TA. How specific are "specific developmental disorders"? The relevance of the concept of specific developmental disorders for the classification of childhood developmental disorders. *J Child Psychol Psychiatry* 1997, **38** : 351-363

ROURKE BP, CONWAY JA. Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning: perspectives from neurology and neuropsychology. *J Learn Disabil* 1997, **30** : 34-46

ROURKE BP, STRANG JD. Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance : Motor, psychomotor, and tactile perception-abilities. *Journal of Pediatric Psychology* 1978, **3** : 212-225

RUSSEL R, GINSBURG HP. Cognitive analysis of children's mathematics difficulties. *Cognition and Instruction* 1984, **1** : 217-247

RUTTER M. Dyslexia. In : Dyslexia : An appraisal of current knowledge. BENTON AL, PEARL D (eds). Oxford Univ. Press, 1978

RUTTER M. Child psychiatric disorders in ICD-10. *J Child Psychol Psychiatry* 1989, **30** : 499-513

SHALEV RS, AUERBACH J, MANOR O, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia: prevalence and prognosis. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 2000, **9** (Suppl 2) : II58-II64

SHALEV RS, GROSS TSUR V. Developmental dyscalculia. *Pediatr Neurol* 2001, **24** : 337-342

SHAPIRO BK. The prevalence of specific learning disability. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 1996, **2** : 10-13

SHAPIRO BK. Specific reading disability: a multiplanar view. *Ment Retard Dev Disabil Res Rev* 2001, **7** : 13-20

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (specific reading disability). *Pediatr Rev* 2003, **24** : 147-153

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (specific reading disability). *Biol Psychiatry* 2005, **57** : 1301-1309

SHAYWITZ SE, ESCOBAR MD, SHAYWITZ BA, FLETCHER JM, MAKUCH R. Evidence that dyslexia may represent the lower tail of a normal distribution of reading ability. *New England Journal of Medicine* 1992, **326** : 145-150

SIEGEL LS. An evaluation of the discrepancy definition of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities* 1992, **25** : 618-629

SNOWLING M. Reading and other learning difficulties. In : Child and adolescent psychiatry. RUTTER M, TAYLOR E (ed). Blackwell Science, 2002 : 682-696

SNOWLING MJ. From language to reading and dyslexia. *Dyslexia* 2001, **7** : 37-46

SPRENGER-CHAROLLES L, COLE P, LACERT P, SERNICLAES W. On subtypes of developmental dyslexia: Evidence from processing time and accuracy scores. Early literacy and early numeracy. *Can J Exp Psychol* 2000, **54** : 87-103

STANOVICH KE. Matthew effects in reading: Some consequences of individual differences in the acquisition of literacy. *Reading Research Quarterly* 1986, **21** : 360-407

STANOVICH KE, SIEGEL LS. Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology* 1994, **86** : 24-53

STEIN J. The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia* 2001, **7** : 12-36

TEMPLE CM. Developmental dyscalculia. In : Handbook of Neuropsychology. SEGALOWITZ SJ, RAPIN I, BOLLER F, GRAFMAN J (eds). Elsevier, 1992 : 211-222

TEMPLE CM. Developmental Cognitive Neuropsychology. Psychology Press, 1997

VALDOIS S, BOSSE ML, TAINTURIER MJ. The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia* 2004, **10** : 1-25

VAUGHN S, FUCHS LS. Redefining learning disabilities as inadequate response to instruction: The promise and potential problems. *Learn Disabilities Res Pract* 2003, **18** : 137-146

VELLUTINO FR, SCANLON DM, LYON GR. Differentiating between difficult-to-remediate and readily remediated poor readers : more evidence against the IQ-achievement discrepancy definition of reading disability. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 223-238

VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *J Child Psychol Psychiatry* 2004, **45** : 2-40

WECHSLER D. Echelle d'Intelligence de Wechsler pour enfants et adolescents. Quatrième édition. ECPA, 2005

WORLD FEDERATION OF NEUROLOGY. Report of research group on developmental dyslexia and world illiteracy. *Bulletin of the Orton Society* 1968, **18** : 21-22

YULE W, RUTTER M, BERGER M, THOMPSON J. Over- and under-achievement in reading: distribution in the general population. *Br J Educ Psychol* 1974, **44** : 1-12

7

Données de prévalence

Le diagnostic opérationnel « d'un cas » exige plusieurs examens avec de nombreux tests répétés au cours de plusieurs mois voire plusieurs années. Une telle approche ne peut pas être reproduite dans le cadre d'études épidémiologiques en population générale. Par ailleurs, dans les études épidémiologiques les critères peuvent varier d'un auteur à l'autre et les seuils également. Il n'est donc pas surprenant que les chiffres de prévalence publiés soient très variables. D'ailleurs, les définitions qui choisissent des seuils à partir de la population étudiée imposent des chiffres de prévalence. Cependant, la mise en évidence de facteurs associés aux troubles est moins dépendante de leur définition. Ainsi, par exemple, les études qui utilisent la même méthodologie pour comparer des populations ayant des langues différentes, permettent de mettre en évidence les caractéristiques propres à chaque langue.

Prévalence de la dyslexie

Les troubles spécifiques des apprentissages, en particulier la dyslexie, ont été explorés principalement dans les pays anglophones. Pour la langue anglaise, compte tenu des différentes définitions possibles, la prévalence de la dyslexie varie, selon les études, de 2,3 % à 12 % ou plus. Ainsi aux États-Unis, Badian (1999) trouve une prévalence de la dyslexie de 2,7 % et Shaywitz (1990) de 7,5 %. Plus récemment, chez une population conséquente d'environ 6 000 enfants scolarisés aux États-Unis et en utilisant 4 définitions différentes de la dyslexie, Katusic et coll. (2001) trouvent des taux d'incidence variant de 5,3 % à 11,8 % selon les critères utilisés.

En Grande-Bretagne, Rodgers (1983) met en évidence une prévalence de la dyslexie chez des enfants de 10 ans de 2,3 %, tandis que Yule et coll. (1974) ont trouvé une prévalence de 3,6 % sur l'île de Wight et de 9,3 % à Londres.

En Nouvelle-Zélande (Fergusson et coll., 1989 et 1996 ; données ré-analysées par Rutter et coll., 2004), la prévalence était de 14 % et en Australie de 5,5 % (Jorm et coll., 1986).

Prévalence de la dyslexie selon les langues

Les langues ont des systèmes d'écriture différents et même si la plupart d'entre elles utilisent un script alphabétique, le degré de régularité phonique (correspondance graphème-phonème) varie selon les langues. À l'heure actuelle, les variations dans la forme de la dyslexie ainsi que dans sa prévalence sont considérées comme étant dépendantes de facteurs tels que la transparence ou l'opacité de l'orthographe de chaque langue (Paulesu et coll., 2001 ; Miles, 2000 et 2004).

L'étude de Lindgren et coll. (1985) a utilisé trois définitions différentes de la dyslexie et a montré que la prévalence variait, comme attendu, en fonction de la définition et des critères de discordances plus ou moins stricts, à la fois aux États-Unis et en Italie. Cette étude montre que, selon les définitions, les taux varient de 3,6 % à 8,5 % en Italie et de 4,5 % à 12 % aux États-Unis. Ainsi, les taux plus élevés aux États-Unis par rapport à ceux de l'Italie sont liés à l'orthographe : l'orthographe de la langue italienne est transparente à l'opposé de celle de la langue anglaise.

Stevenson et coll. (1982) ont également appliqué plusieurs mesures de la dyslexie à des populations d'enfants américains, taïwanais et japonais. Selon les critères, la prévalence varie de 3 % à 7,9 % aux États-Unis, de 2 % à 9,2 % à Taïwan et de 5,4 % à 8,3 % au Japon. Cette dernière étude est particulièrement intéressante parce qu'elle concerne des langues dont les systèmes d'écriture logographiques diffèrent de ceux des langues occidentales. Depuis les travaux anciens de Makita (1968), qui sur la base d'un questionnaire posé aux enseignants avaient conclu que la dyslexie était rare au Japon (moins de 1 %), on ne disposait pas d'études pour ces pays. Plus récemment, Yamada et coll. (1994) ont retrouvé 6 % d'enfants dyslexiques dans un groupe d'une centaine d'enfants de 10 ans de Hiroshima au Japon.

La prévalence de la dyslexie dans d'autres pays et langues varie de 3 % en Égypte (Farrag, 1988) à 8,2 % en Inde (Bhakta, 2002).

Il n'y a pas de données épidémiologiques pour toutes les langues du monde. En Afrique, une étude par questionnaire soumise à 500 parents et enseignants de Ilorin (Nigéria), montre que 70 % d'entre eux signalent des problèmes de lecture chez leurs enfants ou élèves (Omotosho, 2001). Ces taux ne sont évidemment pas comparables à ceux des études précédentes.

En France, en l'absence de données épidémiologiques fondées sur des cohortes d'enfants de l'envergure des cohortes anglophones (Rodgers, 1983 ; Katusic et coll., 2001), trois études, sur la base de critères et d'épreuves différents indiquent une prévalence comprise entre 6 % et 8 %. Ainsi, dans une étude longitudinale française, commencée en grande section d'école maternelle, 33 enfants sur 500 ont pu être classés comme étant dyslexiques à 10 ans (Sprenger-Charolles et coll., 2000), soit 6,6 % de la population.

Dans une autre étude, 13 % des 500 enfants, suivis depuis la grande section de l'école maternelle, se sont révélés non-lecteurs en CE1 et parmi eux, 7,5 % étaient probablement dyslexiques (Zorman et coll., 2004). Ce taux rappelle celui d'une autre cohorte de près de 700 enfants, suivis de la petite section de l'école maternelle jusqu'à 8 ans (cohorte Chevrie-Müller, 1987-1994). En CE1, 8,5 % des enfants présentaient un retard conséquent dans le langage écrit (Watier et coll., 2006).

En France, en l'absence de données épidémiologiques, les données disponibles respectant les critères de caractérisation de la dyslexie suggèrent que la proportion d'enfants présentant une dyslexie avérée ne diffère pas de celle des grandes études anglophones.

Bien qu'on ne puisse pas assimiler tous les troubles de la lecture même graves à la dyslexie, les données issues de deux études épidémiologiques récentes réalisées chez l'adulte en France aboutissent à des données compatibles avec les estimations ci-dessus : l'une concerne des jeunes appelés du contingent (de la Haye et coll., 2005) et l'autre (Murat, 2005) a été conduite auprès de 10 000 adultes de 18 à 65 ans (Insee). Ces deux études constatent que 7 % des 18-29 ans éprouvent des difficultés graves ou importantes en lecture.

Les tableaux 7.I, 7.II et 7.III donnent les prévalences des troubles de la lecture dans les différentes langues. Les prévalences des troubles de la lecture indiquées, varient en fonction des critères retenus, et sont plus ou moins proches de la dyslexie.

Tableau 7.1 : Prévalence des troubles de la lecture pour la langue anglaise

Références et type d'étude	Pays	Efficatif	Âge (années)	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	Prévalence des troubles de la lecture
Rutter et coll., 1970	Grande-Bretagne	Londres : 1 634	10	Plusieurs critères : < 2 écarts-types selon prédiction test lecture/QI	Parents émigrés	Selon les critères : Ile de Wight (10 ans) de 3,1 % à 3,9 %
Yule et coll., 1974		Ile de Wight : 1 134	10			Londres (10 ans) de 6,32 % à 9,9 %
Berger et coll., 1975		Ile de Wight : 2 113	14	(NFR Test SRA of reading)		Ile de Wight (14 ans) de 4,3 % à 4,5 %
Rutter et coll., 1975						de 6,32 % à 9,9 %
Étude longitudinale (9-14 ans)						de 4,3 % à 4,5 %
Étude transversale (10 ans)						de 6,3 % à 7,9 %
Stevenson et coll., 1982	États-Unis	453	10-11	Plusieurs critères de relation tests lecture/autres tests cognitifs < 1 écart-type	Test d'intelligence < 70	
Étude transversale						
Rodgers, 1983	Grande-Bretagne	8 836	0-10	< 2 écarts-types, régression sur British Ability scale et score lecture	Score au British Ability scale < 70	2,3 %
Étude longitudinale						
Lindgren et coll., 1985	États-Unis	1 278	10-11	3 critères différents de relation Tests lecture/QI	Déficits sensoriels Redoublement QI < 85	Selon les critères, la prévalence varie de 4,5 % à 12 %
Étude transversale						8,6 %
Jorm et coll., 1986	Australie	453	5,4-7,11	< 1,5 écart-type au score attendu, test de lecture (Neale)		
Étude transversale						
Shaywitz et coll., 1990	États-Unis	445	5-9	Discordance QIT et tests lecture (W-J)	Déficits sensoriels Problèmes psychiatriques Langue maternelle autre que l'anglais	7,5 %
Étude longitudinale						
Badian, 1999	États-Unis	1 008	4-13	Discordance compréhension orale/écrite < 25 ^e percentile lecture (SAT)	Déficits sensoriels et bilinguisme	2,7 % (discordants) et 9,1 % de lecteurs faibles (non discordants)
Étude longitudinale						4,4 %
Flannery et coll., 2000	États-Unis	32 223	0-7	Discordance QI et tests lecture (WRAT)	Déficits sensoriels Problèmes psychiatriques QI < 80 Langue maternelle autre que l'anglais	Selon critères, l'incidence varie de 5,3 % à 11,8 %
Étude longitudinale						
Katusic et coll., 2001	États-Unis	5 718	5-9	3 différents critères de discordance et 1 de performances faibles (W-J)	QI < 50	
Étude longitudinale						

Tableau 7.II : Prévalence des troubles de la lecture pour différentes langues

Références et type d'étude	Langue Pays	Efectif	Âge (années)	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	Prévalence des troubles de la lecture
Stevenson et coll., 1982 <i>Étude transversale</i>	Japonais Japon	775	10-11	Plusieurs critères de relation tests lecture/ autres tests cognitifs < 1 écart-type	Test d'intelligence < 70	5,4 % à 8,3 %
Stevenson et coll., 1982 <i>Étude transversale</i>	Chinois Taïwan	956	10-11	Plusieurs critères de relation tests lecture/ autres tests cognitifs < 1 écart-type	Test d'intelligence < 70	7,5 % à 7,9 %
Lindgren et coll., 1985 <i>Étude transversale</i>	Italien Italie	448	10-11	3 critères différents de relation Tests lecture/QI	Déficits sensoriels Redoublement QI < 85	Selon les critères : de 3,6 % à 8,5 %
Farrag et coll., 1988 <i>Étude longitudinale</i>	Arabe Égypte	2 878	7-8 10-11	Tests de lecture < 1 écart-type (ADST)	Déficits sensoriels QIT < 90	3 % à 7-8 ans 1 % à 10-11 ans
Esser, 1994 <i>Étude longitudinale</i>	Allemand Allemagne	399	8-18	Tests	Exclus les QI bas	9,3 %
Yamada et coll., 1994 <i>Étude transversale</i>	Japonais (kana et kanji) Japon	125	10	<i>Cut off</i> d'après distribution des tests de lecture (Bangor Dyslexia Test)	Déficits sensoriels QI bas	6 %
Bhakta et coll., 2002 <i>Étude transversale</i>	Malayalam Inde	1 192	8-12	Test de lecture (Malayalam G. Reading Test) < 5 %		8,2 %

Tableau 7.III : Prévalence des troubles de la lecture pour la langue française

Références et type d'étude	Efficatif	Âge (années)	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	Prévalence des troubles de la lecture
Sprenger-Charolles et coll., 2000	373 (8 ans) 88 (10 ans)	8 et 10	8 ans : < 1 écart-type à une épreuve de langage écrit (Bat-Elém) 10 ans : < 1 écart-type à une batterie de langage écrit (ANALEC)	À 5 ans : < 25 ^e percentile épreuve d'intelligence non verbale (matrices de Raven) et à une épreuve de vocabulaire (TVAP) Langue maternelle autre que français Déficit auditif ou visuel Non-autorisation des parents	8 ans : 14 % 10 ans : 6 %
Plaza et coll., 2002 <i>Étude longitudinale</i>	T1 = 267 T2 = 199	7	< 2 écarts-types (Bat-Elém -A et LMC-R)	Non-autorisation des parents	12 % avec difficultés sévères de lecture en fin de CP
Zorman et coll., 2004 <i>Étude longitudinale</i>	525 (5,6 ans) 495 (8 ans)	8	≤ 2 écarts-type dans la lecture de mots et de pseudo-mots + déficit de conscience phonologique (BSEDs et ODEDYS)	Tirage au sort < 2 années d'apprentissages de la lecture	7,5 %
Delahaie et coll., 2007 <i>Étude longitudinale</i>	191	8	< 1 et 2 écarts-types à la lecture de mots et pseudo-mots (EVALEC)	Non-autorisation des parents Déficit auditif	< 1 écart-type : 13 % < 2 écarts-types : 6 %
Wattier et coll., 2006 <i>Étude longitudinale</i>	2059 (3,6 ans) 695 (8 ans)	8	Scores < 15 ^e percentile à au moins 4/5 épreuves standardisées de langage écrit (Bat-Elém)	Tirage au sort	8,5 %

Niveau de lecture des jeunes convoqués à la journée d'appel de préparation à la défense

Entre 17 et 18 ans, tous les jeunes Français et Françaises sont convoqués à une journée d'appel de préparation à la défense (JAPD) au cours de laquelle ils passent une épreuve d'évaluation de leurs habiletés de lecture. Cette épreuve vise à repérer chez les faibles lecteurs, trois ensembles majeurs de difficultés :

- les difficultés liées à une mauvaise maîtrise des mécanismes d'identifications des mots écrits ou à leur défaut d'automatisation. Ces difficultés sont repérées par une épreuve de jugement d'homophonie dans laquelle il faut décider si des paires alliant un mot et un pseudo-mot se prononcent de la même façon (par exemple, main-min, regard-rejar) ; cette épreuve en temps limité permet de contrôler l'exactitude et la vitesse des traitements. En cas de mauvaise maîtrise ou de mauvaise automatisation des mécanismes responsables de l'identification des mots, les lecteurs laborieux doivent consacrer leur attention à la reconnaissance de mots plutôt que de pouvoir la consacrer à la compréhension du texte. Chez les bons lecteurs, l'identification des mots se fait sans y réfléchir ;
- les difficultés liées à la pauvreté du lexique. Elles sont repérées par une épreuve de décision lexicale dans laquelle il faut décider si chaque item est ou n'est pas un mot de la langue ; les mots sont de fréquences variables ce qui permet de mesurer un niveau de vocabulaire. Bien entendu, on ne peut comprendre un texte si on ne connaît pas les mots qui le composent ;
- les difficultés liées à une mauvaise compréhension. Elles sont repérées par des réponses à des questions portant d'une part sur un document écrit – un programme de cinéma – d'autre part sur un texte extrait d'un roman. Nombre de jeunes sont peu efficaces dans le traitement de l'écrit, soit par défaut d'expertise, soit par difficultés de maintien de l'attention... bien que ni leur capacité à identifier des mots, ni leur compétence langagière ne soit en cause.

En 2004, près de 800 000 jeunes hommes et femmes de 17 ans ou plus, de nationalité française¹⁷, ont participé à cette journée d'appel de préparation à la défense¹⁸. En limitant l'analyse aux 733 000 jeunes de France métropolitaine¹⁹, il apparaît que 79,5 % des jeunes français sont des lecteurs habiles. En revanche, 11 % rencontrent des difficultés de compréhension notables. Pour une partie de ceux-ci (4,4 % de l'ensemble de la population),

17. Seuls les jeunes de nationalité française sont concernés par la JAPD, la proportion de jeunes de langue maternelle autre que le français est donc ici nettement moindre que dans les établissements scolaires qui accueillent également des élèves d'autres nationalités.

18. Pour une présentation détaillée des résultats, voir De La Haye et coll., 2005.

19. Les très mauvais résultats en France d'outre-mer sont en partie liés à des situations de diglossie auxquelles le test n'est pas adapté, ces résultats ne sont donc pas pris en compte ici.

ces difficultés sont très importantes ; ces jeunes cumulent une compréhension quasi-nulle et un lexique très pauvre, la moitié d'entre eux (2,4 %) n'ayant de surcroît pas mis en place les mécanismes de base de traitement des mots écrits. Le reste des jeunes (9,5 % de l'ensemble) constitue un groupe de lecteurs médiocres et, si leur pratique de la lecture n'est pas suffisante, une partie d'entre eux sont susceptibles d'oublier leurs acquis lorsqu'ils auront quitté le système scolaire.

Pour chacune des trois dimensions testées, un seuil de maîtrise a été fixé : en deçà d'un certain niveau, on peut considérer que les jeunes éprouvent des difficultés sur la compétence visée (-), au-delà, la compétence est jugée maîtrisée (+). À partir de la combinaison des résultats, huit profils de lecteurs ont été déterminés (tableau 7.IV).

Tableau 7.IV : Profils de lecteurs

Profil	Compréhension	Identification des mots	Connaissances lexicales	Garçons (%)	Filles (%)	Ensemble (%)	Niveau de lecture
5d	+	+	+	59,3	68,8	63,9	Lecteurs efficaces
5c	+	-	+	17,4	13,7	15,6	79,5 %
5b	+	+	-	6,1	7,3	6,7	Lecteurs médiocres
5a	+	-	-	3,1	2,4	2,8	9,5 %
4	-	+	+	4,6	2,9	3,8	Très faibles capacités de lecture
3	-	-	+	3,9	1,7	2,8	6,6 %
2	-	+	-	2,4	1,6	2,0	Difficultés sévères
1	-	-	-	3,3	1,6	2,4	4,4 %

La catégorisation en profils permet d'apprécier plus finement les compétences des jeunes, que ce soit ceux réputés lecteurs efficaces (profils 5c et 5d), ceux en grande difficulté (profils 1 à 4) ou ceux en situation « intermédiaire » (profils 5a et 5b) :

- profils 5 : ils regroupent les lecteurs habiles dont les bases sont solides (5d), et ceux qui, en dépit de difficultés d'identification de mots (5c), d'un niveau lexical faible (5b) ou des deux (5a), compensent leurs lacunes et réussissent au moins en partie les épreuves de lectures complexes. Certains de ces lecteurs demeurent toutefois de médiocres utilisateurs de l'écrit ;

- profil 4 : ces jeunes sont capables de lecture à voix haute. Ils ont un niveau de lexique correct mais comprennent mal ce qu'ils lisent ;

- profil 3 : malgré un niveau de lexique correct, la lecture reste laborieuse par manque d'automatisme dans le traitement des mots ;
- profil 2 : pour ce profil, le déficit de compréhension est sans doute lié à un niveau lexical très faible ;
- profil 1 : ces jeunes ne disposent pas de mécanismes efficaces de traitement des mots écrits et manifestent une compréhension très déficiente.

Les jeunes les plus en difficulté (profils 1 et 2), qui représentent 4,4 % de l'ensemble, cumulent une compréhension très faible de l'écrit avec une très faible capacité à reconnaître des mots écrits comme étant des mots de la langue. De surcroît, les jeunes du profil 1 (2,4 %) n'ont pas installé les mécanismes de base du décodage. Parmi eux, certains sont sans doute non-lecteurs.

En revanche, les jeunes des profils 3 et 4 (6,6 %) identifient une proportion non négligeable des mots écrits mais ne parviennent pas à traiter les écrits complexes. Pour les jeunes du profil 3 (2,8 %), des mécanismes de lecture déficitaires peuvent être invoqués. Pour le reste, d'autres facteurs viennent empêcher une lecture efficace (manque d'attention, stratégie défailante, inhibition, difficulté de mémorisation...). Sans qu'il soit possible de le vérifier dans les données disponibles, il est vraisemblable que pour nombre des jeunes des profils 1 et 3, la non-installation (ou la non-automatisation) des mécanismes de base de la lecture soit liée à un trouble spécifique de l'apprentissage.

Quatre niveaux de scolarité ont été définis : un niveau 1 correspondant à des études n'ayant pas dépassé le collège ; un niveau 2 correspondant à des études professionnelles courtes (niveau CAP ou BEP) ; un niveau 3 correspondant à des études professionnelles et techniques supérieures au BEP et allant jusqu'au baccalauréat professionnel ou au brevet de technicien ; un niveau 4 correspondant aux études générales à partir du lycée.

Comme on pouvait s'y attendre, les jeunes en grande difficulté de lecture sont de moins en moins nombreux à mesure que le niveau d'étude s'élève (figure 7.1). Leur présence dans les niveaux les plus élevés, qui est marginale (3 %), doit conduire à s'interroger sur le degré de sérieux de certains jeunes qui peuvent ne pas percevoir les enjeux de cette évaluation et la prendre à la légère. En revanche, la proportion de jeunes en difficulté est loin d'être négligeable chez ceux qui sont encore en enseignement professionnel court, en collège ou en SEGPA ou ont quitté la formation initiale à ces niveaux. Parmi les jeunes qui n'ont pas atteint la fin du collège, 27 % sont en difficulté de lecture. Pour ceux qui suivent ou ont suivi un enseignement professionnel court, ce taux est de 21 %.

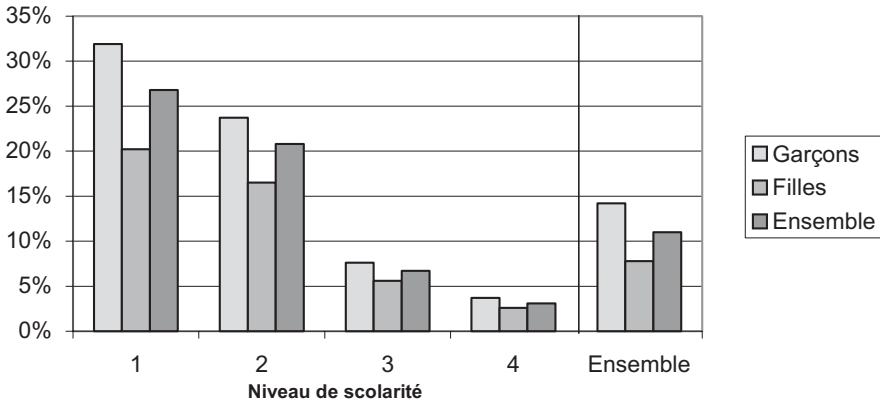


Figure 7.1 : Pourcentages de jeunes en difficulté de lecture (profils 1 à 4) selon le niveau de scolarité (4 niveaux) et le sexe

Près de huit jeunes sur dix en difficulté de lecture n’ont pas dépassé le collège ou suivent (ou ont suivi) un enseignement professionnel court, contre moins de quatre sur dix pour l’ensemble des participants à la JAPD. Enfin, le pourcentage de jeunes en grande difficulté est très différent selon le sexe : 14,2 % des garçons contre 7,8 % des filles, cette différence s’observe quel que soit le niveau d’étude atteint.

Facteurs de risque et facteurs associés

L’influence des facteurs pré- et périnataux (faible poids à la naissance, jeune âge maternel, faible niveau d’études maternel, mono-parentalité...) a été montrée à plusieurs reprises pour les difficultés scolaires (Larroque et coll., 2001 ; Finnström et coll., 2003) et pour les troubles de la lecture en particulier (Silva et coll., 1983 ; Stanton-Chapman et coll., 2002). Cependant, d’autres études n’ont pas mis en évidence le rôle de ces facteurs. Ainsi, Esser et Schmidt (1993) ne trouvent pas de relation entre un retard dans l’apprentissage de la lecture et des complications pré- ou périnatales. Une différence de sexe contradictoire, soit à l’avantage des filles, soit à l’avantage des garçons, dans l’influence de ces facteurs sur les troubles des apprentissages a parfois été évoquée (Johnson et Breslau, 2000 ; St Sauver et coll., 2001).

L’influence des troubles du langage oral sur le langage écrit est bien établie (Vellutino et coll, 1991 ; Aram et coll, 1992 ; Fletcher et coll, 1994 ; Wagner et coll, 1997 ; Lewis et coll., 2000 ; Bishop et Snowling, 2004). Ainsi, dans une cohorte d’enfants suivis depuis l’école maternelle, Catts et coll. (2002) ont mis en évidence des problèmes de lecture en

4^e année d'école primaire chez 63,3 % des enfants identifiés comme ayant des difficultés de langage oral à 5,6 ans contre 8,5 % chez les autres enfants (sans problèmes de langage).

Le milieu défavorisé est considéré comme un critère d'exclusion préconisé par les classifications de la CIM-10 et du DSM-IV. Si peu d'études ont approfondi l'influence du milieu socioculturel sur ces troubles (Margai et Henry, 2003), celle de Molfese et coll. (2003) a mis en évidence des liens entre des mesures de l'environnement socioéconomique à 3 ans et les performances en lecture à 10 ans. En France, les données de la cohorte Chevrie-Müller (1987-1994) montrent clairement un effet négatif du niveau socio-culturel défavorisé sur les performances au langage écrit (*odds ratio*=5, Watier et coll., 2006). De même, Plaza et coll. (2002) trouvent que la catégorie socioéconomique est une variable prégnante sur les performances en langage écrit d'enfants en fin de CP de la banlieue parisienne. Parmi les enfants du groupe défavorisé, 38 % ont des difficultés moyennes et sévères en lecture contre seulement 7 % des enfants du groupe favorisé. En Inde, Bhakta et coll. (2002) ont mis en évidence une relation forte entre les difficultés de lecture, la pauvreté et l'éducation des parents. Il reste à s'interroger plus précisément sur les éventuelles interactions entre le milieu socioculturel et les facteurs biologiques de la dyslexie et à propos de leurs effets sur les manifestations des troubles spécifiques des apprentissages.

Les études portant sur les populations anglaises de l'Île de Wight et de Londres (Yule et coll., 1974) sont représentatives des différences géographiques/sociales. En effet, avec la même définition de la dyslexie, la prévalence retrouvée était de 3,6 % sur l'Île de Wight et de 9,3 % à Londres, où les sujets étaient en moyenne de milieux moins favorisés. Cette différence persistait après exclusion des sujets bilingues, présents seulement dans la population londonienne (Berger et coll., 1975). Une autre étude, fondée sur le recours aux soins de la population anglaise d'origine asiatique (Pakistan), montre que la prévalence des troubles des apprentissages est à peu près trois fois plus importante dans cette population que dans celle de la communauté non-asiatique (Emerson et coll., 1997). Cependant, les travaux sur l'influence du bilinguisme dans l'apprentissage de la lecture ont donné lieu, dans leur ensemble, à des résultats contradictoires (Deponio et coll., 2000).

Le sexe est l'un des facteurs de variation souvent associé à la dyslexie. Un article de Shaywitz et coll. (1990) a déclenché une polémique sur la différence entre garçons et filles dans la prévalence de la dyslexie. Les auteurs soutenaient qu'il y avait autant de garçons que de filles dyslexiques, et que la prépondérance de garçons retrouvée dans plusieurs études n'était que la conséquence d'un biais lié aux problèmes de comportement, plus fréquents chez les garçons. Pour Shaywitz et coll. (1990), les enseignants signaleraient plus souvent des problèmes d'apprentissage chez les garçons à cause des problèmes de comportement associés. À l'heure actuelle, sur la base de nouvelles données d'études épidémiologiques (Fergusson et coll., 1996 ; Flannery

et coll., 2000 ; Katusic et coll., 2001 ; St Sauver et coll., 2001 ; Liederman et coll., 2005) et d'une ré-analyse des données de quatre études épidémiologiques indépendantes (Rutter et coll., 2004), il apparaît que les problèmes de lecture sont de 1,5 à 3 fois plus fréquents chez les garçons que chez les filles. En France, cette différence entre garçons et filles est illustrée indirectement par les données des enfants de la cohorte Gazel (n=2 582 enfants âgés de 4 à 16 ans ; Fombonne et Vermeersch, 1997) : plus de garçons que de filles consultent des spécialistes pour des problèmes de lecture et d'écriture. De plus, le Programme international pour le suivi des acquis des élèves (Pisa ; OCDE, 2003) montre, chez des jeunes de 15 ans de 32 pays, que les filles ont des capacités de lecture supérieures à celles des garçons, l'ampleur de cette différence variant d'un pays à l'autre. Si la différence de sexe dans l'apprentissage de la lecture ne fait plus de doute, les causes à la base de cette différence restent à explorer (Nass, 1993). Leur connaissance devrait permettre d'élucider les processus sous-jacents aux problèmes de lecture pour les deux sexes (Rutter et coll., 2004).

D'autres facteurs de risque ont été évoqués pour les troubles spécifiques des apprentissages tels qu'une déficience en acides gras poly-insaturés (Richardson et coll., 2000 a et b) ou la saison de naissance (Livingston et coll., 1993). Cependant l'effet de ces facteurs n'est pas prouvé à l'heure actuelle.

Évolution avec l'âge

Les études longitudinales (Scarborough, 1984 et 1990 ; Francis et coll., 1996 ; Wright et coll., 1996 ; Shaywitz et coll., 1999 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000) indiquent que la dyslexie persiste avec l'âge et représente donc un déficit persistant et non transitoire du développement (Shaywitz et coll., 1995 ; Shaywitz et coll., 1999) même si le suivi longitudinal des enfants dyslexiques pose le problème de la stabilité des classifications dans le temps (Share et Silva, 1986). En effet, avec des classifications établies à partir d'un seuil, de petites variations dans les scores, sur un continuum, peuvent faire passer certains enfants d'un côté ou de l'autre des limites pré-définies (Jorm et coll., 1986).

En conclusion, malgré un certain accord sur la définition des troubles spécifiques des apprentissages, compte tenu de l'arbitraire qui est à la base du choix des seuils, il est impossible de fournir des taux « objectifs » de prévalence d'un trouble spécifique de la lecture clairement dissocié des difficultés scolaires d'origines diverses. Cependant, d'après les études méthodologiquement les plus rigoureuses, nous pouvons estimer que la dyslexie concerne au minimum entre 3 % et 5 % d'enfants. Au niveau de l'école, cela se traduit

par au moins un enfant par classe. Ainsi, le nombre d'enfants concernés est tel que la dyslexie constitue un vrai problème de santé publique.

BIBLIOGRAPHIE

BADIAN NA. Reading disability defined as a discrepancy between listening and reading comprehension: A longitudinal study of stability, gender differences, and prevalence. *J Learn Disabil* 1999, **32** : 138-148

BERGER M, YULE W, RUTTER M. Attainment and adjustment in two geographical areas II. The prevalence of specific reading retardation. *British Journal of Psychiatry* 1975, **126** : 510-519

BHAKTA P, HACKETT RJ, HACKETT L. The prevalence and associations of reading difficulties in a population of South Indian children. *J Res Reading* 2002, **25** : 191-202

BISHOP DV, SNOWLING MJ. Developmental dyslexia and specific language impairment: same or different? *Psychol Bull* 2004, **130** : 858-886

DELAHAIE M, SPRENGER-CHAROLLES L, SERNICLAES W. Développement des procédures d'identification des mots écrits entre 6 et 8 ans chez des enfants « tout venant » en fonction du niveau de lecture. *Année Psychologique* (accepté pour publication)

DE LA HAYE F, GOMBERT JE, RIVIÈRE JP, ROCHER T. Les évaluations en lecture dans le cadre de la journée d'appel de préparation à la défense, année 2004. Note évaluation. Ministère de L'Éducation nationale, DEP, septembre 2005

DEPONIO P, LANDON J, MULLIN K, REID G. An audit of the processes involved in identifying and assessing bilingual learners suspected of being dyslexic: a Scottish study. *Dyslexia* 2000, **6** : 29-41

EMERSON E, AZMI S, HATTON C, CAINE A, PARROTT R, WOLSTENHOLME J. Is there an increased prevalence of severe learning disabilities among British Asians? *Ethn Health* 1997, **2** : 317-321

ESSER G, SCHMIDT MH. Children with specific reading retardation-early determinants and long-term outcome. *Acta Paedopsychiatr* 1994, **56** : 229-237

FARRAG AF, EL-BEHARY AA, KANDIL MR. Prevalence of specific reading disability in Egypt. *Lancet* 1988, **2** : 837-839

FERGUSON DM, HORWOOD LJ, SHANNON FT, LAWTON JM. The Christchurch Child Development Study: a review of epidemiological findings. *Paediatr Perinat Epidemiol* 1989, **3** : 302-325

FERGUSON DM, HORWOOD LJ, CASPI A, MOFFITT TE, SILVA PA. The (artefactual) remission of reading difficulties. *Dev Psychol* 1996, **32** : 132-140

FINNSTROM O, GADDLIN PO, LEIJON I, SAMUELSSON S, WADSBY M. Very-low-birth-weight children at school age: academic achievement, behavior and self-esteem and relation to risk factors. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2003, **14** : 75-84

FLANNERY KA, LIEDERMAN J, DALY L, SCHULTZ J. Male prevalence for reading disability is found in a large sample of black and white children free from ascertainment bias. *J Int Neuropsychol Soc* 2000, **6** : 433-442

FOMBONNE E, VERMEERSCH S. Children from the GAZEL cohort: II--motive for contact with the medical-educational system by age and sex. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1997, **45** : 107-115

FRANCIS DJ, SHAYWITZ SE, STUEBING KK, SHAYWITZ BA, FLETCHER JM. Developmental lag versus deficits models of reading disabilities: a longitudinal, individual growth curves analysis. *J Ed Psychology* 1996, **88** : 3-17

JOHNSON EO, BRESLAU N. Increased risk of learning disabilities in low birth weight boys at age 11 years. *Biol Psychiatry* 2000, **47** : 490-500

JORM AF, SHARE DL, MATTHEWS R, MAC LEAN R. Behaviour problems in specific reading retarded and general reading backward children: A longitudinal study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines* 1986, **27** : 33-43

KATUSIC SK, COLLIGAN RC, BARBARESI WJ, SCHAID DJ, JACOBSEN SJ. Incidence of reading disability in a population-based birth cohort, 1976-1982, Rochester, Minn. *Mayo Clin Proc* 2001, **76** : 1081-1092

LEWIS BA, FREEBAIRN LA, TAYLOR HG. Academic outcomes in children with histories of speech sound disorders. *J Commun Disord* 2000, **33** : 11-30

LIEDERMAN J, KANTROWITZ L, FLANNERY K. Male vulnerability to reading disability is not likely to be a myth: a call for new data. *J Learn Disabil* 2005, **38** : 109-129

LINDGREN SD, DE RENZI E, RICHMAN LC. Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development* 1985, **56** : 1404-1417

LIVINGSTON R, ADAM BS, BRACHA HS. Season of birth and neurodevelopmental disorders: summer birth is associated with dyslexia. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1993, **32** : 612-616

MAKITA K. The rarity of reading disability in Japanese children. *Journal of Orthopsychiatry* 1968, **38** : 599-614

MARGAI F, HENRY N. A community-based assessment of learning disabilities using environmental and contextual risk factors. *Soc Sci Med* 2003, **56** : 1073-1085

MILES E. Dyslexia may show a different face in different languages. *Dyslexia* 2000, **6** : 193-201

MILES E. Some problems in determining the prevalence of dyslexia. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology* 2004, **2** : 5-12

MOLFESE VJ, MODGLIN A, MOLFESE DL. The role of environment in the development of reading skills: a longitudinal study of preschool and school-age measures. *J Learn Disabil* 2003, **36** : 59-67

MURAT F. Les compétences des adultes à l'écrit, en calcul et en compréhension orale. *Insee Première* 2005, **1044** : 1-4

NASS RD. Sex differences in learning abilities and disabilities. *Ann Dyslexia* 1993, **43** : 61-77

ORGANISATION POUR LA COOPÉRATION ÉCONOMIQUE ET LE DÉVELOPPEMENT (OCDE). Learning for Tomorrow's World—First Results from PISA 2003, OECD 2003

OMOTOSHO JA. Learning disability problems prevalent among elementary school age children in Ilorin metropolis: Implications for special education and counseling. *IFE Psychologia* 2001, **9** : 128-133

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

PLAZA M, CHAUVIN D, LANTHIER O, RIGOARD M-T, ROUSTIT J, et coll. Validation longitudinale d'un outil de dépistage des troubles du langage écrit. Étude d'une cohorte d'enfants dépistés en fin de CP et réévalués en fin de CE1. *Glossa* 2002, **81** : 22-33

RICHARDSON AJ, CALVIN CM, CLISBY C, SCHOENHEIMER DR, MONTGOMERY P, et coll. Fatty acid deficiency signs predict the severity of reading and related difficulties in dyslexic children. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 2000a, **63** : 69-74

RICHARDSON AJ, ROSS MA. Fatty acid metabolism in neurodevelopmental disorder: a new perspective on associations between attention-deficit/hyperactivity disorder, dyslexia, dyspraxia and the autistic spectrum. *Prostaglandins Leukot Essent Fatty Acids* 2000b, **63** : 1-9

RODGERS B. The identification and prevalence of specific reading retardation. *British Journal of Educational Psychology* 1983, **53** : 369-373

RUTTER M, CASPI A, FERGUSSON D, HORWOOD LJ, GOODMAN R, et coll. Sex differences in developmental reading disability: new findings from 4 epidemiological studies. *Jama* 2004, **291** : 2007-2012

SCARBOROUGH HS. Continuity between childhood dyslexia and adult reading. *Br J Psychol* 1984, **75** : 329-348

SCARBOROUGH HS. Very early language deficits in dyslexic children. *Child Dev* 1990, **61** : 1728-1743

SHARE DL, SILVA PA. The stability and classification of specific reading retardation: A longitudinal study from age 7 to 11. *British Journal of Educational Psychology* 1986, **56** : 32-39

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, FLETCHER JM, ESCOBAR MD. Prevalence of reading disability in boys and girls. Results of the Connecticut Longitudinal Study. *Jama* 1990, **264** : 998-1002

SHAYWITZ SE, FLETCHER JM, HOLAHAN JM, SHNEIDER AE, MARCHIONE KE, et coll. Persistence of dyslexia: the Connecticut Longitudinal Study at adolescence. *Pediatrics* 1999, **104** : 1351-1359

SILVA PA, MCGEE R, WILLIAMS SM. Developmental language delay from three to seven years and its significance for low intelligence and reading difficulties at age seven. *Dev Med Child Neurol* 1983, **25** : 783-793

- SPRENGER-CHAROLLES L, COLE P, LACERT P, SERNICLAES W. On subtypes of developmental dyslexia: Evidence from processing time and accuracy scores. *Can J Exp Psychol* 2000, **54** : 87-104
- ST SAUVER JL, KATUSIC SK, BARBARESI WJ, COLLIGAN RC, JACOBSEN SJ. Boy/girl differences in risk for reading disability: potential clues? *Am J Epidemiol* 2001, **154** : 787-794
- STANTON CHAPMAN TL, CHAPMAN DA, BAINBRIDGE NL, SCOTT KG. Identification of early risk factors for language impairment. *Res Dev Disabil* 2002, **23** : 390-405
- STEVENSON HW, STIGLER JW, LUCKER GW, LEE S, HSU C, KITAMURA S. Reading disabilities-the case of Chinese, Japanese and English. *Child Development* 1982, **53** : 1164-1181
- WATIER L, DELLATOLAS G, CHEVRIE-MULLER C. Difficultés de langage et de comportement à 3 ans et demi et retard en lecture au CE1 : une étude longitudinale sur 693 enfants. *Revue d'Épidémiologie et de Santé Publique*, 2006, **54** : 327-339
- WRIGHT SF, FIELDS H, NEWMAN SP. Dyslexia: stability of definition over a five year period. *Journal of research in reading* 1996, **19** : 46-60
- YAMADA J, BANKS A. Evidence for and characteristics of dyslexia among Japanese children. *Ann Dyslexia* 1994, **44** : 105-119
- YULE W, RUTTER M, BERGER M, THOMPSON J. Over- and under-achievement in reading: distribution in the general population. *Br J Educ Psychol* 1974, **44** : 1-12
- ZORMAN, M, LEQUETTE C, POUGET G. Dyslexies : intérêt d'un dépistage et d'une prise en charge précoce à l'école. In : Développement cognitif et troubles des apprentissages : évaluer, comprendre, rééduquer et prendre en charge. METZ-LUTZ MN, DEMONT E, SEEGMULLER C, DE AGOSTINI M, BRUNEAU N (eds). Solal, Marseille, 2004 : 245-270

8

Dyslexie : études de cas

La plupart des recherches effectuées tant en neuropsychologie qu'en neurosciences ou en génétique sur les troubles spécifiques d'acquisition de la lecture suggèrent une forte hétérogénéité de la population dyslexique (Boder, 1973 ; Mattis et coll., 1975 ; Mitterer, 1982 ; Seymour et MacGregor, 1984 ; Frith, 1985 ; Castles et Coltheart, 1993 ; Morris et coll., 1998 ; Fisher et De Fries, 2002 ; Shaywitz et coll., 2003 ; Bailey et coll., 2004). Les études de cas permettent d'illustrer cette hétérogénéité, en revanche, elle n'apparaît pas dans le contexte des études de groupe qui cherchent à montrer les tendances générales caractéristiques de la population dyslexique sans prise en compte de la variabilité observée au sein de cette population.

Méthodologie de l'étude de cas unique

La méthode de l'étude de cas unique a été proposée en neuropsychologie dans le but de comprendre le fonctionnement cognitif normal à partir de l'étude de cas pathologiques (Caramazza, 1984 et 1986 ; Caramazza et McCloskey, 1988 ; McCloskey et Caramazza, 1988). L'étude de cas requiert une analyse exhaustive des performances d'un individu unique, cette analyse étant menée par référence à un modèle théorique de la fonction étudiée. C'est-à-dire qu'un grand nombre de tâches choisies pour leur capacité à évaluer les différentes composantes de la fonction cognitive d'intérêt sont proposées au même individu. Le terme « analyse exhaustive » renvoie à l'idée selon laquelle les épreuves proposées doivent être choisies de façon à évaluer l'ensemble des aptitudes cognitives requises par la fonction (ici, la lecture), selon le modèle de référence. C'est ensuite le profil cognitif dans son ensemble qui est pris en compte dans l'interprétation. L'idée majeure est qu'il est quasiment impossible d'interpréter la performance obtenue sur une épreuve unique (lecture de pseudo-mot, répétition...) dans la mesure où toute épreuve met nécessairement en jeu tout un ensemble de procédures cognitives différentes (Caramazza, 1984). En revanche, la prise en compte de l'ensemble des performances sur des épreuves variées contraint l'interprétation sur chaque épreuve particulière (Caramazza et Hillis, 1990). Imaginons par exemple qu'un individu donné échoue sur une épreuve E1 qui met en

jeu les composantes cognitives a, b et c. On ne pourra affirmer que cet échec doit être interprété comme résultant d'un dysfonctionnement de la composante a que si l'on démontre qu'il est également déficitaire sur les épreuves E2 (a, b, d, e), E3 (a, d, c, f) et E4 (a, e, f) par exemple mais que ses performances sont normales sur des épreuves comme E5 (b, e, f, k) et E6 (c, d, f, g) qui elles, n'impliquent pas la composante a. La méthodologie de l'étude de cas implique donc de proposer à un individu un nombre d'épreuves suffisant pour évaluer chaque composante du système de lecture et de multiplier les épreuves évaluant une composante donnée afin d'en estimer l'efficacité.

Les études de cas unique sont complémentaires des études de groupe. Ces dernières permettent de définir des tendances au sein de la population générale et de répondre à des questions statistiques sur cette population. Les études de cas, selon Caramazza (1986, voir également Caramazza et Badecker, 1991), permettent d'expliquer les troubles d'un patient, c'est-à-dire d'identifier la (ou les) composante(s) cognitive(s) dont le dysfonctionnement rend compte de la performance déficitaire observée. Elles permettent également d'éprouver la validité du modèle théorique de référence.

À l'origine, les études de cas effectuées auprès d'enfants présentant des dyslexies développementales ont eu pour objectif de valider le modèle double-voie de lecture. Dans ce contexte, il a été tenté de mettre en évidence l'existence, en contexte développemental, de profils de performances distincts similaires à ceux qui avaient été préalablement décrits chez des adultes précédemment bons lecteurs et présentant une dyslexie acquise suite à une atteinte cérébrale (Snowling, 1981 ; Marshall, 1984 ; voir De Partz et Valdois, 1999 pour une revue). Des sous-types distincts de dyslexie ont ainsi été décrits chez l'enfant, analogues à ceux précédemment décrits chez l'adulte et semblant valider le modèle de référence. Leur intérêt réside également dans la mise en évidence de profils de performance très nettement différenciés conduisant à s'interroger sur la vraisemblance de toute théorie qui tenterait de réduire la variété des troubles dyslexiques à un dysfonctionnement unique.

Sémiologie des différentes formes de dyslexies développementales

Différentes formes de dyslexies développementales ont été décrites jusqu'ici. Certaines formes (dyslexie visuelle, dyslexie par négligence, dyslexie profonde) ont fait l'objet d'une attention limitée, alors que d'autres comme la dyslexie phonologique et de surface ont été plus largement étudiées. Ceci est sans doute à mettre en relation avec le débat qui oppose depuis une vingtaine d'années les tenants des modèles connexionnistes de lecture de type PDP (*parallel distributed processing* ; Seidenberg et McClelland, 1989 ;

Plaut et coll., 1996 ; Harm et Seidenberg, 1999 et 2004) aux défenseurs du modèle double-voie (Coltheart, 1978 ; Coltheart et coll., 2001). En effet, l'interprétation de formes différenciées caractérisées par des profils radicalement opposés, comme c'est le cas des dyslexies développementales phonologique et de surface, représente un véritable défi pour les modèles théoriques de lecture. À l'opposé, certaines formes qui ont pourtant été décrites comme majoritaires dans la population dyslexique (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000), en l'occurrence les dyslexies mixtes, n'ont fait l'objet d'aucune étude sérieuse dans la mesure où elles n'ont pas été jusqu'ici jugées cruciales au débat théorique.

Dyslexie visuelle et dyslexie par négligence

La dyslexie visuelle et la dyslexie par négligence ont fait l'objet de peu d'études de cas.

Dyslexie visuelle

Un seul cas de dyslexie visuelle a été décrit chez l'enfant (Valdois et coll., 1995) en tant qu'analogue des formes de dyslexies visuelles – elles-mêmes apparemment rares – décrites chez l'adulte suite à une atteinte du système nerveux central. Olivia est une enfant de 10 ans 2 mois qui présente des difficultés de lecture (niveau de lecture estimé à 7 ans 7 mois) sans trouble associé du langage oral et dans le contexte d'une efficacité intellectuelle normale (QIV²⁰ = 119 ; QIP²¹ = 103). La lecture de texte est lente et les sauts de lignes sont fréquents. La lecture de mots isolés est caractérisée par la production presque exclusive d'erreurs visuelles, consistant à produire un autre mot orthographiquement proche du mot présenté (par exemple : « girafe » lu « guitare » ; « joie » lu « jolie »). Les erreurs produites n'entretiennent pas de lien sémantique avec la cible et se traduisent par des additions, omissions, substitutions ou déplacements de lettres qui n'affectent pas plus particulièrement le début, le milieu ou la fin du mot lorsque le temps de présentation n'est pas contrôlé. La performance en lecture n'est par ailleurs pas influencée par des variables telles que la fréquence ou la régularité du mot qui laisseraient supposer un déficit des processus centraux. Dans une tâche de copie différée de mots et pseudo-mots présentés en temps limités, Olivia présente des difficultés pour traiter la totalité des lettres de la séquence et encoder leur position relative. Ainsi, lorsque des pseudo-mots sont présentés en 100 ms, elle produit préférentiellement les lettres finales du mot, au détriment des lettres initiales et médianes. La tendance s'inverse

20. QIV : quotient intellectuel verbal

21. QIP : quotient intellectuel de performance

pour des temps d'exposition plus longs (400 ms ou 1 000 ms) où ce sont les lettres initiales qui sont les mieux identifiées au détriment des lettres finales. Des particularités de traitement de la séquence des lettres du mot sont également mises en évidence dans une épreuve de comparaison de mots. Les temps de réaction sont alors plus longs lorsque les mots se distinguent par leurs lettres initiales (par exemple : pomme/gomme ; croix/choix) que par leurs lettres finales (ville/villa ; verre/verte), contrairement aux témoins. Ces résultats suggèrent une mauvaise orientation initiale de l'attention (biais attentionnel droit) et la nécessité de reporter l'attention sur le début du mot au cours du traitement lorsque le temps de présentation le permet. Ce défaut d'orientation attentionnelle aurait pour conséquence de ralentir la lecture de texte et de perturber l'encodage positionnel de l'information.

Dyslexie par négligence

La dyslexie par négligence se caractérise par des erreurs qui portent systématiquement sur une portion donnée du mot (par exemple, sa partie gauche). Un seul cas de dyslexie développementale par négligence a été décrit jusqu'ici (Friedmann et Nachman-Katz, 2004). Il s'agit d'un jeune garçon de 9 ans, NT, droitier qui présente un trouble d'acquisition de la lecture de l'Hébreu malgré une intelligence normale et alors qu'il est indemne de toute lésion cérébrale. Son trouble de lecture se caractérise par des erreurs qui concernent très majoritairement les lettres finales des mots (en fait, les lettres de gauche étant donné le sens de lecture droite-gauche en Hébreu). Ainsi, confronté à la lecture de mots courts isolés, NT donne 50 % de réponses correctes et 96 % des erreurs observées concernent les lettres finales. Le même profil est obtenu en lecture de pseudo-mots et les erreurs observées en décision lexicale résultent également d'un mauvais traitement des lettres finales. Par ailleurs, on ne relève chez NT aucun signe clinique de négligence spatiale unilatérale : il réalise notamment parfaitement les épreuves de barrages de signes ou de copies de dessins. De même, lorsqu'on lui demande de traiter deux mots présentés simultanément à droite et à gauche du point de fixation, les erreurs portent sur les finales des deux mots proposés ; en revanche, aucune des erreurs ne consiste à omettre le mot de gauche dans son ensemble. Le même pattern est obtenu en lecture de phrases avec de fréquentes erreurs sur la partie finale des mots sans omission de la partie gauche de la phrase. Le trouble ne s'observe par ailleurs que lorsque les mots sont présentés horizontalement. NT lit ainsi correctement 90 % des items présentés verticalement contre seulement 45 % en présentation horizontale. Les erreurs sont de même nature en production écrite. Le trouble est majeur en écriture sous dictée avec seulement 15 % de mots orthographiés correctement et les difficultés sont plus marquées sur les lettres finales, comme en lecture. Les auteurs montrent par ailleurs que les performances sont améliorées en lecture lorsqu'on attire l'attention de NT sur la fin des mots en utilisant soit un signal lumineux, soit des lettres colorées, soit en positionnant son doigt à la fin du mot et lui demandant de taper du doigt pendant la

lecture. NT ne présente cependant pas de trouble visuo-attentionnel de type mini-héminégligence puisqu'il réussit normalement les épreuves de détection de cible avec indigage (paradigme de Posner ; voir chapitre sur la dimension visuelle des dyslexies).

Le profil de performance de NT est bien conforme au profil classiquement décrit chez l'adulte cérébrolésé de dyslexie par négligence. Même si les auteurs relatent des difficultés initiales de maîtrise du langage oral chez NT et un trouble de la conscience phonémique au moment de l'évaluation (avec une conscience phonologique limitée aux syllabes et aux rimes sans accès au phonème), les erreurs caractéristiques qu'il produit en lecture ne peuvent en aucun cas être interprétées comme résultant d'un trouble phonologique. Ces erreurs sont très clairement liées à la position relative des lettres dans la séquence (indépendamment de leurs caractéristiques sonores) et à l'orientation du mot, les erreurs disparaissant en présentation verticale. Ce cas conduit donc à penser que des troubles périphériques intéressant les traitements visuels dans leur composante attentionnelle peuvent interférer avec l'apprentissage de la lecture.

Dyslexie profonde

Plusieurs cas ont été décrits dans la littérature comme présentant une dyslexie profonde développementale (Jorm, 1979 ; Johnston, 1983 ; Siegel, 1985 ; Temple, 1988 ; Stuart et Howard, 1995). Cette forme de dyslexie se caractérise par une lecture quasiment impossible des pseudo-mots et un effet de concrétude en lecture de mots isolés : les mots concrets tels que « table », « voiture », « arbre » ou « nez » sont mieux lus que les mots abstraits comme « peur », « misère », « souci » ou « curiosité ». La production fréquente d'erreurs sémantiques (par exemple : « tigre » lu « lion ») en lecture de mots isolés est un des signes cardinaux de la dyslexie profonde dans sa forme acquise. Or, l'existence de ce type de dyslexie en contexte développemental reste contestable. D'une part, l'ensemble des cas qui ont été décrits correspondent à des enfants dont le niveau intellectuel est faible (autour de 70 dans la plupart des cas). Un QI de 54 est même mentionné pour le cas KJ décrit par Stuart et Howard (1995). Le critère de niveau intellectuel dans la norme classiquement retenu dans la définition même du trouble dyslexique n'est donc pas respecté. D'autre part, la production d'erreurs sémantiques avérées reste relativement limitée et ne diffère pas nécessairement de la norme, à l'exception peut-être de KJ (Stuart et Howard, 1995). Enfin, les cas décrits correspondent à des enfants qui sont pratiquement non lecteurs et qui bénéficient d'un enseignement spécialisé intensif. Ainsi, KJ ne lit que 10 % des mots qui lui sont présentés et ces mots sont tous concrets. Cependant, on ne peut exclure que la rééducation proposée ne porte plus spécifiquement sur les mots concrets (associant mot écrit et dessin par exemple) et que l'effet de concrétude observé ne soit en fait la simple conséquence de la méthode de

rééducation utilisée. À ce jour, aucun cas convaincant de dyslexie profonde n'a donc été décrit chez l'enfant.

Dyslexie phonologique

Cette forme de dyslexie s'apparente à celle décrite sous le nom de dyslexie dysphonétique par Boder (1973).

Profil de lecture

Les enfants ayant une dyslexie phonologique rencontrent des difficultés sélectives en lecture de pseudo-mots alors que la lecture des mots, réguliers et irréguliers, est relativement préservée (Temple et Marshall, 1983 ; Campbell et Butterworth, 1985 ; Snowling et coll., 1986 ; Funnel et Davison, 1989 ; Snowling et Hulme, 1989 ; Hulme et Snowling, 1992 ; Gillet et coll., 1993 ; Seymour et Bunce, 1994 ; Broom et Doctor, 1995a ; Masterson et coll., 1995 ; Howard et Best, 1996 ; Temple, 1997 ; Valdois et coll., 2003). Les dissociations peuvent être très nettes comme dans le cas de Mélanie-Jane (Best et Howard, 1996) ou LF (Stothard et coll., 1996) où les performances sont très déficitaires en lecture de pseudo-mots alors que la lecture de mots, même irréguliers, est excellente et que tous les effets lexicaux classiques (fréquence, régularité, voisinage...) sont normalement observés. Des erreurs de lexicalisation sont observées, consistant à produire un mot réel visuellement proche à la place du pseudo-mot présenté (par exemple : « boinde » lu « blonde » ; « fature » lu « facture »). On note également de nombreuses erreurs résultant d'une déformation du mot par omission, addition, substitution ou déplacement de certains des éléments constitutifs du mot ou du pseudo-mot (par exemple : « fracture » lu « facure », « brinte » lu « printe »). Des erreurs morphologiques peuvent également être présentes.

Déficit associé de l'orthographe

La dyslexie phonologique s'accompagne d'une dysorthographe phonologique. Le profil obtenu en production écrite sous dictée est similaire à celui observé en lecture (Temple, 1997, 1986 et 1988). Les difficultés sont majeures en dictée de pseudo-mots alors que la dictée de mots, réguliers ou irréguliers, est nettement meilleure. Dans certains cas, la capacité à orthographier les mots est même totalement préservée avec des performances similaires à celles des témoins normolecteurs de même âge réel (Campbell et Butterworth, 1985 ; Best et Howard, 1996 ; Martinet et coll., 1999). En dictée de mots et de pseudo-mots, la proportion d'erreurs qui ne respectent pas la forme sonore du mot, du fait de l'addition, l'omission, la substitution ou l'inversion de certains éléments (par exemple : « cuvette » → « guvette » ; « culbute » → « culbulte » ; « sicopage » → « sicopache » ; « nagul » → « macul »), est relativement élevée si bien que le mot produit par écrit ne se prononce le plus souvent pas comme le mot dicté. Malgré tout, on ne peut que regretter

que la dysorthographe associée aux dyslexies phonologiques n'ait été que rarement étudiée avec toute l'attention que cela mériterait. Bien que certains des cas décrits témoignent de connaissances lexicales orthographiques similaires à celles des témoins et conduisant à des performances dans la norme en écriture sous dictée de mots irréguliers, d'autres cas (Manis et coll., 1993 ; Hanley et Gard, 1995 ; Valdois et coll., 2003) suggèrent que des troubles associés de l'orthographe des mots irréguliers peuvent également se rencontrer. La dissociation mots irréguliers/pseudo-mots caractéristique de cette forme de dyslexie est alors obtenue en lecture alors que, sur le versant orthographique, sont altérées non seulement la dictée de pseudo-mots mais également la dictée des mots irréguliers. De nouvelles études de cas plus complètes, intégrant une analyse parallèle des performances en lecture et orthographe, devraient être effectuées pour mieux comprendre l'impact du déficit phonologique, reconnu à l'origine du trouble, sur ces deux dimensions.

Troubles associés

Les cas de dyslexie phonologique décrits jusqu'ici présentaient des troubles associés, objectivables dans les épreuves métaphonologiques et de mémoire verbale à court terme. Ces troubles témoignent de l'existence d'un dysfonctionnement phonologique. Les épreuves métaphonologiques sont des épreuves qui nécessitent d'identifier et de manipuler les unités sonores (syllabe, attaque, rime, phonème) à l'intérieur des mots parlés. On demande par exemple d'omettre le premier son d'un mot et de produire oralement le pseudo-mot résultant de cette omission. Il pourra, par exemple, s'agir d'omettre le premier son de /plakaR/ (placard) ou de /uti/ (outil). La réponse attendue est alors /lakaR/ et /ti/ respectivement. Il est particulièrement intéressant d'inclure des pièges orthographiques dans l'épreuve. Ainsi, un individu qui ne pourrait traiter la dimension phonologique du mot et aurait tendance à fonder sa réponse sur l'orthographe commettra une erreur sur « outil » en disant que la réponse est « uti » /yti/ alors que la réponse sur /plakaR/ sera correcte, que le traitement ait été effectué au niveau phonologique (omission du phonème /p/) ou orthographique (omission de la lettre « p »). Dans tous les cas de dyslexies phonologiques publiés jusqu'ici, un trouble majeur lors de la réalisation des épreuves métaphonologiques a été mis en évidence (tableau 8.I). Un déficit métaphonologique apparaît dès lors comme un symptôme caractéristique de la dyslexie phonologique. Lorsque des pièges orthographiques étaient inclus dans les épreuves proposées, un biais orthographique consistant à répondre sur la base d'une décomposition orthographique plutôt que phonologique a été observé.

Des troubles associés de la mémoire verbale à court terme (MVCT) sont souvent mentionnés en association avec les difficultés de traitement phonologique. Cependant, à l'exception du cas RE décrit par Campbell et Butterworth (1985), les capacités de mémoire à court terme des sujets présentant une

dyslexie phonologique n'ont le plus souvent pas été étudiées en détail. D'autre part, le cas Gregory décrit par Hanley et Gard (1995) suggère que les capacités de MVCT (empan de chiffres à 7²³) pourraient être préservées chez certains dyslexiques phonologiques. Enfin, aucune évaluation même minimale du langage oral n'est le plus souvent proposée si bien que les estimations présentées dans le tableau 8.I reposent le plus souvent sur des données de l'anamnèse ou sur des commentaires des auteurs ou encore sur les résultats obtenus sur une épreuve unique (la dénomination d'images le plus souvent). En outre, les cas décrits ne semblent pas se caractériser par un QI verbal inférieur au QI performance, mais là encore les données sont trop parcellaires.

Tableau 8.I : Capacités de langage oral, de traitement métaphonologique et de mémoire à court terme dans 7 études de cas de dyslexies phonologiques

Références	Nom	Âge (années)	QIV-QIP	LO	MPHON	MCT
Temple et Marshall, 1983	HM	17	114-115	+	--	
Campbell et coll., 1985	RE	21	123-108	-	--	--
Snowling et coll., 1986	JM	8	QI = 123	-	--	--
Funnell et Davison, 1989	Louise	35			--	-
Hanley et Gard, 1995	Gregory	20		+	--	+
Howard et Best, 1996	Melanie-Jane	85		+	--	
Valdois et coll., 2003	Laurent	14	QI = 110	-	--	-

(-) ou (+) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base d'une évaluation minimale ; (- -) ou (+ +) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base de données convergentes obtenues sur plusieurs tâches. LO : langage oral ; MPHON : traitement métaphonologique ; MCT : mémoire à court terme

Exemple d'un cas prototypique

À titre d'exemple, le cas RE décrit par Campbell et Butterworth (1985) est sans doute un des plus détaillés et des plus prototypiques. RE est âgée de 21 ans au moment de l'évaluation neuropsychologique. Elle a suivi une scolarité normale, est droitrière et a un bon niveau intellectuel (QIV=123, QIP=108). Les résultats de RE sur les épreuves de lecture, orthographe, métaphonologie et mémoire verbale à court terme sont présentés dans le tableau 8.II.

RE présente un trouble sélectif de la lecture des pseudo-mots. Elle ne lit correctement que 30 % des pseudo-mots courts de 3 lettres avec un temps de lecture moyen de 3 sec/item. La lecture des pseudo-mots longs est encore plus déficitaire (15 % de réponses correctes), alors que les mots, mêmes longs et irréguliers, sont réussis à plus de 80 %. L'examen de l'orthographe

22. L'empan de chiffre consiste à demander de répéter des chiffres dans l'ordre où ils ont été énoncés (exemple : 4 1 7 3 8 2) le score est de 7, ce qui est dans la norme des témoins.

sous dictée met en évidence le même type de dissociation : les mots rares complexes sont orthographiés dans la norme des témoins alors que les erreurs sont fréquentes en dictée de pseudo-mots. L'analyse des erreurs en dictée de mots montre que les erreurs phonologiquement plausibles sont moins fréquentes chez RE que chez les témoins (60 % *versus* 93 %). Autrement dit, alors que les témoins transcrivent le plus souvent le mot comme il se prononce lorsqu'ils font une erreur, les productions de RE ne correspondent souvent pas à la forme sonore du mot dicté. Ainsi par exemple, le mot anglais « *chlorophyll* » est transcrit « *cholophyll* » par RE alors que les erreurs observées chez les témoins sont du type « *chlorrophyl* » ou « *chlorophyl* ». Ce type d'erreurs suggère que RE a du mal à analyser phonologiquement la séquence du mot à transcrire.

L'examen des capacités métaphonologiques met en évidence un trouble majeur. Les erreurs sont nombreuses sur l'ensemble des épreuves proposées et les réponses témoignent d'une stratégie orthographique. En situation de jugement de rimes par exemple, elle réussit parfaitement à juger les paires congruentes (paires similaires ou dissimilaires tant du point de vue phonologique qu'orthographique ; un équivalent en français serait « terre-guerre » ou « vache-caisse »). En revanche, les erreurs sont nombreuses sur les paires incongruentes qui sont jugées sur la base de leurs caractéristiques orthographiques. Ainsi, les mots de la paire « hamac-tabac » (pour un équivalent en français) énoncée oralement seraient jugés comme rimant alors que ceux de la paire « volcan-argent » seront jugés comme ne rimant pas. Le même phénomène est observé dans l'épreuve de contrepèterie qui consiste à intervertir les premiers sons de deux mots énoncés successivement. Ainsi, à l'énoncé de la séquence « Phil Collins », RE donne comme réponse « Chil Pollins » (résultant d'une interversion des lettres « C » et « P ») au lieu de la réponse attendue « kil follins » (résultant d'une interversion des phonèmes /k/ et /f/). Les mêmes biais orthographiques sont mis en évidence dans l'épreuve d'acronymes consistant à isoler puis fusionner les phonèmes initiaux de 3 mots énoncés successivement (« cri-ours-dent » donne « code » au lieu de « coude »).

L'évaluation des capacités de mémoire à court terme de RE met en évidence des difficultés majeures. L'empan de chiffres endroit et envers est estimé à 4, ce qui est très déficitaire (< -2 écarts-types de la moyenne). On ne relève pas d'effet de similarité phonologique en empan de lettres. Ainsi, les séquences de lettres phonologiquement différentes (G M X L T) ne sont pas mieux rappelées que les séquences de lettres phonologiquement similaires (B T C V D). On ne relève pas non plus l'effet classique de longueur en empan de mots : le rappel de séquences de mots longs n'est pas plus difficile que le rappel de séquences de mots courts contrairement aux témoins.

En résumé, RE présente un déficit phonologique objectivé par de faibles performances dans les épreuves métaphonologiques et de mémoire de travail. L'hypothèse d'un trouble phonologique est corroborée par les difficultés observées en lecture et dictée de pseudo-mots. L'analyse des erreurs – biais

orthographique observé sur les épreuves métaphonologiques et production d'un nombre limité d'erreurs phonologiquement plausibles en dictée – témoigne également des difficultés de traitement phonologique de RE. Un déficit de ce type aurait pu entraîner des difficultés au niveau de la maîtrise du langage oral. Aucun élément de l'anamnèse reportée dans l'article ne va dans ce sens puisque RE semble avoir parlé tôt et correctement. Cependant et bien que les aptitudes de langage oral n'aient pas été évaluées au moyen de tests spécifiques, un élément de l'examen suggère que le langage oral n'est pas totalement indemne. En effet, les auteurs mentionnent qu'en dictée de pseudo-mots où RE est très déficitaire, les difficultés s'observent également lorsque le pseudo-mot est répété avant d'être retranscrit. En fait, la répétition du pseudo-mot énoncé est alors erronée et conduit à des erreurs de transcription. L'ensemble du tableau clinique évoque donc bien un trouble phonologique probablement responsable des difficultés d'acquisition de la lecture et de l'orthographe de RE.

Tableau 8.II : Scores de RE (dyslexique phonologique) sur les tâches de lecture, orthographe, métaphonologie et mémoire à court terme (d'après Campbell et Butterworth, 1985)

Types d'épreuves	Score RE	Évaluation
Lecture		
Mots rares complexes	33/40 (82 %)	++
Pseudo-mots courts	9/30 (30 %) 3 sec/item	--
Pseudo-mots longs	3/20 (15 %)	--
Orthographe		
Mots rares difficiles	24/53 (dans la norme)	++
Pseudo-mots courts	60 % erreurs PP (<i>versus</i> 93 % CTL)	--
	8/20	--
Métaphonologie		
Contrepèterie	9/19	--
Acronymes	0/21	--
Jugement de rimes	20/20 paires congruentes	++
	8/20 paires incongruentes	--
Mémoire à court terme		
Empan de chiffres	4 (endroit et envers)	--
Empan de lettres	Pas d'effet de similarité phonémique	--
Empan de mots	Pas d'effet de longueur	--

Dyslexie de surface

Cette forme de dyslexie s'apparente à celle décrite sous le nom de « dyslexie dysidétique » par Boder (1973).

Profil de lecture

Les performances en lecture des enfants qui présentent une dyslexie de surface se caractérisent par une atteinte sélective de la lecture des mots irréguliers alors que les capacités de lecture des mots réguliers et des pseudo-mots sont relativement préservées. Les erreurs de régularisation, consistant à prononcer le mot irrégulier comme il s'écrit (« monsieur » lu /môsjoeR/ au lieu de /moesjoe/, « femme » lu /fêm/ au lieu de /fam/) sont caractéristiques de cette forme de dyslexie. Des erreurs visuelles résultant de la confusion de lettres proches (« radio » lu « rabio »), de déplacement de lettres (« baril » lu « dial ») ou consistant à produire un mot visuellement proche du mot cible (« girafe » lu « guitare ») sont souvent mentionnées. Les difficultés à traiter les mots irréguliers s'observent dans d'autres types de tâches, comme la décision lexicale par exemple où le jugement est fonction de la seule prononciation attribuée aux mots. Dans cette tâche, les mots irréguliers qui font l'objet de régularisation sont rejetés comme n'étant pas des mots de la langue alors que des pseudo-homophones, tels que « farmassi » ou « jardain », sont acceptés comme de vrais mots. De la même façon, les confusions entre homophones sont la règle : l'enfant est incapable de donner le sens du mot « voie » par exemple, ou de choisir entre « voie » et « voix » celui qui désigne un lieu de passage. La compréhension du sens du mot dérive également de la prononciation qui lui est attribuée. Par exemple, « rhum » lu /Rym/ sera défini comme « rhume ».

De nombreux cas ont été publiés comme démontrant une dyslexie de surface développementale (Coltheart et coll., 1983 ; Temple, 1984 ; Goulandris et Snowling, 1991 ; Hanley et coll., 1992 ; Romani et Stringer, 1994 ; Hanley et Gard, 1995 ; Broom et Doctor, 1995b ; Valdois, 1996 ; Castles et Coltheart, 1996 ; Valdois, 1996 ; Valdois et Launay, 1999 ; Samuelson, 2000 ; Valdois et coll., 2003 ; Brunson et coll., 2005). Cependant, tous ne présentent pas une dissociation nette entre lecture de mots irréguliers et lecture de pseudo-mots (tableau 8.III).

Tableau 8.III : Performances en lecture mentionnées dans 10 études de cas de dyslexies de surface (le QI et l'âge sont donnés à titre indicatif lorsque disponibles)

Références	Nom	Âge (années)	QIV-QIP	REG (%)	IRR (%)	PM (%)
Coltheart et coll., 1983	CD	19	105-101	90	67	70
Temple, 1984	RB	10	122-104	62	26	60-70
Romani et Stringer, 1984	AW	21	QIT = 126	Normal	Normal	Normal
Goulandris et Snowling, 1991	JAS	22	110-112	83	60	90
Hanley et coll., 1992	Allan	22	122-131	98	96	90
Hanley et Gard, 1995	Mandy	21		98	56	93
Broom et Doctor, 1995b	DF	11	114-117	94	57	?
Castles et Coltheart, 1996	MI	9	130-142	87	27	87

Références	Nom	Âge (années)	QIV-QIP	REG (%)	IRR (%)	PM (%)
Valdois et Launay, 1999	Clément	10		85	48	89
Valdois et coll., 2003	Nicolas	13	QIT = 104	93	57	84
Brunsdon et coll., 2005	MC	12	106-116	83	50	70

REG : mots réguliers ; IRR : mots irréguliers ; PM : pseudo-mots ; QIT : quotient intellectuel total

En fait, Coltheart et coll. (1983) soutenaient que le diagnostic de dyslexie de surface pouvait être posé dès lors que la lecture des mots irréguliers était déficitaire comparativement à la lecture des mots réguliers, donc indépendamment des performances obtenues en lecture de pseudo-mots. Selon ce critère, 9 des 11 cas répertoriés dans le tableau peuvent être considérés dyslexiques de surface à l'exception des cas AW (Romani et Stringer, 1984) et Allan (Hanley et coll., 1992) qui n'ont pas de difficultés en lecture et présentent en fait une dysorthographe de surface. Si le critère d'un écart significatif entre lecture de mots irréguliers et de pseudo-mots est en revanche retenu, 7 des 11 cas répertoriés répondent à la définition de dyslexie de surface (Temple, 1984 ; Goulandris et Snowling, 1991 ; Hanley et Gard, 1995 ; Castles et Coltheart, 1996 ; Valdois et Launay, 1999 ; Valdois et coll., 2003 ; Brunsdon et coll., 2005). Le cas décrit par Temple (1984) est cependant contestable dans la mesure où il s'inscrit dans le contexte d'un trouble épileptique. En fait, seulement 5 cas démontrent une dissociation très nette avec une lecture très déficitaire des mots irréguliers et des performances tout à fait normales, pour ce qui est des scores, en lecture de pseudo-mots (Goulandris et Snowling, 1991 ; Hanley et Gard, 1995 ; Castles et Coltheart, 1996 ; Valdois et Launay, 1999 ; Valdois et coll., 2003). La plupart des études mentionnées n'ont pas pris en compte les temps de lecture. À ce propos, Valdois et coll. (2003) montrent que les temps de lecture sur les pseudo-mots sont relativement longs chez Nicolas comparativement à des témoins de même âge réel. Apparemment, MI décrit par Castles et Coltheart (1996) aurait des temps de traitement des pseudo-mots extrêmement rallongés malgré une performance le plus souvent correcte (Harm et Seidenberg, 1999).

Déficit associé de l'orthographe

La dyslexie de surface s'accompagne d'une dysorthographe massive caractérisée par des difficultés d'autant plus marquées que les mots sont orthographiquement plus complexes. Le profil observé en production écrite est donc similaire au profil de lecture : les performances sont très déficitaires en dictée de mots irréguliers mais dans la norme des témoins de même âge réel en dictée de pseudo-mots. Il est intéressant de noter (tableau 8.IV) que contrairement à la variabilité des performances obtenues en lecture, aucun des cas décrits ne déroge à la règle : le déficit est toujours massif sur les mots irréguliers et les performances excellentes sur les pseudo-mots.

Tableau 8.IV : Performances en dictée des 11 études de cas de dyslexies de surface répertoriées précédemment

Références	Nom	Âge (années)	IRR (%)	PM (%)	PP+ (%)
Broom et Doctor, 1995b	DF	11	30		89
Coltheart et coll., 1983	CD	19			60
Temple, 1984	RB	10			
Goulandris et Snowling, 1991	JAS	22	21	92	80
Hanley et coll., 1992	Allan	22	33	93	81
Hanley et Gard, 1995	Mandy	21	45	97	80
Castles et Coltheart, 1996	MI	9	13		76
Valdois et Launay, 1999	Clément	10	25	82	80
Romani et coll., 1999	AW	21	75	85	> 80
Valdois et coll., 2003	Nicolas	13	36	88	91
Brunsdon et coll., 2005	MC	12	39	90	beaucoup

PP+ = erreurs phonologiquement plausibles ; par exemple « haricot » ou « hiver » écrits « arico » et « ivère ». PM : pseudo-mot

Les erreurs observées en dictée de mots sont, dans leur grande majorité, phonologiquement plausibles, c'est-à-dire que le mot est écrit comme il se prononce sans prise en compte de ses particularités orthographiques (par exemple : « haricot » → « aricau » ; « pied » → « piat » ; « aquarium » → « acoiriome »). La forte prévalence d'erreurs phonologiquement plausibles en dictée de mots est un des signes cardinaux des dyslexies de surface, et les cas décrits (tableau 8.IV) présentent en moyenne environ 80 % d'erreurs de ce type. Par ailleurs, les productions orthographiques d'un même mot varient dans le temps, comme si la forme orthographique était à chaque fois réinventée à partir de la séquence phonémique dictée (Goulandris et Snowling, 1991). Il n'y a donc pas de stabilité quant à la forme orthographique attribuée à un mot : « haricot » pourra ainsi être écrit tantôt « arico » ou « aricau » ou « ariquo » à différents moments, seule la plausibilité phonologique étant préservée. L'étude des performances de 5 enfants ayant une dyslexie de surface (Martinet et Valdois, 1999) a par ailleurs montré que les erreurs produites ne renferment que très rarement des indices orthographiques spécifiques, des lettres caractéristiques du mot comme le « w » de « clown » ou le « h » de « hiver ». Seulement 12 % de leurs productions erronées renfermaient de tels indices contre 25 % et 65 % respectivement chez les enfants de même niveau de lecture ou de même âge réel.

Troubles associés

Comme le montre le tableau 8.V, l'évaluation des troubles associés est loin d'avoir été effectuée systématiquement.

Tableau 8.V : Évaluation des troubles associés à la dyslexie développementale : revue de 11 cas

Références	Nom	LO	MPHON	MCT PH	Visuel
Coltheart et coll., 1983	CD	++			
Temple, 1984	RB	+			
Romani et Stringer, 1984	AW		++	+	+
Goulandris et Snowling, 1991	JAS		-		--
Hanley et coll., 1992	Allan		++		
Hanley et Gard, 1995	Mandy		++	+	
Broom et Doctor, 1995b	DF				
Castles et Coltheart, 1996	MI	+	++		++
Valdois et Launay, 1999	Clément	++	++		--
Valdois et coll., 2003	Nicolas	++	++	++	--
Brunsdon et coll., 2005	MC	+	++	+	

(-) ou (+) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base d'une évaluation minimale ; (- -) ou (+ +) = capacités considérées déficitaires ou préservées sur la base de données convergentes obtenues sur plusieurs tâches. LO : langage oral ; MPHON : traitement métaphonologique ; MCT PH : mémoire à court terme phonologique

Dans les 8 cas où une évaluation des capacités de traitement métaphonologique a été effectuée, les performances se sont révélées très bonnes puisqu'elles se situent au moins dans la moyenne des témoins de même âge réel (à l'exception toutefois du cas JAS, Goulandris et Snowling, 1991). L'absence de trouble du langage oral ou de la mémoire verbale à court terme a été démontrée chaque fois que cette dimension a été évaluée. On ne peut toutefois que regretter que ces aspects n'aient pas été évalués de façon systématique.

Les résultats sont en revanche variables pour ce qui concerne la présence ou non de déficits associés des traitements visuels. Lors de l'évaluation des performances de JAS, Goulandris et Snowling ont utilisé des épreuves de reconnaissance de formes géométriques complexes, de reproduction de mémoire de formes géométriques et de mémorisation de séries de lettres grecques dans l'ordre. Les performances de JAS se situaient en deçà de la norme des témoins sur l'ensemble des épreuves. Les auteurs ont donc conclu à un trouble de l'analyse et de la mémoire visuelle chez JAS qui pourrait entraver la segmentation graphémique des mots et la mémorisation des représentations orthographiques. Cependant, des épreuves similaires proposées à MI (Castles et Coltheart, 1996) et AW (Romani et Stringer, 1994 ; Romani et coll., 1999) ont été parfaitement réussies conduisant à éliminer l'hypothèse d'un problème de mémoire visuelle chez eux. Il semble donc qu'un trouble de mémoire visuelle potentiellement responsable des difficultés d'apprentissage de la lecture et de l'orthographe des mots irréguliers puisse se rencontrer chez certains dyslexiques de surface mais vraisemblablement pas chez tous.

Les épreuves proposées à Clément (Valdois, 1996 ; Valdois et Launay, 1999) et Nicolas (Valdois et coll., 2003) sont de nature totalement différente. Clément a été soumis à des épreuves de recherche de cible parmi des distracteurs. Dans une première épreuve, il devait détecter la présence d'une cible Q parmi des distracteurs (des O), dont le nombre variait (4, 10 ou 16 distracteurs). La détection est alors automatique : la cible saute aux yeux et le temps de réponse n'est normalement pas affecté par le nombre de distracteurs. Dans la seconde épreuve au contraire, la cible était le O et les distracteurs, les lettres Q. Dans ce second cas, la cible partage tous ses traits avec les distracteurs ; elle ne saute pas aux yeux. La recherche requiert un déplacement de l'attention sur des sous-ensembles d'éléments jusqu'à ce que la cible soit détectée. Dans ce cas, le temps de détection est fortement influencé par le nombre de distracteurs et augmente quasi-linéairement avec ce dernier. Dans les deux conditions, le nombre d'erreurs est relativement faible et reste à peu près constant chez les témoins. Les résultats de Clément sur ces épreuves montrent un taux de détection et des temps de réponse comparables à ceux des témoins en condition automatique. Au contraire, les performances sont très déficitaires en condition attentionnelle : alors qu'il détecte correctement 14/16 cibles dans la configuration à 4 distracteurs, Clément ne détecte que 8/16 et 4/16 cibles respectivement dans les configurations à 10 et 16 distracteurs. Ces résultats suggèrent des difficultés de traitement visuo-attentionnel chez Clément.

Nicolas, quant à lui, a été soumis à des épreuves, dites de report global et partiel, requérant le traitement de séquences de lettres non prononçables (R H S D M). En situation de report global, 5 lettres sont simultanément présentées à l'écran pendant 200 msec et doivent être dénommées immédiatement après leur disparition. La situation de report partiel est en tout point similaire à la précédente, si ce n'est qu'une barre verticale apparaît au-dessous d'une des lettres immédiatement après sa disparition, la tâche consistant alors à ne dénommer que la lettre indiquée. Les résultats de Nicolas sur ces épreuves se sont avérés très déficitaires : ils étaient caractérisés par un fort effet positionnel, les lettres finales de la séquence ne pouvant être dénommées qu'exceptionnellement. Ces résultats ont été interprétés comme témoignant d'un déficit visuo-attentionnel qui empêcherait le traitement simultané de l'ensemble des lettres de la séquence présentée.

Dyslexies mixtes

Malgré leur apparente fréquence dans la population dyslexique, deux cas de dyslexies mixtes seulement ont été décrits dans la littérature (Brunsdon et coll., 2002 ; Valdois, 2004). Le cas décrit par Brunsdon et coll. (2002) est celui d'un jeune garçon de 8 ans, DT, qui présente un trouble massif de la lecture tant des mots irréguliers (10 % lus correctement) que des pseudo-mots (3 % lus correctement). En fait, la plupart des erreurs consistent à

produire un mot existant partageant quelques lettres notamment initiales avec le mot cible (« long » lu « lourd »). Ce déficit majeur de l'apprentissage de la lecture s'inscrit dans le contexte de troubles du langage oral et de la mémoire à court terme verbale. DT est par ailleurs très déficitaire sur l'ensemble des épreuves métaphonologiques proposées et ne maîtrise pas les règles de conversion graphème-phonème. L'origine développementale du trouble est néanmoins très contestable. DT a fait une chute de cheval à 6 ans, ce qui a entraîné un traumatisme crânien se soldant par une lésion de la capsule interne et du lobe frontal inférieur droit. Les auteurs mentionnent en outre qu'aucun type de déficit, pas plus du langage oral que de la lecture, n'avait été remarqué avant l'accident. Tout conduit donc à penser que le trouble objectivé relève davantage d'une dyslexie acquise que développementale.

Valdois (2004 ; Valdois et coll., soumis) ont de leur côté décrit le cas d'un jeune garçon de 9 ans, Martial, qui présente un déficit sévère d'apprentissage de la lecture (âge lexique de 6 ans et demi) dans le contexte de capacités intellectuelles supérieures à la normale (QIV = 125 ; QIP = 131). Les difficultés en lecture se sont manifestées dès l'entrée au CP et aucun élément de l'anamnèse (pas plus que l'examen neuropédiatrique) ne conduit à soupçonner une possible lésion cérébrale. Ses performances sont extrêmement déficitaires tant en score qu'en temps sur tous les types de mots (tableau 8.VI) et ses erreurs sont le plus souvent des erreurs visuelles. Seulement 55 % des productions sur les mots irréguliers sont des régularisations. Les performances de Martial sont encore plus déficitaires en dictée : il ne parvient à orthographier correctement aucun des 30 mots dictés et réussit à transcrire seulement 6 pseudo-mots courts et 3 pseudo-mots longs sur les 10 dictés dans chaque catégorie.

Paradoxalement, l'évaluation des aptitudes métaphonologiques montre des performances dans la norme des témoins de même âge réel (tableau 8.VI) ce qui suggère l'absence de déficit phonologique sous-jacent. Cette hypothèse est confortée par l'absence de troubles du langage oral ou de la mémoire à court terme verbale et la bonne maîtrise des règles de conversion graphème-phonème.

L'examen des aptitudes visuo-attentionnelles de Martial met cependant en évidence un trouble massif. Seule la lettre initiale de la séquence est rappelée à un taux comparable à celui des témoins de même âge réel en report global de lettres ou de chiffres, suggérant un trouble visuo-attentionnel associé.

Ces deux études de cas conduisent à penser qu'une assez grande variabilité pourrait caractériser la population des enfants qui présentent une dyslexie mixte.

Tableau 8.VI : Performances de Martial (dyslexie mixte) en lecture et sur les épreuves métaphonologiques comparativement à des témoins de même âge réel

Épreuves	Martial Scores	Temps	Témoins Scores	Temps
Lecture				
Mots réguliers	15/40	4'34	36,7/40	1'10
Mots irréguliers	4/40	5'50	26,5/40	1'16
Pseudo-mots	12/40	4'	32/40	1'10
Métaphonologie				
Jugement de rimes		15/16		14,6/16 (1,4)
Omission de syllabes		10/12		10,5/12 (1,7)
Omission de phonème		14/20		14,3/20 (4,7)
Acronymes		6/10		7,1/10 (2,5)
Décomposition phonologique		7/15		6,3/15 (4,4)

Comparaison de cas contrastés de dyslexies phonologique et de surface

Bien que les cas décrits jusqu'ici de dyslexies phonologique et de surface suggèrent qu'ils se caractérisent par des profils de lecture opposés et que seuls les dyslexiques phonologiques présentent un trouble phonologique associé, la comparaison des résultats obtenus dans les différentes études reste hasardeuse. En effet, des épreuves différentes ont été effectuées d'une étude à l'autre, si bien que des épreuves métaphonologiques moins discriminantes auraient pu, par exemple, être proposées dans les cas de dyslexie de surface conduisant à sous-estimer le trouble phonologique. De la même façon, une variabilité des caractéristiques propres à chaque individu telles que l'âge, le niveau intellectuel ou les types de rééducation dont ont bénéficié les enfants pourrait conduire à observer des profils opposés, sans que ceux-ci ne doivent nécessairement être interprétés comme relevant de dysfonctionnements cognitifs distincts. Enfin, les difficultés de traitement visuel mentionnées chez certains dyslexiques de surface ne trouvent pas leur pendant dans la dyslexie phonologique puisque des épreuves de ce type n'ont été proposées à aucun cas de dyslexie phonologique. Enfin, la plupart des études n'ont pas comparé les performances de lecture des sujets dyslexiques à celles de témoins appariés en âge réel et âge lexique si bien qu'il est souvent difficile d'appréhender la sévérité du trouble décrit.

Pour pallier ces critiques, des études de cas contrastés, proposant les mêmes épreuves à des individus choisis pour être le plus possible comparables quant à leurs caractéristiques propres, ont été menées (Hanley et Gard, 1995 ;

Valdois et coll., 2003). Ces études confirment l'existence de profils sémiologiques opposés. Une performance très déficitaire est obtenue sur les épreuves métaphonologiques par les participants présentant un profil de dyslexie phonologique alors que leurs homologues avec dyslexie de surface réussissent parfaitement ces épreuves, avec des performances qui se situent dans la norme des témoins de même âge réel. La seule étude (Valdois et coll., 2003) où les capacités visuo-attentionnelles ont été évaluées chez les deux participants montre un déficit marqué dans le contexte surface (cas Nicolas) avec des performances qui se différencient significativement tant de celles des témoins de même âge réel que de même niveau de lecture. En revanche, les performances visuo-attentionnelles du sujet présentant une dyslexie phonologique (cas Laurent) se situent dans la norme des témoins de même âge réel (figure 8.1).

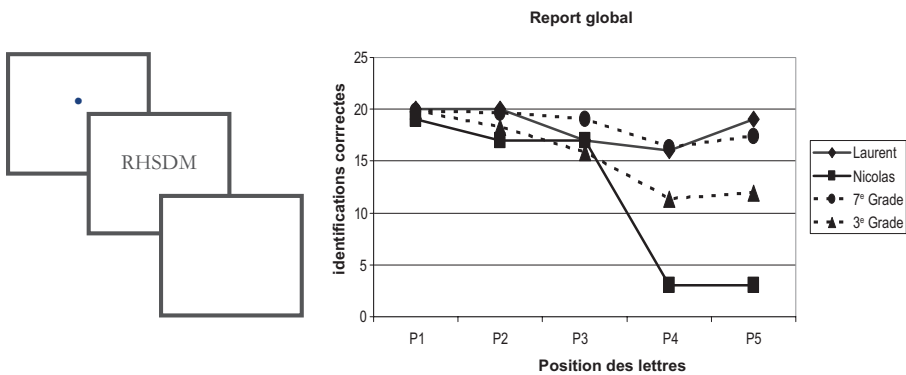


Figure 8.1 : Présentation schématique de l'épreuve de report global (à gauche, les trois carrés correspondent aux trois phases successives de présentation des stimuli : un cadran avec point de fixation central, un cadran avec la séquence de lettres, un cadran blanc) et résultats de Laurent et Nicolas (traits pleins) comparativement aux témoins (traits pointillés)

Cette étude montre donc qu'une double dissociation entre trouble phonologique et visuo-attentionnel peut être objectivée en contexte dyslexique. En effet, un trouble phonologique en l'absence de trouble visuo-attentionnel est observé chez Laurent alors que Nicolas présente la dissociation inverse : trouble visuo-attentionnel en l'absence de trouble phonologique.

Cependant Nicolas, comme c'était également le cas pour MI (Castle et Coltheart, 1996), présente une lecture anormalement lente des pseudo-mots et donc des difficultés en lecture de pseudo-mots. Or, ce type de performance est classiquement interprété comme témoignant d'un déficit phonologique sous-jacent. La méthodologie de l'étude de cas est ici intéressante car elle permet de montrer que la lecture déficitaire des pseudo-mots est le

seul symptôme susceptible d'évoquer un trouble phonologique chez Nicolas alors que toutes les autres épreuves impliquant la dimension phonologique démontrent soit l'absence de difficultés phonologiques (bonnes performances sur les épreuves métaphonologiques) soit même le recours préférentiel à une stratégie phonologique (fort pourcentage d'erreurs phonologiquement plausibles et de régularisations). L'étude montre également, comme dans les autres cas décrits de dyslexies de surface, que les difficultés sur les pseudo-mots ne s'observent qu'en lecture, l'écriture sous dictée de ces mêmes items étant parfaitement réussie alors que cette épreuve est tout particulièrement sensible à un déficit phonologique puisqu'elle nécessite une décomposition phonémique du pseudo-mot comme préalable à sa transcription graphémique. Il est particulièrement intéressant de noter ici que la lecture des pseudo-mots est la seule des épreuves connues pour être sensibles à un dysfonctionnement phonologique qui soit déficitaire chez Nicolas. Or, cette épreuve est également la seule de toutes les épreuves phonologiques proposées à impliquer le traitement d'une entrée orthographique et donc à nécessiter une analyse visuelle de la séquence écrite. Un déficit isolé sur cette épreuve dans le contexte de traitements phonologiques par ailleurs préservés est donc également compatible avec l'hypothèse d'un déficit de l'analyse visuelle de la séquence du pseudo-mot. Cette dernière hypothèse est cette fois cohérente avec la mise en évidence chez Nicolas de troubles visuo-attentionnels empêchant le traitement simultané de l'ensemble des éléments d'une séquence de lettres. La méthodologie de l'étude de cas nous rappelle ici qu'un symptôme donné (lecture des pseudo-mots par exemple) a toujours plusieurs interprétations théoriques possible et qu'aucun symptôme isolé ne saurait à lui seul signer le dysfonctionnement d'une procédure cognitive spécifique.

Il est également intéressant de noter que Nicolas a des performances, en lecture de mots irréguliers notamment, qui se situent dans la norme des témoins de même niveau de lecture et donc plus jeunes que lui. Un certain nombre de recherches taxonomiques (Manis et coll., 1996 ; Stanovitch et coll., 1997 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000) ont également montré que les dyslexiques de surface caractérisés par des performances anormalement faibles en lecture de mots irréguliers comparativement à une population d'enfants normolecteurs de même âge réel, ne se distinguaient en fait pas de populations appariées en âge lexique. Ces résultats ont été interprétés comme démontrant que le profil de dyslexie de surface correspond en fait à un simple retard d'acquisition des procédures d'identification de mots alors que le profil de dyslexie phonologique refléterait un trouble spécifique. Le cas de Nicolas ne saurait corroborer cette conclusion. En effet, ses performances sur les épreuves de report global et partiel montrent qu'il présente un déficit des traitements visuo-attentionnels qui demeure significatif même lorsque ses scores sont comparés à ceux de témoins plus jeunes. Ses difficultés visuo-attentionnelles ne peuvent donc en aucun cas être interprétées comme la simple conséquence de son retard en lecture. Au contraire, le trouble mis en évidence

pourrait être à l'origine des difficultés de lecture de Nicolas et néanmoins induire un niveau de lecture qui bien que déficitaire ne se distingue pas de celui de témoins de même niveau de lecture (voir Bosse et Valdois, 2003, pour des données convergentes). On peut également remarquer que l'hypothèse de retard simple s'accommode mal de la mise en évidence de performances normales en dictée de pseudo-mots et d'un taux d'erreurs de régularisation en lecture et d'erreurs phonologiquement plausibles en dictée qui se situent dans la norme des témoins de même âge chronologique.

En conclusion, la diversité des formes de dyslexies développementales répertoriées jusqu'ici témoigne de l'hétérogénéité des populations regroupées sous le terme de dyslexie développementale. L'existence de formes très différenciées de dyslexies, les dyslexies phonologiques et de surface, se caractérisant par des profils de lecture opposés, conduit à s'interroger sur l'hypothèse unitaire selon laquelle l'ensemble des troubles dyslexiques relèverait d'un déficit phonologique sous-jacent. De façon très systématique, un trouble phonologique a été retrouvé dans tous les cas décrits de dyslexies phonologiques mais de tels troubles n'ont pu être objectivés dans le contexte des dyslexies de surface. Le statut de cette dernière forme de dyslexie a été largement discuté en raison de l'incapacité à identifier la nature du trouble cognitif associé et du fait de la similitude des performances sur certaines épreuves avec celles des enfants plus jeunes de même niveau de lecture. Cependant, les études de cas nous montrent clairement que la similitude de performances avec les enfants plus jeunes n'est que partielle et touche essentiellement la performance de lecture elle-même (la lecture des mots irréguliers en particulier) et la performance en dictée (dictée de mots irréguliers) mais que dans tous les cas décrits les enfants obtenaient des performances tout à fait dans la norme de leur âge sur d'autres aspects relevant des dimensions phonologiques plutôt qu'orthographiques (fréquence des erreurs de régularisation en lecture ou des erreurs phonologiquement plausibles en dictée, épreuves métaphonologiques). Le profil cognitif général de ces enfants ne s'inscrit donc pas dans un contexte de retard global d'apprentissage. Quelques études récentes relancent le débat de l'origine multiple des troubles dyslexiques en montrant qu'un trouble de l'empan visuo-attentionnel dissocié de toute atteinte phonologique se rencontre chez certains enfants présentant une dyslexie de surface alors que la dissociation inverse caractérise certains cas de dyslexie phonologique. Cette hypothèse pourrait également conduire à reconsidérer l'origine des formes mixtes de dyslexies caractérisées par de faibles performances à la fois en lecture de mots et de pseudo-mots. La méthodologie de l'étude de cas semble pertinente pour cerner la nature des troubles dyslexiques. Elle apparaît complémentaire de celle des études de groupes qui peuvent permettre de déterminer si les conclusions apportées par des études de cas sont ou non généralisables à l'ensemble de la population dyslexique.

BIBLIOGRAPHIE

- ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multi-trace memory model of polysyllabic word reading. *Psychological Review* 1998, **105** : 678-723
- BAILEY CE, MANIS FR, PEDERSEN WC, SEIDENBERG MS. Variation among developmental dyslexics: Evidence from a printed-word-learning task. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 125-154
- BODER E. Developmental dyslexia: a diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1973, **15** : 663-687
- BOSSE ML, VALDOIS S. Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading. *Current Psychology Letters* 2003, **1** : 10 Electronic article: <http://cpl.revues.org/document>
- BROOM YM, DOCTOR EA. Developmental phonological dyslexia: a case study of the efficacy of a remediation programme. *Cognitive Neuropsychology* 1995a, **12** : 725-766
- BROOM YM, DOCTOR EA. Developmental surface dyslexia: A case study of the efficacy of a remediation program. *Cognitive Neuropsychology* 1995b, **12** : 69-110
- BRUNSDON R, COLTHEART M, NICKELS L. Treatment of irregular word spelling in developmental surface dysgraphia. *Cognitive Neuropsychology* 2005, **22** : 213-251
- BRUNSDON RK, HANNAN TJ, NICKELS L, COLTHEART M. Successful treatment of sub-lexical reading deficits in a child with dyslexia of the mixed type. *Neuropsychological Rehabilitation* 2002, **12** : 199-229
- CAMPBELL R, BUTTERWORTH B. Phonological dyslexia and dysgraphia in a highly literate subject: a developmental case with associated deficits of phonemic processing and awareness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1985, **37A** : 435-475
- CARAMAZZA A. The logic of Neuropsychological research and the problem of patient classification in aphasia. *Brain and Language* 1984, **21** : 9-20
- CARAMAZZA A. On drawing inferences about the structure of normal cognitive processes from patterns of impaired performance: The case for single-patient studies. *Brain and Cognition* 1986, **5** : 41-66
- CARAMAZZA A, BADECKER W. Clinical syndromes are not God's gift to cognitive neuropsychology: A reply to a rebuttal to an answer to a response to the case against syndrome-based research. *Brain and Cognition* 1991, **16** : 211-227
- CARAMAZZA A, MCCLOSKEY M. The case for single-patient studies. *Cognitive Neuropsychology* 1988, **5** : 517-528
- CARAMAZZA A, HILLIS A. Where do semantic errors come from? *Cortex* 1990, **26** : 95-122
- CASTLES A, COLTHEART M. Varieties of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **47** : 149-180
- CASTLES A, COLTHEART M. Cognitive correlates of developmental surface dyslexia: A single case study. *Cognitive Neuropsychology* 1996, **13** : 25-50

COLTHEART M. Lexical access in simple reading tasks. In : Strategies of information processing. UNDERWOOD G. (ed). Academic Press, London, 1978 : 151-216

COLTHEART M, MASTERTON J, BYNG M, PRIOR M, RIDDOCH J. Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1983, **35A** : 469-495

COLTHEART M, RASTLE K, PERRY C, LANGDON R, ZIEGLER J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 2001, **108** : 204-256

DE PARTZ MP, VALDOIS S. Troubles du langage et intervention : Les dyslexies et dysorthographies acquises et développementales. In : Troubles du langage : Bases théoriques, diagnostic et rééducation. RONDAL JA, SERON X (eds). Liège: Mardaga, 1999 : 749-795

FISHER SE, DEFRIES JC. Developmental dyslexia: genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature Reviews Neuroscience* 2002, **3** : 767-780

FRIEDMANN N, NACHMAN-KATZ I. Developmental neglect dyslexia in a Hebrew-reading child. *Cortex* 2004, **40** : 301-313

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. In : Surface dyslexia. PATTERSON K, MARSHALL J, COLTHEART M (eds). Erlbaum, London, 1985 : 301-330

FUNNEL E, DAVISON M. Lexical capture: a developmental disorder of reading and spelling. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1989, **41** : 471-487

GILLET P, LOISEL ML, BILLARD C, AUTRET A, SANTINI JJ. La dyslexie phonologique développementale est-elle la conséquence d'un trouble du développement de la boucle articulatoire? Etude d'un cas. *Revue de Neuropsychologie* 1993, **3** : 116-117

GOULANDRIS NK, SNOWLING M. Visual memory deficits: a plausible cause of developmental dyslexia? Evidence from a single case study. *Cognitive Neuropsychology* 1991, **8** : 127-154

HANLEY JR, GARD F. A dissociation between developmental surface and phonological dyslexia in two undergraduate students. *Neuropsychologia* 1995, **33** : 909-914

HANLEY R, HASTIE K, KAY J. Developmental surface dyslexia and dysgraphia: an orthographic processing impairment. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1992, **44A** : 285-319

HARM MW, SEIDENBERG MS. Phonology, reading acquisition, and dyslexia : insights from connectionist models. *Psychological Review* 1999, **106** : 491-528

HARM MW, SEIDENBERG MS. Computing the meaning of words in reading: Cooperative division of labor between visual and phonological processes. *Psychological Review* 2004, **111** : 662-720

HOLMES VM. Skilled reading and orthographic processing. *Australian Journal of Psychology* 1996, **48** : 149-154

HOWARD D, BEST W. Developmental phonological dyslexia: real word reading can be completely normcoll. *Cognitive Neuropsychology* 1996, **13** : 887-934

HULME C, SNOWLING M. Deficits in output phonology: an explanation of reading failure? *Cognitive Neuropsychology* 1992, **9** : 47-72

JOB R, SARTORI G, MASTERSON J, COLTHEART M. Developmental surface dyslexia in Italian. In : Dyslexia: a global issue. MALATESHA RN, WHITAKER HA (eds). The Hague, Martinus Nijhoff, 1984 : 133-141

JOHNSTON RS. Developmental deep dyslexia? *Cortex* 1983, **19** : 133-139

JORM AF. The cognitive and neurological basis of developmental dyslexia: A theoretical framework and Review, *Cognition* 1979, **7** : 19-32

MANIS FR, CUSTODIO R, SZELSZULSKI PA. Development of phonological and orthographic skill: A 2-year longitudinal study of dyslexic children. *Journal of experimental Child Psychology* 1993, **56** : 64-86

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDE-CHANG C, PETERSON A. On the bases of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition* 1996, **58** : 157-195

MARSHALL J. Towards a rational taxonomy of developmental dyslexia. In : Dyslexia: a global issue. MALATESHA RN, WHITAKER HA (eds). The Hague, Martinus Nijhoff, 1984

MARTINET C, VALDOIS S. L'apprentissage de l'orthographe et ses troubles dans la dyslexie développementale de surface. *L'Année Psychologique* 1999, **99** : 577-622

MARTINET C, BOSSE ML, VALDOIS S, TAINURIER MJ. Discussion de la notion de stades successifs dans l'acquisition de l'orthographe d'usage. *Langue française* 1999, **124** : 58-73

MASTERSON J, HAZAN V, WIJAYATILAKE L. Phonemic processing problems in developmental phonological dyslexia. *Cognitive Neuropsychology* 1995, **12** : 233-259

MATTIS S, FRENCH JH, RAPIN I. Dyslexia in children and young adults: three independent neuropsychological syndromes. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1975, **17** : 150-163

MCCLOSKEY M, CARAMAZZA A. Theory and methodology in cognitive neuropsychology: A response to our critics. *Cognitive Neuropsychology* 1988, **5** : 583-623

MITTERER JO. There are at least two kinds of poor readers: whole word poor readers and recoding poor readers. *Canadian Journal of Psychology* 1982, **36** : 445-461

MORRIS RD, STUEBING KK, FLETCHER JM, SHAYWITZ SE, REID LYON G, et coll. Subtypes of reading disability: variability around a phonological core. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 347-373

PLAUT DC, MCCLELLAND JL, SEIDENBERG MS, PATTERSON K. Understanding normal and impaired word reading: computational principles in quasi-regular domains. *Psychological Review* 1996, **103** : 56-115.

ROMANI C, STRINGER M. Developmental dyslexia: A problem acquiring orthographic/phonological information in the face of good visual memory and good short term memory. *Brain and Language* 1994, **47** : 482-485

SAMUELSON S. Converging evidence for the role of occipital regions in orthographic processing: a case of developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia* 2000, **38** : 351-362

SEIDENBERG MS, MCCLELLAND JL. A distributed, developmental model of word recognition. *Psychological Review* 1989, **96** : 523-568

SEYMOUR PHK, BUNCE F. Application of cognitive models to remediation in cases of developmental dyslexia. In : *Cognitive Neuropsychology and Cognitive Rehabilitation*, RIDDOCH MJ, HUMPHREYS GW (eds), Hove, Erlbaum, 1994 : 289-316

SEYMOUR PHK, MCGREGOR CJ. Developmental dyslexia: A cognitive experimental analysis of phonological, morphemic and visual impairments. *Cognitive Neuropsychology* 1984, **1** : 43-82

SHARE D. Phonological recoding and self-teaching: sine qua non of reading acquisition. *Cognition* 1995, **55** : 151-218

SHARE DL. Phonological recoding and orthographic learning: a direct test of the self-teaching hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 95-129

SHARE DL. Orthographic learning at a glance: On the time course and developmental onset of self-teaching. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **87** : 267-298

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA, FULBRIGHT RK, SKUDLARSKI P, MENCL WE, et coll. Neural systems for compensation and persistence: Young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry* 2003, **54** : 25-33

SIEGEL LS. Deep dyslexia in childhood ? *Brain and Language* 1985, **26** : 16-27

SNOWLING M. Phonemic deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research* 1981, **43** : 219-234

SNOWLING M, HULME C. A longitudinal case study of developmental phonological dyslexia. *Cognitive Neuropsychology* 1989, **6** : 379-401

SNOWLING M, STACKHOUSE J, RACK J. Phonological dyslexia and dysgraphia: a developmental analysis. *Cognitive Neuropsychology* 1986, **3** : 309-339

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, LACERT P, SERNICLAES W. On subtypes of developmental dyslexia: Evidence from processing time and accuracy scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 87-103

STOTHARD SE, SNOWLING MC, HULME C. Deficits in phonology but not dyslexic? *Cognitive Neuropsychology* 1996, **13** : 641-672

STUART M, HOWARD D. KJ: A developmental deep dyslexic. *Cognitive Neuropsychology* 1995, **12** : 793-824

TEMPLE CM. Surface dyslexia in a child with epilepsy. *Neuropsychologia* 1984, **22** : 569-576

TEMPLE CM. Developmental dysgraphias. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1986, **38A** : 77-110

TEMPLE CM. Red is read but eye is blue: A case study of developmental dyslexia and follow-up report. *Brain and Language* 1988, **34** : 13-37

TEMPLE CM. *Developmental Cognitive Neuropsychology*. Hove, Psychology Press, 1997

- TEMPLE CM, MARSHALL JC. A case study of developmental phonological dyslexia. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 517-533
- VALDOIS S. A case study of developmental surface dyslexia and dysgraphia. *Brain and Cognition* 1996, **32** : 229-231
- VALDOIS S. Les dyslexies développementales mixtes: nouvelles perspectives. Entretiens d'orthophonie de Bichat. Paris, Expansion scientifique française, 2005 : 193-206
- VALDOIS S, LAUNAY L. Evaluation et rééducation cognitives des dyslexies développementales: illustration à partir d'une étude de cas. In : La rééducation en neuropsychologie: Études de cas. AZOUVI P, PERRIER D, VAN DER LINDEN M (eds). Marseille, Solcoll, 1999 : 95-116
- VALDOIS S, BOSSE ML, TAINTURIER MJ. The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: Review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia* 2004, **10** : 1-25
- VALDOIS S, GÉRARD C, VANEAU P, DUGAS M. Peripheral developmental dyslexia: a visual attentional account? *Cognitive Neuropsychology* 1995, **12** : 31-67
- VALDOIS S, PRADO C, ILDEI C, JOANNARD A, ORLIAGUET JP. New insights on developmental mixed dyslexia: Evidence from a single case study. (soumis)
- VALDOIS S, BOSSE ML, ANS B, CARBONNEL S, ZORMAN M, DAVID D, PELLAT J. Phonological and visual processing deficits can dissociate in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing* 2003, **16** : 541-572

9

Dyslexie : études de groupes et de cas multiples

Les difficultés d'apprentissage de la lecture peuvent avoir des origines diverses : un environnement social peu stimulant, une scolarisation non assidue ou une mauvaise maîtrise de la langue. La présence de troubles psychologiques, de déficits intellectuels ou encore de déficiences de la vision ou de l'audition peut également gêner cet apprentissage. C'est seulement face à une difficulté sévère d'apprentissage de la lecture, et après avoir éliminé les causes potentielles d'échec évoquées, que l'on peut parler de troubles spécifiques d'acquisition de la lecture, c'est-à-dire de dyslexie (Critchley, 1970 ; *World Health Organization*, 1993).

Ce chapitre présente une synthèse de l'état actuel des connaissances dans le domaine. Pour comprendre ce qui dysfonctionne chez le dyslexique, il faut toutefois avoir une idée du fonctionnement normal de la lecture et de son apprentissage. Le présent chapitre s'appuie donc sur les travaux présentés dans le chapitre 2, dans lequel ont été examinés les résultats des études sur les processus cognitifs mis en jeu dans la lecture chez celui qui sait lire (le lecteur dit « expert ») ainsi que ceux provenant des études sur l'apprentissage normal de la lecture.

Ces travaux ont montré que ce sont les mécanismes qui permettent d'identifier les mots écrits qui sont spécifiques à la lecture, le processus de compréhension étant largement amodal, c'est-à-dire similaire quel que soit le mode de présentation des informations linguistiques, écrit ou oral. En effet, chez le lecteur qui a développé des procédures d'identification des mots écrits efficaces, les corrélations entre compréhension écrite et orale sont très élevées. Ces travaux ont également montré que le lecteur expert a recours à des procédures d'identification des mots écrits très rapides et fortement indépendantes du contexte. De plus, ce lecteur a accès quasi-immédiatement non seulement à l'image visuelle des mots écrits, mais aussi à leur forme sonore. C'est le développement de telles procédures de lecture qui permet à l'enfant d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale, en le dégageant du poids d'un décodage lent et laborieux. Les travaux de recherche suggèrent également que, dans une écriture alphabétique, la maîtrise du décodage est le *sine qua non* de l'apprentissage de la

lecture. Les bons décodeurs précoces sont en effet ceux qui progressent le mieux, et le plus vite. En outre, la « transparence » de l'orthographe facilite cet apprentissage. Ainsi, les enfants espagnols apprennent à lire plus vite que les petits français qui eux-mêmes apprennent plus vite que les petits anglais. Les travaux de recherche signalent enfin que les capacités phonologiques (capacités d'analyse phonémique, de mémoire phonologique à court terme et de dénomination rapide) sont les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre.

Le présent chapitre est centré sur deux principales questions : comment fonctionnent les procédures d'identification des mots écrits chez les dyslexiques et quelles sont, en dehors de la lecture, les compétences déficientes chez eux ? Auparavant, les principaux problèmes que posent les études portant sur ce type de population sont examinés.

Quelques problèmes méthodologiques

C'est face à une difficulté sévère d'apprentissage de la lecture, et après avoir éliminé les causes potentielles d'échec évoquées dans l'introduction, que l'on peut parler de dyslexie. Cette définition n'est toutefois pas opérationnelle d'un point de vue diagnostique. Elle ne fournit en effet aucun indice permettant de caractériser la dyslexie. La seule définition basée sur des critères non exclusionnaires s'appuie sur l'examen des performances en lecture des dyslexiques. Elle part du fait que, pour pouvoir comprendre des textes, l'enfant doit acquérir un haut niveau d'automatisme dans l'identification des mots écrits. C'est le développement d'une telle compétence qui lui permettra d'atteindre un niveau de compréhension écrite égal à celui de sa compréhension orale. Dans ce contexte, ce qui caractérise la dyslexie est l'incapacité de développer des procédures automatiques d'identification des mots écrits, cette difficulté, inattendue vu l'âge et les autres habiletés cognitives des dyslexiques, n'étant pas la conséquence de troubles sensorimoteurs. Cette définition est celle retenue par l'*International Dyslexia Association* (2005).

Une autre question est de savoir à partir de quand on peut dire d'un enfant qu'il est dyslexique. Si on accepte un critère souvent retenu (2 ans de retard), ce n'est qu'après deux ans d'échec qu'il est possible de faire un bilan de dyslexie, et donc d'apporter les aides nécessaires. Un meilleur critère est de tenir compte de l'écart par rapport à la moyenne des performances d'un groupe de lecteurs ne présentant pas de difficultés. On qualifie alors de déviantes les performances qui se situent, par exemple, à plus de 1,65 écart-type de la norme, ce qui, dans une distribution normale, correspond aux 5 % des sujets qui ont les scores les plus faibles.

Pour évaluer un déficit, il faut toutefois disposer de normes. Si on admet que le déficit principal des dyslexiques concerne les procédures d'identification des mots écrits, les tests doivent évaluer cette compétence. De tels tests existent dans les pays anglo-saxons (WRAT-R, Jastak et Wilkinson, 1984 ; Woodcock, 1987). Ces tests, utilisés aussi bien par les cliniciens que par les chercheurs, comportent des épreuves de lecture de mots et de pseudo-mots, qui ne prennent toutefois en compte que la précision de la réponse (pas le temps de réponse), ce qui a pu conduire à sous-estimer les déficits des dyslexiques les plus âgés (Shaywitz et Shaywitz, 2005). De telles batteries existent en France, la Belec (Mousty et Leybaert, 1999), l'Odedys et l'Evalec (Sprenger-Charolles et coll., 2005). Seule la dernière présente des données normatives pour le niveau CP qui tiennent compte à la fois de la précision et du temps de latence des réponses correctes.

Une question cruciale, pour ceux qui cherchent à mettre en relief un possible « génotype » de la dyslexie, est de savoir s'il y a un « phénotype ». En d'autres termes, est-ce que les manifestations de la dyslexie se retrouvent de façon identique chez la plupart des sujets. D'après les modèles de référence dans le domaine (Plaut et coll., 1996 ; Coltheart et coll., 2001), pour identifier les mots, le lecteur peut utiliser une procédure lexicale (ou visuo-orthographique) ou une procédure sublexicale (ou par médiation phonologique), ce qui renvoie, dans la terminologie utilisée dans le domaine de l'enseignement, à la lecture globale de mot, par opposition à son décodage. Dans ce contexte, la question est de savoir s'il y a des troubles des procédures d'identification des mots écrits qui prévalent chez les dyslexiques (c'est-à-dire qui se retrouvent de façon convergente à travers les études et qui caractérisent la majorité des cas) ou si, au contraire, il y a différents types de dyslexie. Cette question a des implications pour la prise en charge des enfants, qui doit s'adapter à la nature du trouble. Dans les parties suivantes, après avoir présenté la première étude dans laquelle la question de l'homogénéité des profils de dyslexie a été évaluée, sont explicités quelques problèmes méthodologiques à la source d'incohérences dans la littérature sur la dyslexie.

De l'étude princeps de Boder (1973) aux modèles issus de la neuropsychologie

La question de savoir s'il y a ou non homogénéité dans les manifestations de la dyslexie du développement était au cœur de l'étude de Boder (1973) qui a porté sur une centaine d'enfants de 8 à 16 ans. Dans un premier temps, des mots étaient présentés durant une seconde. Ceux qui n'ont alors pas été reconnus ont été représentés pendant 10 secondes. Les items reconnus dans la première condition sont supposés faire partie du vocabulaire « visuel » des enfants et ceux lus dans la seconde, supposés avoir été décodés. La dernière étape de l'étude comportait une épreuve d'écriture portant sur les mots reconnus visuellement et sur ceux décodés. La typologie a été établie sur la base des

résultats de cette épreuve. La plupart des dyslexiques (60 %) ont des troubles phonologiques sélectifs. Ces dyslexiques, dits dysphonétiques, n'écrivent correctement que les mots qu'ils connaissent par cœur. Les 10 % de dyslexiques dits dyseidétiques ont des problèmes spécifiques de mémorisation de la forme visuelle des mots : ils écrivent les mots comme ils les prononcent. Un troisième groupe inclut les enfants les plus sévèrement handicapés, qui souffrent à la fois de troubles visuels et phonologiques. D'après cette étude, les troubles phonologiques se retrouvent donc dans la majorité des cas de dyslexie. Cette étude a eu une large influence dans la pratique clinique. Elle est toutefois biaisée par le fait que la classification des dyslexiques était basée sur leurs habiletés d'écriture. Cette approche a été remplacée dès la fin des années 1970 par les travaux issus de la neuropsychologie.

La neuropsychologie s'est intéressée au traitement de l'information chez des patients qui ont perdu certaines habiletés suite à un accident cérébral. On parle alors de troubles acquis, par opposition aux troubles du développement. Les dyslexies acquises surviennent chez des adultes qui ont normalement appris à lire : l'architecture cognitive sous-tendant cette compétence était donc en place chez eux. En général, certains aspects de la lecture sont préservés et les dissociations fonctionnelles relevées permettent d'émettre des hypothèses sur les différentes composantes impliquées dans le processus de lecture. Ainsi, certains patients ne peuvent lire que les mots réguliers sur le plan des correspondances grapho-phonémiques, qu'ils soient ou non fréquents, et produisent des erreurs de régularisation sur les mots irréguliers, même très fréquents (« sept » lu comme « septembre »). D'autres présentent le profil inverse : ils ne peuvent lire que les mots fréquents, qu'ils soient ou non réguliers, et s'avèrent incapables de lire des mots nouveaux. Les patients du premier type sont dits avoir une dyslexie de surface (Coltheart et coll., 1983) et ceux du second type une dyslexie phonologique (Beauvois et Derouesné, 1979). Ces doubles dissociations, à la base du modèle à double voie de lecture (Coltheart, 1978 ; Coltheart et coll., 1993 et 2001), indiquent qu'il existerait deux procédures fonctionnellement distinctes : une procédure lexicale, s'appuyant sur la forme « globale » des mots et une procédure sublexicale (ou par médiation phonologique), s'appuyant sur les correspondances grapho-phonémiques.

Ces modèles ne sont pas forcément les plus adéquats pour rendre compte de la dyslexie du développement. En effet, chez ces dyslexiques, le déficit lexicale ne résulte pas d'une lésion cérébrale acquise après l'apprentissage de la lecture : il se manifeste au cours de cet apprentissage. C'est la raison pour laquelle des modèles développementaux ont été élaborés (Marsh et coll., 1981 ; Frith, 1985 et 1986 ; Harris et Coltheart, 1986 ; Morton, 1989). Si on admet que, d'une part, les procédures de lecture se mettent en place progressivement, en suivant une trajectoire développementale spécifique, la maîtrise de la procédure sublexicale (par médiation phonologique) conditionnant la mise en place de la procédure lexicale (voir le chapitre 2) et que, d'autre

part, les dyslexiques présentent des déficiences dans les traitements impliquant la phonologie (Ramus, 2003), la procédure sublexicale ne devrait pas se mettre correctement en place chez eux, ni par voie de conséquence, la procédure lexicale. On ne devrait donc pas rencontrer de profils dissociés de type dyslexie phonologique (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure phonologique de lecture) ou dyslexie de surface (caractérisée par un déficit spécifique de la procédure lexicale de lecture) dans la dyslexie du développement.

Apport et limites des différents types d'études

Deux types d'études ont occupé une place prépondérante dans la recherche sur la dyslexie jusqu'à une période récente : les études de groupes et celles de cas uniques. Les études de cas uniques visent à mettre en relief des profils extrêmes, représentatifs d'un type particulier de symptôme (Coltheart, 2004), alors que les études de groupes visent à déterminer ce qui caractérise le comportement moyen des dyslexiques, à partir de l'examen d'une large population supposée représentative de ce qu'est la dyslexie.

Dans les études de groupe, les scores d'un groupe de dyslexiques sont comparés à ceux d'un groupe de normolecteurs. Les différences sont dites robustes quand les mêmes résultats sont reproduits dans différentes études. Ces études neutralisent toutefois les individus. Or, les participants d'un même groupe n'ont pas tous le même comportement. Une différence significative peut en effet n'être due qu'à un petit nombre de dyslexiques, par exemple, autour de 50 %, comme dans une étude de Tallal (1980). Dans ce cas, il est illégitime de dire que le déficit observé est prévalent.

Les études de cas uniques ne s'intéressent en revanche qu'aux individus, leur objectif étant de mettre en relief l'existence de profils dissociés dans la dyslexie. On définit comme dyslexique phonologique celui qui a un déficit sélectif de la procédure par médiation phonologique et comme dyslexique de surface celui qui a un déficit sélectif de la procédure lexicale de lecture. Cette typologie est le plus souvent fondée sur la comparaison entre les scores en lecture de mots irréguliers fréquents (qui peuvent être traités par la procédure lexicale) et ceux en lecture de pseudo-mots (traités par la procédure par médiation phonologique). Le dyslexique phonologique a des performances normales en lecture de mots irréguliers fréquents alors que ses performances en lecture de pseudo-mots sont en dessous de la norme, et vice versa pour la dyslexie de surface. Ce type d'étude pose deux problèmes. D'une part, lorsque l'on n'examine que des profils dissociés, sont exclus les dyslexiques qui ont un double déficit. D'autre part, on ne peut rendre compte de la prévalence des différents profils.

Pour connaître cette prévalence, il faut s'appuyer sur l'examen de séries de cas. Ce type d'études permet de surmonter les difficultés respectives des deux

méthodes précédentes. Ces études utilisent en effet la méthode des cas uniques, sauf qu'elles prennent en compte plusieurs cas non sélectionnés pour leur typicité. De plus, comme les études de groupes, elles portent sur une large population supposée représentative de la population des dyslexiques. Elles peuvent donc permettre de connaître la prévalence des profils de type dyslexie phonologique et de surface. Elles permettent également de cerner la proportion des profils mixtes que les études de cas uniques ont toujours négligés. Une méthode de plus en plus utilisée s'appuie sur l'examen de séries de cas de dyslexiques émanant d'une vaste cohorte suivie pendant plusieurs années depuis une période précédant l'apprentissage de la lecture. Ce type d'études permet d'évaluer les différences entre de futurs dyslexiques et de futurs normolecteurs avant l'apprentissage de la lecture ainsi que la stabilité des profils de dyslexie dans le temps.

Limites des comparaisons avec des enfants de même âge

Les performances des dyslexiques sont souvent comparées à celles de normolecteurs de même âge, ce qui est discutable. En effet, le niveau de lecture a une incidence sur les capacités langagières, entre autres, le vocabulaire et les capacités d'analyse phonémique. En conséquence, une différence entre dyslexiques et normolecteurs de même âge chronologique dans ces domaines peut simplement s'expliquer par le niveau de lecture des dyslexiques. D'autre part, il y a des changements au cours de l'apprentissage dans les procédures de lecture utilisées. Ainsi, l'effet de la régularité (la différence entre la lecture de mots réguliers, comme « table » et irréguliers, comme « sept ») est plus notable chez les jeunes enfants (7-8 ans) que chez les plus âgés (à 10 ans). En conséquence, il est problématique de comparer les compétences en lecture de normolecteurs de 10 ans à celles de dyslexiques de même âge mais ayant un niveau de lecture d'enfants de 8 ans.

Bryant et Impey (1986) ont été les premiers à avoir mis en relief le caractère crucial d'une comparaison entre dyslexiques et normolecteurs de même niveau de lecture. Ce type de comparaison, à la différence de celles avec des normolecteurs de même âge chronologique, permet en effet de cerner si la dyslexie correspond à un simple retard d'apprentissage. Pour donner une image, on peut se figurer une balance avec deux plateaux et des poids sur chacun d'eux, les poids sur le plateau de gauche et sur celui de droite indiquant respectivement l'efficacité des procédures sublexicale et lexicale de lecture. Le poids global de ces deux procédures est identique chez les dyslexiques et les normolecteurs. Si les plateaux s'équilibrent de la même façon chez les dyslexiques et les normolecteurs plus jeunes, les dyslexiques ont un simple retard d'apprentissage. Les plateaux peuvent toutefois ne pas se positionner de façon identique dans les deux populations. Dans ce cas, comme le soulignent Bryant et Impey (1986), les dyslexiques présentent un profil atypique,

non observé chez des enfants qui ont le même niveau global de lecture qu'eux : leur trajectoire développementale est donc déviante.

Limites dues aux mesures utilisées pour caractériser les déficits lexiques des dyslexiques

Les effets les plus souvent manipulés sont ceux de lexicalité, de fréquence et de régularité. La manifestation d'effets de fréquence ou de lexicalité est considérée comme étant la signature de la procédure lexicale. En effet, cette procédure doit permettre de mieux lire les mots fréquents que les rares, leur adresse étant plus facilement accessible parce que plus souvent sollicitée. La lexicalité n'est que la limite extrême de la fréquence, les pseudo-mots ne pouvant avoir d'adresse dans le lexique interne d'un sujet, vu qu'ils n'existent pas. D'un autre côté, une supériorité de la lecture de mots réguliers par rapport à des mots irréguliers (effet de régularité) est l'indicateur du recours à la procédure sublexicale (par médiation phonologique), les mots irréguliers ne pouvant être correctement lus par cette procédure.

L'efficacité d'un comportement doit se mesurer par sa précision et sa rapidité. La rapidité de la réponse ne peut cependant être utilisée que si le nombre de réponses correctes est suffisamment élevé (plus de 50 % pour les épreuves de lecture à haute voix de mots ; Olson et coll., 1994). Cela permet de comprendre pourquoi, dans les études effectuées avec des dyslexiques anglophones, il n'a le plus souvent été tenu compte que de la précision. En effet, le nombre moyen de réponses correctes est souvent très bas, ce qui n'est pas le cas dans d'autres langues, comme en espagnol ou en allemand, dans lesquelles les bilans de dyslexie se basent sur le temps de traitement. Ce n'est également pas le cas en français bien que le temps de réponse ne soit que rarement pris en compte, ce qui a pu conduire à des erreurs de diagnostic. En effet, il n'est pas possible de dire que les capacités de lecture d'un sujet dyslexique sont préservées quand ce sujet est aussi précis que des normolecteurs mais plus lent.

Ces questions sont examinées dans ce chapitre qui présente d'abord les études sur le fonctionnement des procédures d'identification des mots écrits dans la dyslexie, puis celles sur les compétences déficitaires, en dehors de la lecture, chez ces sujets. Ce chapitre s'appuie sur les résultats d'études de groupes et de séries de cas. De plus, les manifestations de la dyslexie étant supposées être influencées par la transparence de l'orthographe, aussi souvent que possible sont présentés les résultats d'études inter-langues, et ceux d'études impliquant des non-anglophones. Une attention particulière est portée, d'une part, aux études s'appuyant sur des comparaisons entre dyslexiques et normolecteurs de même niveau de lecture, d'autre part, aux liens entre l'exactitude de la réponse et la vitesse de traitement et, enfin, aux études comportant des données longitudinales, en particulier celles recueillies avant l'apprentissage de la lecture chez de futurs dyslexiques.

Procédures d'identification des mots écrits dans la dyslexie

Cette section présente des résultats émanant d'études de groupes et de séries de cas individuels de dyslexiques. Les études de groupes permettent de caractériser le phénotype de la dyslexie, en mettant en relief la spécificité des procédures d'identification des mots écrits utilisées par ces sujets, en tant que groupe, alors les études de séries de cas permettent d'évaluer le nombre de sujets qui ont un déficit spécifique, quel qu'il soit. Les résultats des études de groupe sont dits robustes s'ils se retrouvent de façon convergente dans différentes études ; les déficits sont dits prévalents s'ils se retrouvent dans la majorité des cas.

Études de groupes

Les premiers travaux sur la dyslexie ont mis en relief des difficultés supposées visuelles. Par exemple, les dyslexiques lisent « p » à la place de « b » (Orton et Samuel, 1937). Cette hypothèse encore très populaire a été rejetée.

Pour être sûr que les confusions entre p-b (ou entre b-d) sont visuelles, il faudrait que ces erreurs ne concernent que ces deux lettres, et non leur équivalent phonologique t-d (ou p-t) ; ce qui n'est pas le cas. En effet, les dyslexiques (Fischer et coll., 1978 ; Vellutino, 1979), comme les lecteurs débutants (Liberman et coll., 1971 ; Cossu et coll., 1995 ; Sprenger-Charolles et Siegel, 1997), font autant de confusion entre p et b qu'entre t et d, ce qui suggère, comme le soulignent les auteurs, que les erreurs entre p et b sont plutôt phonologiques que visuelles.

Les études ultérieures sur la dyslexie ont pour la majeure partie d'entre elles été basées sur le modèle à double voie de lecture (Coltheart, 1978 ; Coltheart et coll., 1993 et 2001) et/ou sur les modèles développementaux (Frith, 1985 ; Harris et Coltheart, 1986 ; Seymour, 1986 ; Morton, 1989), l'objectif étant de vérifier si le déficit des dyslexiques concerne plutôt la procédure sublexicale que la procédure lexicale de lecture.

Dans le cadre de ces études, on utilise les items supposés être la meilleure signature de la mise en œuvre de l'une des deux procédures de lecture, des mots irréguliers fréquents pour la procédure lexicale, et des pseudo-mots non-analogues de mots de la langue²³ pour la procédure sublexicale (ou par médiation phonologique). Si la procédure sublexicale des dyslexiques est

23. C'est-à-dire des pseudo-mots qui ne ressemblent pas à des mots de la langue, ni sur le plan orthographique, ni sur le plan phonologique. En effet, des pseudo-mots proches de mots de la langue (comme « mable » ou « lorte », analogues de « table » et de « porte ») peuvent être partiellement lus par une procédure lexicale.

déficiente, leur déficit devrait surtout ressortir en lecture de pseudo-mots, parce qu'aucune stratégie lexicale n'est alors disponible (il n'est en effet pas possible de « reconnaître » un mot qui n'a jamais été rencontré). L'effet de la lexicalité, c'est-à-dire la différence entre la lecture de mots et de pseudo-mots, devrait donc être plus important chez eux que chez des normolecteurs. À l'inverse, l'effet de la régularité, c'est-à-dire la différence entre des mots réguliers comme « table » et des mots irréguliers comme « sept », devrait être plus faible chez eux que chez des normolecteurs. Cette dernière hypothèse est fondée sur le fait que l'utilisation normale de la voie sublexicale de lecture facilite la lecture de mots réguliers au détriment des mots irréguliers, au moins dans les étapes initiales de l'acquisition de lecture (voir pour des résultats en anglais ou en français : Backman et coll., 1984 ; Waters et coll., 1984 ; Sprenger-Charolles et coll., 1998 et 2003).

***Déficit des dyslexiques en lecture de pseudo-mots :
analyse des études de groupes anglophones***

La présence d'un déficit en lecture de pseudo-mots chez les dyslexiques, y compris par rapport à des normolecteurs plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture (appelés normolecteurs de même âge lexique ; NLAL), est un indicateur du fait que leur trajectoire développementale est déviante. Cette question a été évaluée dans la revue de la littérature de Rack et coll. (1992) et dans la méta-analyse de Van Ijzendoorn et Bus (1994).

Rack et coll. (1992) ont séparé les études en deux ensembles : celles où les dyslexiques se sont avérés plus faibles que les NLAL et les autres. Le premier ensemble comporte dix études impliquant 428 dyslexiques et un nombre équivalent de NLAL (Snowling, 1981 ; Baddeley et coll., 1982 ; Siegel et Ryan, 1988). Les dyslexiques ont de 5 à 1,3 ans de plus que les NLAL (médiane : 2,5 ans). Les différences pour l'exactitude de la réponse en lecture de pseudo-mots varie de 43 % (Snowling, 1981) à 9 % (Baddeley et coll., 1982) avec une médiane de 19 %. L'autre ensemble inclut six études impliquant 276 dyslexiques et un nombre équivalent de NLAL (Beech et Harding, 1984 ; Treiman et Hirsh-Pasek, 1985 ; Szeszulski et Manis, 1987). Les différences d'âge entre groupes varient entre 4 et 1 ans (médiane : 3) et celles pour les scores en lecture de pseudo-mots entre 15 et 0 % (médiane : 4 %), les deux scores extrêmes ayant été relevés chez les enfants qui avaient le niveau de lecture le plus bas et le plus élevé dans l'étude de Szeszulski et Manis (1987). Le résultat nul observé dans le dernier cas peut donc provenir d'effets plafonds pour la précision de la réponse. Rack et coll. (1992) postulent que les différences entre ces deux ensembles peuvent être dues soit aux tests employés pour appairer les groupes, soit au type de pseudo-mots utilisé. En effet, les différences non significatives émergent, d'une part, dans les études dans lesquelles les dyslexiques ont été appariés aux NLAL sur la base d'un test impliquant la lecture de mots en

contexte, ou celle de mots simples. D'autre part, elles se retrouvent surtout dans les études qui ont utilisé des pseudo-mots simples (courts ou peu complexes).

La validité de ces explications a été évaluée par Van Ijzendoorn et Bus (1994) dans une méta-analyse des études prises en compte par Rack et coll. (1992). La population entière comporte 1 183 sujets, la moitié étant dyslexiques. Van Ijzendoorn et Bus ont calculé la taille de la différence entre les scores des dyslexiques et ceux des NLAL en nombre d'écarts-type. Pour estimer la force d'un effet, les valeurs proposées par Cohen (1988) ont été utilisées : un effet de 0,20 est considéré faible, à partir de 0,50, il est dit modéré, et à partir de 0,80, fort. Pour la totalité des études passées en revue par Van Ijzendoorn et Bus, la taille de l'effet varie de 0 à 1,03 (moyenne : 0,48). La taille de l'effet est de 0,66 pour les études dans lesquelles la différence entre dyslexiques et NLAL était significative. Toutefois, la combinaison des scores des études qui, individuellement, n'avaient pas permis de mettre en relief un déficit des dyslexiques en lecture de pseudo-mots montre que ce déficit est présent : bien qu'étant plus faible que pour les autres études (0,27), la différence entre dyslexiques et NLAL est significative ($p < 0,005$).

Van Ijzendoorn et Bus ont ensuite examiné l'impact des facteurs qui, selon Rack et coll. (1992), ont pu biaiser les résultats. En fait, le type de pseudo-mots (longueur ou degré de similitude par rapport à des mots) n'a pas d'incidence sur la taille d'effet. En revanche, la nature du test utilisé pour apparier les groupes influe sur la taille de l'effet, qui est plus faible dans les études qui ont utilisé un test de lecture de mots en contexte ou facile à lire (0,23) que dans celles fondées sur la lecture de mots complexes (0,62).

Cette méta-analyse corrobore les conclusions de Rack et coll. (1992), à savoir que le déficit systématiquement relevé en lecture de pseudo-mots chez les dyslexiques comparativement à des enfants plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture, est un argument fort à l'appui de l'hypothèse qu'un déficit phonologique est au cœur de la dyslexie, ce déficit traduisant un développement déviant de leurs compétences phonologiques de lecture. Elle signale aussi les biais introduits par un appariement fait sur la base d'un test non adéquat.

***Effet de la régularité dans la dyslexie :
méta-analyse des études de groupes anglophones***

L'effet de la régularité fournit un index de l'utilisation de la procédure sublexicale de lecture. Si les dyslexiques n'utilisent que peu cette procédure, l'effet de la régularité devrait être plus faible chez eux que chez des normolecteurs (Manis et coll., 1990). En dépit de la validité apparente de cette prédiction, un effet de régularité de même amplitude a été relevé entre

dyslexiques et normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture (NLAL) dans les études anglophones (Olson et coll., 1985 ; Bruck, 1988 ; Stanovich et coll., 1988 ; Snowling et coll., 1996a). Metsala et coll. (1998) ont effectué une méta-analyse de 17 études (en tout, plus de 1 000 participants : 536 dyslexiques et 580 NLAL).

Comme dans les analyses de Van Ijzendoorn et Bus (1994), la taille de l'effet de la régularité a été évaluée en fonction de l'écart-type entre les groupes, pondéré cette fois par l'effectif. La taille de cet effet est globalement de 0,63 (non pondéré : 0,74), et, contrairement aux prédictions, elle est de même amplitude pour les dyslexiques (0,58 ; non pondéré : 0,64) et les NLAL (0,68 ; non pondéré : 0,85). Y compris dans les huit études qui avaient montré une infériorité de cet effet chez les dyslexiques (Frith et Snowling, 1983 ; Szeszulski et Manis, 1987 ; Murphy et Pollatsek, 1994), la taille de l'effet n'est pas pour eux différente de celle observée pour les NLAL. En outre, la fréquence des mots a un impact sur l'importance de l'effet, son amplitude diminuant en fonction de la fréquence des mots. Cependant, y compris dans les études qui ont employé des mots de haute fréquence, la taille moyenne de l'effet est au-dessus de zéro, en conformité avec les résultats rapportés par Jared (1997) montrant que la régularité affecte même la lecture de mots de haute fréquence.

Effets de lexicalité et de régularité dans la dyslexie : autres exemples (anglais et français)

Un premier exemple permettant d'apporter des éléments nouveaux à propos du déficit de la procédure par médiation phonologique chez les dyslexiques vient d'une étude longitudinale dans laquelle les effets de lexicalité et de régularité ont été évalués en même temps chez eux et chez des normolecteurs qui, au départ, avaient un même niveau de lecture (Snowling et coll., 1996a). Au début de l'étude, les scores des dyslexiques en lecture ne différaient pas de ceux des NLAL. Toutefois, ils deviennent inférieurs à ceux des NLAL au temps 2 (soit deux ans après la première évaluation), particulièrement pour la lecture de pseudo-mots (15 % d'amélioration contre 42 % pour les NLAL, soit une différence de 27 %). La différence de progression entre sessions pour ces deux groupes est moins marquée pour les mots réguliers (16 %) et les mots irréguliers (12 %). Ainsi, même lorsqu'un déficit en lecture de pseudo-mots n'a pas été observé chez des dyslexiques comparativement à des NLAL, les différences de progression dans le temps montrent que les dyslexiques ont des difficultés majeures quand ils doivent utiliser les correspondances grapho-phonémiques sans pouvoir s'appuyer sur leurs connaissances lexicales. En revanche, l'effet de la régularité, significatif pour les deux groupes et pour les deux sessions de test, ne permettait pas de différencier les dyslexiques des NLAL, ce qui est conforme aux résultats rapportés par Metsala et coll. (1998).

Les effets de lexicalité et de régularité ont également été examinés simultanément dans une étude francophone (Casalis, 1995) qui a impliqué des dyslexiques dont le niveau de lecture était inférieur de deux ans à leur âge chronologique. Ces enfants dyslexiques (QI normal, absence de déficit linguistique ou sensori-moteur) ont été appariés à des NLAL. Les deux groupes ont eu à lire des pseudo-mots ainsi que des mots réguliers et irréguliers. L'exactitude et la latence de la réponse vocale ont été mesurées. Comme relevé dans les études anglophones (Metsala et coll., 1998), l'effet de la régularité est significatif et également fort dans les deux groupes. En revanche, et toujours comme en anglais (Rack et coll., 1992 ; Van Ijzendoorn et Bus, 1994), l'effet de la lexicalité est plus fort chez les dyslexiques que chez les NLAL.

Des résultats similaires ont été rapportés dans d'autres études impliquant des enfants français (Casalis, 2003 ; Grainger et coll., 2003). Dans l'étude de Bosse et Valdois (2003), bien que les performances en lecture de deux groupes de 10 dyslexiques (âge entre 9 et plus de 15 ans), l'un présentant un déficit visuo-attentionnel, l'autre un déficit phonologique, soient similaires à celles de normolecteurs de même niveau de lecture, quel que soit le test (lecture de mots réguliers ou irréguliers et lecture de pseudo-mots) et la mesure (précision ou rapidité), l'examen des données montre que les dyslexiques ont systématiquement des scores inférieurs à ceux des normolecteurs de même niveau de lecture, en lecture de pseudo-mots. Ainsi, le groupe des dyslexiques phonologiques est moins précis que le groupe témoin plus jeunes (28,4 réponses correctes contre 30,2 ; écarts-types : 6,4 et 3,9) et plus lent (2,3 secondes contre 1,7 ; écarts-types : 0,8 et 0,6). Les mêmes tendances ont été relevées chez les 10 dyslexiques souffrant d'un déficit visuo-attentionnel, chez lesquels les différences sont surtout marquées pour le temps de traitement (plus d'une seconde de différence avec les normolecteurs de même niveau de lecture : 3,3 secondes contre 2,2 ; écarts-types : 1,7 et 0,4), pas pour la précision de la réponse (28,8 réponses correctes contre 29,1 ; écarts-types : 5,9 et 3,8).

Ces différentes études indiquent que les dyslexiques souffrent d'une déficience sélective de leur procédure phonologique de lecture qui est sévère puisqu'elle se retrouve même dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture.

Comparaisons entre dyslexiques anglophones et non-anglophones

Les études impliquant des dyslexiques anglophones et non-anglophones sont rares. À notre connaissance, la première a été effectuée par Lindgren et coll. (1985). Elle a inclus plus de 1 500 enfants de 11 ans, environ 1 000 anglophones et 500 italo-phones. Le niveau de lecture a été évalué à l'aide des tests de compréhension : 50 questions à choix multiple portant sur 8 textes (*International Evaluation of Educational Achievement*, Thorndike, 1973).

228 Les enfants ayant un QI supérieur ou égal à 85 et un score de compréhension

en lecture avec un écart-type en dessous de leur QI ont été dits dyslexiques. Sur cette base, la dyslexie paraît sensiblement plus prévalente aux États-Unis (7,3 %) qu'en Italie (3,6 %). Les capacités de décodage ont été également évaluées. En raison des différences entre les tests anglais et italiens, il n'a pas été possible de comparer les résultats des deux groupes nationaux. Les scores de 59 % des dyslexiques anglophones sont à au moins un écart-type en dessous des normes nationales en lecture de pseudo-mots, contre seulement ceux de 25 % des dyslexiques italophones. Les déficits des dyslexiques en lecture de pseudo-mots ont toutefois pu être sous-estimés, seule l'exactitude de la réponse ayant été prise en compte. De plus, comme le soulignent les auteurs, les différences entre dyslexiques et normolecteurs se retrouvent principalement dans des tests impliquant le traitement du langage. En particulier, les capacités verbales (entre autres, capacités de dénomination, de répétition de phrases et d'analyse phonémique) permettent de rendre compte de la plupart des différences entre dyslexiques et normolecteurs, mais pas les capacités visuelles (perception visuo-spatiale et capacités visuo-motrices), au moins dans ce dernier cas pour les dyslexiques italiens. Ainsi, bien que les déficits des dyslexiques anglophones semblent plus graves que ceux des dyslexiques italophones, les similitudes entre les deux groupes sont plus fortes que les différences. Toutefois, comme le soulignent encore les auteurs, l'irrégularité de l'orthographe de l'anglais pourrait conduire les anglophones à s'appuyer plus que les italophones sur des procédures « visuelles » (ou lexicales) de lecture.

La même conclusion ressort d'une étude de Landerl et coll. (1997) qui ont examiné les capacités de lecture de dyslexiques anglophones et germanophones de 11-12 ans qui avaient un retard en lecture d'environ 3-4 ans. Chaque groupe a été comparé à un groupe de normolecteurs plus jeunes (8 ans) mais de même âge lexique (NLAL). Des mots proches ont été utilisés dans les deux langues (« *boat-boot* »). Des pseudo-mots ont été créés en changeant les débuts des mots (« *brind* » pour « *blind* »). La longueur des items variait de 1 à 3 syllabes. Les scores des dyslexiques germanophones sont meilleurs que ceux des anglophones, même quand on compare la lecture des items les plus difficiles (pseudo-mots de 3 syllabes) à celle des items les plus faciles (mots de 1 syllabe). L'augmentation des erreurs en fonction de la longueur des items est plus importante pour les dyslexiques anglophones que pour les germanophones, surtout pour les pseudo-mots : 70 % d'erreurs sur les pseudo-mots de 3 syllabes pour les anglais contre 20 % pour les allemands. De plus, les différences entre les deux groupes de dyslexiques concernent surtout la lecture des voyelles (324 prononciations incorrectes de la première voyelle d'un mot chez les dyslexiques anglophones contre 20 chez les germanophones), ce qui peut s'expliquer par le fait qu'en anglais – mais pas en allemand – les correspondances graphème-phonème pour les voyelles sont très inconsistantes. Enfin, comparativement à leurs pairs NLAL, les dyslexiques, quelle que soit leur langue, font plus d'erreurs sur les pseudo-mots. Ces résultats

reflètent l'impact de la consistance de l'orthographe sur les performances en lecture des dyslexiques. Ils indiquent également que, quel que soit le degré d'opacité de l'orthographe, les déficits des dyslexiques sont principalement relevés en lecture de pseudo-mots, y compris par rapport à des enfants plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture.

Une autre étude a impliqué des dyslexiques anglais et allemands de 10-11 ans (Ziegler et coll., 2003) moins sévèrement atteints (la différence avec les NLAL est d'un peu plus de 2 ans contre 3-4 ans dans l'étude de Landerl et coll., 1997). Ces enfants ont eu à lire des items simples (mots et pseudo-mots d'une syllabe). La précision de la réponse et le temps de latence ont été pris en compte. Une nouvelle fois, un déficit des dyslexiques par rapport aux NLAL est relevé en lecture de pseudo-mots, mais seulement sur le temps de réponse, ce déficit étant de même amplitude dans les deux langues. Ces résultats suggèrent que, tout au moins quand les pseudo-mots ne sont pas trop difficiles et quand le retard en lecture des dyslexiques n'est pas trop sévère, même les dyslexiques anglais peuvent utiliser les correspondances grapho-phonémiques, leur déficit se manifestant seulement sur le temps qu'il leur faut pour réaliser la tâche.

Des résultats similaires ont été rapportés dans une étude qui a impliqué des adultes dyslexiques et des normolecteurs de même âge anglais, français et italiens (Paulesu et coll., 2001). Le temps de latence de la réponse vocale a été évalué pour des mots et des pseudo-mots. Afin de permettre une comparaison avec l'italien, uniquement des mots réguliers ont été utilisés en français et en anglais. Ces items étaient en plus très fréquents. Des pseudo-mots ont été créés à partir des mots, en changeant les consonnes internes. Quand les tailles relatives des effets (*z*-scores) ont été comparées, le déficit en lecture des dyslexiques anglais n'est pas plus marqué que celui des dyslexiques français ou italiens, en dépit de la plus grande inconsistance de l'orthographe de l'anglais. Ce n'est pas le même tableau qui ressort des scores bruts, comme le montre la figure 9.1 : plus l'orthographe est opaque, plus sévère est le déficit des dyslexiques. Le plus surprenant est que les performances des dyslexiques italiens se situent entre celles des normolecteurs anglais et français. On peut en conclure que la dyslexie est simplement la manifestation d'une difficulté linguistique spécifique, s'expliquant par l'opacité des relations grapho-phonémiques. Toutefois, un examen approfondi de cette figure permet de relever que, dans chaque groupe linguistique, l'écart entre les performances des dyslexiques et celles des normolecteurs est important. Sur-tout, et quel que soit le degré d'opacité des relations grapho-phonémiques, le déficit le plus notable se retrouve en lecture de pseudo-mots. En plus des investigations comportementales, des données de neuro-imagerie ont permis de relever un dysfonctionnement commun dans les trois groupes de dyslexiques comparativement aux normolecteurs, ce qui signale que le déficit de lecture des dyslexiques, qui concerne principalement la procédure phonologique de lecture, aurait une origine neurale commune.

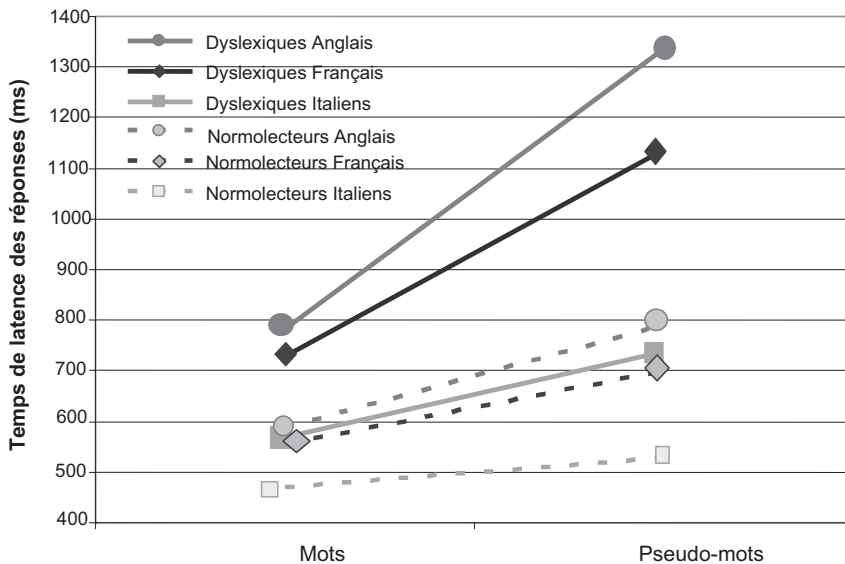


Figure 9.1 : Comparaison des temps de latence en lecture de mots et de pseudo-mots entre dyslexiques adultes et normolecteurs de même âge (anglais, français et italien) (d'après Paulesu et coll., 2001)

D'autres études n'impliquant pas des anglophones indiquent également que le déficit des dyslexiques se manifeste surtout par la lenteur de la réponse en lecture de pseudo-mots, y compris par rapport à des normolecteurs de même niveau de lecture (en espagnol : Jimenez-Gonzalez et Valle, 2000 ; en allemand : Wimmer, 1993 ; Wimmer, 1995 ; en français : Casalis, 1995 et 2003 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Grainger et coll., 2003).

Ces études indiquent donc qu'un déficit spécifique et sévère de la procédure phonologique de lecture caractérise les dyslexiques. Toutefois, l'opacité de l'orthographe est un facteur environnemental aggravant.

Explication non phonologique des déficits de lecture des dyslexiques non-anglophones

Certains chercheurs postulent que les problèmes de lenteur relevés chez les dyslexiques non-anglophones s'expliqueraient par leurs difficultés à mémoriser la forme visuelle des mots, alors que le déficit de précision relevé chez les anglophones proviendrait d'une déficience phonologique. En d'autres termes, les dyslexiques non-anglophones souffriraient d'une dyslexie de surface et les anglophones d'une dyslexie phonologique. Cette interprétation a été proposée pour expliquer des résultats observés en allemand (Wimmer et Mayringer, 2002 ; Hutzler et Wimmer, 2004) et en italien (Zoccolotti et coll., 1999 ; Judica et coll., 2002).

Une première étude (Wimmer et Mayringer, 2002) a pris en compte deux groupes de germanophones souffrant de dissociations entre leurs capacités de lecture et d'écriture. La logique qui sous-tend cette étude est que l'allemand se caractérise par une plus forte consistance des relations grapho-phonémiques (utilisées pour lire) que des relations phono-graphémiques (utilisées pour écrire). Il faut donc avoir des représentations orthographiques bien spécifiées pour écrire correctement les mots, alors qu'il suffit d'avoir une bonne maîtrise des relations grapho-phonémiques pour bien les lire. Le niveau de lecture a été évalué par la lecture d'une histoire courte et de deux listes de mots. Un score composite de fluence, exprimé en nombre de syllabes lues par minute, a été calculé sur la base des résultats aux trois tests de lecture. Les mots choisis pour le test d'écriture ne pouvaient pas être correctement orthographiés en utilisant les correspondances phonème-graphème. Les enfants ont eu aussi à lire des pseudo-mots, la précision et la rapidité de la réponse ont été prises en compte. Trois ans auparavant (1^{re} année de primaire), leurs capacités d'analyse et de mémoire phonologique, ainsi que la rapidité de dénomination de mots fréquents, avaient été évaluées.

Le premier groupe incluait 415 enfants et le second 230. Les enfants ayant des troubles de lecture et/ou d'écriture ont été répartis en 3 sous-groupes : ceux qui ont un déficit sélectif en lecture (scores au-dessous du 16^e percentile pour la fluence en lecture et au-dessus du 25^e pour la précision en écriture) ou en écriture (scores au-dessous du 16^e percentile pour la précision en écriture et au-dessus du 25^e pour la fluence en lecture) et ceux qui ont des capacités faibles dans les deux domaines. Dans le premier groupe, 83 des 415 enfants ont des difficultés de lecture et/ou d'écriture. Dans 51 % des cas, il s'agit d'un double déficit, dans 28 % des cas d'un déficit sélectif en lecture, les 22 % restant manifestant un déficit sélectif en écriture. Parmi les 230 enfants du second groupe, 54 ont un déficit de lecture et/ou d'écriture. Pour 37 % d'entre eux, il s'agit d'un double déficit, les autres sujets ayant un déficit sélectif de lecture (35 %) ou d'écriture (28 %).

Dans les sous-groupes souffrant d'un trouble spécifique de la lecture, ont été relevés des déficits précoces de dénomination rapide. En revanche, chez ceux souffrant d'un trouble spécifique de l'écriture, les déficits précoces émergeaient en analyse et en mémoire phonologique. Toutefois, dans la mesure où le temps de traitement pour les tests d'analyse et de mémoire phonologique n'a pas été pris en compte, tandis qu'uniquement le temps de traitement a été évalué dans le test de dénomination rapide, les différences observées peuvent s'expliquer par le type de mesure utilisé (précision *versus* temps) et non par le type de tâche. En effet, c'est sur la base du temps de traitement que le groupe supposé avoir un trouble spécifique de la lecture a été établi, ce déficit allant de pair avec une déficience de temps de traitement dans la tâche de dénomination rapide, alors que le groupe souffrant d'un déficit sélectif d'écriture a été constitué en fonction de la précision de

la réponse, ce déficit étant accompagné de difficultés au niveau de la précision de la réponse en analyse et en mémoire phonologique.

Les autres études qui ont évalué l'hypothèse selon laquelle les problèmes typiques de lenteur relevés chez les dyslexiques non-anglophones proviendraient de difficultés de mémorisation de la forme visuelle des mots ont utilisé les mouvements oculaires (en italien : De Luca et coll., 1999 ; De Luca et coll., 2002 ; Judica et coll., 2002 ; en allemand : Hutzler et Wimmer, 2004 ; Hawelka et Wimmer, 2005). Comme Rayner l'expliquait (1998), il n'est pas possible d'affirmer que le patron atypique des mouvements oculaires le plus souvent observé chez les dyslexiques soit la cause plutôt que la conséquence de leurs difficultés de lecture. Le poids de cette remarque est d'autant plus fort que, dans toutes les études ci-dessus citées, les performances des dyslexiques ont été comparées à celles de normolecteurs de même âge chronologique, à la différence de celles qui ont évalué les déficits phonologiques en lecture (excepté Lindgren et coll., 1985 ; Paulesu et coll., 2001). De plus, certains résultats relevés dans ces études sont compatibles avec l'hypothèse phonologique. Ainsi, comme le soulignent Hutzler et Wimmer (2004), l'opacité de l'orthographe semble avoir une incidence sur la durée moyenne de fixation, qui est plus courte chez les dyslexiques italiens que chez les germanophones. Par exemple, lors de la lecture d'un passage, cette durée est de 290 ms chez des dyslexiques italiens de 12 ans (56 ms de plus que chez les normolecteurs ; De Luca et coll., 1999). Dans une tâche identique, la durée moyenne des fixations est de 360 ms pour des dyslexiques allemands plus âgés (soit plus de 175 ms que chez les normolecteurs ; Hutzler et Wimmer, 2004). Enfin, les différences les plus notables entre dyslexiques italiens et allemands sont encore trouvées en lecture de pseudo-mots.

La méthodologie utilisée dans ces études n'est pas la même, ce qui limite la portée des comparaisons. Toutefois, comme Hutzler et Wimmer le suggèrent (2004), les résultats de ces études ne permettent pas de corroborer l'hypothèse que les dyslexiques non-anglophones auraient un profil de type surface, ce d'autant plus que le patron atypique des mouvements oculaires relevé chez eux comparativement aux normolecteurs (nombre plus élevé de fixations et durée prolongée de ces fixations) a été non seulement trouvé en lecture de mots, comme attendu chez les dyslexiques de surface, mais aussi, et de façon encore plus marquée, en lecture de pseudo-mots, comme attendu chez les dyslexiques phonologiques. De plus, des déficits dans des tâches impliquant des traitements phonologiques (en particulier : répétition de pseudo-mots, détection de rimes et dénomination rapide) ont été relevés avant l'apprentissage de la lecture chez les futurs dyslexiques comparativement aux futurs normolecteurs de l'étude Hawelka et Wimmer (2005).

Les données à l'appui de la nouvelle explication, selon laquelle les troubles lexiques des dyslexiques non-anglophones seraient dus au fait qu'ils n'arrivent pas à bien mémoriser la forme globale des mots, sont donc ambiguës.

Il est surtout difficile de les réconcilier avec les résultats provenant de différentes études, effectuées dans différentes écritures alphabétiques, qui indiquent tous de façon convergente qu'un déficit phonologique sévère et spécifique de lecture est la caractéristique principale de la dyslexie développementale, y compris dans les langues qui ont une orthographe relativement transparente, ce déficit émergeant même dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes qu'eux, mais de même niveau de lecture, ce qui est clairement le signe d'une déviance développementale.

Discussion sur les études de groupe

La présence d'un déficit sévère en lecture de pseudomots s'accompagnant d'effets équivalents de la régularité chez des dyslexiques comparativement à des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture signale clairement que la procédure phonologique de lecture des dyslexiques est déficiente. Etant donné que ce sont pratiquement les mêmes études qui ont été passées en revue par Rack et coll. (1992), Van Ijzendoorn et Bus (1994), et Metsala et coll. (1998), et que, dans les autres études examinées (Casalis, 1995 ; Snowling et coll., 1996a), les effets de lexicalité et de régularité ont été évalués avec les mêmes enfants, ces résultats ne peuvent pas être attribués à des différences de population. Comme le soulignent Metsala et coll. (1998) les résultats des simulations effectuées avec le réseau connexionniste de Seidenberg et McClelland (1989) peuvent expliquer pourquoi les dyslexiques ont des difficultés spécifiques en lecture de pseudomots. En effet, ces simulations, qui ont permis de reproduire l'effet classique de la régularité, amplifient celui de la lexicalité : les performances du réseau en lecture de pseudo-mots étant plus faibles que celles de lecteurs experts (Besner et coll., 1990). L'échec de ce réseau pour la lecture de pseudo-mots a été attribué à la nature des codes utilisés pour mettre en correspondance les unités sublexicales écrites avec les unités sublexicales orales, à savoir des triplets de lettres. Comme suggéré par des recherches ultérieures, il est possible d'améliorer les performances de ce réseau en utilisant un codage plus approprié entre les unités d'entrée et de sortie, en l'occurrence, les correspondances graphème-phonème (Plaut et coll., 1996). Le fait que, pour la lecture de pseudo-mots, les performances des dyslexiques soient similaires à celles relevées dans les premières simulations de Seidenberg et McClelland (1989) pourrait donc provenir de l'inadéquation de leurs représentations phonologiques.

Ces études indiquent qu'un déficit spécifique et sévère de la procédure phonologique de lecture caractérise les dyslexiques et que l'opacité de l'orthographe est un facteur environnemental aggravant. Elles ne permettent toutefois pas de savoir quelle est la prévalence, dans la population des dyslexiques, de ce type de déficit.

Études de séries de cas de dyslexiques (ou études de cas multiples)

Les premières études de cas multiples ont été effectuées par Seymour (1986). Ces études ont été choisies parce qu'elles ont pris en compte la précision et la rapidité dans différentes évaluations des capacités phonologiques de lecture des dyslexiques et de leurs capacités visuelles. Cinq autres études sont également décrites parce qu'elles ont utilisé une méthodologie identique et qu'elles comportent des comparaisons avec des normolecteurs de même âge chronologique et de même niveau de lecture. Environ 300 dyslexiques ont été examinés dans ces études : 196 anglophones et 108 francophones. L'analyse de ces données devrait permettre de cerner de façon relativement fiable la prévalence des profils de dyslexie²⁴.

Capacités phonologiques et visuelles des dyslexiques : étude de Seymour (1986)

L'objectif de l'étude très documentée de Seymour (265 pages) était d'examiner la prévalence des déficits de la procédure phonologique de lecture ainsi que celle des déficits visuels chez des dyslexiques. Seymour a examiné 21 dyslexiques qui, en raison de problèmes sévères de lecture, avaient été adressés à différents organismes en charge des dyslexiques dans le district de Tayside, en Écosse. En fonction des critères d'exclusion, deux de ces dyslexiques n'auraient pas dû être intégrés dans la cohorte, l'un parce qu'il est issu d'un milieu socioéconomique très défavorisé et qu'il a un faible QI verbal (67, QI performance : 96), l'autre en raison de son faible QI performance (73, QI verbal : 80). Le niveau de lecture de la majorité de ces dyslexiques (14) est comparable à celui des témoins plus jeunes qu'eux. Ces 14 dyslexiques peuvent donc être considérés comme étant appariés aux témoins sur la base de leur âge lexique.

Les participants ont eu à effectuer de nombreux tests, les uns ayant pour but d'évaluer l'efficacité des traitements phonologiques en lecture, les autres celle des traitements visuels. Une première série de tâches de lecture impliquait des items de 3 à 7 lettres, des mots réguliers et irréguliers de haute fréquence ainsi que des pseudo-mots se prononçant comme des mots (homophones) ou non (non homophones). Les tâches visuelles comportaient des comparaisons de chaînes de lettres sur lesquelles les sujets devaient effectuer un jugement de similitude (même ou différent). L'une incluait deux suites de 3, 7 ou 11 lettres (« AAA... »), l'autre deux suites de 5 lettres qui pouvaient ou non se prononcer (« slart » *versus* « rtblj »). Dans la condition « différent », soit toutes les lettres étaient différentes, soit une seule. Dans le dernier cas, la lettre différente était en début, en milieu ou en fin de séquence

24. Il n'a pas été tenu compte de 4 autres études de cas multiples : trois pour l'absence de comparaison avec des normolecteurs de même niveau de lecture (Castles et coll., 1999 ; Zbell et Everatt, 2002 ; Milne et coll., 2003), un parce que la typologie ne s'appuie pas sur la lecture de pseudo-mots (McDougall et coll., 2004).

(« rtblj-rzblj », « slart-spart »). Ce protocole permet d'examiner l'exactitude et la vitesse de traitement, ainsi que de comparer les effets de longueur et de position, dans différents contextes. Selon Seymour, les dyslexiques souffrant d'un problème phonologique spécifique à la lecture devraient moins bien lire les pseudo-mots que les mots irréguliers fréquents, en revanche, leurs performances ne devraient être influencées ni par la longueur des chaînes, ni par la position de la lettre différente, dans les tâches visuelles. Le pattern inverse est attendu chez les dyslexiques souffrant de troubles visuels spécifiques.

Pour les témoins, les résultats présentés par Seymour, ainsi que ceux qu'il a été possible de calculer à partir des données incluses dans son livre (moyennes et écarts-types pour les tâches de lecture à haute voix) sont présentés dans les tableaux 9.I et 9.II. Ces tableaux présentent également les scores de chacun des 21 dyslexiques. Les cellules grisées indiquent un fonctionnement efficient. Sont qualifiées d'efficientes les compétences qui sont à moins de 1 écart-type (pour les tâches de lecture, tableau 9.I) ou entre les deux limites extrêmes (pour les tâches visuelles, tableau 9.II) de celles des normolecteurs.

Les scores obtenus en lecture par les dyslexiques sont présentés dans le tableau 9.I. Les dyslexiques chez qui l'effet de la lexicalité (c'est-à-dire la différence entre la lecture de pseudo-mots et celle de mots) est plus fort que chez les témoins, mais pas celui de la régularité (c'est-à-dire la différence entre la lecture de mots réguliers et irréguliers), sont dits souffrir d'un trouble phonologique en lecture.

Le temps moyen de la réponse vocale est à plus de 1 écart-type de celui des témoins pour 19 et 18 dyslexiques en lecture de mots et de pseudo-mots, respectivement. Pour les erreurs, seulement 10 dyslexiques ont des performances à plus de 1 écart-type de celles des témoins en lecture de mots, contre 14 en lecture de pseudo-mots. Ces données signalent l'importance de la prise en compte de la précision et du temps de traitement. Selon Seymour, 18 de ces dyslexiques ont des troubles phonologiques en lecture qui, pour 10 de ces sujets sont spécifiques, les 8 autres cas souffrant également de troubles visuels. Les 3 cas restant ont, toujours selon Seymour, un déficit visuel sélectif. Quatorze des 21 dyslexiques ont, d'après un test de lecture standardisé, le même niveau de lecture que les normolecteurs plus jeunes (NLAL). Seulement 3 d'entre eux n'ont pas de troubles phonologiques en lecture. La majorité des dyslexiques (11 sur 14) ayant le même niveau de lecture que les NLAL souffrent donc d'un trouble sévère de la procédure phonologique de lecture. Reste à voir si l'efficacité du processeur visuel, évaluée par les effets de longueur et de position, permet de différencier ces dyslexiques.

Les scores relevés dans les tâches visuelles sont présentés dans le tableau 9.II. Comparativement à la proportion de dyslexiques ayant des troubles phonologiques en lecture (18/21), ceux ayant des troubles visuels sont très peu nombreux. En effet, seulement 9 des 21 dyslexiques ont des troubles dans les tâches visuelles d'après le temps de traitement et seulement 3 d'après la précision de la réponse.

Tableau 9.1 : Tâches de lecture (erreurs et temps), les cellules grisées signalent des performances dans les normes (d'après Seymour, 1986)

	Âge chronologique	Niveau cognitif		Âge lexique	Lecture de mots fréquents (réguliers/irréguliers)		Lecture de pseudo-mots		Effet de la lexicalité		
		Verbal	Non Verbal		Schonell	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)
Groupe témoins de normolecteurs											
M	11,7			12,3		2,2	685,5	9,8	1223	7,6	258
ET	0,6			0,4		2,7	102	6,3	507	5,7	310
Rang	10,9-12,3			11,4-12,6							
+ 1ET						< 4,9	< 787,5	< 16,1	< 1730	< 11,0	< 568
+ 1,65ET						< 6,7	853,8	< 20,2	< 2060	< 13,2	< 770
Dyslexiques											
Cellules grisées: performances dans les normes											
SS	25,03	125	130	12,06+	1,2	783 (179)	23,8	23,8	1953 (1056)	22,6	1170
MP	22,06	85	64	11,08	3,0	1594 (962)	17,4	17,4	3453 (1434)	14,4	1859
SE	21,07	108	99	12,06+	4,8	1466 (1805)	14,8	14,8	2903 (1889)	10,0	1437
LT	19,00	99	123	11,05	7,7	1247 (1362)	31,1	31,1	3858 (2467)	23,4	2611
AD	17,07	106	132	12,06+	0,6	723 (150)	27,5	27,5	1004 (395)	26,9	281
DT	17,03	105	147	12,06+	1,8	1383 (493)	14,8	14,8	2279 (1012)	13,0	896
RO	16,10	126	?	12,06+	1,2	838 (142)	4,7	4,7	1336 (580)	3,5	498
DP	16,01	104	114	12,02	2,4	1132 (398)	12,3	12,3	1795 (1007)	9,9	663
MT	14,11	100	107	12,02	5,9	1437 (770)	29,7	29,7	4018 (2721)	23,8	2581
MF	14,08	106	126	12,03	1,2	932 (337)	8,9	8,9	1743 (1063)	7,7	811
FM	14,07	102	117	10,07	2,4	1087 (484)	22,1	22,1	2607 (1594)	19,7	1520
AR	14,06	117	121	11,00	5,4	1117 (540)	13,0	13,0	1653 (748)	7,6	536
JM	14,02	112	90	11,04	10,2	1209 (743)	30,5	30,5	2288 (1275)	20,3	1079

Tableau 9.1 (suite)

	Âge chronologique	Niveau cognitif		Âge lexicque Schonell	Lecture de mots fréquents (réguliers/irréguliers)		Lecture de pseudo-mots		Effet de la lexicalité	
		Verbal	Non Verbal		Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)
GS	13,05	121	83	9,09	9,5	1685 (782)	13,1	2292 (1063)	3,6	597
SB	13,04	113	132	10,00	16,7	1031 (648)	44,1	3055 (3107)	27,4	2024
SM	13,02	94	117	10,05	6,0	1490 (775)	27,1	2023 (819)	21,1	533
CE	13,00	114	106	11,10	3,0	1194 (520)	18,2	2440 (1707)	15,2	1246
LA	12,11	122	118	11,06	4,8	1399 (1200)	22,5	1910 (2700)	17,7	511
JB	12,06	94	102	9,00	14,9	1612 (874)	41,9	5298 (3027)	27,0	3686
PS	12,03	94	103	9,06	11,3	2209 (2098)	29,7	5856 (4043)	18,4	3647
LH	11,02	67	96	8,07	21,4	2205 (2206)	25,4	2566 (1411)	4	361

Tableau 9.II : Scores relevés dans les tâches visuelles : erreurs et temps pour les effets de la longueur et de la position, les cellules grisées signalent des performances dans les normes (d'après Seymour, 1986)

	1 ^{re} tâche de jugement de similitude (SIM1)		2 ^e tâche de jugement de similitude (SIM2)		Effet de la longueur (ms par lettre)			Effet de la position et de la légalité (ms par position)			
	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	SIM1	Mots fréquents	Pseudo-mots	SIM2 Position	SIM2 Légalité		
Groupe témoin : Caractéristiques des performances dites efficaces											
M (rang)	0 à 8	690 à 1300	2 à 18	1050 à 1850		-8 à 16 ¹	-2 à 23 ²	28 à 42 ³	16 à 245		
ET (rang)		130 à 360		290 à 580							
Dyslexiques. Cellules grisées: performances dans les normes (*: effet significatif; abs: absence d'effet)											
SS	1,7	978 (222)	3	1610 (415)	12	35*	169*	68	260*		Phonologique
MP	0,8	961 (308)	4	2613 (849)	19*	196*	340*	331*	300*		Phonologique Visuelle
SE	0,8	857 (205)	3	1912 (639)	27*	362*	413*	166*	Abs		Phonologique Visuelle
LT	5,0	543 (116)	13	760 (180)	7*	196*	288*	27	Abs		Phonologique
AD	2,5	657 (126)	6	1006 (297)	13*	20*	73*	100*	200*		Phonologique
DT	0,8	851 (302)	1	1299 (507)	11	113*	299*	53	Abs		Phonologique
RO	2,5	1281 (388)	2	2545 (736)	54*	26*	221*	103	600		Phonologique Visuelle
DP	1,7	735 (256)	4	1099 (427)	6	70*	328*	165*	Abs		Phonologique
MT	6,7	1160 (676)	26	2801 (1683)	-5	81	785*	159	1500		Phonologique Visuelle
MF	0,8	1107 (367)	0	2139 (667)	28*	55*	266*	153*	300		Phonologique Visuelle
FM	1,7	826 (238)	2	1321 (406)	20*	136*	621*	77	NS		Phonologique
AR	1,7	1004 (460)	4	2261 (1019)	32*	133*	191*	127	Abs		Phonologique
JM	2,5	739 (191)	10	1388 (375)	10	164*	474*	36	300		Phonologique

¹ Sauf 2 sujets qui ont des effets de longueur entre 18 et 28 ms/l (Seymour, 1986)

² Sauf 2 sujets qui ont des effets de longueur entre 31 et 48 ms/l (Seymour, 1986)

³ Sauf 4 sujets qui ont des effets de longueur de 74, 107, 148 et 396 ms/l (Seymour, 1986)

Tableau 9.II (suite)

	1 ^{re} tâche de jugement de similitude (SIM1)		2 ^e tâche de jugement de similitude (SIM2)		Effet de la longueur (ms par lettre)			Effet de la position et de la légalité (ms par position)			
	Erreur %	Temps (ms)	Erreur %	Temps (ms)	SIM1	Mois fréquents	Pseudo-mots	SIM2 Position	SIM2 Légalité		
GS	0,8	825 (248)	10	1735 (489)	15*	264*	389*	229*	300	Phonologique	Visuelle
SB	13,3	573 (104)	25	778 (238)	4	131*	707*	-2	Abs	Phonologique	
SM	2,5	812 (228)	8	1499 (453)	18*	243*	361*	287*	200	Phonologique	Visuelle
CE	0,0	1648 (890)	5	3597 (2838)	38	68*	427*	289	Abs	Phonologique	Visuelle
LA	8,3	606 (126)	23	1011 (320)	1	96	278	100*	Abs	Phonologique	
JB	0,8	918 (263)	7	1255 (378)	12	161*	548*	49	Abs	Phonologique	
PS	0,0	1038 (260)	4	2148 (481)	21*	206	951*	95	360*	Phonologique	Visuelle
LH	0,0	1131 (365)	2	3163 (1182)	21*	539*	368*	-93	700*	Phonologique	Visuelle

D'après Seymour, la tâche de jugement de similitude portant sur deux des suites de 3, 7 ou 11 lettres (« AAA/AAA ou AAA/AZA », épreuve de jugement de similitude 1, SIM1) requiert un traitement parallèle. Par conséquent, aucun effet de longueur n'est attendu quand les deux chaînes de lettres sont identiques (« AAA/AAA » ou « AAAAAAA/AAAAAAA »). Comme pour la lecture de mots irréguliers fréquents de 3 à 7 lettres (qui requiert également un traitement parallèle), le temps de réaction ne doit pas augmenter en fonction du nombre de lettres. C'est le résultat opposé qui est attendu pour la lecture de pseudo-mots (également de 3 à 7 lettres), supposés être traités sériellement. L'effet de la longueur sur les chaînes de lettres, les mots et les pseudo-mots a été évalué en calculant la relation linéaire entre le temps de traitement et la longueur des items, et exprimé en millisecondes par lettre (ms/l). Si la longueur des items influe sur les performances, cela signale un traitement sériel.

Le même raisonnement a été utilisé pour l'effet de la position de la lettre différente dans des suites de 5 caractères qui étaient ou non prononçables (« rtblj » ou « slart »). La lettre différente était soit en début, soit en milieu soit en fin de séquence (par exemple, « rtblj-rzblj », « slart-spart », épreuve de jugement de similitude 2, SIM2). Le temps de réaction a été exprimé en fonction de la position de la lettre différente. Des performances qui varient en fonction de la position de la lettre différente sont le signe d'un traitement sériel.

La seconde épreuve de jugement de similitude (SIM2) ne permet pas de différencier les dyslexiques des normolecteurs. La position de la lettre différente induit un effet qui varie de 16 à 245 ms chez les témoins (sauf 1), les scores de 16 des 21 dyslexiques étant dans les normes. De même, dans la première épreuve de jugement de similitude (SIM1), les scores de la plupart des dyslexiques sont dans les normes (-5 à 15 ms/l) ou juste au-dessus (18 à 21 ms/l). Un fort effet de longueur (27 à 54 ms/l) est observé chez 5 dyslexiques, 3 qui selon Seymour ont un trouble visuel sélectif (RO, MF et AR), les 2 autres souffrant aussi d'un déficit phonologique en lecture (CE et SE).

L'effet de longueur sur les mots fréquents varie de -2 ms/l à 23 ms/l chez les témoins (sauf 2) et seulement un dyslexique a des scores dans les normes. L'effet de la longueur est non significatif chez la plupart des témoins alors qu'il est significatif chez la plupart des dyslexiques. De plus, chez 13 dyslexiques, cet effet est 5 fois supérieur à celui relevé chez les normolecteurs. C'est toutefois en lecture de pseudo-mots que les groupes se différencient le plus fortement. Ainsi, l'effet de la longueur se situe entre 28 et 42 ms/l chez les témoins ou juste au-dessus (48 ms/l). Tous les scores des dyslexiques sont hors normes et, pour 18 d'entre eux, l'effet de longueur est 5 fois supérieur à celui relevé chez les témoins. Seize de ces 18 dyslexiques avaient également un déficit phonologique en lecture.

La plupart des dyslexiques de cette étude ont un trouble phonologique en lecture (18/21), y compris dans la comparaison avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture (11/14). La proportion de dyslexiques ayant un déficit visuel supposé spécifique est faible (3 sujets). Les performances de ces 3 dyslexiques (RO, MF et AR) sont toutefois plus fortement affectées par les effets de longueur dans les tâches de lecture de pseudo-mots que dans celles qui impliquent un jugement de similitude entre des suites de lettres, ce qui est difficile à concilier avec l'idée qu'ils souffriraient d'une déficience visuelle sélective.

Les indicateurs de mise œuvre de stratégies compensatoires ont été relevés chez les dyslexiques. Ainsi, RO et MF tirent profit des effets de légalité dans l'épreuve de jugement de similitude entre des suites de lettres (leurs scores sont meilleurs quand les items sont prononçables), ce qui peut leur permettre de suppléer la déficience de leurs habiletés visuelles. De même, un effet de l'homophonie a été relevé en lecture de pseudo-mots chez 11 des dyslexiques souffrant de troubles phonologiques en lecture, ce qui signale que, quand c'est possible, ils utilisent leurs connaissances lexicales pour lire les pseudo-mots (ils lisent mieux ceux qui se prononcent comme des mots) sans doute pour suppléer la faiblesse de leurs habiletés phonologiques.

Tous les cas présentés par Seymour (1986) souffrent ou ont souffert d'un déficit phonologique, certains l'ayant surmonté dans le temps probablement grâce à l'aide de stratégies compensatoires. À l'appui de cette hypothèse, on peut noter que, parmi les trois cas n'ayant pas de déficit phonologique d'après les évaluations de leurs compétences de lecture effectuées alors qu'ils avaient entre 14 et 17 ans, deux ont eu des troubles du développement précoce de leur langage oral (RO et MF), l'autre présentait à 10 ans un profil de dyslexie mixte, et donc un déficit phonologique (Seymour et Porpodas, 1980).

Enfin, les deux dyslexiques qui n'auraient pas dû être intégrés en raison de leur faible QI (MP et LH), ne sont jamais ressortis comme ayant un profil atypique. Ce résultat est consistant avec les données qui suggèrent qu'il n'y a pas de différence majeure quant à la nature des déficits en lecture manifestés par les mauvais lecteurs tout-venant (qui ont à la fois un QI et un niveau de lecture faible) et les dyslexiques (Vellutino et coll., 2000 ; Stuebing et coll., 2002).

Études de cas multiples anglophones et francophones

Dans trois études anglophones (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997) et deux francophones (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000), 283 dyslexiques (175 anglophones, 108 francophones) ont été comparés à 401 normolecteurs de même âge chronologique (NLAC : 151 anglophones, 250 francophones) et à 342 de même âge lexique (NLAL : 67 anglophones, 275 francophones). Ces études ont utilisé, entre autres, la méthode classique pour typologiser les dyslexiques.

Dans cette méthode, on tient compte d'un déficit absolu de l'une des procédures de lecture, l'autre étant préservée. On définit comme dyslexique phonologique l'enfant qui a des performances normales en lecture de mots irréguliers mais dont les performances en lecture de pseudo-mots sont en dessous de la norme, et vice versa pour la dyslexie de surface. La typologie a été effectuée en tenant compte de la précision de la réponse en lecture à haute voix de mots irréguliers et de pseudo-mots. Dans l'étude de Sprenger-Charolles et coll. (2000), le temps de latence des réponses correctes a également été examiné. Le tableau 9.III présente les données descriptives de ces études.

Tableau 9.III : Études de cas multiples

Références	Dyslexiques	Enfants de même âge	Enfants de même niveau
	Sex-ratio (garçons/filles) Âge chronologique moyen	chronologique Sex-ratio (garçons/filles)	de lecture Sex-ratio (garçons/filles)
Castles et Coltheart, 1993 Anglophones	56 enfants (56 garçons) 11 ans (8½ à 15 ans)	56 enfants 56 garçons	17 enfants*
Manis et coll., 1996 Anglophones	51 enfants (37 garçons-14 filles) 12 ans (9 à 15 ans)	51 enfants 35 garçons-16 filles	27 enfants 18 garçons-9 filles
Stanovich et coll., 1997 Anglophones	68 enfants (29 garçons-39 filles) 9 ans (11 mois d'écart)	44 enfants 16 garçons-28 filles	23 enfants 13 garçons-10 filles
Génard et coll., 1998 Francophones	75 enfants (50 garçons-25 filles) 10 ans (9 à 12 ans)	231 enfants 99 garçons-132 filles	256 enfants 109 garçons-147 filles
Sprenger-Charolles et coll., 2000 Francophones	31 enfants (20 garçons-11 filles) 10 ans (11 mois d'écart)	19 enfants 11 garçons-8 filles	19 enfants 11 garçons-8 filles

*Analyses effectuées par Stanovich et coll. (1997) incluant 40 des 56 dyslexiques

Comparativement à des normolecteurs de même âge, la majorité des dyslexiques souffre d'un double déficit, la proportion des profils dissociés étant faible (figure 9.2). De plus, si on trouve à peu près autant de dyslexiques phonologiques que de dyslexiques de surface dans les trois études anglaises qui s'appuient toutes sur la précision de la réponse, cela n'est vrai en français que quand on se fonde sur le temps de latence (Sprenger-Charolles et coll., 2000). En revanche, quand en français on utilise la précision de la réponse, le nombre de dyslexiques phonologiques est plus faible que celui des dyslexiques de surface (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000). Ces résultats ne prennent en compte qu'un seul indicateur, soit la précision, soit le temps. Quand on tient compte de ces deux mesures (Sprenger-Charolles et coll., 2000), pratiquement tous les sujets ont un double déficit. Enfin, une faible proportion d'entre eux n'a aucun déficit, tout au moins d'après la précision de la réponse (16 sur les 283 dyslexiques), ce qui confirme que la plupart souffrent d'une déficience des procédures

d'identification des mots écrits. C'est le cas pour tous quand la classification est effectuée sur la base de la précision et de la rapidité (Sprenger-Charolles et coll., 2000).

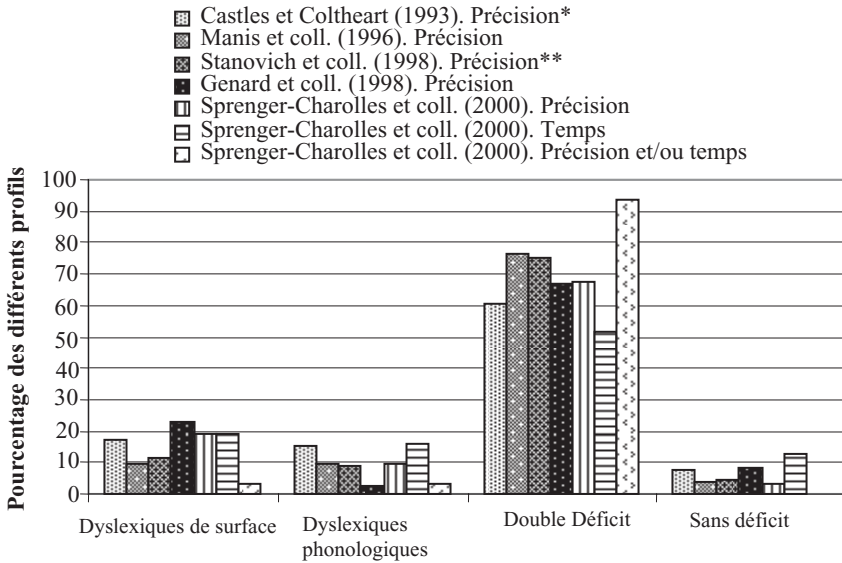


Figure 9.2 : Différents profils de dyslexie en comparaison avec des normolecteurs de même âge chronologique (scores à 1 écart-type en lecture de mots irréguliers et/ou de pseudo-mots)

* Cité dans Manis et coll. (1996) ; ** communication personnelle de Stanovich

Dans la mesure où la méthode classique (score à un écart-type) ne fait ressortir qu'une très faible proportion de dyslexiques ayant un profil dissocié, une autre méthode, qui s'appuie sur la présence d'un déficit relatif de l'une des procédures de lecture par rapport à l'autre a été développée. Cette méthode prend comme référence les performances des normolecteurs en lecture de mots irréguliers, en regard de celles pour les pseudo-mots, ou l'inverse, ce qui permet de tracer deux droites de régression avec leurs intervalles de confiance (IC). La première droite permet de repérer les enfants qui ont un déficit de la procédure phonologique de lecture, c'est-à-dire ceux dont les performances en lecture de pseudo-mots sont hors de l'IC et la seconde ceux qui ont un déficit de la procédure lexicale, en l'occurrence ceux dont les performances sont hors de l'IC pour les mots irréguliers. Les enfants qui se situent, dans les deux cas, hors de l'IC présentent un double déficit alors que ceux qui sont uniquement hors de l'IC dans l'une des comparaisons présentent une dyslexie phonologique ou de surface. Dans 4 des 5 études examinées, la comparaison entre dyslexiques et normolecteurs de même niveau de lecture a été effectuée avec cette méthode mais en ne tenant compte que

de la précision de la réponse (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997 ; Génard et coll., 1998). Cette comparaison permet de cerner si la dyslexie correspond à un simple retard développemental. Les résultats sont présentés dans le tableau 9.IV.

Tableau 9.IV : Différents profils de dyslexie en comparaison avec des normo-lecteurs de même niveau de lecture (méthode des régressions : précision de la réponse)

Études	Dyslexiques phonologiques (%)	Dyslexiques de surface (%)	Profils mixtes (%)	Absence de déficit (%)	Intervalle de confiance (%)
Castles et Coltheart, 1993	37,5*	5,0*	0,0*	57,5*	90
Manis et coll., 1996	29,4	2,0	0,0	68,6	95
Stanovich et coll., 1997	25,0	1,5	0,0	73,5	90
Génard et coll., 1998	8,0	0,0	0,0	92,0	95

*Analyse effectuée par Stanovich et coll. (1997) incluant 40 des 56 dyslexiques

Dans les 4 études examinées, les profils de type surface disparaissent presque complètement (4 cas au total), mais pas ceux de type phonologique (53 cas). De plus, la proportion des dyslexiques phonologiques, qui varie de 38 % à 25 % pour les études anglaises, est très faible en français (8 %, Génard et coll., 1998). La majeure partie des dyslexiques (177 cas, soit 75,5 %) se comporte donc comme les normolecteurs plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture. La trajectoire développementale de la plupart des dyslexiques apparaît donc comme n'étant pas déviante, au moins quand il n'est tenu compte que de la précision de la réponse.

Dans l'étude de Sprenger-Charolles et coll. (2000), la précision et le temps de traitement ont été évalués. Il est à signaler que tous les enfants de 21 classes de grande section de maternelle qui répondaient aux critères exclusionnaires classiques ont été intégrés dans cette étude. L'accord parental a été obtenu pour environ 400 enfants, 373 ont pu être suivis jusqu'à 8 ans. Les dyslexiques sont issus d'un groupe de 52 enfants qui avaient à 8 ans des scores de lecture à plus de 1 écart-type de la norme (d'après la Batelem ; Savigny, 1974). La plupart de ces enfants en difficulté de lecture (45) ont pu être revus à 10 ans. Les 33 enfants de 10 ans dits dyslexiques sont ceux qui présentaient alors un déficit sévère en lecture (plus de 2 écarts-types de la norme d'après l'Analec A2 ; Inizan, 1995). Cette population peut donc être supposée représentative de ce qu'est un dyslexique français « tout-venant ».

Ces dyslexiques ont été appariés à des normolecteurs plus jeunes (8 ans) de même niveau de lecture. Les résultats indiquent la proportion de dyslexiques

de surface (souffrant d'un déficit sélectif de la procédure lexicale de lecture évalué par la lecture de mots irréguliers fréquents), celle de dyslexiques phonologiques (ayant un déficit sélectif de la procédure sublexicale de lecture évalué par la lecture de pseudo-mots), ainsi que celle des dyslexiques ayant un double déficit ou une absence de déficit de l'une ou l'autre des deux procédures de lecture (figure 9.3). Les performances sont dites déficitaires quand elles se situent à moins de 1 écart-type (pour la précision) ou à plus de 1 écart-type (pour la rapidité de la latence de la réponse vocale) de celles des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture.

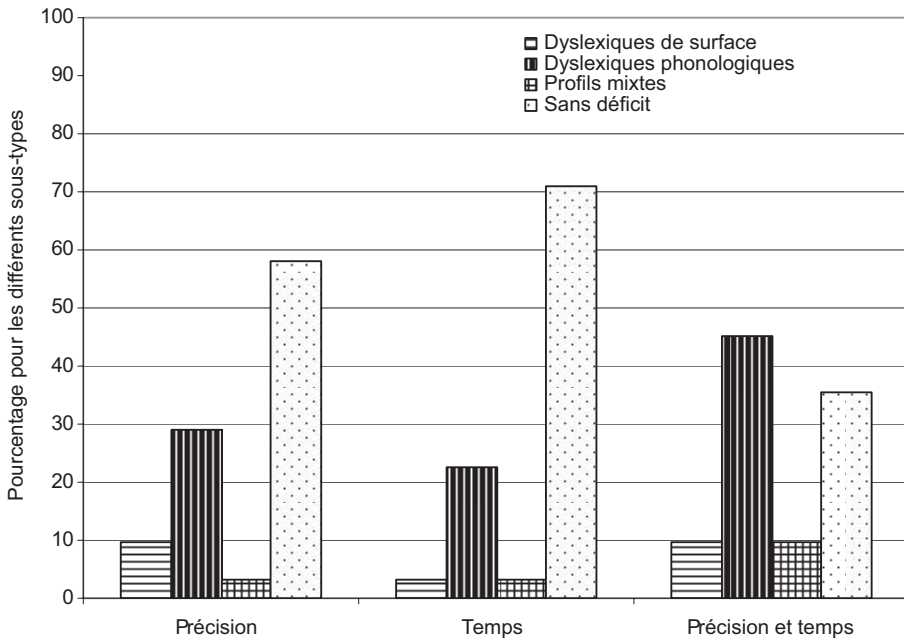


Figure 9.3 : Différents profils de dyslexie en comparaison avec des normolecteurs de même niveau de lecture (méthode classique : scores à 1 écart-type de ceux des normolecteurs pour la lecture de mots irréguliers et/ou de pseudo-mots)

Quand seulement un des deux indicateurs de l'efficacité des procédures de lecture est examiné, la majorité des dyslexiques se comporte comme les normolecteurs plus jeunes (entre 60 et 70 % d'entre eux pour la précision ou la rapidité). Ce n'est le cas que pour un peu plus d'un tiers d'entre eux quand il est tenu compte d'un déficit sur l'une ou l'autre de ces mesures. Toutefois, quelle que soit la mesure, la proportion des dyslexiques présentant un profil de type surface est faible (moins de 10 %). En revanche, la proportion des dyslexiques phonologiques est élevée. Un déficit de la procédure phonologique

de lecture est même relevé dans plus de la moitié des cas de dyslexie lorsque les analyses s'appuient à la fois sur la précision et sur la rapidité. Partant de ce constat, on peut supposer que les études qui n'ont pas examiné le temps de traitement ont sous-estimé la proportion des dyslexiques ayant des troubles sévères de la procédure phonologique de lecture.

Discussion sur les études de groupe et de séries de cas

Les études de groupe indiquent que les performances en lecture des dyslexiques sont particulièrement détériorées quand ils ne peuvent pas s'appuyer sur leurs connaissances lexicales pour lire, en l'occurrence en lecture de pseudomots. Ce déficit est systématiquement observé dans les comparaisons avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture, ce qui suggère que le développement des compétences phonologiques de lecture est déviant chez les dyslexiques (par exemple, en anglais : Rack et coll., 1992 ; Van Ijzendoorn et Bus, 1994 ; Snowling et coll., 1996a ; en français : Casalis, 1995 ; Grainger et coll., 2003 ; en allemand : Wimmer, 1993 et 1995 ; Landerl et coll., 1997 ; Ziegler et coll., 2003 ; en espagnol : Jimenez-Gonzalez et Valle, 2000). En outre, ce déficit est plus notable quand les dyslexiques sont confrontés à une écriture peu transparente, comme c'est le cas en anglais (Lindgren et coll., 1985 ; Landerl et coll., 1997 ; Paulesu et coll., 2001) comparativement au français (Paulesu et coll., 2001), à l'allemand (Landerl et coll., 1997), ou à l'italien (Lindgren et coll., 1985 ; Paulesu et coll., 2001). Toutefois, quand l'orthographe est transparente, le déficit de la procédure sublexicale des dyslexiques se note principalement par leur lenteur en lecture de pseudomots (en allemand : Wimmer, 1993 et 1995 ; Ziegler et coll., 2003 ; en espagnol : Jimenez-Gonzalez et Valle, 2000 ; en français : Sprenger-Charolles et coll., 2000).

Quelques chercheurs postulent que les problèmes typiques de fluence des dyslexiques non-anglophones s'expliqueraient par leurs difficultés à mémoriser la forme visuelle des mots, alors que le déficit de précision de la réponse des dyslexiques anglophones proviendrait d'une déficience phonologique (par exemple, pour l'allemand, Wimmer et Mayringer, 2002 ; Hutzler et Wimmer 2004 ; pour l'italien, De Luca et coll., 1999 et 2002 ; Zoccolotti et coll., 1999 ; Judica et coll., 2002). En d'autres termes, les dyslexiques non-anglophones souffriraient d'une dyslexie de surface et les anglophones d'une dyslexie phonologique. Il est toutefois difficile d'imaginer que le phénotype de la dyslexie puisse fortement différer en fonction de la transparence de l'orthographe et de la mesure utilisée. Les évidences à l'appui de l'hypothèse d'une spécificité des déficits des dyslexiques non anglophones viennent principalement de l'examen des mouvements oculaires au cours de tâche de lecture (en italien : De Luca et coll., 1999 et 2002 ; Judica et coll., 2002 ; en allemand : Hutzler et Wimmer, 2004 ; Hawelka et Wimmer, 2005). Comme Rayner l'expliquait dans une revue de la littérature (1998), il est difficile

d'affirmer que le patron atypique des mouvements oculaires le plus souvent observé chez les dyslexiques soit la cause plutôt que la conséquence de leurs difficultés de lecture. Le poids de cette remarque est d'autant plus fort que, dans ces études, à la différence de celles qui ont mis en relief les déficits phonologiques, les performances des dyslexiques ont été comparées à celles de normolecteurs de même âge chronologique. En plus, comme Hutzler et Wimmer le signalent (2004), certains résultats relevés dans ces études sont compatibles avec l'hypothèse phonologique. C'est le cas, par exemple, pour l'impact négatif de l'opacité de l'orthographe, tout comme pour celui de la lexicalité, sur la durée des fixations oculaires (les différences les plus notables entre dyslexiques et normolecteurs concernent la lecture de pseudomots). C'est également ce que suggère la présence, avant l'apprentissage de la lecture chez les futurs dyslexiques comparativement aux futurs normolecteurs, de déficits dans des tâches impliquant des traitements phonologiques (répétition de pseudomots, détection de rimes et dénomination rapide, cf. Hawelka et Wimmer, 2005).

Les études de séries de cas indiquent qu'un déficit des deux procédures d'identification des mots écrits se retrouve chez la plupart des dyslexiques comparativement à des enfants de même âge chronologique. Ainsi, dans 5 études de ce type, trois avec des enfants anglophones (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997) et deux avec des francophones (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000) par rapport aux témoins de même âge, la méthode classique a mis en relief surtout des profils mixtes, avec un double déficit, concernant à la fois la procédure phonologique de lecture et la procédure lexicale. C'est quasi-systématiquement le cas quand il est tenu compte de la précision et du temps de latence des réponses correctes (Sprenger-Charolles et coll., 2000).

La proportion des profils dissociés est donc très faible. En plus, elle varie en fonction des études. Ainsi, il y a moins de dyslexiques phonologiques que de dyslexiques de surface en français, tout au moins quand on ne tient compte que de la précision (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000). Par contre, quand la classification des dyslexiques français est élaborée sur la base de la rapidité (Sprenger-Charolles et coll., 2000), on observe autant de dyslexiques phonologiques que dans les études anglaises s'appuyant sur la précision (Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997). Les différences entre les études francophones et anglophones sont probablement dues à des facteurs linguistiques. Les correspondances grapho-phonémiques étant plus régulières en français, les dyslexiques francophones peuvent plus facilement que les anglophones surmonter les difficultés de mise en œuvre de la procédure sublexicale. Ces données, comme celles relevées dans les études de groupes, suggèrent que les dyslexiques francophones pourraient utiliser à peu près correctement les correspondances grapho-phonémiques, leur déficit phonologique se manifestant surtout par la lenteur de cette opération.

La seule étude qui a pris en compte la précision et le temps de réponse (Sprenger-Charolles et coll., 2000), suggère en plus que presque tous les dyslexiques ont un déficit phonologique sévère, qui se manifeste systématiquement quand ils doivent lire des mots nouveaux sur l'une ou l'autre, voire sur les deux mesures. Partant de ce constat, on peut supposer que, dans les études qui n'ont pas examiné le temps de traitement, la proportion des dyslexiques présentant des troubles phonologiques sévères est sous-estimée (Zabell et Everatt, 2002).

Les résultats précédents portaient sur des enfants de même âge. En comparaison avec des normolecteurs de même niveau de lecture, quand seulement un des deux indicateurs de l'efficacité des procédures de lecture est examiné (précision ou temps), la majorité des dyslexiques se comporte comme les normolecteurs. Ce n'est le cas que pour un tiers d'entre eux quand il est tenu compte d'un déficit de précision et/ou de rapidité. Quels que soient l'étude ou l'indicateur considérés, la proportion des dyslexiques présentant un profil de type surface est faible. Par contre, toujours quels que soit l'étude ou l'indicateur, la proportion des dyslexiques phonologiques reste élevée. Un déficit de la procédure phonologique de lecture est même relevé dans plus de la moitié des cas de dyslexie lorsque les analyses s'appuient à la fois sur la précision et sur la rapidité. Il est possible de rendre compte de ce phénomène par un chassé-croisé entre précision et rapidité, certains dyslexiques privilégiant la précision au détriment du temps, d'autres adaptant la stratégie inverse.

Dans l'ensemble, les résultats des études de cas multiples anglophones (Seymour, 1986 ; Castles et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997 ; Zabell et Everatt, 2002), francophones (Génard et coll., 1998 ; Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; voir également pour des résultats en espagnol Jimenez-Gonzalez et Ramirez-Santana, 2002) indiquent que le déficit de la procédure phonologique de lecture est prévalent dans la dyslexie. Ce déficit est aussi sévère puisqu'il se retrouve chez la plupart des dyslexiques dans la comparaison avec des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture, tout au moins quand il est tenu compte de la précision et de la rapidité. Comme le soulignait Seymour lui-même (1986), les 21 dyslexiques de sa cohorte présentaient tous des troubles phonologiques qui se manifestaient en lecture de pseudo-mots par la faible précision et/ou la lenteur de leurs réponses ainsi que par les effets de longueur, ce pattern dominant étant parfois accompagné de quelques signes des déficiences visuelles (voir également Sprenger-Charolles et coll., sous presse ; Ziegler et Goswami, 2005).

Compétences déficitaires hors lecture chez les dyslexiques

Les difficultés sévères et spécifiques rencontrées par les dyslexiques en lecture de mots nouveaux sont généralement expliquées par la faiblesse de leurs

habilités phonologiques en dehors de la lecture, entre autres, en analyse phonémique et en mémoire à court terme phonologique. Des déficits dans ces domaines peuvent en effet entraver la mise en place de la procédure phonologique de lecture vu que, pour utiliser cette procédure, il faut d'abord mettre en correspondance les unités sublexicales de l'écrit, les graphèmes, avec les unités correspondantes de l'oral, les phonèmes. Il faut ensuite assembler les unités résultant du décodage pour accéder aux mots. La première opération nécessite des habiletés d'analyse phonémique, la seconde implique la mémoire phonologique à court terme. Un enfant incapable d'extraire les phonèmes et souffrant en plus d'un déficit mnésique va difficilement pouvoir utiliser cette procédure (Liberman et coll., 1982 ; Mann et Liberman, 1984 ; McDougall et coll., 1994 ; Scarborough, 1998a et b).

Plus récemment, il a été mis en relief des déficits de précision, et surtout de rapidité, dans l'accès au lexique chez les dyslexiques (Wolf et Bowers, 1999 ; Wolf et coll., 2000 ; Wolf et coll., 2002). Partant de ce constat, certains auteurs assument qu'il y aurait deux sources indépendantes expliquant les déficits en lecture des dyslexiques, l'une reliée aux compétences d'analyse et de mémoire phonologique, l'autre reliée à l'accès lexical, généralement évaluée par le temps de réponse dans des tâches de dénomination rapide (*Rapid Automatic Naming*, ou RAN) impliquant des items très fréquents : images d'objet (une table, un ballon...), ou de couleur (rouge, bleu...), suites de nombres ou de lettres. Deux principales preuves ont été apportées à l'appui de cette hypothèse. D'une part, la réussite aux tâches de dénomination rapide permet d'expliquer une part unique de la variance en lecture, en plus de celle expliquée par les tâches d'analyse et de mémoire phonologique. D'autre part, les capacités d'analyse phonologique et de dénomination rapide ne sont pas reliées aux mêmes compétences de lecture, la première expliquant la précision de la réponse, la seconde le temps de traitement. Cette interprétation a été fortement critiquée (Wagner et coll., 1997 ; Vellutino et coll., 2004) dans la mesure où ces résultats peuvent s'expliquer aussi bien par le type de mesure utilisé (précision pour les tâches phonologiques, rapidité pour les autres), que par le type de tâche. En plus, la tâche de dénomination la plus souvent utilisée implique des lettres, et donc des capacités directement liées à la lecture. En fait, quand le niveau de pré-lecture est contrôlé, le pouvoir prédictif des habiletés de dénomination rapide diminue, pas celui des capacités d'analyse phonémique (Wagner et coll., 1997).

Dans la section suivante sont examinées les études de groupes indifférenciés de dyslexiques, ainsi que celles portant sur des dyslexiques présentant des profils dissociés de dyslexie, qui ont mis en relief des déficits des dyslexiques dans ces différents domaines de compétence. Une attention particulière est portée aux études dans lesquelles les capacités phonologiques hors lecture de dyslexiques ont été comparées à leurs capacités dans des domaines n'impliquant pas la phonologie. La dernière partie porte sur les prédicteurs de la dyslexie.

Études de groupes indifférenciés de dyslexiques

Dans deux des études déjà citées (Lindgren et coll., 1985 ; Paulesu et coll., 2001), il a été noté que ce sont principalement les capacités verbales qui différencient les dyslexiques des normolecteurs de même âge. Ainsi, dans l'étude de Lindgren et coll. (1985), les capacités d'analyse phonémique, de répétition de phrases et de dénomination permettent de rendre compte de la plupart des différences entre dyslexiques et normolecteurs dans chaque groupe linguistique (anglais et italiens), mais pas les capacités visuelles (perception visuo-spatiale et capacités visuo-motrices), au moins dans ce dernier cas pour les dyslexiques italiens. De même, et toujours quel que soit leur groupe linguistique (anglais, français, italiens), les dyslexiques adultes examinés par Paulesu et coll. (2001) diffèrent des témoins de même âge dans des tâches impliquant des traitements phonologiques (analyse phonémique, mémoire phonologique à court terme et dénomination rapide), mais pas, par exemple, dans des épreuves de compréhension. Partant de ce constat, Paulesu et coll. (2001) soulignent qu'un déficit dans les traitements phonologiques est un problème « universel » dans la dyslexie.

Dans les deux études précédentes, les comparaisons ont porté sur des sujets de même âge chronologique. Étant donné que le niveau de lecture a une incidence sur les capacités phonologiques en dehors de la lecture, ces résultats pourraient n'être que la conséquence du faible niveau de lecture des dyslexiques. Cela ne semble pas être le cas. En effet, les mêmes tendances ont été observées dans des comparaisons avec des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture que les dyslexiques, les déficits les plus robustes concernant toutefois les compétences d'analyse phonémique. C'est ce qui ressort de l'étude de Pennington et coll. (2001) qui a porté sur 70 enfants (de 7 à 12 ans) et adolescents (de 12 à 18 ans) dyslexiques. Quel que soit le groupe de dyslexiques, leurs scores sont plus faibles que ceux des normolecteurs de même niveau de lecture dans les tâches impliquant la manipulation de phonèmes. En revanche, seuls les dyslexiques adolescents les plus atteints ont des scores inférieurs aux témoins de même niveau de lecture pour les tâches de mémoire. Ce n'est le cas pour aucun des deux groupes de dyslexiques pour les tâches de dénomination. Les analyses de régression indiquent en plus que les compétences en analyse phonémique rendent compte de la majeure partie de la variance en lecture, y compris après avoir contrôlé les effets de l'âge et du QI verbal, les compétences en dénomination rapide n'expliquant dans ce contexte qu'une modeste part additionnelle de variance.

Des résultats similaires ont été rapportés par Chiappe et coll. (2002) dans une étude intensive (5 heures d'observation par sujet) qui a porté sur 40 adultes dyslexiques et autant de normolecteurs de même niveau de lecture. Les scores des dyslexiques ne sont inférieurs à ceux des témoins que dans les tâches qui requièrent des compétences en analyse phonémique.

Comme dans l'étude précédente, la majeure partie de la variance en lecture (plus de 50 %) est expliquée par les capacités d'analyse phonémique et, dans une moindre mesure, par celles de dénomination rapide. Comme le soulignent les auteurs, ces résultats signalent que les déficits des compétences d'analyse phonémique sont au cœur de la dyslexie, ces déficits étant persistants.

Des déficits d'analyse phonémique ont été rapportés dans d'autres études impliquant des dyslexiques et des témoins de même niveau de lecture en anglais (entre autres, Swan et Goswami, 1997a ; Joanisse et coll., 2000), ainsi que dans d'autres langues (en allemand, Landerl et coll., 1997). Toutefois, certaines études suggèrent que quand l'orthographe est transparente, les déficits d'analyse phonémique se retrouvent uniquement dans les étapes précoces de l'apprentissage de la lecture (Landerl et Wimmer, 2000).

Enfin, certaines études indiquent que les dyslexiques réussissent moins bien les tâches d'analyse phonémique qui impliquent des pseudo-mots que celles qui utilisent des mots (Bruck et Treiman, 1990 ; Bruck, 1992) ce qui signale que leurs déficits dans ce domaine sont plus importants quand ils ne peuvent pas s'aider sur leurs compétences lexicales (voir aussi Swan et Goswami, 1997a). Les mêmes tendances ont été relevées dans des épreuves impliquant la mémoire phonologique à court terme (Snowling et coll., 1986b) ou les capacités de dénomination (Swan et Goswami, 1997b).

Ainsi, dans l'étude de Swan et Goswami (1997b), le niveau de vocabulaire a été évalué par des tâches de dénomination d'images de mots courts et longs qui étaient fréquents ou rares. Les mêmes items ont été présentés dans une tâche de désignation d'images (4 images : une qui représente le mot correct, plus un intrus visuel, un intrus phonologique et un intrus sémantique). Les enfants ont également passé un test classique de vocabulaire (en désignation d'images). Dans l'épreuve de dénomination, les scores des dyslexiques sont plus faibles que ceux des normolecteurs plus jeunes mais de même niveau de lecture pour les mots rares, pas pour les mots fréquents. Surtout, les dyslexiques sont les seuls à être négativement affectés par la longueur des items, quelle que soit leur fréquence. En plus, ils produisent de nombreuses erreurs phonologiques, ce qui témoigne de l'imprécision de leurs représentations phonologiques. En revanche, dans les deux tâches de désignation d'images, les scores des dyslexiques ne diffèrent pas de ceux des témoins, y compris ceux de même âge chronologique. Selon les auteurs, ces résultats indiquent que les dyslexiques ont des difficultés de récupération des codes phonologiques des mots.

Les études de groupes indifférenciés de dyslexiques ont également mis en relief l'existence de déficits dans des tâches impliquant des traitements phonologiques avant l'apprentissage de la lecture chez de futurs dyslexiques comparativement à de futurs normolecteurs. C'est le cas, par exemple, pour la répétition de pseudo-mots, la détection de rimes et la dénomination

rapide dans l'étude de Hawelka et Wimmer (2005 ; voir aussi Wimmer, 1996).

Études de groupes de dyslexiques présentant un profil contrasté de dyslexie

Les résultats des études dans lesquelles ont été comparés des groupes de dyslexiques présentant un profil différent de dyslexie sont contradictoires. En effet, dans certaines études, seuls les dyslexiques phonologiques ont des déficits de nature phonologique (Manis et coll., 1996 ; Stanovich et coll., 1997 ; Bosse et Valdois, 2003 ; Bailey et coll., 2004), et pas dans d'autres (Sprenger-Charolles et coll., 2000 ; Jimenez-Gonzalez et Ramirez-Santana, 2002 ; Zabell et Everatt, 2002).

Ainsi, dans l'étude de Manis et coll. (1996), les capacités d'analyse phonémique de dyslexiques phonologiques et de surface ont été évaluées. Par rapport à des normolecteurs de même niveau de lecture, seuls les dyslexiques phonologiques ont des scores inférieurs. Les mêmes résultats ont été retrouvés dans l'étude de Bailey et coll. (2004) et dans celle de Stanovich et coll. (1997) dans des tâches impliquant, entre autres, la manipulation de phonèmes. De plus, dans l'étude de Stanovich et coll. (1997), les dyslexiques ayant un profil mixte se comportent comme les dyslexiques phonologiques. En particulier, leurs scores dans des tâches de manipulation de syllabes ou de phonèmes sont équivalents, et inférieurs à ceux de normolecteurs de même niveau de lecture. Une des rares études dans lesquelles les performances de dyslexiques ayant un profil mixte, et donc un double déficit, ont été examinées, indique donc que les capacités phonologiques de ces deux groupes de dyslexiques sont également détériorées. Comme les profils de type surface sont très peu fréquents, ces résultats suggèrent que la plupart des dyslexiques ont des troubles phonologiques en dehors de la lecture.

En revanche, dans d'autres études, aucune différence n'a été relevée entre des dyslexiques de surface et des dyslexiques phonologiques dans les compétences phonologiques en dehors de la lecture. Ainsi, dans l'étude de Zabell et Everatt (2002), les performances des dyslexiques de surface ne se différencient pas de celles des dyslexiques phonologiques dans quatre tâches phonologiques (par exemple, en dehors de la lecture de pseudo-mots, dans des tâches de fluence phonologique et de dénomination rapide d'images ou de chiffres), quelle que soit la mesure utilisée : précision ou rapidité. De même, dans l'étude par Jimenez-Gonzalez et Ramirez-Santana (2002), aucune différence n'a été observée entre dyslexiques de surface et dyslexiques phonologiques dans des épreuves d'analyse phonologique.

Des résultats similaires ont été relevés en français dans une étude (Sprenger-Charolles et coll., 2000) qui a permis de mettre en relief, à partir du temps

de latence des réponses vocales en lecture de pseudo-mots et de mots irréguliers fréquents, un groupe de dyslexiques phonologiques et un groupe de dyslexiques de surface. Les examens ont porté sur la mémoire phonologique et visuelle à court terme, un déficit en mémoire phonologique étant attendu chez les dyslexiques phonologiques et un déficit de la mémoire visuelle, qui ne leur permettrait pas de fixer l'image orthographique des mots, chez les dyslexiques de surface. Dans le test visuel utilisé (le Corsi), les enfants devaient reproduire une trajectoire entre plusieurs points (de 2 à 7). Le test phonologique était similaire (rappel de pseudo-mots de 3 à 6 syllabes). Les résultats sont présentés dans le tableau 9.V.

Aucune différence entre les deux groupes de dyslexiques n'est relevée, pas plus en mémoire phonologique qu'en mémoire visuelle. Toutefois, dans l'épreuve de mémoire phonologique, les deux groupes de dyslexiques ont des scores inférieurs à ceux d'enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture.

Tableau 9.V : Mémoire à court-terme phonologique et visuelle (d'après Sprenger-Charolles et coll., 2000)

Empan de mémoire à court terme (MCT)	NLAC ¹ (n = 19)	NLAL ¹ (n = 19)	Dyslexiques de surface ² (n = 10)	Dyslexiques phonologiques ² (n = 16)
MCT phonologique (/6)	4,95 (ET = 0,97)	4,84 (ET = 0,83)	3,40 (ET = 1,17)	3,75 (ET = 0,77)
MCT visuelle (/7)	5,16 (ET = 0,76)		4,90 (ET = 0,88)	4,88 (ET = 0,96)

Moyenne et écart-type (ET) pour des dyslexiques et des normolecteurs de même âge (NLAC) et de même niveau de lecture (NLAL)

¹ Les deux groupes témoins comportent les mêmes enfants, testés à 10 ans (NLAC) et à 8 ans (NLAL) ; ² Dyslexiques âgés de 10 ans

Les enfants de cette étude ont également passé avant et après l'apprentissage de la lecture (à 5 ans et 7 ans) une épreuve d'analyse phonémique. Ils devaient supprimer le premier phonème de 20 pseudo-mots, 10 « consonne-voyelle » (nan, zon, ja...) et 10 « consonne-voyelle-consonne » (vour, buf, nol, bap...). Une épreuve d'analyse musicale leur a aussi été proposée aux mêmes époques. Ils devaient juger si deux mélodies de trois notes étaient ou non identiques. Parmi les 18 paires présentées, 6 se différençaient par le contour, 6 par le registre et 2 par les deux. Les résultats sont présentés dans la figure 9.4. Avant l'apprentissage de la lecture, les scores des futurs dyslexiques phonologiques ne différaient pas de ceux des futurs dyslexiques de surface et étaient inférieurs à ceux des futurs normolecteurs dans l'épreuve d'analyse phonémique, mais pas dans celle d'analyse musicale.

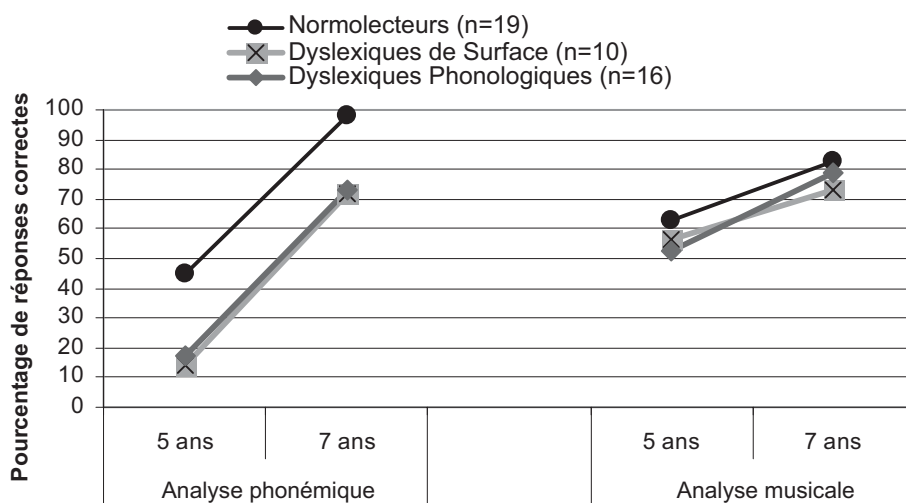


Figure 9.4 : Comparaison des performances en analyse phonémique et musicale des dyslexiques phonologiques, de surface et normolecteurs (d'après Sprenger-Charolles et coll., 2000)

De plus, dans l'épreuve d'analyse phonémique, les performances de la plupart des futurs dyslexiques étaient égales à zéro avant l'apprentissage de la lecture (0/20 pour 23 des 33 futurs dyslexiques, soit 70 %), et cela quel que soit leur futur profil de dyslexie. Seuls 3 des futurs normolecteurs étaient, à la même époque, incapables de réaliser cette tâche. Toutefois, les scores de 3 d'entre eux étaient très faibles (1 ou 2 sur 20). Si les enfants qui ont des scores entre 0 et 3 pour l'apprentissage de la lecture sont dits être « à risque », c'est le cas pour 73 % des futurs dyslexiques contre 32 % des futurs normolecteurs. Ces données indiquent, qu'avec une épreuve du type de celle utilisée, il est possible de repérer dès cette époque de façon relativement fiable les enfants à risque pour l'apprentissage de la lecture.

Les compétences déficitaires chez les dyslexiques sont donc principalement les compétences d'analyse phonémique, celles de mémoire phonologique à court terme, de dénomination rapide et le niveau de connaissance des lettres. Ce sont également ces compétences qui, comme l'indiquaient les études présentées dans le chapitre sur l'apprentissage de la lecture, sont les prédicteurs les plus fiables du futur niveau de lecture des enfants. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre.

Dans la section suivante, sont examinés les prédicteurs des difficultés de lecture chez des enfants dits « à risque » pour cet apprentissage, à savoir ceux qui sont issus de milieux défavorisés et de familles de dyslexiques. Les enfants dysphasiques, qui souffrent de troubles spécifiques du langage oral, sont également inclus dans cette catégorie.

Prédicteurs des difficultés de lecture dans les populations « à risque »

Comme le notent Elbro et Scarborough (2003) dans leur synthèse de la littérature, les résultats de plusieurs études montrent que les indicateurs qui prédisent le devenir en lecture sont identiques, quelle que soit la population : par exemple, chez des enfants « tout-venant » *versus* ceux qui sont supposés « à risque » pour l'apprentissage de la lecture, que ce risque soit d'origine linguistique ou sociologique (voir par exemple, Snow et coll., 1991). Dans la suite, nous examinerons les études qui ont porté sur des familles de dyslexiques ainsi que celles incluant des enfants dysphasiques (voir le chapitre 2 pour les études portant sur des enfants tout-venant).

Enfants de familles de dyslexiques

Le risque de devenir dyslexique pour un enfant issu d'une famille dans laquelle l'un des parents proches est dyslexique est multiplié par 4, voire plus (Gilger et coll., 1991). Ainsi, selon Scarborough (1998a), environ 40 % des enfants de telles familles deviennent dyslexiques alors que des difficultés spécifiques de lecture sont relevées dans moins de 10 % des cas dans des familles sans dyslexiques. Scarborough (1989, 1990 et 1991) a suivi entre 2 ans et demi et 8 ans des enfants issus ou non de familles de dyslexiques. Les groupes étaient appariés en fonction du milieu socioculturel et du niveau d'intelligence des enfants. Une partie de ces enfants a été revue à l'âge de 14 ans (66 sur 78 ; Scarborough, 1998b). À la fin de la 2^e année du primaire, 22 des 34 enfants de famille à risque avaient un an ou plus de retard en lecture. Le même résultat n'est relevé que pour 2 des 44 autres enfants des familles de témoin. Les différences de niveau de lecture en fonction du « risque » familial ont également été retrouvées en 8^e année.

Scarborough a examiné de façon rétrospective les données recueillies avant l'entrée à l'école. Dès 2 ans et demi, alors que les enfants des deux groupes ont des compétences non-verbales similaires, ils diffèrent pour la compréhension, et surtout pour la production du langage. Plus précisément, bien qu'à 2 ans et demi les futurs dyslexiques utilisent dans la conversation un vocabulaire aussi étendu que celui des futurs normolecteurs, ils font plus d'erreurs de prononciation et produisent des phrases moins longues et moins complexes. À partir de 3 ans et demi, les futurs lecteurs dyslexiques ont des performances significativement inférieures à celles du groupe témoin pour le vocabulaire et la dénomination d'images. À 5 ans, ils ont davantage de difficultés dans des tâches d'analyse phonologique ainsi que dans des épreuves de connaissance des lettres, tout comme dans celles impliquant la manipulation des correspondances grapho-phonologiques.

Des résultats identiques sont rapportés par Gallagher et coll. (2000) dans une étude qui a porté sur 59 familles avec au moins un parent dyslexique. Comme dans l'étude précédente, les critères exclusionnaires classiques ont été pris en compte (en particulier, problèmes visuels, émotionnels et

médicaux). Les enfants ont été suivis de 4 ans à 6 ans. À 4 ans, les évaluations ont porté sur les compétences non verbales (test de dessin du bonhomme), le niveau de vocabulaire (en désignation et en dénomination), la qualité de la syntaxe (longueur des phrases produites) et de la compréhension du langage (rappel d'une histoire). La maîtrise des aspects phonologiques du langage a été évaluée par la qualité de l'articulation, les compétences en répétition de pseudo-mots et par la sensibilité aux rimes. Dans ce dernier cas, les enfants devaient, d'une part, réciter des « *nursery rhymes* » et, d'autre part, corriger les erreurs produites par l'expérimentateur quand il récitait ces petites poésies en les modifiant. Les évaluations à 6 ans ont porté sur les capacités de lecture et d'écriture, incluant la compréhension.

Sur les 63 enfants du groupe à risque, 36 (soit 57 %) ont effectivement des difficultés de lecture à 6 ans : leurs scores sont à plus de 1 écart-type de ceux des témoins. C'est le cas pour 4 enfants (sur 34, soit 12 %) du groupe témoin. Les analyses ont comparé le groupe témoin et les deux groupes d'enfants qui étaient « à risque », ceux qui ont effectivement rencontré des difficultés de lecture et les autres. Aucune différence entre les 3 groupes n'est relevée pour le milieu socioculturel, le sexe et les habiletés non verbales. En revanche, les performances des enfants en difficultés de lecture diffèrent de celles des enfants du groupe témoin dans pratiquement toutes les mesures impliquant le langage. Sauf dans les évaluations de la qualité de l'articulation, les enfants en difficultés de lecture se différencient également de leurs pairs à risque qui ont normalement appris à lire sur presque toutes les mesures impliquant le traitement du langage. Enfin, les analyses de régression indiquent que les prédicteurs du niveau de lecture sont, par ordre décroissant : le niveau de connaissance des lettres ; la maîtrise des aspects phonologiques du langage (évaluée par la précision de l'articulation et la répétition de pseudo-mots) ; et les autres capacités langagières (évaluées par le niveau de vocabulaire, les capacités syntaxiques et le rappel d'histoire).

Les résultats de ces deux études ont été reproduits dans d'autres études impliquant des enfants anglais (par exemple Pennington et coll., 1999 ; Pennington et Lefly, 2001), mais également des enfants danois (Petersen et Elbro, 1999) et finlandais (Lyytinen et coll., 1994). Dans toutes ces études, alors que les groupes ne diffèrent pas pour les habiletés non verbales, les enfants issus de familles de dyslexiques souffrent de troubles spécifiques et précoces du langage oral. Dans l'étude finlandaise, un dysfonctionnement dans l'activité neurale suscitée par l'écoute de sons de la parole a même été observé très précocement chez eux, à 6 mois (Leppanen et coll., 1999 ; Leppanen et coll., 2002).

Enfants dysphasiques

La dysphasie est un trouble spécifique du langage oral qui se manifeste en l'absence de troubles sensori-moteurs avérés. Une partie de ces enfants ont

également des difficultés de lecture (Baker et Cantwell, 1987 ; Aram et Hall, 1989 ; Bishop et Adams, 1990 ; Catts, 1993 ; Billard et coll., 1994 ; Stothard et coll., 1998 ; Snowling et coll., 2000).

Tous les dysphasiques ne deviennent cependant pas dyslexiques. Ainsi, dans une étude longitudinale qui a concerné un groupe de 68 enfants dysphasiques suivis depuis l'âge de 4 ans, Bishop et Adams (1990) n'ont relevé que 4 dyslexiques à 8 ans et demi (6 %), 2 ayant également des difficultés de compréhension en lecture, plus 2 autres enfants qui n'étaient déficitaires que dans ce dernier domaine.

Sept ans plus tard toutefois, le niveau de lecture des dysphasiques s'est considérablement détérioré (Snowling et coll., 2000). Les résultats sont présentés dans le tableau 9.VI. La proportion des dyslexiques passe de 6 % à 43 %, 25 % d'entre eux souffrant uniquement de troubles spécifiques de lecture. De même, celle des enfants ayant des problèmes de compréhension écrite augmente de 6 à 23 %, parmi lesquels 5,4 % ne sont en difficultés que dans ce domaine. D'après ces données, approximativement la moitié des dysphasiques ont donc également des difficultés sévères de lecture.

Tableau 9.VI : Catégorisation en fonction des performances en lecture pour des enfants dysphasiques et des témoins de 15 ans (d'après Snowling et coll., 2000)

Catégorisation à 15 ans	Résultats tenant compte du QI performance	
	Dysphasiques (%)	groupe témoin (%)
Déficit spécifique en lecture	25,0	5,7
Déficit de compréhension en lecture	5,4	3,8
Double déficit (capacités spécifiques à la lecture et compréhension en lecture)	17,8	0
Lecteurs en retard (problèmes additionnels d'intelligence)	0	5,7
Normolecteurs	51,7	84,6

Comme le signalent Elbro et Scarborough (2003), les prédicteurs des futures difficultés de lecture sont les mêmes dans cette population que dans les autres. Il s'agit principalement des capacités d'analyse et de mémoire phonologique, ainsi que des compétences en dénomination rapide. Toutefois, le niveau cognitif des enfants dysphasiques a une forte incidence sur leur futur niveau de lecture, probablement parce que ceux qui ont une intelligence supérieure à la normale sont plus aptes que les autres à mettre en œuvre des stratégies compensatoires (Snowling et coll., 2000).

Discussion sur les compétences déficitaires en dehors de la lecture chez les dyslexiques

Les dyslexiques ont des compétences particulièrement déficitaires dans des tâches qui impliquent des traitements phonologiques en dehors de la lecture : en analyse phonémique, en mémoire à court terme phonologique ainsi que dans des épreuves qui permettent d'évaluer la précision et la rapidité de l'accès au lexique. Comme pour la lecture, ces déficits sont observés y compris par rapport à des sujets plus jeunes mais de même niveau de lecture, ce qui signale une nouvelle fois que la dyslexie correspond à une déviance développementale. De plus, ces déficits sont prévalents : ils se retrouvent en effet chez la plupart des dyslexiques, y compris avant l'apprentissage de la lecture. Enfin, les compétences dans ces différents domaines sont les prédicteurs les plus fiables du futur niveau de lecture des enfants. En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre. Ces résultats ont été relevés aussi bien dans des populations « tout-venant » que chez des enfants « à risque » pour l'apprentissage de la lecture, que ce risque se justifie par leur milieu socioéconomique, la présence de difficultés de lecture chez leurs parents, ou le fait qu'ils souffrent de troubles développementaux du langage oral (enfants dysphasiques).

Comment rendre compte des résultats ?

Différents types d'études, effectuées dans diverses langues, ont été examinés afin d'évaluer la fiabilité et la prédominance des déficits relevés en lecture, ainsi que dans les compétences reliées à la lecture, chez les dyslexiques ainsi que les profils de dyslexie. Cette partie examine le poids des déficiences phonologiques et non phonologiques dans la dyslexie, ainsi que le rôle que peuvent avoir les stratégies compensatoires.

Déficits phonologiques dans la dyslexie du développement

Les difficultés sévères rencontrées par les dyslexiques en lecture de mots nouveaux proviennent en général de la faiblesse de leurs habiletés phonologiques en dehors de la lecture, en particulier, en analyse phonémique, en mémoire à court terme phonologique et en dénomination. Des déficits dans ces domaines peuvent entraver la mise en place de la procédure sublexicale de lecture. En effet, pour utiliser cette procédure, il faut d'abord mettre en correspondance les unités sublexicales de l'écrit, les graphèmes, avec les unités correspondantes de l'oral, les phonèmes. Il faut ensuite assembler les unités résultant du transcodage pour accéder aux mots. La première opération nécessite des habiletés d'analyse phonémique, la seconde implique la mémoire phonologique à court terme ainsi que la précision et la rapidité de

l'accès au lexique oral. Un enfant incapable d'extraire les phonèmes et souffrant en plus d'un déficit mnésique et/ou d'une déficience dans l'accès à son lexique, va difficilement pouvoir utiliser cette procédure d'identification des mots écrits. Ce type de dyslexie proviendrait donc d'un déficit cognitif spécifique, de nature phonologique. Le fait que la plupart des dyslexiques ont aussi des images orthographiques peu spécifiées (et donc un double déficit) s'explique parfaitement si on accepte que la mise en place du lexique orthographique dépend de l'efficacité de la procédure phonologique de lecture. En conséquence, pratiquement tous les dyslexiques ont un double déficit en lecture, leur déficit phonologique étant toutefois le plus sévère puisqu'il est relevé y compris par rapport à des enfants plus jeunes qu'eux mais de même niveau de lecture.

Profils de type surface et déficits visuels dans la dyslexie du développement

Des déficits dans des domaines n'impliquant pas les traitements phonologiques ont été relevés dans des cas de dyslexie de surface. Ce type de déficit a principalement été étudié dans deux domaines. D'une part, partant du constat qu'un déficit de mémoire phonologique à court terme est fréquemment associé à la dyslexie phonologique, des chercheurs ont fait l'hypothèse qu'un déficit mnésique de même nature affectant la modalité visuelle pourrait être lié à la dyslexie de surface. Les difficultés orthographiques de ces dyslexiques s'expliqueraient donc par des difficultés de mémorisation de la forme visuelle des mots. Si cette explication est séduisante, comme le souligne Snowling (2000), elle n'a pas reçu, au moins jusqu'à présent, de larges confirmations. En effet, en dehors de l'étude de Goulandris et Snowling (1991), des déficits mnésiques visuels n'ont pas été relevés chez des dyslexiques de surface.

Une autre hypothèse pouvant expliquer les déficits spécifiques de certains dyslexiques est une déficience des traitements séquentiels visuels. Une telle déficience a été rapportée dans certaines études de cas unique, par exemple, chez Allan (Hanley et coll., 1992), tout comme dans des études de séries de cas, par exemple, chez RO, MF et AR (Seymour, 1986). Toutefois, comme dans les études de groupes (Hutzler et Wimmer, 2004), les résultats des études publiées ne permettent pas de soutenir l'hypothèse que ce déficit est à l'origine de la dyslexie, ou d'une forme particulière de dyslexie, pour trois raisons. D'une part, les déficits visuels relevés chez les dyslexiques peuvent simplement être la conséquence de leurs difficultés de lecture, vu que pratiquement toutes les études dans ce domaine ont comparé des dyslexiques à des normolecteurs de même âge chronologique, à la différence des études qui ont mis en relief les déficits phonologiques (excepté celles de Paulesu et coll., 2001 et de Lindgren et coll., 1985). D'autre part, ce type de déficit est toujours plus marqué sur les pseudo-mots que sur des mots ou des suites de

lettres non prononçables (Seymour, 1986 ; Hanley et coll., 1992). Enfin, dans la plupart des études signalant des déficits visuels spécifiques, les habiletés visuelles des dyslexiques, mais pas leurs habiletés phonologiques, ont été évaluées en tenant compte de la vitesse de traitement et/ou avec des tâches comportant des contraintes temporelles (par exemple, durée très brève d'exposition des stimuli). Il est donc difficile d'affirmer que les habiletés phonologiques de ces dyslexiques étaient préservées. Dans quelques rares études, les habiletés phonologiques et visuelles ont été examinées en utilisant des méthodologies comparables (par exemple, Seymour, 1986). Or, sur les 21 cas de dyslexie examinés par ce chercheur, un déficit supposé spécifique aux traitements visuels n'a été relevé que chez 3 sujets (RO, MF et AR). Ils avaient cependant tous des performances plus fortement affectées par les effets de longueur en lecture de pseudo-mots qu'en lecture de mots ou dans des tâches purement visuelles de comparaison de chaînes de lettres. En plus, ces trois dyslexiques avaient tous une histoire de troubles phonologiques.

Une autre hypothèse est que les dyslexiques de surface seraient en fait des dyslexiques phonologiques qui ont un sévère déficit de leur procédure lexicale de lecture s'expliquant par des facteurs environnementaux défavorables (Stanovich et coll., 1997). Ainsi, des enfants issus de milieux moins favorisés peuvent avoir été moins souvent confrontés à l'écrit et moins aidés pour dépasser leur handicap que des dyslexiques qui évoluent dans un environnement susceptible de les motiver à apprendre à lire en dépit de la difficulté de cet apprentissage. Cette explication peut rendre compte du fait que le déficit phonologique des dyslexiques de surface est moins marqué que leur déficit orthographique, l'acquisition des représentations orthographiques nécessitant une bonne confrontation avec l'écrit. Elle est confortée par des données suggérant que les déficits orthographiques s'expliqueraient par des facteurs environnementaux, alors que l'origine des déficits phonologiques pourrait être génétique (Castles et coll., 1999 ; Olson et coll., 1999).

Rôle des stratégies compensatoires

Chez le lecteur habile, l'identification des mots écrits est un acte quasi réflexe, qui n'est pas influencé par les informations contextuelles. En fait, les effets du contexte sur cette identification baissent en fonction de l'augmentation de l'âge et du niveau de lecture (West et Stanovich, 1978 ; Perfetti et coll., 1979 ; Raduege et Swantes, 1987), les lecteurs les moins habiles, et particulièrement les dyslexiques, utilisant plus le contexte que les bons lecteurs (Bruck, 1990).

C'est probablement grâce à de telles stratégies compensatoires que les dyslexiques arriveraient à surmonter leur déficit phonologique. Des données à l'appui de cette interprétation ont été relevées dans les études longitudinales. Par exemple, comme le soulignent les auteurs (Hulme et Snowling, 1992), le cas JM développe progressivement des stratégies compensatoires.

C'est ce qu'indiquent les effets facilitateurs d'un amorçage sémantique en lecture de pseudo-mots (le pseudo-mot « *sawce* » présenté après le mot « *tomato* ») observés chez lui quand il avait 13 ans, mais pas auparavant.

Le très fort effet de la lexicalité relevé chez les dyslexiques n'est probablement que le résultat de stratégies compensatoires, les dyslexiques utilisant plus que les normolecteurs l'information lexicale contenue dans les mots, probablement pour suppléer la déficience de leurs habiletés phonologiques. C'est ce que signale le fait que, dans l'étude de Seymour (1986), les performances de la plupart des dyslexiques ayant un déficit phonologique sévère sont meilleures quand les pseudo-mots se prononcent comme des mots de la langue. C'est également ce que suggère le fait qu'ils réussissent mieux les tâches phonologiques hors lecture quand elles impliquent des mots simples et fréquents (Snowling et coll., 1986a ; Bruck et Treiman, 1990 ; Bruck, 1992 ; Swan et Goswami, 1997a et b).

D'autres évidences indirectes de la mise en place progressive de stratégies compensatoires proviennent des données longitudinales publiées par Seymour (1986), les trois adolescents ne présentant pas de déficit phonologique majeur lors des observations effectuées alors qu'ils avaient entre 14 et 17 ans ayant tous présenté antérieurement un trouble phonologique, soit un retard de développement du langage oral (RO and MF), soit un déficit phonologique en lecture (AR, Seymour et Porpodas, 1980).

En conclusion, les études passées en revue indiquent que la présence de déficits sévères et spécifiques de la procédure phonologique de lecture, accompagnée de déficits phonologiques hors lecture également sévères et spécifiques, est la caractéristique majeure de la dyslexie développementale, de tels déficits ayant systématiquement été relevés dans les études de groupes, et ayant systématiquement été observés chez la plupart des dyslexiques examinés dans les études de séries de cas. Le fait que ces déficits émergent y compris par rapport à des enfants plus jeunes mais de même niveau de lecture est le signe d'une déviance développementale. En outre, l'opacité de l'orthographe est un facteur environnemental aggravant. Enfin, un fort consensus se dégage des différentes études sur le fait que les prédicteurs les plus fiables de l'apprentissage de la lecture sont des compétences de nature phonologique (capacités d'analyse phonémique, de mémoire phonologique à court terme et de dénomination rapide). En comparaison, le poids des habiletés non verbales, tout comme celui des facteurs socioculturels, est moindre.

Comme le signalent Ziegler et Goswami (2005 ; voir également Sprenger-Charolles et coll., sous presse), le fait que les mêmes déficits aient été relevés chez les dyslexiques dans différents contextes linguistiques (en anglais, en allemand, en hollandais, en français, en italien, en espagnol...) dans des tâches impliquant des traitements phonémiques en lecture (faible maîtrise des correspondances graphème-phonème attestées par des scores particuliè-

rement déficitaires en lecture de pseudo-mots, quand il n'est pas possible de s'appuyer sur des compétences lexicales pour lire) et hors lecture (en particulier, en analyse phonémique) est difficile à concilier avec l'idée qu'il puisse y avoir des sous-types de dyslexie fortement contrastés. Ce constat s'applique aux études de groupes et les résultats d'études de série de cas de dyslexiques vont dans le même sens. Ainsi, comme le soulignait Seymour (1986), qui est un des rares chercheurs à avoir examiné finement les déficits phonologiques et visuo-attentionnels avec des méthodologies comparables, tous les dyslexiques de sa cohorte présentaient des troubles phonologiques qui se manifestaient en lecture de pseudomots par la faible précision et/ou la lenteur de leurs réponses ainsi que par les effets de longueur, ce pattern dominant étant parfois accompagné de quelques signes des déficiences visuelles. En l'état de la recherche, les preuves à l'appui d'un déficit visuel à l'origine de la dyslexie (ou de certaines formes de dyslexie) sont fragiles.

BIBLIOGRAPHIE

ANS B, CARBONNEL S, VALDOIS S. A connectionist multiple-trace memory model for polysyllabic word reading. *Psychol Rev* 1998, **105** : 678-723

ARAM DM, HALL NE. Longitudinal follow-up of children with preschool communication disorders: treatment implications. *School Psychology Review* 1989, **18** : 487-501

BACKMAN J, BRUCK M, HEBERT M, SEIDENBERG MS. Acquisition and use of spelling sound correspondances in reading. *Journal of Experimental Child Psychology* 1984, **38** : 114-133

BADDELEY AD, ELLIS NC, MILES TR, LEWIS VJ. Developmental and acquired dyslexia: A comparison. *Cognition* 1982, **11** : 185-196

BAILEY CE, MANIS FR, PEDERSEN WC, SEIDENBERG MS. Variation among developmental dyslexics: evidence from a printed-word-learning task. *J Exp Child Psychol* 2004, **87** : 125-154

BAKER L, CANTWELL DP. A prospective psychiatric follow-up of children with speech/language disorders. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 1987, **26** : 546-553

BEAUVOIS MF, DEROUESNÉ J. Phonologica alexia: Three dissociations. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 1979, **42** : 1115-1124

BEECH JR, HARDING LM. Phonemic processing and the poor reader from a developmental lag viewpoint. *Reading Research Quarterly* 1984, **19** : 357-366

BILLARD C, TOUTAIN A, LOISEL ML, GILLET P, BARTHEZ MA, MAHEUT J. Genetic basis of developmental dysphasia. Report of eleven familial cases in six families. *Genet Couns* 1994, **5** : 23-33

BISHOP DV, ADAMS C. A prospective study of the relationship between specific language impairment, phonological disorders and reading retardation. *J Child Psychol Psychiatry* 1990, **31** : 1027-1050

BODER E. Developmental dyslexia: a diagnostic approach based on three atypical reading-spelling patterns. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1973, **15** : 663-687

BOSSE ML, VALDOIS S. Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading. *Current Psychology Letters*, Special Issue on Language Disorders and Reading Acquisition 2003, **10** (1). <http://cpl.revues.org/document92.html>

BRUCK M. The word recognition and spelling of dyslexic children. *Reading Research Quarterly* 1988, **23** : 51-69

BRUCK M. Word-recognition skills of adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology* 1990, **26** : 439-454

BRUCK M. Persistence of Dyslexics' Phonological Awareness Deficits. *Developmental Psychology* 1992 ; **28** : 874-886

BRUCK M, TREIMAN R. Phonological awareness and spelling in normal children and dyslexics: the case of initial consonant clusters. *J Exp Child Psychol* 1990, **50** : 156-178

BRYANT PE, IMPEY L. The similarities between normal readers and developmental and acquired dyslexic children. *Cognition* 1986, **24** : 121-137

CASALIS S. *Lecture et dyslexies de l'enfant*. Paris, Septentrion, 1995

CASALIS S. The delay-type in developmental dyslexia: Reading processes. *Current Psychology Letters: Behavior, Brain and Cognition* 2003, **10**, <http://cpl.revues.org/document95.html>.

CASTLES A, COLTHEART M. Varieties of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **47** : 149-180

CASTLES A, DATTA H, GAYAN J, OLSON RK. Varieties of reading disorder: genetic and environmental influences. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **72** : 73-94

CATTS HW. The relationship between speech-language impairments and reading disabilities. *Journal of Speech and Hearing Research* 1993, **36** : 948-958

CHIAPPE P, STRINGER N, SIEGEL LS, STANOVICH K. Why the timing deficit hypothesis does not explain reading disability in adults. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 73-107

COHEN J. *Statistical power analysis for the behavioural sciences*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc., Hillsdale, New Jersey, 1988

COLTHEART M. Lexical access in simple reading tasks. In : *Strategies of information processing*. UNDERWOOD G (ed). London, Academic Press, 1978 : 151-216

COLTHEART M. Are there lexicons? *Q J Exp Psychol A* 2004, **57** : 1153-1171

COLTHEART M, MASTERSON J, BYNG S, PRIOR M, RIDDOCH J. Surface dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1983, **35** : 469-595

COLTHEART M, CURTIS B, ATKINS P, HALLER M. Models of reading aloud: Dual route and parallel processing approaches. *Psychological Review* 1993, **100** : 589-608

COLTHEART M, RASTLE K, PERRY C, LANGDON R, ZIEGLER J. DRC: A dual route cascaded model of visual word recognition and reading aloud. *Psychological Review* 2001, **108** : 204-256

COSSU G, SHANKWEILER D, LIBERMAN IY, GUGLIOTTA M. Visual and phonological determinants of misreadings in a transparent orthography. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1995, **7** : 235-256

CRITCHLEY M. The dyslexic child. London, Heinemann Medical Book, 1970

DE LUCA M, BORRELLI M, JUDICA A, SPINELLI D, ZOCCOLOTTI P. Reading words and pseudowords: An eye movement study of developmental dyslexia. *Brain and Language* 2002, **80** : 617-626

DE LUCA M, DI PACE E, JUDICA A, SPINELLI D, ZOCCOLOTTI P. Eye movement patterns in linguistic and non linguistic tasks in developmental surface dyslexia. *Neuropsychologia* 1999, **37** : 1407-1420

ELBRO C, SCARBOROUGH HS. Early identification. In: Handbook of Children's reading. BRYANT P, NUNES T (eds). Kluwer Academic Press, Dordrecht, 2003 : 361-381

FISCHER FW, LIBERMAN IY, SHANKWEILER D. Reading reversals and developmental dyslexia: a further study. *Cortex* 1978, **14** : 496-510

FRITH U, SNOWLING MJ. Reading for meaning and reading for sound in autistic and dyslexic children. *British Journal of Developmental Psychology* 1983, **1** : 329-342

FRITH U. A developmental framework for developmental dyslexia. *Annals of Dyslexia* 1986, 69-81

FRITH U. Beneath the surface of developmental dyslexia. In : Surface dyslexia: Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). London, Erlbaum, 1985 : 301-330

GALLAGHER A, FRITH U, SNOWLING MJ. Precursors of literacy delay among children at genetic risk of dyslexia. *J Child Psychol Psychiatry* 2000, **41** : 203-213

GÉNARD N, MOUSTY P, CONTENT A, ALEGRIA J, LEYBAERT J, MORAIS J. Methods to establish subtypes of developmental dyslexia. In : Problems and interventions in literacy development. REITSMA P, VERHOEVEN L (eds). Dordrecht, The Netherlands, Kluwer, 1998 : 163-176

GILGER JW, BRUCE F, PENNINGTON BF, DEFRIES JC. Risk for reading disability as a function of parental history in three family studies. *Reading and Writing* 1991, **3** : 205-217

GOULANDRIS N, SNOWLING MJ. Visual memory deficits: A plausible cause of developmental dyslexia? Evidence from a single case study. *Cognitive Neuropsychology* 1991, **8** : 127-154

GRAINGER J, BOUTTEVIN S, TRUC C, BASTIEN M, ZIEGLER J. Word superiority, pseudoword superiority, and learning to read: A comparison of dyslexic and normal readers. *Brain and Language* 2003, **87** : 432-440

HANLEY JR, HASTIE K, KAY J. Developmental surface dyslexia and dysgraphia: an orthographic processing impairment. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1992, **44A** : 285-320

HARRIS M, COLTHEART M. Language processing in children and adults: An introduction. London: Routledge and Kegan, 1986

HAWELKA S, WIMMER H. Impaired visual processing of multi-element arrays is associated with increased number of eye movements in dyslexic reading. *Vision Res* 2005, **45** : 855-863

HULME C, SNOWLING M. Phonological deficits in dyslexia: a reappraisal of the verbal deficit hypothesis. In : Current perspectives in learning disabilities. SINGH N, BEALE I (eds). New York, Springer-Verlag, 1992 : 270-331

HUTZLER F, WIMMER H. Eye movements of dyslexic children when reading in a regular orthography. *Brain and Language* 2004, **89** : 235-242

INIZAN A. Analyse de la compétence en lecture (ANALEC). Issy-les-Moulineaux, EAP, 1995

INTERNATIONAL DYSLEXIA ASSOCIATION. Frequently Asked Questions (FAQ): What is dyslexia ? 2005, <http://www.interdys.org/>

JARED D. Spelling-sound consistency affects the naming of high-frequency words. *Journal of Memory and Language* 1997, **36** : 687-715

JASTAK S, WILKINSON GS. The wide range achievement test-Revised. Wilmington, DE, Jastak Associates, 1984

JIMENEZ-GONZALEZ JE, VALLE IH. Word identification and reading disorders in the Spanish language. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 44-60

JIMENEZ-GONZALEZ JE, RAMIREZ-SANTANA G. Identifying subtypes of reading disability in a transparent orthography. *The Spanish Journal of Psychology* 2002, **5** : 3-19

JOANISSE MF, MANIS FR, KEATING P, SEIDENBERG MS. Language deficits in dyslexic children: speech perception, phonology, and morphology. *J Exp Child Psychol* 2000, **77** : 30-60

JUDICA A, DE LUCA M, SPINELLI D, ZOCCOLOTTI P. Training of developmental surface dyslexia improves reading performance and shortens eye fixation during reading. *Neuropsychological Rehabilitation* 2002, **12** : 177-197

LANDERL K, WIMMER H. Deficits in phoneme segmentation are not the core problem of dyslexia: evidence from German and English children. *Applied psycholinguistics* 2000, **21** : 243-262

LANDERL K, WIMMER H, FRITH U. The impact of orthography consistency on dyslexia: A German-English comparison. *Cognition* 1997, **63** : 315-334

LEPPÄNEN PHT, PIHKO E, EKLUND KM, LYYTINEN H. Cortical responses of infants with and without a genetic risk for dyslexia: II. Group effects. *NeuroReport* 1999, **10** : 901-905

LEPPÄNEN PHT, RICHARDSON U, PIHKO E, EKLUND KM, GUTTORM TK, et coll. Brain responses to changes in speech sound durations differ between infants with and without familial risk for dyslexia. *Developmental Neuropsychology* 2002, **22** : 407-422

LIBERMAN IY, MANN VA, WERFELMAN M. Children's memory for recurring linguistic and non-linguistic material in relation to reading ability. *Cortex* 1982, **18** : 367-375

LIBERMAN IY, SHANKWEILER D, ORLANDO C, HARRIS KS, BERTI FB. Letter confusions and reversals of sequence in the beginning reader: Implications for Orton's theory of developmental dyslexia. *Cortex* 1971, **7** : 127-142

LINDGREN SD, DE RENZI E, RICHMAN LC. Cross-national comparisons of developmental dyslexia in Italy and the United States. *Child Development* 1985, **56** : 1404-1417

LYYTINEN H, AHONEN T, RÄSÄNEN P. Dyslexia and dyscalculia in children: Risks, early precursors, bottlenecks and cognitive mechanisms. *Acta Paedopsychiatrica (special issue)* 1994, **56** : 179-192

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDE-CHANG C, PETERSON A. On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition* 1996, **58** : 157-195

MANIS FR, SZESZULSKI PA, HOLT LK, GRAVES K. Variation in component word recognition and spelling skills among dyslexic children and normal readers. In : *Reading and its development: Component skills approaches*. CARR TH, LEVY BA (eds). Academic Press, New York, 1990 : 207-259

MANN VA, LIBERMAN IY. L'apprenti lecteur : Recherches empiriques et implications pédagogiques. In : *Textes de base en psychologie*. RIEBEN L, PERFETTI CH (eds). Delâchaux et Niestlé, Lausanne, 1984 : 222

MARSH G, FRIEDMAN M, WELCH V, DESBERG P. A Cognitive developmental theory of reading acquisition. In : *Reading research: Advances in theory and practice*. MACKINNON GE, WALLER TG (eds). Vol. 3. Hillsdale: Erlbaum, 1981 : 199-221

MCDUGALL P, BOROWSKY R, MACKINNON GE, HYMEL S. Process dissociation of sight vocabulary and phonetic decoding in reading: A new perspective on surface and phonological dyslexias. *Brain and Language* 2004, **92** : 185-203

METSALA JL, STANOVICH KE, BROWN GDA. Regularity effects and the phonological deficit model of reading disabilities: A meta-analytic review. *Journal of Educational Psychology* 1998, **90** : 279-293

MILNE RD, NICHOLSON T, CORBALLIS MC. Lexical access and phonological decoding in adult dyslexic subtypes. *Neuropsychology* 2003, **17** : 362-368

MORTON J. An information-processing account of reading acquisition. In : *From reading to neurons*. GALABURDA AM (ed). M.I.T. Press, Cambridge, MA, 1989 : 43-66

MOUSTY P, LEYBAERT J. Évaluation des habiletés de lecture et d'orthographe au moyen de la BELEC : données longitudinales auprès d'enfants francophones testés en 2^e et 4^e années. *Revue Européenne de Psychologie Appliquée* 1999, **49** : 325-342

MURPHY L, POLLATSEK A. Developmental dyslexia: heterogeneity without discrete subgroups. *Annals of dyslexia* 1994, **44** : 120-146

OLSON RK, DATTA H, GAYAN J, DEFRIES JC. A behavioural-genetic analysis of reading disabilities and component processes. *In* : Converging methods for understanding reading and dyslexia. KLEIN R, MCMULLEN P (eds). MIT Press, Cambridge, MA, 1999 : 33-152

OLSON RK, FORSBERG H, WISE B, RACK J. Measurement of word recognition, orthographic and phonological skills. *In* : Frames of reference for the assessment of learning disabilities: New views on measurement issues. LYON GR (ed). Paul H. Brookes, Baltimore/London/Toronto/Sydney, 1994 : 243-275

OLSON RK, KLIEGL R, DAVIDSON B, FOLTZ G. Individual and developmental differences in reading disability. *In* : Reading research: Advances in theory and practice. MACKINNON GE, WALLER TG (eds). Academic Press Inc, CA, 1985, vol.4 : 1-64

ORTON MD, SAMUEL T. Reading, writing and speech problems in children. W. W. Norton & Co, New-York, 1937

PAULESU E, DÉMONET JF, FAZIO F, MCCRORY E, CHANOINE V. Dyslexia, Cultural diversity and Biological unity. *Science* 2001, **291** : 2165-2167

PENNINGTON BF, LEFLY DL. Early reading development in children at family risk for dyslexia. *Child Development* 2001, **72** : 816-833

PENNINGTON BF, LEFLY D, BOADA R. Phonological development and reading outcomes in children at family risk for dyslexia. *In* : Longitudinal studies of children at family risk for dyslexia: Results from four countries. PENNINGTON BF (ed) Symposium conducted at the meeting of the Society for Research in Child Development, Albuquerque, NM, 1999

PERFETTI CA, GOLDMAN SR, HOGABOAM TW. Reading skill and the identification of words in discourse context. *Memory and Cognition* 1979, **4** : 273-282

PERFETTI CA. Reading ability. Oxford University Press, New-York, 1985

PETERSEN DK, ELBRO C. Pre-school prediction and prevention of dyslexia: A longitudinal study with children of dyslexic parents. *In* : Learning to read: An integrated view from research and practice. NUNES T (ed). Dordrecht, Kluwer, 1999 : 133-154

PLAUT DC, MCCLELLAND JL, SEIDENBERG MS, PATTERSON KE. Understanding normal and impaired word reading: Computational principles in quasi-regular domain. *Psychological Review* 1996, **103** : 56-115

RACK JP, SNOWLING MJ, OLSON RK. The nonword reading deficit in developmental dyslexia: A review. *Reading Research Quarterly* 1992, **27** : 29-53

RADUEGE TA, SCHWANTES FM. Effects of rapid word recognition training on sentence context effects in children. *Journal of Reading Behavior* 1987, **4** : 395-414

RAYNER K. Eye movements in reading and information processing: 20 years of research. *Psychological Bulletin* 1998, **3** : 372-422

SAVIGNY M. Bat-Elem. Editions de Psychologie Appliquée, Issy-les-Moulineaux, 1974

SCARBOROUGH HS. Prediction of reading disability from familial and individual differences. *Journal of Educational Psychology* 1989, **81** : 101-108

SCARBOROUGH HS. Antecedents to reading disability: Preschool language development and literacy experiences of children from dyslexic families. *Reading and Writing* 1991, **3** : 219-233

SCARBOROUGH HS. Predicting the future achievement of second graders with reading disabilities: Contributions of phonemic awareness, verbal memory, rapid serial naming, and IQ. *Annals of Dyslexia* 1998a, **48** : 115-136

SCARBOROUGH HS. Early identification of children at risk for reading disabilities: Phonological awareness and some other promising predictors. In : Specific reading disability: A view of the spectrum. In: SHAPIRO BK, ACCARDO PJ, CAPUTE AJ (eds). MD, York Press, Timonium, 1998b : 75-119

SCARBOROUGH HS. Very early language deficits in dyslexic children. *Child Development* 1990, **61** : 1728-1743

SEYMOUR PHK. A cognitive analysis of dyslexia. Routledge and Kegan Paul, London, 1986

SEYMOUR PHK, PORPODAS CD. Lexical and non-lexical processing of spelling in dyslexia. In : Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980 : 443-473

SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry* 2005, **57** : 1301-1309

SIEGEL LS, RYAN EB. Development of grammatical sensitivity, phonological, and short-term memory skills in normally achieving and learning disabled children. *Developmental Psychology* 1988, **24** : 28-37

SNOW CE, BARNES WS, CHANDLER J, GOODMAN JR, HEMPHILL L. Unfulfilled expectations: Home and school influences on literacy. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1991

SNOWLING MJ. Phonemics deficits in developmental dyslexia. *Psychological Research* 1981, **43** : 219-234

SNOWLING MJ. Dyslexia. Blackwell, Oxford, 2000

SNOWLING MJ, STACKOUSE J, RACK J. Phonological dyslexia and dysgraphia: A developmental analysis. *Cognitive Neuropsychology* 1986a, **3** : 309-339

SNOWLING M, GOULANDRIS N, BOWLBY M, HOWELL P. Segmentation and speech perception in relation to reading skill: a developmental analysis. *J Exp Child Psychol* 1986b, **41** : 489-507

SNOWLING MJ, GOULANDRIS N, DEFTY N. A longitudinal study of reading development in dyslexic children. *Journal of Educational Psychology* 1996a, **88** : 653-669

SNOWLING MJ, BRYANT P, HULME C. Theoretical and methodological pitfalls in making comparisons between developmental and acquired dyslexia: Some comments on A. Castles and M. Coltheart (1993). *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1996b **8** : 443-451

SNOWLING M, BISHOP DV, STOTHARD SE. Is preschool language impairment a risk factor for dyslexia in adolescence? *J Child Psychol Psychiatry* 2000, **41** : 587-600

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS. 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

SPRENGER-CHAROLLES L, COLE P, LACERT P, SERNICLAES W. On Subtypes of Developmental Dyslexia: Evidence from Processing Time and Accuracy Scores. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 88-104

SPRENGER-CHAROLLES L, SIEGEL LS, BECHENNEC D, SERNICLAES W. Development of phonological and orthographic processing in reading aloud, in silent reading, and in spelling: A four-year longitudinal study. *J Experimental Child Psychology* 2003, **84** : 194-217

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, BÉCHENNEC D, KIPFFER-PIQUARD A. French normative data on reading and related skills: from EVALEC, a new computerized battery of tests. *European Review of Applied Psychology* 2005, **55** : 157-186

SPRENGER-CHAROLLES L, COLÉ P, SERNICLAES W. Reading Acquisition and developmental dyslexia. Psychology Press, London, 2006

STANOVICH KE, NATHAN RG, ZOLMAN JE. The developmental lag hypothesis in reading: Longitudinal and matched reading-level comparisons. *Child Development* 1988, **59** : 71-86

STANOVICH KE, SIEGEL LS, GOTTARDO A. Converging evidence for phonological and surface subtypes of reading disability. *Journal of Educational Psychology* 1997, **89** : 114-127

STOTHARD SE, SNOWLING MJ, BISHOP DV, CHIPCHASE BB, KAPLAN CA. Language-impaired preschoolers: a follow-up into adolescence. *J Speech Lang Hear Res* 1998, **41** : 407-418

STUEBING KK, FLETCHER JM, LEDOUX JM, LYON GR, SHAYWITZ SE, SHAYWITZ BA. Validity of IQ-discrepancy classifications of reading disabilities: A meta-analysis. *American Educational Research Journal* 2002, **2** : 469-518

SWAN D, GOSWAMI U. Picture naming deficits in developmental dyslexia: the phonological representations hypothesis. *Brain Lang* 1997a, **56** : 334-353

SWAN D, GOSWAMI U. Phonological awareness deficits in developmental dyslexia and the phonological representations hypothesis. *Journal of Experimental Child Psychology* 1997b, **66** : 8-41

SZESZULSKI PA, MANIS FR. A comparison of word recognition processes in dyslexic and normal readers at two reading-age levels. *Journal of Experimental Child Psychology* 1987, **3** : 364-76

TALLAL P. Auditory temporal perception, phonics and reading disabilities in children. *Brain and Language* 1980, **9** : 182-198

TEMPLE CM, MARSHALL JC. A case study of developmental phonological dyslexia. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 517-533

THORNDIKE RL. Reading comprehension education in fifteen countries: An empirical study. Halsted, New York, 1973

- TREIMAN R, HIRSH-PASEK K. Are there qualitative differences in reading behaviour between dyslexics and normal readers? *Memory and Cognition* 1985, **13** : 357-364
- VAN IJZENDOORN MH, BUS AG. Meta-analytic confirmation of the non-word reading deficit in developmental dyslexia. *Reading Research Quarterly* 1994, **29** : 266-275
- VELLUTINO FR. Dyslexia: Theory and research. Cambridge, Mass, MIT Press, 1979
- VELLUTINO FR, FLETCHER JM, SNOWLING MJ, SCANLON DM. Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *J Child Psychol Psychiatry* 2004, **45** : 2-40
- VELLUTINO FR, SCANLON DM, LYON GR. Differentiating between difficult-to-remediate and readily remediated poor readers: More evidence against the IQ-achievement discrepancy definition of reading disability. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 223-238
- WAGNER RK, TORGESEN JK, RASHOTTE CA, HECHT SA, BARKER TA, et coll. Changing relations between phonological processing abilities and word-level reading as children develop from beginning to skilled readers: A five year longitudinal study. *Developmental Psychology* 1997, **33** : 468-479
- WATERS GS, SEIDENBERG MS, BRUCK M. Children's and adults' use of spelling sound information in three reading task. *Memory and Cognition* 1984, **12** : 293-305
- WEST RF, STANOVICH KE. Automatic contextual facilitation in readers of three ages. *Child Development* 1978, **49** : 717-727
- WIMMER H. Characteristics of developmental dyslexia in a regular writing system. *Applied Psycholinguistics* 1993, **14** : 1-33
- WIMMER H. The nonword deficit in developmental dyslexia: Evidence from German children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1995, **61** : 80-90
- WIMMER H. The early manifestation of developmental dyslexia: Evidence from German children. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 1996, **8** : 171-188
- WIMMER H, MAYRINGER H. Dysfluent reading in the absence of spelling difficulties: A specific disability in regular orthographies. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 272-277
- WOLF M, BOWERS P. The question of naming speed deficits in developmental reading disabilities: An introduction to the double-deficit hypothesis. *Journal of Educational Psychology* 1999, **19** : 1-24
- WOLF M, BOWERS PG, BIDDLE K. Naming-speed processes, timing, and reading: A conceptual review. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 387-407
- WOLF M, GOLDBERG O'ROURKE A, GIDNEY C, LOVETT M, CIRINO P, MORRIS R. The second deficit: An investigation of the independence of phonological and naming-speed deficits in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal* 2002, **15** : 43-72
- WOODCOCK RW. Woodcock Reading Mastery Tests-Revised. Circle Pines, MN, American Guidance Service, 1987

WORLD HEALTH ORGANIZATION. The international classification of diseases. Classification of mental and behavioural disorders (Vol. 10). World Health Organization Publications, Switzerland, 1993

ZABELL C, EVERATT J. Surface and phonological subtypes of adult developmental dyslexia. *Dyslexia* 2002, **8** : 160-177

ZIEGER J, GOSWAMI U, ZIEGLER J, GOSWAMI U. Reading acquisition, developmental dyslexia and skilled reading across languages: A psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin* 2005, **13** : 3-29

ZIEGLER JC, PERRY C, MA-WYATT A, LADNER D, SCHULE-KÖRNE D. Developmental dyslexia in different languages: Language-specific or Universal? *Journal of Experimental Child Psychology* 2003, **86** : 169-193

ZOCCOLOTTI P, DE LUCA M, DI PACE E, JUDICA A, ORLANDI M, SPINELLI D. Marker of developmental surface dyslexia in a language (Italian) with high grapheme-phoneme correspondence. *Applied Psycholinguistics* 1999, **20** : 191-216

10

Dysorthographe

Ce chapitre traite des troubles de l'apprentissage et de l'utilisation de l'orthographe et, plus généralement, de certains aspects de la production verbale écrite. Nous avons essayé non pas de viser une revue complète des travaux mais de fournir un aperçu des connaissances et des méconnaissances – de loin les plus nombreuses – en ce domaine.

Caractéristiques des données

Avant d'en venir à la présentation des données, trois points doivent être soulignés.

Premièrement, la production verbale écrite (ci-après PE) en général et la production orthographique (ci-après PO) en particulier n'ont pas fait l'objet de recherches aussi nombreuses et approfondies que, d'une part, la production verbale orale et, d'autre part, la lecture. Il suffit pour s'en convaincre de consulter l'une des plus importantes synthèses portant sur le langage : l'ouvrage de Gernsbacher (1994), essentiellement consacré aux performances adultes, comporte quatre chapitres portant sur la lecture, mais aucun sur la production verbale écrite. Relativement aux troubles de l'apprentissage, Lussier et Flessas (2001) intègrent les troubles de l'orthographe dans le chapitre relatif à la dyslexie, la dysorthographe n'occupant que cinq (pages 182-186) des vingt pages du chapitre. Même Temple (1997) ne rédige qu'un relativement bref chapitre sur les « *Spelling disorders* ». C'est seulement récemment que le nombre de recherches s'est accru et que des synthèses ont commencé à paraître (Perfetti et coll., 1997 ; Hulme et Joshi, 1998 ; Alamargot et Chanquoy, 2001 ; Berninger et Richards, 2002 ; Fayol, 2002a et b).

Cette relative désaffection pour la PE et la PO tient à un ensemble de facteurs. D'une part, la linguistique dans son ensemble s'intéresse à l'oral : les travaux théoriques portant sur l'écrit sont apparus plus tard (Catach, 1986) et ne jouissent pas du même prestige. D'autre part, l'orthographe est intimement liée aux disciplines scolaires : elle apparaît comme relevant de la

norme et son apprentissage est perçu comme dépendant quasi uniquement du temps et des efforts qui lui sont consacrés. Enfin, des difficultés méthodologiques ont longtemps empêché l'étude de la PE et de la PO, les chercheurs devant s'en tenir à l'analyse des produits (textes, mots, phrases) (Olive et Levy, 2002). Depuis environ une décennie, le statut de la PE et de la PO a changé et les recherches se développent, même si leur nombre reste limité, ce qui a des conséquences sur les travaux consacrés aux troubles : à la fois les modèles théoriques et les données empiriques font assez souvent défaut, par exemple pour situer les performances d'un individu.

Deuxièmement, l'orthographe relève en fait de deux domaines d'activité : la lecture d'une part à travers la reconnaissance des mots, l'écriture d'autre part, comme récupération et rappel des lettres et de leur succession. Ces deux domaines présentent à la fois de fortes similitudes – tous deux reposent sur la transcription de la parole, et donc sur la phonologie – et d'importantes différences. En lecture, les signes (lettres...) sont écrits, concrets, permanents et (relativement) faciles à définir quant à leurs caractéristiques physiques. En revanche, en production, les configurations sonores de départ sont moins concrètes, plus évanescentes et donc sans doute plus difficiles à isoler, discriminer et identifier. En général, la lecture va d'un nombre donné de lettres à un nombre plus limité de sons. L'écriture présente le plus souvent une tendance inverse, allant d'un nombre limité de sons vers un nombre plus élevé de suites graphiques. Il s'ensuit qu'il existe des homophones plus ou moins nombreux selon les systèmes orthographiques qui induisent des difficultés de détermination des configurations des mots orthographiques. La prononciation présente et tolère une grande variabilité, à la fois individuelle et dialectale. Ses variations passent le plus souvent inaperçues et sont acceptées sans problème. En revanche, l'orthographe actuelle ne supporte pas la variation : elle est rigide et repose sur une norme sociale valorisée. En conséquence, la correspondance allant de configurations de lettres aux configurations de sons s'accommode sans problème des variations dialectales. Par contraste, les correspondances allant des configurations de sons aux configurations de lettres peuvent considérablement affecter l'orthographe. Cette absence de réversibilité rend l'orthographe particulièrement complexe et nécessite un curriculum spécifique pour l'instruction.

La lecture et la PO ne sont donc pas exactement assimilables : écrire est généralement plus difficile que lire (Bosman et Van Orden, 1997). En termes de traitements, les chercheurs ont été conduits à s'interroger sur l'existence d'un lexique orthographique unique ou, au contraire, dépendant de l'activité (lecture *versus* PO). Sans être complètement tranché, le débat semble avoir abouti à considérer que les individus recourent à un seul lexique, en perception comme en production. En revanche, les processus d'accès et de mise en œuvre diffèrent. La lecture peut s'accommoder d'une prise d'information relativement sommaire. Comme il s'agit de reconnaître un

mot parmi de nombreux autres stockés en mémoire, la ressemblance joue un rôle essentiel. Toutefois, il suffit assez souvent d'un nombre réduit d'indices pour que l'identification puisse se réaliser. Par contraste, en PO, toutes les lettres constitutives du mot doivent être retrouvées et transcrites dans un ordre strict. La charge attentionnelle n'est évidemment pas la même qu'en lecture. Comme, par ailleurs, la PE impose en elle-même une charge, même chez les adultes (Bourdin et Fayol, 1994 et 2002), les performances en PO sont presque inévitablement inférieures à celles relevées en lecture. Ce constat vaut pour le tout-venant des adultes, et plus encore pour les enfants chez lesquels, d'une part, le lexique orthographique n'est que partiellement constitué et consolidé et, d'autre part, la maîtrise de la graphie est faible, imposant de ce fait une charge attentionnelle très élevée lors de la PO.

Les remarques ci-dessus conduisent à soulever une série de problèmes importants pour l'interprétation des données qui seront rapportées. Premièrement, les épreuves utilisées pour évaluer les connaissances orthographiques sont tantôt des tests de PO (dictée de mots ou production à partir d'images) tantôt des épreuves de choix : déterminer de deux items celui qui correspond à l'orthographe correcte d'un mot. Ces deux types d'épreuves ne donnent pas toujours des résultats congruents, notamment avec les enfants. Leur application à des individus présentant des troubles de l'écriture devrait également aboutir à des performances différentes. Deuxièmement, l'impact (négatif) de la charge attentionnelle de la PE et de la PO induit la survenue d'erreurs qui ne traduisent pas nécessairement la mauvaise qualité des représentations orthographiques. De là, les difficultés rencontrées pour coter les transcriptions (Moats, 1995) et l'incidence de ces cotations sur l'affectation de tel ou tel individu à telle ou telle catégorie de déficit. Enfin, il n'est pas exclu que les différences de processus impliqués expliquent au moins en partie les variations des performances en lecture et PO chez les dyslexiques. La difficulté vient de ce que rares sont les études qui ont utilisé conjointement des épreuves de PO et de jugement.

Troisièmement, comme dans d'autres domaines relevant des troubles de l'apprentissage, la collecte des données s'effectue dans un cadre extrêmement variable. Ainsi, les dénominations changent d'un auteur à un autre. Temple (1997) utilise les termes de dysgraphies (de surface *versus* phonologique) pour décrire, classer et interpréter les troubles de l'orthographe. Elle s'inspire en cela des modèles dits à deux voies (assemblage *versus* adressage) issus de la neuropsychologie de l'adulte (troubles acquis) et étendus à l'étude des troubles du développement. Nous nous référerons peu à cette approche, notamment parce qu'elle porte sur des études de cas en nombre limité et qu'elle est difficilement compatible avec les travaux portant sur des groupes. Concernant ces groupes, les dénominations sont tantôt « *spelling disorders* » tantôt « *spelling disabilities* » sans qu'on puisse déterminer sur quels critères reposent ces différences. Dans tous les cas, des problèmes apparaissent, qui ont trait aux critères de sélection des populations. De manière générale, les

troubles de la PO y sont postulés continus : les auteurs n'envisagent pas et ne recherchent pas de syndrome. Ils recourent à des épreuves qui leur permettent de retenir les individus se situant en deçà du 20^e, du 25^e ou du 35^e centile dans des épreuves standardisées. Selon le seuil choisi, les pourcentages retenus sont évidemment variables. Cela n'a toutefois pas la même incidence que dans d'autres champs relevant des troubles de l'apprentissage du fait qu'aucune étude de prévalence n'a, à notre connaissance, été publiée relativement à la seule PO. Les troubles de la PO sont étudiés soit en association avec des troubles généraux de l'apprentissage (les individus à faible QI ont majoritairement des difficultés importantes d'acquisition de l'orthographe) soit, le plus souvent, en liaison avec un autre trouble spécifique, la dyslexie, soit de manière spécifique. Dans ce dernier cas, les troubles spécifiques de l'orthographe sont définis comme correspondant à un niveau de performance en PO significativement inférieur à celui qui serait attendu compte tenu d'un niveau d'intelligence (QI) normal, d'un milieu socioculturel et d'une instruction non problématiques et d'un niveau de lecture (code et compréhension, selon les recherches) congruent avec le QI. Comme en général, les bons lecteurs (BL) sont aussi bons (mais moins) en PO (BO), et que les faibles lecteurs (FL) sont faibles en PO (FO), l'essentiel des travaux porte sur les associations entre lecture et écriture, notamment chez les dyslexiques. Toutefois, une sous-population a particulièrement retenu l'attention, celles des « *unexpectedly poor spellers* » (Frith, 1980 et 1985) (ci-après BLFO), qui précisément ont un niveau en PO significativement inférieur à celui que leur performance en lecture conduit à attendre. En revanche, hormis dans les études de cas neuropsychologiques, aucune étude de groupe ne porte sur des FLBO, peut-être parce qu'il s'agit d'individus très rares, voire n'existant que dans les troubles acquis.

Production orthographique

Il ne paraît pas réaliste de décrire les troubles, d'étudier leur origine et d'envisager leur évolution sans avoir préalablement défini ce que sont la production orthographique (PO) et les composantes qu'elle mobilise. La première partie de ce sous-chapitre décrit les procédures susceptibles d'être impliquées dans la PO.

Comment écrire les mots ?

Deux cas extrêmes se présentent (Margolin, 1984 ; Frith, 1980 et 1985 ; Ehri, 1997 ; Temple, 1997). Dans le premier, le mot est connu et fréquemment pratiqué. Il est donc disponible en mémoire. L'écrire, sous dictée ou à partir d'une image ou d'une représentation événementielle, nécessite que sa

forme orthographique soit remémorée (par adressage dans le lexique orthographique), maintenue dans une mémoire temporaire (un « buffer graphémique ») le temps que s'effectue la transcription, et éventuellement relue et contrôlée pour tester sa conformité à la forme présente en mémoire (Simon et Simon, 1973). Dans le second cas, l'item est inconnu. Il peut d'ailleurs s'agir d'un pseudo-mot utilisé pour les nécessités de l'étude. Sa présentation s'effectue nécessairement sous dictée. La forme sonore doit être temporairement stockée le temps qu'elle fasse l'objet d'une segmentation en « configurations phonologiques » pouvant aller du phonème à la syllabe, voire à des « unités » plus larges. À chaque segment doit être associée une configuration de lettres. Ces configurations, une fois construites ou remémorées, sont maintenues en mémoire temporaire graphémique le temps de leur transcription. Cette dernière n'a pas besoin pour commencer d'attendre que l'intégralité des mises en relation entre segments phonologiques et graphémiques ait eu lieu. La PO s'effectue ici par assemblage.

Les deux cas ci-dessus opposent la récupération directe en mémoire à la construction (ou invention ; Ehri, 1997) de l'orthographe d'un item. Toutefois, des situations intermédiaires existent, qui participent des deux possibilités. Ainsi, il est possible de transcrire un item en se référant partiellement à un mot disponible en mémoire. Une telle situation relève à la fois de la récupération en mémoire et de la construction : le mot connu est segmenté de manière à en conserver (au moins) une partie et ce qui subsiste de l'item à transcrire fait l'objet d'une ou plusieurs autres segmentations jusqu'à ce que l'item entier soit écrit. Cet item est traité à la fois par adressage et assemblage.

La PO des mots et mots potentiels mobiliserait donc deux procédures, l'une lexicale, l'autre sous-lexicale. Cette dernière pourrait porter sur des segments de tailles variables – graphonème associant un phonème et un graphème, bigrammes, trigrammes, voire morphèmes – dépendant du niveau d'expertise des individus. Certains vont même jusqu'à considérer que les mots ne sont pas stockés en mémoire mais sont en quelque sorte reconstitués à partir des unités sous-lexicales. Les données neuropsychologiques et celles recueillies auprès d'adultes sains et d'enfants attestent l'intervention de processus sous-lexicaux (Rey et coll., 2000 ; Bonin, 2003). Une question délicate a trait à la coordination en temps réel des apports respectifs des dimensions lexicale et sous-lexicale (Bonin et coll., 2001).

La conception dominante de la PO permet d'envisager plusieurs sources potentielles de difficultés. Les représentations lexicales elles-mêmes peuvent être erronées ou simplement imprécises (Perfetti, 1992), suffisantes pour lire mais non pour écrire. Les processus d'accès sont susceptibles d'être affectés, par exemple par une trop grande lenteur ou par l'inattention. Ces facteurs interviennent peut-être différemment sur les voies lexicale et sous-lexicale, conduisant à des types différents de performance. Les mémoires temporaires, phonologique ou graphémique, imposent des limites fortes aux nombre,

taille et durée du maintien des informations. Enfin, les processus dits périphériques qui assurent la sortie motrice – écriture (minuscule, majuscule...), épellation orale, dactylographie – imposent leurs propres contraintes, dont le coût peut rejaillir sur les performances en PO. Cette description sommaire éclaire la nature des épreuves utilisées (ou qui devraient l'être) pour dresser un bilan des performances en PO : épreuves testant les voies lexicale et sous-lexicale, en perception et en production ; épreuves de vitesse de réaction, de dénomination, d'écriture ; épreuves évaluant les capacités de mémoire temporaire...

Manifestations des troubles

Rares sont les études portant systématiquement sur les erreurs commises, leur fréquence et leurs caractéristiques. En particulier, à notre connaissance, seuls Lucci et Millet (1994) ont abordé la question de la production orthographique chez l'adulte tout-venant en décrivant soigneusement (mais encore partiellement) les erreurs les plus fréquentes. Bien que très différentes dans l'esprit et portant sur une population d'enfants, les données rapportées par Pothier et Pothier (2003) fournissent elles aussi une source précieuse d'informations, portant sur quelques 50 000 enfants de l'école élémentaire et 11 000 termes qui leur ont été dictés, permettant d'établir une échelle de difficulté. Le fait que seules les réussites soient rapportées, et non les erreurs commises, limite malheureusement l'exploitation potentielle de ces données. Le bilan de ces travaux, réalisés sans perspective normative, met clairement en évidence l'existence de « zones de fragilité » induisant en quelque sorte les erreurs. Il faudrait que les psycholinguistes reprennent ces données pour étudier les processus cognitifs contribuant à la survenue de ces erreurs.

Types d'erreurs

Les erreurs de PO se répartissent en quatre grandes catégories. Premièrement, certaines erreurs sont de type phonétique. La transcription effectuée ne permet pas, lorsqu'elle est relue, de retrouver la forme phonologique des mots. Par rapport à cette dernière, se manifestent des omissions, des substitutions ou des modifications de l'ordre des graphonèmes (« orde » pour « ordre » ; « pidon » pour « bidon » ; « sèche » pour « chaise » ; Girolami-Boulinier, 1984 ; Zesiger et de Parz, 1997). Ces erreurs sont particulièrement fréquentes chez les débutants. Elles se perpétuent aux niveaux scolaires supérieurs, mais leur fréquence diminue. Contrairement à ce que suggère l'intuition, la catégorisation des erreurs dans cet ensemble ne va pas de soi. Certaines formes orthographiques estimées non phonétiquement recevables par des auteurs sont acceptées par d'autres, cela de manière théoriquement justifiée (« *fegr* » refusé par Frith, 1980, comme transcription de « *finger* » est

accepté par Read, 1975). Ce constat fragilise une large partie des données (voir Moats, 1995 pour une classification précise en anglais) et a conduit les chercheurs à se référer non pas à la transcription adulte normée mais à celle d'individus de même niveau en lecture et/ou en PO.

Deuxièmement, d'autres erreurs sont phonétiquement acceptables mais ne respectent pas l'orthographe conventionnelle (Alegria et Mousty, 1996). Plusieurs distinctions ont été introduites parmi ces erreurs. Les unes portent sur des formes lexicales que rien, hormis la mémorisation, ne permet de transcrire par analogie ou en recourant à des régularités sous-lexicales (« foulard » ; « femme »). Les autres ne respectent pas des régularités dont on sait qu'elles sont précocement extraites et utilisées. Par exemple « achopper », probablement inconnu de nombreux enfants de l'école élémentaire, pourrait néanmoins être correctement orthographié par certains avec le doublet « pp » parce que celui-ci est fréquent dans la configuration « oppe » (Pacton et coll., 2001 ; Lehtonen et Bryant, 2005). D'autres au contraire ne s'appuieraient pas sur cette régularité, soit parce qu'ils ne l'ont pas acquise soit parce que sa mise en œuvre leur pose problème. Les erreurs phonétiquement acceptables sont relativement fréquentes, même chez les adultes, car elles reposent pour les premières sur des connaissances lexicales non toujours disponibles et, pour les secondes, sur des régularités probabilistes, qui ne peuvent donc être systématiquement appliquées.

Troisièmement, des erreurs peuvent être prévenues si des connaissances morphologiques sont disponibles et appliquées. Ainsi, le « -d » final de « retard » est « calculable » du fait des dérivations possibles. Les PO « retar » ou « retart » ou « retars » traduisent soit l'ignorance de cette dérivation soit l'absence de son exploitation. Ce type d'erreurs est à la fois spécifique des items (il est sensible aux effets de fréquence) mais aussi partiellement transférable : les apprenants peuvent l'étendre à des items pour lesquels les dérivations induisent des erreurs (numéro transcrit « numérot » par dérivation en « numérotter »). De telles erreurs, « positives », comme l'utilisation de pseudo-mots « dérivables » permettent d'évaluer la disponibilité et la productivité de la dérivation.

Quatrièmement, les erreurs d'accord, en genre et en nombre se manifestent soit par des omissions (« les table ») soit par des substitutions (« les tablent »). Elles surviennent normalement et fréquemment au cours de l'apprentissage (entre la 2^e et la 4^e primaires ; Totereau et coll., 1998) puis diminuent sans totalement disparaître, même chez l'adulte cultivé, notamment lorsque les noms ont des homophones verbaux (« timbre », « ferme »...) (Fayol et coll., 1994 ; Largy et coll., 1996).

Erreurs relevées dans les troubles de la production orthographique

Une importante question a concerné, d'une part, la fréquence des erreurs et, d'autre part, leur distribution chez les individus ayant un trouble de la PO.

Erreurs phonologiques

De manière générale, les enfants qui peinent à apprendre à lire présentent des habiletés phonologiques faibles (Bradley et Bryant, 1978). Comme l'écriture nécessite la segmentation des mots en phonèmes, on peut s'attendre à ce que la faiblesse phonologique se traduise encore plus dans la PO que dans la lecture. Les recherches abordant l'apprentissage de l'orthographe confirment l'impact de la conscience phonologique : celle-ci prédit la performance orthographique mieux qu'elle ne prédit la performance en lecture (Perin, 1983). Elle a même un poids plus important que la lecture dans le développement précoce de l'orthographe. Les données portant sur les élèves plus âgés vont dans le même sens. Les faibles en orthographe (FO) de cinquième année primaire, appariés à la fois à des groupes de même âge chronologique et de même niveau orthographique (donc plus jeunes), manifestent une conscience phonologique plus faible que les autres et des performances plus faibles en orthographe, notamment de mots réguliers et de pseudo-mots. Ils commettent aussi plus d'erreurs attestant d'inexactitudes phonologiques (Rohl et Tunmer, 1988).

Si l'écriture s'appuie sur la phonologie, le niveau en orthographe des enfants dyslexiques devrait être approximativement le même que celui des enfants qui leur sont appariés sur le niveau phonologique. Bruck et Treiman (1990) puis Cassar et coll. (2005) ont confirmé que les dyslexiques et les enfants plus jeunes ont des performances très proches en segmentation et en ce qui concerne la fréquence et la nature des erreurs.

Les travaux portant sur les adultes faibles en orthographe (FO) ont détecté chez beaucoup d'entre eux, mais pas chez tous (Holmes et Castles, 2001) des déficits d'ordre phonologique (Bruck et Waters, 1990 ; Burden, 1992). Cette thèse est étayée par le constat que les individus ayant une histoire de dyslexiques restent FO, même lorsqu'ils ont dominé ou compensé leurs difficultés de lecture. Leurs représentations orthographiques seraient suffisantes pour leur permettre de lire à partir d'indices partiels, mais elles rendraient très difficile voire impossible une production orthographique parfaite (Holmes et Carruthers, 1998 ; Poncelet et coll., 2003).

Erreurs orthographiques

Il se pourrait que les dyslexiques compensent leur faiblesse phonologique en s'appuyant plus que les tout-venant sur les caractéristiques orthographiques des items. Leurs performances orthographiques devraient alors être supérieures à celles attendues compte tenu de leur niveau phonologique. La plupart des travaux montrent que les performances des dyslexiques en orthographe correspondent à celles de leur niveau phonologique (Nelson, 1980 ; Moats, 1983 ; Pennington et coll., 1986). Ils possèdent des connaissances orthographiques relatives aux mots et aux lettres qui sont au moins du niveau de leur capacité de lecture et d'écriture (Bourassa et Treiman, 2003). Toutefois, leurs performances dans les tâches phonologiques ne sont pas influencées par les

connaissances orthographiques comme le sont celles des tout-venant (Bruck, 1992 ; Landerl et coll., 1996). Certains résultats, notamment chez les sujets plus âgés, rapportent un niveau supérieur en orthographe (Olson et coll., 1985 ; Manis et coll., 1993 ; Siegel et coll., 1995), qui pourrait être lié à la durée de la pratique de l'écrit. Les données issues des études de cas neuropsychologiques attestent l'existence d'individus, adultes mais aussi enfants présentant des atteintes spécifiques de la PO sans pour autant manifester de troubles de la phonologie (Moats, 1995 ; Temple, 1997). Il se pourrait que certains parviennent à mémoriser des configurations de lettres sans transiter par la phonologie, et à manifester ainsi des effets de régularité orthographique. L'utilisation d'épreuves de choix orthographiques (choisir entre « filv » et « fild » ou entre « fkan » et « flan » le pseudo-mot qui pourrait être un mot anglais ; Majeres, 2005 ; Siegel et coll., 1995) tend à montrer que les performances orthographiques des dyslexiques ou des FO sont supérieures à ce que laisse attendre leur niveau aux épreuves phonologiques. Toutefois, les caractéristiques du matériel, notamment le fait que de nombreuses séquences sont illégales (« fkan ») conduit à s'interroger sur les résultats.

Les données n'étaient pour l'instant pas clairement la thèse selon laquelle les dyslexiques compenseraient leur déficit phonologique en faisant plus que les autres référence à l'orthographe. Il se pourrait toutefois qu'ils le fassent d'autant plus que leur habileté et leur expérience orthographiques augmentent.

Erreurs morphologiques

Il est clair que la phonologie joue un rôle fondamental mais qu'elle ne suffit pas à assurer l'apprentissage de la PO. Les conventions orthographiques doivent également être acquises et posent des problèmes spécifiques. Une partie de ceux-ci provient de ce que des formes phonologiquement semblables (« e » en français) peuvent se transcrire de différentes manières (« é » (és, ée, ées), « er », « et »...). Trouver la forme seule acceptable peut dépendre de règles morphologiques, relatives à la dérivation (« poulet » ; « poulette ») ou à la flexion (« ils ont chanté » *versus* « ils vont chanter »). De là l'intérêt (encore modeste) porté à l'acquisition de la morphologie, à l'évolution de la conscience morphologique (Muter et Snowling, 1997 ; Sénéchal, 2000) et à la mobilisation de ces connaissances en PE et PO. Les données les plus nombreuses et précises relèvent de la morphologie flexionnelle, notamment des accords en nombre du nom et de l'écriture du prétérite en anglais. La découverte que la morphologie régit l'écriture demande du temps aux enfants (Waters et coll., 1984 ; Carlisle, 1988). Certains adultes faibles scripteurs peuvent même ne jamais parvenir à la maîtrise de cette dimension de l'écrit (Waters et coll., 1984). Des élèves de la troisième à la sixième année primaire ont des difficultés à écrire « sign » alors que le rapprochement de « signal » permet cette transcription. Sterling (1983) rapporte des erreurs de même type chez des élèves de 12 ans, écrivant « *closlay* » au lieu de

« *closely* ». Ils ne mettent pas en relation *close* et *closely*. Plusieurs auteurs ont noté que la connaissance de la morphologie et son emploi à l'oral ne garantissent pas sa mise en œuvre en PE, particulièrement chez les FL. Smith-Lock (1991) rapporte ainsi que des élèves de deuxième primaire tous capables d'utiliser sans erreur la morphologie en production orale omettaient les inflexions en PE, cela d'autant plus qu'ils étaient FL. Hauervas et Walker (2003) confirment ce résultat. Ils comparent les performances en PO chez des élèves de la 6^e à la 8^e années scolaires présentant des déficits en lecture et PO à celles de normolecteurs de 2^e et 3^e années primaires. Tous ont des performances verbales orales normales. Dans une épreuve nécessitant d'accorder les verbes soit présentés isolément soit insérés dans des phrases, les élèves déficitaires omettaient les inflexions, mais significativement plus fréquemment lorsque ces verbes étaient en contexte (17 %) qu'isolés (7 %). Ces résultats suggèrent que la disponibilité de connaissances morphologiques ne suffit pas à assurer leur mise en œuvre, celle-ci variant de manière complexe en fonction des tâches à effectuer (Carlisle, 1987).

Au total, les erreurs en PO relevées chez les FO correspondent à celles qu'on rencontre chez des élèves plus jeunes appariés sur le niveau de lecture et d'orthographe, au moins en ce qui concerne les erreurs de type phonologique (Invernizzi et Worthy, 1989 ; Treiman et Bourassa, 2000). Cette conclusion est moins assurée relativement aux erreurs portant sur les conventions orthographiques. Il n'est pas exclu que la pratique de la lecture permette à certains individus d'acquérir des patrons orthographiques de niveau supérieur à celui que laisse attendre leurs performances phonologiques (Lennox et Siegel, 1996 ; Bourassa et Treiman, 2003). Enfin, les (rares) données portant sur la morphologie flexionnelle suggèrent que les erreurs, presque toujours des omissions, tiennent aux conditions de mise en œuvre plus qu'à des méconnaissances de marques ou de conditions d'emploi de celles-ci.

Comorbidité

À notre connaissance, aucune étude n'a jamais étudié la prévalence des troubles de la PO (ou de la PE) indépendamment de ceux de la lecture (dyslexie). En conséquence, pratiquement tous les travaux postulent implicitement le caractère indissociable des troubles de la PO et de ceux de la lecture. C'est si vrai que Frith (1980 et 1985) peut évoquer les « *unexpectedly poor spellers* » : c'est l'existence même d'un groupe dans lequel les performances en PO ne sont pas aussi bonnes que celles relevées en lecture qui est inattendue. En d'autres termes, même si quelques études de cas neuropsychologiques rapportent des atteintes en PO sans troubles de la lecture, toutes les recherches portant sur l'apprentissage et le développement considèrent que les troubles de la PO sont systématiquement associés à ceux de la lecture, et notamment à la dyslexie.

La question de la comorbidité avec les troubles du langage est, elle aussi, presque toujours envisagée en relation avec la lecture. Nous ne reprenons donc pas ici ce qui est abordé dans le chapitre consacré à la dyslexie. Le seul sous-domaine dans lequel la question des relations entre performances à l'oral et à l'écrit ait été soulevée de manière plus explicite relativement à la PO a trait à la morphologie. Windsor et coll. (2000) ont cherché à établir si les erreurs rencontrées en production orale par les enfants présentant au cours de la période préscolaire des troubles spécifiques du langage (*Language Learning Disabled*, LLD) se retrouvaient encore au cours de leur scolarité élémentaire, à l'oral comme à l'écrit. Les erreurs étudiées portaient sur la morphologie du verbe (prétérit) et du nom (pluriel) ainsi que sur la copule (*to be*). Au total, 20 enfants LLD de 11 ans et 5 mois présentant globalement 2 ans de retard en langage (au moins un écart-type inférieur en production et pour certains un écart-type en réception) ont été appariés sur l'âge (groupe témoin âge : 20 enfants de 11 ans et 6 mois), sur le niveau de langage (groupe témoin langage ; 20 enfants de 8 ans et 11 mois) ainsi que sur le sexe et le statut socioéconomique. Tous ces enfants produisaient chacun quatre textes, deux à l'oral, deux à l'écrit, une narration et une description. Les productions (4 688 énoncés à l'oral contre 2 430 à l'écrit) ont été transcrites et cotées en ce qui concerne les accords des noms et des verbes. À l'oral, les erreurs de morphologie portant sur les noms et les verbes étaient proches de zéro, chez les « tout-venant », groupe témoin âge et groupe témoin langage, comme chez les LLD. À l'écrit, les choses étaient très différentes. Les erreurs – toutes des omissions – étaient plus nombreuses dans les trois groupes. Mais la différence était surtout importante chez les LLD et plus élevée avec les verbes qu'avec les noms. Ces données recourent celles de Hauervas et Walker (2003). Elles suggèrent que les difficultés rencontrées initialement à l'oral par les LLD sont devenues inapparentes : les enfants connaissent les marques, leurs conditions d'utilisation et savent les mobiliser à bon escient. Pourtant, lorsque la tâche devient plus difficile, notamment en PE, les mêmes erreurs ré-apparaissent, essentiellement des omissions, pour lesquelles la méconnaissance des marques, des règles ou des conditions ne peut être invoquée. Il faut probablement chercher en direction des mécanismes de l'attention ou de la mémoire de travail pour tenter de rendre compte de ces résultats. Il reste que ces derniers conduisent à soupçonner, mais encore de manière limitée, une comorbidité entre troubles de la morphologie à l'oral et à l'écrit.

Quelques travaux rapportent des comorbidités plus spécifiques, parfois difficiles à interpréter du fait de flottements dans les dénominations. Ainsi, Shalev et coll. (1998) ont suivi pendant six ans (du 5^e au 11^e grades) 140 dyscalculiques d'intelligence normale (QI>80), en évaluant à trois reprises leurs performances en calcul, lecture et écriture. Ces auteurs rapportent que la persistance de la dyscalculie (le fait d'avoir des performances à un niveau *n* qui justifient d'être considéré comme dyscalculique alors qu'on l'était déjà à un niveau *n-1*) est associée à un faible QI, à l'inattention, mais

aussi à une faible performance en écriture. Shalev et coll. (1998) évoquent la possibilité que l'association de l'écriture avec les troubles arithmétiques tienne à un facteur commun : l'inattention. Malheureusement, les recherches portant sur la relation entre écriture et attention d'une part ou entre PO et attention d'autre part sont rares même si l'existence d'une telle liaison est signalée par Bouvard et coll. (2002). Toutefois, la formulation de Shalev et coll. (1998) est ambiguë. Le terme *writing* est utilisé dans le résumé et les tableaux, mais le terme *spelling* apparaît dans le corps du texte : il est difficile de déterminer si l'évaluation porte sur la PE ou la PO faute de disposer des épreuves. Or la question n'est pas inutile.

Siegel et Feldman (1983), et plus précisément, Ostad (1998), observent une comorbidité entre troubles de l'arithmétique (*mathematics difficulties*, MD) et troubles de l'orthographe (*spelling difficulties*, SD). Environ 50 % des MD présentent des difficultés en PO. La comorbidité s'élèverait à 4-6,5 % de la population scolaire. La mise en relation avec les performances au WISC-R (*Weschler Intelligence Screening*) suggère que la capacité cognitive générale pourrait en partie, mais pas totalement, expliquer cette comorbidité. Siegel et Feldman évoquent les troubles de la coordination mains-yeux pour rendre compte de la présence de troubles conjoints en arithmétique et PO.

S'il n'est pas exclu qu'un facteur général, le QI ou l'attention, intervienne dans la survenue de comorbidités entre écriture ou orthographe et arithmétique, notamment parce que, comme le souligne Ostad, ces activités mobilisent à la fois des procédures et des faits mémorisés et donc, sont susceptibles d'être conjointement affectées lorsqu'une de ces deux dimensions pose problème. Toutefois, la littérature rapporte que des troubles de l'arithmétique peuvent être associés à des troubles de l'écriture (dysgraphie), de la latéralité et des gnosies digitales dans le syndrome de Gerstmann (1940). Il n'est pas exclu que cette association existe aussi chez le tout-venant et qu'elle se manifeste dans des troubles de moindre intensité que le syndrome de Gerstmann.

Au total, la comorbidité des troubles de la PO avec ceux de la lecture (dyslexie) est considérée comme allant de soi. Les choses sont moins claires avec le langage oral, mais là encore c'est par le biais de la dyslexie que s'établirait le lien. Par contraste, les associations avec l'écriture d'une part et le calcul d'autre part ne peuvent sans doute pas s'expliquer de la même manière. L'intervention de facteurs généraux (QI, attention) est possible, mais également celle de facteurs spécifiques, tels ceux impliqués dans le syndrome de Gerstmann.

Héritabilité

Peu d'études ont envisagé la question de l'héritabilité des troubles de la PO en la distinguant de celle de la dyslexie. Pourtant, la question se pose du fait

que, même si les capacités phonologiques et les capacités orthographiques sont fortement corrélées, notamment chez l'enfant, elles sont aussi dissociables. Les variations des capacités orthographiques ne peuvent entièrement s'expliquer par celles des capacités phonologiques. Ce constat justifie que Shulte-Körne (2001) ait conduit la seule investigation d'envergure portant sur l'héritabilité comparée de la dyslexie et des troubles de la PO sur les mêmes individus et en s'appuyant sur les données issues de recherches portant sur les familles, les jumeaux et les études moléculaires.

Les études de familles montrent que la probabilité de présenter une dyslexie est plus élevée lorsqu'un parent a ce trouble, encore plus si les deux le présentent. Les probabilités seraient les mêmes pour la lecture et pour l'orthographe. Les études des jumeaux sur la cohorte de Londres (Stevenson et coll., 1987) rapportent que l'héritabilité des troubles de l'orthographe est de 0,53 et qu'elle atteint 0,75 quand l'intelligence est contrôlée. Ainsi, ajoutées à celles de la cohorte du Colorado, on en arrive à considérer que 50 à 60 % des performances en lecture et orthographe seraient expliquées par les facteurs génétiques. Les contributions respectives des facteurs phonologiques (évalués par la lecture de pseudo-mots), conscience phonologique (segmentation et délétion de phonèmes) et orthographe (choix de l'orthographe exacte des mots ; « rane » et « rain ») ont été évaluées. Olson et coll. (1994) rapportent une héritabilité à la fois en phonologie, conscience phonologique et orthographe. Il reste qu'une part importante de la variance dépend de facteurs environnementaux. Les études moléculaires suggèrent l'implication de deux chromosomes : 6 (en lecture et écriture, mais sans qu'on sache comment il intervient), et surtout 15, notamment avec les troubles de l'orthographe (Nöthen et coll., 1999).

En conclusion, alors que l'orthographe est socialement valorisée et défendue, peu d'études approfondies existent sur les difficultés qu'elle soulève et sur les troubles qui l'affectent. En l'absence de données précises portant sur les erreurs commises par le tout-venant des enfants ou des adultes, il est difficile de déterminer dans quelle mesure le nombre et la nature des erreurs relèvent de performances normales nécessitant par exemple une pratique plus fréquente et régulière de certains exercices ou, au contraire conduisent à soupçonner un trouble nécessitant alors une prise en charge spécifique. C'est peut-être là que réside la cause de l'absence de toute étude de prévalence des troubles d'apprentissage de l'orthographe et celle de l'étude presque systématiquement conjointe des troubles de la lecture et de la production orthographique.

En d'autres termes, il apparaît urgent de développer des recherches portant sur l'apprentissage de l'orthographe, dans les perspectives longitudinale et transversale, prenant en compte les enseignements et entraînements dispensés. Ces recherches devraient aborder la question de l'acquisition de l'ortho-

graphe lexicale, sans doute le domaine le plus méconnu quant aux déterminants des réussites et des échecs. Elles devraient aussi traiter de l'apprentissage et de la mise en œuvre des morphologies dérivationnelle (« chat » ; « chatte » ; « grand » ; « grande ») et flexionnelle (participe passé *versus* infinitif ; accords en genre et en nombre des noms et adjectifs). Là encore, les enseignements dispensés devraient être contrôlés et leur impact soigneusement étudié, à court et à moyen termes.

Si l'on admet que l'orthographe du français doit rester ce qu'elle est, et donc qu'elle continuera à présenter les difficultés d'apprentissage que l'on sait, alors il convient de se donner les moyens, d'une part, d'étudier quelles approches seraient les plus efficaces pour assurer à la plupart des enfants la maîtrise de leur système orthographique et, d'autre part, de construire des instruments de dépistage et d'intervention visant les populations susceptibles de présenter des troubles.

BIBLIOGRAPHIE

ALAMARGOT D, CHANQUOY L. *Through the models of writing*. Kluwer Academic Publishers Dordrecht, Boston, New York, 2001

ALEGRIA J, MOUSTY P. On the development of lexical and non-lexical spelling procedures of french speaking, normal and disabled children. *In* : Handbook of spelling. BROWN GDA, ELLIS NC (eds). Chichester, USA, John Wiley and sons, 1996 : 211-227

BERNINGER VW, RICHARDS TL. *Brain literacy for educators and psychologists*. Academic Press, San Diego, CA, 2002

BONIN P, PEEREMAN R, FAYOL M. Do phonological codes constraint the selection of orthographic codes in written picture naming? *Journal of Memory and Language* 2001, **45** : 688-720

BONIN P. *La production verbale de mots*. De Boeck, Bruxelles, 2003

BOSMAN AMT, VAN ORDEN GC. Why spelling is more difficult than reading. *In* : Learning to spell. PERFETTI CA, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum Associates, 1997 : 173-194

BOURASSA D, TREIMAN R. Spelling in children with dyslexia: Analyses from the Treiman–Bourassa Early Spelling Test. *Scientific Studies of Reading* 2003, **7** : 309–333

BOURDIN B, FAYOL M. Even in adults, written production is still more costly than oral production. *International Journal of Psychology* 2002, **37** : 219-222

BOURDIN B, FAYOL M. Is written production more difficult than oral production: A working memory approach. *International Journal of Psychology* 1994, **29** : 591-620

BOUVARD M, LE HEUZEY MF, MOUREN-SIMEONI MC. *L'hyperactivité de l'enfance à l'âge adulte*. Doin, Paris, 2002

- BRADLEY L, BRYANT PE. Difficulties in auditory organisation as a possible cause of reading backwardness. *Nature* 1978, **271** : 746–747
- BRUCK M. Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology* 1992, **28** : 874–886
- BRUCK M, TREIMAN R. Phonological awareness and spelling in normal children and dyslexics: The case of initial consonant clusters. *Journal of Experimental Child Psychology* 1990, **50** : 156–178
- BRUCK M, WATERS G. An analysis of the component spelling skills of good readers poor spellers. *Applied Psycholinguistics* 1990, **11** : 425–437
- BURDEN V. Why are some normal readers such poor spellers? In : Psychology, spelling, and education. STERLING CM, ROBSON C (eds). Clevedon, UK, Multilingual Matters, 1992
- CARLISLE JF. The use of morphological knowledge in spelling derived forms by learning-disabled and normal students. *Annals of Dyslexia* 1987, **37** : 90–108
- CARLISLE JF. Knowledge of derivational morphology and spelling ability in fourth, sixth and eighth graders. *Applied Psycholinguistics* 1988, **9** : 247–266
- CASSAR M, TREIMAN R, MOATS L, POLLO TC, KESSLER B. How do the spelling of children with dyslexia compare with those on nondyslexic children. *Reading and Writing* 2005, **18** : 27–49
- CASTALDO S, ELLIS N. Interactions in the development of spelling, reading and phonological skills. *Journal of Research in Reading* 1988, **11** : 86–109
- CATACH N. L'orthographe française. Traité théorique et pratique. Paris, Nathan, 1986
- EHRI LC. Learning to read and learning to spell are one and the same, almost. In : Learning to spell. PERFETTI C, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum, 1997 : 237–269
- FAYOL M, LARGY P, LEMAIRE P. Subject-verb agreement errors in French. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 1994, **47A** : 437–464
- FAYOL M. L'apprentissage de l'accord en genre et en nombre en Français écrit. Connaissances déclaratives et connaissances procédurales. *Faits de Langue*, 2002a
- FAYOL M. La production du langage. Hermès, Paris, 2002b
- FAYOL M. La production du langage. Paris, Hermès, 2002
- FRITH U. Beneath the surface of dyslexia. In : Surface dyslexia : Neuropsychological and cognitive studies of phonological reading. PATTERSON KE, MARSHALL JC, COLTHEART M (eds). Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum, 1985 : 301–330
- FRITH U. Unexpected spelling problems. In : Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980
- GERNSBACHER MA. Handbook of psycholinguistics. New York, Academic Press, 1994

GERSTMANN J. Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia, and acalculia. *Archives of Neurology and Psychiatry* 1940, **44** : 398-408

GIROLAMI-BOULINIER A. Les niveaux actuels dans la pratique du langage oral et écrit. Paris, Masson, 1984

HAUERWAS LB, WALKER J. Spelling of inflected verb morphology in children with spelling deficits. *Learning Disabilities Research and Practice* 2003, **18** : 25-35

HOLMES VM, CARRUTHERS J. The relation between reading and spelling in skilled adult readers. *Journal of Memory and Language* 1998, **39** : 264-289

HOLMES VM, CASTLES AE. Unexpectedly poor spelling in university students. *Scientific Studies of Reading* 2001, **5** : 319-350

HULME C, JOSHI RM. Reading and spelling. Development and disorders. Mahwah, NJ, Lawrence Erlbaum, 1998

INVERNIZZI M, WORTHY MJ. An orthographic-specific comparison of the spelling errors of learning disabled and normal children across four grade levels of spelling achievement. *Reading Psychology* 1989, **10** : 173-188

LANDERL K, FRITH U, WIMMER H. Intrusion of orthographic knowledge on phoneme awareness: strong in normal readers, weak in dyslexic children. *Applied Psycholinguistics* 1996, **17** : 1-14

LARGY P, FAYOL M, LEMAIRE P. The homophone effect in written French: The case of verb-noun inflection errors. *Language and Cognitive Processes* 1996, **11** : 217-255

LEHTONEN A, BRYANT P. Doublet challenge : Form comes before function in children's understanding of their orthography. *Developmental Science* 2005, **8** : 211-221

LENNOX C, SIEGEL LS. The development of phonological rules and visual strategies in average and poor spellers. *Journal of Experimental Child Psychology* 1996, **62** : 60-83

LUCCI V, MILLET A. L'orthographe de tous les jours. Champion, Paris, 1994

LUSSIER F, FLESSAS J. Neuropsychologie de l'enfant. Paris, Dunod, 2001

MAJERES RL. Phonological and orthographic coding skills in adult readers. *The Journal of Genetic Psychology* 2005, **132** : 267-280

MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDGE-CHANG C, PETERSEN A. On the basis of two subtypes of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **58** : 157-195

MARGOLIN DI. The neuropsychology of writing and spelling: Semantic, phonological, motor and perceptual processes. *Quarterly journal of Experimental Psychology* 1984, **34** : 459-489

MOATS LC. A comparison of the spelling errors of older dyslexic and second-grade normal children. *Annals of Dyslexia* 1983, **33** : 121-140

MOATS LC. Spelling. Development, disability, and instruction. Timonium, MA, York Press, 1995

MUTER V, SNOWLING M. Grammar and phonology predict spelling in middle childhood. *Reading and Writing* 1997, **9** : 407-425

- NELSON HE. Analysis of spelling errors in normal and dyslexic children. In : Cognitive processes in spelling. FRITH U (ed). Academic Press, London, 1980 : 475-493
- NOTHEN MM, SCHULTE-KORNE G, GRIMM T, CICHON S, VOGT IR, et coll. Genetic linkage analysis with dyslexia: evidence for linkage of spelling disability to chromosome 15. *Eur Child Adolesc Psychiatry* 1999, **8** : 56-9
- OLIVE T, LEVY CM. Contemporary tools and techniques for studying writing. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, 2002
- OLSON R, FORSBERG H, WISE B. Genes, environment, and the development of orthographic skills. In : The varieties of orthographic knowledge. Theoretical and developmental issues. BERNINGER VW (ed). Dordrecht, the Netherland, Kluwer Academic 1994 : 27-71
- OLSON RK, KLIEGEL R, DAVIDSON BJ, FOLTZ G. Individual and developmental differences in reading disability. In : Reading Research: Advances in Theory and Practice. MACKINNON GE, WALLER TG (eds). Vol 4, Academic Press, New York, 1985 : 1-64
- OSTAD SE. Comorbidity between mathematics and spelling difficulties. *Logopedics Phoniatics Vocology* 1998, **23** : 145-154
- PACKTON S, PERRUCHET P, FAYOL M, CLEEREMANS A. Implicit learning out of the lab: The case of orthographic regularities. *Journal of Experimental Psychology General* 2001, **130** : 401-426
- PENNINGTON BF, MCCABE LL, SMITH SD, LEFLY DL, BOOKMAN, MO, et coll. Spelling errors in adults with a form of familial dyslexia. *Child Development* 1986, **57** : 1001-1013
- PERFETTI C, RIEBEN L, FAYOL M. Learning to spell. Lawrence Erlbaum Ass, Mahwah, NJ, 1997
- PERFETTI CA. The representation problem in reading acquisition. In : Reading acquisition. GOUGH PB, EHRI LC, TREIMAN R (eds). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1992 : 145-174
- PERIN D. Phonemic segmentation in spelling. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 129-144
- PONCELET M, SCHYNS T, MAJERUS S. Further evidence for persisting difficulties in orthographic learning in highly educated adults with a history of developmental dyslexia. *Brain and Language* 2003, **87** : 145-146
- POTHIER B, POTHIER P. Échelle d'acquisition de l'orthographe. Paris, Retz, 2003
- READ C. Children's categorization of speech sounds in english. Urbana-Champaign, IL, National Council of Teachers of English, 1975
- REY A, ZIEGLER J, JACOBS AM. Graphemes are perceptual reading units. *Cognition* 2000, **74** : 1-12
- ROHL M, TUNMER WE. Phonemic segmentation skill and spelling acquisition. *Applied Psycholinguistics* 1988, **9** : 335-350

- SCHULTE-KÖRNE G. Annotation : Genetics of reading and spelling disorders. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2001, **42** : 985-997
- SÉNÉCHAL M. Morphological effects in children's spelling of french words. *Canadian Journal of Experimental Psychology* 2000, **54** : 76-85
- SHALEV RS, MANOR O, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Persistence of developmental dyscalculia : What counts ? *Journal of Pediatrics* 1998, **133** : 358-362
- SIEGEL LS, FELDMAN W. Nondyslexic children with combined writing and arithmetic difficulties. *Clinical Pediatrics* 1983, **22** : 241-244
- SIEGEL LS, SHARE D, GEVA E. Evidence for superior orthographic skills in dyslexics. *Psychological Science* 1995, **6** : 250-254
- SIEGEL LS. The modularity of reading and spelling : Evidence from hyperlexia. In : *Handbook of spelling*. BROWN GDA, ELLIS NC (eds). Chichester, USA, John Wiley and sons, 1994 : 227-248
- SIMON DP, SIMON HA. Alternative uses of phonemic information in spelling. *Review of Educational Research* 1973, **43** : 115-137
- SMITH-LOCK KM. Errors of inflection in the writing of normal and poor readers. *Language and Speech* 1991, **34** : 341-350
- STERLING CM. Spelling errors in context. *British Journal of Psychology* 1983, **74** : 353-364
- STEVENSON J, GRAHAM P, FREDMAN G, MCLOUGHLIN V. A twin study of genetic influences on reading and spelling ability and disability. *J Child Psychol Psychiatry* 1987, **28** : 229-247
- TEMPLE C. *Developmental cognitive neuropsychology*. Psychology Press, London, 1997
- TOTEREAU C, BARROUILLET P, FAYOL M. Overgeneralizations of number inflections in the learning of written French: The case of nouns and verbs. *British Journal of Developmental Psychology* 1998, **16** : 447-464
- TREIMAN R, BOURASSA DC. The development of spelling skill. *Topics in Language Disorders* 2000, **20** : 1-18
- WATERS GS, SEIDENBERG MS, BRUCK M. Children's and adults' use of spelling sound information in three reading tasks. *Memory and Cognition* 1984, **12** : 293-305
- WINDSOR J, SCOTT CM, STREET CK. Verb and noun morphology in the spoken and written language of children with language learning disabilities. *J Speech Lang Hear Res* 2000, **43** : 1322-1336
- ZESIGER P, DE PARTZ MP. The cognitive neuropsychology of spelling. In : *Learning to spell*. PERFETTI CA, RIEBEN L, FAYOL M (eds). Mahwah, NJ, Erlbaum, 1997

11

Dyscalculie et troubles de l'apprentissage de l'arithmétique

Ce chapitre recense les études ayant trait aux troubles des apprentissages affectant les activités numériques connus sous le nom de dyscalculie. Une recension totalement exhaustive des études abordant ce sujet est probablement impossible pour plusieurs raisons. D'une part, comme nous le verrons, ces troubles sont désignés de plusieurs manières différentes, sans que les divers vocables recouvrent par ailleurs de réelles différences, ce qui rend l'exhaustivité difficile à atteindre. D'autre part, ces troubles intéressent un grand nombre de disciplines (didactique des mathématiques, sciences de l'éducation, psychologie, neuropsychologie, neurologie, psychiatrie, génétique) ne partageant pas les mêmes normes et habitudes de publication. Toutefois, nous nous sommes efforcés de recenser les travaux les plus importants dans le domaine et pensons y être parvenus. Parmi les troubles affectant les habiletés numériques, nous avons écarté les études portant sur les troubles acquis suite à des traumatismes, des lésions ou des dégénérescences pour nous concentrer sur les troubles dits développementaux affectant les apprentissages d'enfants réputés ne souffrir d'aucune atteinte organique identifiée. Toutefois, en raison de leur intérêt théorique et de l'éclairage qu'elles peuvent apporter à la compréhension de la dyscalculie de développement, nous mentionnerons les études portant sur la dyscalculie chez des enfants atteints de certaines maladies chromosomales ou syndromes neurologiques.

L'objectif de ce chapitre est de présenter l'état actuel de la recherche dans le domaine de la dyscalculie développementale en ce qui concerne la définition et les critères diagnostiques du trouble, la nature de ses manifestations, les facteurs causaux qui le sous-tendent, son évolution avec l'âge ainsi que ses liens avec d'autres troubles des apprentissages. Disons tout de suite que la recherche dans le domaine de la dyscalculie n'en est qu'à ses débuts et qu'elle est beaucoup moins avancée que ne l'est par exemple la recherche sur la dyslexie. La dyscalculie est ainsi fréquemment présentée comme un trouble négligé (Sutaria, 1985 ; Geary, 1993 et 1994 ; Noël, 2000 ; Van Hout, 2001 ; Butterworth, 2005) et nous tenterons dans la discussion d'en dégager les raisons.

Il n'existe pas de définition et encore moins de critères diagnostiques unanimement acceptés de la dyscalculie. Le terme même de dyscalculie n'est pas universellement utilisé pour désigner le trouble. Le terme de « dyscalculie de développement », introduit par Kosc (1974), est utilisé par Badian (1983), Shalev et Gross-Tsur (1993 et 2001) ainsi que par Butterworth (2005). D'autres auteurs parlent de difficultés en arithmétique (*arithmetic difficulties*) comme Lewis et coll. (1994) ou encore de troubles des apprentissages en mathématiques (*learning disabilities in mathematics*) comme Geary et Hoard (2005). Ce même auteur emploie souvent les termes de handicap en mathématiques (*mathematic disabilities*, MD, ou *mathematically disabled children*) de même que Rourke (*arithmetic disabilities*, Rourke, 1993) ou Silver et coll. (1999). Jordan emploie pour sa part le terme de difficultés en mathématiques (*mathematic difficulties*, Jordan et coll., 2003b). Ces auteurs parlent-ils de la même chose ? Pour Butterworth (2005), il convient de distinguer les études sur la dyscalculie développementale des études expérimentales sur les causes des difficultés d'apprentissage des mathématiques. En effet, les secondes adoptent comme limite d'inclusion, le 20^e, le 25^e, parfois le 35^e centile sur des épreuves standardisées de mathématiques alors que les études de prévalence font état de 5 à 7 % d'enfants dyscalculiques. Toutefois, les études épidémiologiques portant sur la dyscalculie développementale utilisent elles aussi des épreuves de performance en arithmétique pour classer les individus, le taux de 5 à 7 % dépendant seulement de critères fixés a priori (par exemple, avoir deux ans de retard dans une échelle standardisée de performance).

Ceci est lié au fait que la définition usuelle de la dyscalculie est très grandement circulaire. Le premier, Kosc (1974) la définit comme « un trouble structurel des habiletés mathématiques dont l'origine est génétique ou liée à un problème congénital affectant les aires cérébrales qui sont le substrat anatomophysiologique direct de la maturation des habiletés mathématiques sans trouble simultané des fonctions mentales plus générales ». Pour Temple (1992), il s'agit « d'un trouble des compétences numériques et des habiletés arithmétiques qui se manifeste chez des enfants d'intelligence normale qui ne présentent pas de déficits neurologiques acquis ». En dehors du fait que ces définitions écartent les problèmes liés à un faible niveau intellectuel ou à des troubles apparaissant suite à des problèmes de type neurologique venant perturber un développement jusque-là normal, le seul critère d'inclusion demeure la faiblesse des acquisitions numériques et arithmétiques. Conscient de ce problème et du fait que, dès lors, les problèmes de prévalence se résument à la définition de critères a priori, l'un d'inclusion portant sur le niveau de performance en arithmétique en dessous duquel on parlera de dyscalculie, l'autre d'exclusion portant sur un niveau intellectuel minimal requis (en terme de QI), Butterworth (2005) suggère une approche alternative reposant sur des critères qualitatifs et l'adoption de la définition proposée par le *UK Department for Education and Skills*. Selon cet organisme, la dyscalculie serait « un état qui affecte la capacité à acquérir des habiletés arithmétiques. Les élèves dyscalculiques peuvent avoir des difficultés à comprendre les concepts numériques simples, une

absence de compréhension intuitive des nombres, et ont des difficultés pour apprendre les faits numériques et les procédures. Même s'ils produisent la réponse correcte ou utilisent une méthode correcte, ce serait de manière mécanique et sans confiance en eux-mêmes ». Cette définition a le mérite de ne pas se limiter au symptôme (une difficulté d'apprentissage) mais d'aborder les causes (un état ou condition qui affecte les capacités d'apprentissage elles-mêmes). Toutefois, l'absence de confiance ou le caractère mécanique de la réponse, pour ne pas parler de la compréhension « intuitive » des « concepts » numériques, semblent bien difficiles à établir objectivement. Ainsi, nous considérerons ici provisoirement que les travaux se rapportant aux *learning disabilities in mathematics* ou *mathematical disabilities* concernent la dyscalculie dans la mesure où il n'est pas établi que les populations visées par cette littérature diffèrent qualitativement de celles que d'autres auteurs désignent par le terme de dyscalculie développementale, toutes étudiant des enfants présentant des difficultés d'apprentissage de l'arithmétique et des performances nettement inférieures à la normale dans des épreuves standardisées. Il est en effet extrêmement fréquent que les études portant sur les *mathematical disabilities* prennent en compte l'intelligence des sujets, soit en contrôlant les effets (Jordan et coll., 2003b), soit en excluant les enfants ayant des QI trop faibles (Geary et coll., 2004). En outre, ces études fournissent des données essentielles sur la nature des troubles, le plus souvent en fonction de l'existence ou non de troubles associés en lecture, données sans lesquelles il semble impossible de comprendre ce qu'est la dyscalculie et quels sont ses déterminants.

Une première partie sera consacrée aux données épidémiologiques concernant la prévalence dans la population générale et l'héritabilité du trouble, ainsi que les données concernant la comorbidité. Une seconde partie sera consacrée aux manifestations de la dyscalculie. Seront abordés les travaux relatifs à la nature des déficits observés, aux diverses classifications en sous-types qui ont été proposées (on verra qu'elles sont nombreuses), aux facteurs causaux qui ont été invoqués pour expliquer ces déficits et à leur évolution avec l'âge au cours de la scolarité. Cette seconde partie se terminera par l'évocation des toutes premières et récentes études sur les programmes de remédiation. Enfin, une conclusion synthétisera les points de consensus ainsi que les désaccords entre chercheurs concernant la dyscalculie.

Données épidémiologiques et prévalence

En ce qui concerne l'estimation de la prévalence de la dyscalculie dans la population scolaire, on dispose de cinq études ayant porté sur de larges populations. Il s'agit des études de Kosci (1974), Badian (1983), Lewis et coll. (1994), Gross-Tsur et coll. (1996) et Desoete et coll. (2004). L'étude d'Ostad (1998) parfois retenue parmi les études sur la prévalence est avant tout une étude sur la comorbidité entre troubles du calcul et de l'orthographe qui sera évoquée plus

loin. Comme l'indique le tableau 11.1, ces études font état d'un taux de prévalence allant de 3,6 à 7,7 %. Bien que ces différences puissent paraître mineures, elles ont de quoi frapper, de même d'ailleurs que certaines absences de différence. Par exemple, Badian (1983) observe approximativement le même taux de dyscalculiques que Gross-Tsur et coll. (1996), ce qui est fort étonnant : la première étude adopte en effet un critère d'inclusion laxiste (score inférieur au 20^e percentile au *Stanford achievement test*) et pas de critère d'exclusion alors que la seconde adopte un critère d'inclusion plus strict (deux années de retard scolaire) auquel s'ajoute en outre un critère d'exclusion (QI inférieurs à 80). Kosc observe approximativement le même taux en utilisant un critère d'exclusion plus strict (QI inférieur à 90). Les taux observés par ces deux études sont proches de ceux relevés par Desoete et coll. (2004) qui utilisent un critère d'inclusion se rapprochant de celui de Shalev et coll. (1993) (2 écarts-types en dessous de la moyenne à un test standardisé) mais pas de critère d'exclusion. Si l'on compare deux des études les plus récentes qui sont les mieux contrôlées (Lewis et coll., 1994 ; Gross-Tsur et coll., 1996), la prévalence varie pratiquement du simple au double. Ceci est sans doute dû au fait que l'évaluation du niveau intellectuel des enfants par Gross-Tsur et coll. (1996) ne reflète pas leurs capacités réelles. En effet, sur une population de 3 029 enfants de CMI, les auteurs sélectionnent les 600 enfants les plus faibles en arithmétique parmi lesquels ils ne conservent que 188 enfants dont les scores à une batterie standardisée de tests mathématiques reflètent un retard de deux années scolaires. Parmi ces 188 enfants, 143 peuvent être vus pour des examens psychologiques complémentaires dont le test d'intelligence WISC-R (*Weschler Intelligence Screening*). On peut sans risque de se tromper penser qu'une telle population a toutes les chances de présenter un QI moyen inférieur à celui de la population générale. Or, le critère d'exclusion retenu par les auteurs (un QI inférieur à 80) les conduit à écarter 3 enfants seulement. Rappelons que dans une population tout-venant, les scores à la WISC-R ont par construction une moyenne de 100 et un écart-type de 15. Ceci signifie que la population testée par Gross-Tsur et coll. (1996) devrait contenir au moins 9 % d'enfants ayant un QI < 80, ceci en considérant que l'intelligence et les performances en mathématiques sont deux variables indépendantes, ce qui n'est évidemment pas le cas. En d'autres termes, le taux d'enfants écartés par les auteurs est très nettement inférieur à ce qu'il devrait être et il est certain que le groupe d'enfants retenus comme dyscalculiques par Gross-Tsur et coll. (1996) contient un nombre important d'enfants dont le QI réel est inférieur à 80²⁵. Ceci est probablement dû à l'utili-

25. Le QI moyen des 140 enfants finalement retenus par les auteurs serait de 98,2 (QI verbal 94,7 ; QI performance 102,4). Ces valeurs sont totalement non plausibles si l'on songe que seuls 3 enfants ont été écartés parmi les 143 les plus faibles en arithmétique dans une cohorte de quelques 3 000 enfants. Pour fixer les idées, le score standardisé moyen aux *Progressive Matrices* des enfants en difficulté en arithmétique identifiés par Lewis et coll. (1994) qui représentent les 11 % les plus faibles en arithmétique de la population étudiée est de 75,3, soit 27 points d'écart avec le score non verbal moyen de la WISC-R rapporté par Gross-Tsur et coll (1996).

sation d'un test d'intelligence dont l'étalement remontait à plus de 20 ans au moment de l'étude.

Le travail de Lewis et coll. (1994) ne peut souffrir de ce défaut dans la mesure où la population d'étude, compte tenu de son ampleur, est en même temps utilisée par les auteurs comme population d'étalement. Pour cela, les auteurs procèdent à une normalisation des scores bruts ($m=10$, $\sigma=15$) de 1 056 enfants de 9 à 10 ans à des épreuves d'arithmétique et de lecture, ainsi qu'à un test d'aptitude intellectuelle non verbale (les *Coloured Progressive Matrices* de Raven, CPM, considérées comme un test d'intelligence saturé en facteur g). Sont retenus comme présentant des difficultés spécifiques en arithmétique les enfants présentant un score normalisé inférieur à 85 (soit au moins un écart-type en dessous de la moyenne) avec des scores d'aptitude non verbale et de lecture au moins égaux à 90 (qui ne se trouvent pas dans le quartile le plus faible). Les auteurs identifient selon les mêmes principes les enfants présentant des difficultés spécifiques en lecture ainsi que ceux qui ont des difficultés dans les deux domaines alors que leur score d'aptitude non verbale est normal (au moins 90). Comme l'indique le tableau 11.I, cette procédure conduit à identifier 38 enfants sur 1 056 qui présentent des difficultés en arithmétique. Cependant, 63 % d'entre eux présentent aussi des difficultés en lecture, les enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique étant 14, soit 1,3 % de la population totale. Ici encore, les résultats contrastent avec ceux de Gross-Tsur et coll. (1996) qui relevaient seulement 17 % d'enfants dyslexiques dans leur population de dyscalculiques avec toutefois un critère extrêmement conservateur puisque les enfants devaient avoir des performances en lecture inférieures au percentile 5 pour être considérés dyslexiques. Il est intéressant de remarquer que dans l'étude de Lewis et coll. (1994), les enfants qui présentent des difficultés spécifiques en lecture sont trois fois plus nombreux que ceux qui présentent des difficultés spécifiques en arithmétique. Ainsi, dans la population présentant des difficultés en lecture malgré un score normal aux CPM, 36 % seulement présentent aussi un trouble de l'arithmétique.

D'autres données, non analysées par Lewis et coll. (1994) mais disponibles dans l'article, présentent un intérêt particulier. Les auteurs donnent en effet les effectifs d'enfants qui ont des difficultés d'apprentissage accompagnées de faibles capacités non verbales (score CPM < 90). Il est ainsi possible de calculer que 58 % des enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique et 70 % des enfants présentant à la fois des difficultés en arithmétique et en lecture se révèlent avoir de faibles capacités aux CPM. À l'inverse, seuls 33 % des enfants ayant des difficultés spécifiques en lecture (non accompagnées de difficultés en arithmétique) sont dans ce cas. Une indépendance totale des scores conduirait à un taux de 25 % d'enfants ayant moins de 90 aux CPM. Ainsi, les difficultés en arithmétique, qu'elles soient spécifiques ou non, tendent à être liées à de faibles scores à l'épreuve d'intel-

ligence retenue, alors que les difficultés spécifiques en lecture ne le sont pratiquement pas.

Ainsi, la conclusion de Gross-Tsur et coll. (1996) selon laquelle le nombre d'enfants affectés par la dyscalculie est comparable à celui des enfants atteints de dyslexie est loin d'être garantie. Il semble au contraire que les rapports décrivant la dyscalculie comme une difficulté d'apprentissage peu fréquente ou en tous cas moins fréquente que les troubles d'apprentissage de la lecture soient plus près de la vérité (O'Hare et coll., 1991 ; *American Psychiatric Association*, 2004).

Une autre différence apparaît entre les populations présentant des difficultés spécifiques en arithmétique et en lecture concernant le sexe des enfants. Alors que Lewis et coll. (1994) observent, conformément à ce que l'on sait de la dyslexie, que le *ratio* garçons/filles est de 3,2/1 en ce qui concerne les difficultés spécifiques en lecture, les enfants souffrant de déficits spécifiques en arithmétique sont équitablement répartis entre les sexes (*sex ratio* 1/1) de même que le sont les enfants présentant des difficultés en arithmétique et en lecture (*ratio* 0,8/1). Le même phénomène est observé par Gross-Tsur et coll. (1996) ainsi que par Von Aster (1994). On ne sait quel crédit doit être apporté à Badian (1983) qui observe pour sa part un *ratio* garçons/filles de 1,7/1 pour les troubles isolés de la lecture, 2,2/1 pour ceux du calcul et 3/1 pour des troubles en arithmétique et en lecture. Il est probable que la dyscalculie affecte aussi fréquemment les garçons que les filles. De manière peu surprenante, Gross-Tsur et coll. (1996) rapportent que les enfants atteints de dyscalculie sont en général issus de classes sociales moins favorisées que les autres.

Tableau 11.1 : Caractéristiques et résultats des principales études de prévalence de la dyscalculie sur d'importantes populations d'enfants d'âge scolaire

Étude	N	Âges (années)	Critère d'inclusion	Critère d'exclusion	Dyscalculie (Taux en %)
Kosc, 1974	375	10-12	Batterie de tests <i>ad hoc</i>	QI < 90	6,4
Badian, 1983	1 476	7-14	Score < centile 20 <i>Stanford Achievement</i>	Aucun	6,4
Lewis et coll., 1994	1 056	9-10	Score standardisé < 85 <i>Group Mathematics Test</i>	Test PM Raven < 90	3,6
Gross-Tsur et coll., 1996	3 029	10-11	2 ans de retard Batterie de tests <i>ad hoc</i>	QI < 80	6,5
Desoete et coll., 2004	3 978	8-11	2 écarts-types de la moyenne Batterie de tests	Aucun	2,3 à 7,7 selon l'âge

Comorbidité

Le terme comorbidité réfère à la co-occurrence d'au moins deux troubles différents chez un même individu. Deux types de comorbidité ont été particulièrement étudiés en ce qui concerne la dyscalculie : la comorbidité avec d'autres difficultés d'apprentissage, et plus particulièrement avec la lecture et l'écriture d'une part, la comorbidité avec des atteintes chromosomales et des syndromes neurologiques d'autre part.

Dyscalculie et troubles de l'apprentissage du langage écrit et oral

Les données issues des études de prévalence permettent d'écarter l'hypothèse jadis émise de la dyscalculie comme trouble attribuable à un déficit général des processus langagiers (Cohn, 1971). Même s'ils sont peu nombreux, il existe des enfants qui ont de faibles scores en arithmétique alors que leurs performances en lecture sont normales. Toutefois, comme nous l'avons vu, la dyscalculie est fréquemment associée à des difficultés d'apprentissage en lecture. Gross-Tsur et coll. (1996) identifient 17 % d'enfants atteints de dyslexie dans une population d'enfants dyscalculiques, mais adoptent un critère extrêmement strict (score inférieur au 5^e percentile en lecture). Lewis et coll. (1994), pour leur part, relèvent 64 % de difficultés d'apprentissage de la lecture associées. Ostad (1998) relève quant à lui 51 % d'enfants présentant des difficultés en orthographe dans une population d'enfants dyscalculiques. Il est à noter que cette observation n'est pas isolée : Shalev et coll. (2005) identifient les difficultés en écriture comme un facteur de persistance de la dyscalculie au cours du développement. Dans bien des études, un examen approfondi des données fait souvent apparaître que les groupes présentés comme atteints spécifiquement de dyscalculie s'avèrent en réalité obtenir de faibles performances en lecture (Landerl et coll., 2004). En résumé, nombre d'enfants d'intelligence normale présentant des difficultés d'apprentissage de l'arithmétique présentent aussi des difficultés d'apprentissage du langage écrit. Toutefois, la dyscalculie existe aussi à titre de trouble isolé. Comme on le verra par la suite, il semble que les enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique se distinguent de ceux présentant des difficultés dans les deux domaines. La plupart des études distinguant les deux populations font état de différences dans l'étendue et l'importance des troubles. Les enfants qui présentent une comorbidité avec des troubles de la lecture présentent un handicap plus important en arithmétique ainsi que dans les tests neurologiques que les enfants atteints de dyscalculie seule (Jordan et Montani, 1997 ; Shalev et coll., 1997 ; Jordan et Hanich, 2000 ; Fuchs et Fuchs, 2002). À l'exception notoire de Butterworth (2005) dans sa récente revue de question sur la dyscalculie développementale, tous les auteurs semblent partager ce constat. Les raisons de la fréquente comorbidité entre troubles de l'arithmétique et de la lecture demeurent cependant obscures. À l'issue de son étude

sur la comorbidité entre dyscalculie et problèmes en orthographe, Ostad (1998) conclut que le principal facteur expliquant la comorbidité observée est ce qu'il appelle une capacité générale (*general ability*), évaluée en utilisant 6 des 12 sub-tests de la WISC-R, c'est-à-dire le niveau intellectuel. De fait, dans de nombreuses études, les groupes présentant une comorbidité manifestent un niveau intellectuel inférieur (au moins de manière descriptive et parfois statistiquement significative) à celui des groupes présentant un déficit simple (Lewis et coll., 1994 ; Gross-Tsur et coll., 1996 ; Alarcon et coll., 1997 ; Fuchs et Fuchs, 2002).

On peut aussi supposer, ce qui n'est pas exclusif de l'hypothèse précédente, que troubles de l'apprentissage de l'arithmétique et troubles de la lecture peuvent dans certains cas être liés au même facteur de risque. Comme le fait remarquer Ostad (1998), il n'est par exemple pas déraisonnable de penser que des troubles du langage peuvent accroître les risques de difficultés d'apprentissage de l'arithmétique. On dispose justement d'une étude sur les acquisitions en arithmétique des enfants présentant un trouble développemental du langage (*developmental language disorder*). Manor et coll. (2000) ont comparé 45 enfants de 6 ans admis dans un programme visant à intégrer les enfants d'intelligence normale atteints de troubles du langage en classes maternelles à 45 enfants témoins appariés sur l'âge, le sexe, et la classe sociale. Les deux groupes sont soumis aux mêmes épreuves concernant la compréhension des principes régissant le dénombrement, les habiletés de comptage, la compréhension, la lecture et l'écriture des nombres, ou encore la résolution d'opérations. Sur toutes les épreuves, les enfants présentant des troubles du langage obtiennent de plus faibles performances que les enfants du groupe témoin. Lorsque l'effet du QI sur les scores en arithmétique est contrôlé, il apparaît que les enfants avec troubles du langage présentent une déficience en arithmétique qui va au-delà de ce qui pourrait être attendu à partir de leur QI.

En résumé, la comorbidité observée entre dyscalculie et difficultés d'apprentissage du langage écrit est importante. Ses causes ne sont pas clairement établies et pourraient comprendre entre autres l'impact du niveau intellectuel et l'existence d'éventuels troubles du langage.

Dyscalculie, troubles développementaux, syndromes neurologiques et atteintes chromosomales

De nombreuses études rapportent qu'en dehors des troubles des apprentissages, divers troubles, atteintes et syndromes s'accompagnent par ailleurs d'une dyscalculie. Parmi les syndromes les plus souvent évoqués, le trouble de déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) semble présenter une comorbidité particulière avec la dyscalculie. Shalev et son équipe ont à plusieurs reprises observé ce lien. Lors de l'étude princeps de Gross-Tsur et coll. (1996), les

auteurs observent que parmi les 140 dyscalculiques qu'ils ont isolés, un diagnostic probable de TDAH peut être porté pour 36 d'entre eux (26 %) dont 21 garçons à partir des réponses données par les parents et les enseignants au questionnaire comportemental de Conners. Lors des études de suivi de cette cohorte, les auteurs constateront que les troubles attentionnels sont un facteur de persistance de la dyscalculie (Shalev et coll., 2005), les problèmes attentionnels étant plus sévères chez les enfants dont la dyscalculie perdure au fil des années (Shalev et coll., 1998). Shalev et coll. (1995) ont comparé leur population de dyscalculiques, alors âgés en moyenne de 11 ans, avec un groupe d'enfants normaux et un groupe d'enfants présentant des troubles psychiatriques. Les enfants dyscalculiques présentent plus de troubles attentionnels que ceux des autres groupes bien que leur niveau d'anxiété et de dépression soit normal. Les troubles de l'attention constituent d'ailleurs un des sous-types de la classification des dyscalculies proposée par Badian (1983). Corrélativement, il a aussi été montré que les enfants présentant un TDAH ont un risque élevé de difficultés en arithmétique (Ackerman et coll., 1986). Les enfants suivant un traitement médical peuvent voir leurs performances en arithmétique s'améliorer. Toutefois, comme le notent Gross-Tsur et coll. (1996), on ne sait pas si la médication a pour effet d'aider les enfants à apprendre et récupérer les faits arithmétiques ou plus simplement à éviter les erreurs dues à l'inattention et l'impulsivité. En outre, on ne sait pas si la dyscalculie est causée par le TDAH ou si tous les deux sont des symptômes d'un dysfonctionnement cérébral sous-jacent.

Un autre désordre développemental dans lequel la dyscalculie serait une caractéristique majeure est le syndrome de l'hémisphère droit. Gross-Tsur et coll. (1993) rapportent une étude de Weintraub et Mesulam (1983) décrivant un syndrome comportemental qui débute tôt dans l'enfance et se caractérise par des difficultés émotionnelles et interpersonnelles, des troubles visuo-spatiaux et des signes de dysfonctionnement de l'hémisphère droit, le tout associé à des difficultés d'apprentissage en arithmétique. De même, Rourke (1993) décrit à plusieurs reprises des cas d'enfants atteints spécifiquement de dyscalculie et qui auraient par ailleurs des troubles liés à un dysfonctionnement de l'hémisphère droit entraînant des déficiences perceptivo-tactiles et psychomotrices ainsi que des difficultés d'organisation spatiale. Selon Rourke (1993), certains enfants dyscalculiques présenteraient ainsi un syndrome de déficience des apprentissages non verbaux (*Non verbal Learning Disabilities syndrom* : NLD) s'étendant à la formation de concepts ou encore à des déficits adaptatifs dans le domaine socio-émotionnel (adaptation à la nouveauté, compétences sociales, stabilité émotionnelle). Nichelli et Venneri (1995) rapportent le cas d'un jeune adulte de 22 ans présentant des difficultés en arithmétique, des déficits visuo-spatiaux et des difficultés émotionnelles alors que les aspects verbaux sont remarquablement préservés. La tomographie par émission de positron révèle des anomalies de fonctionnement de l'hémisphère droit.

Deux désordres génétiques sont connus pour avoir des phénotypes cognitifs associés à des difficultés d'apprentissage des mathématiques : les syndromes de Turner et de l'X fragile. Le syndrome de Turner résulte de l'absence partielle ou complète de l'un des deux chromosomes X normalement présents chez les filles. Bien que ses effets sur le niveau intellectuel global soient minimes, les scores de QI verbal sont de 8 à 24 points supérieurs aux scores performance (Ballotin et coll., 1998). Dans une étude comparant les acquisitions scolaires de filles atteintes ou non du syndrome de Turner, Rovet (1993) relève que les premières obtiennent de plus faibles scores que les secondes en lecture mais que les différences sont encore plus marquées en arithmétique : 55 % des filles atteintes du syndrome se situent dans le quartile inférieur d'une épreuve standardisée contre 7 % du groupe témoin. Le retard affecte à la fois les opérations, la résolution de problèmes et la compréhension des concepts liés au nombre (Rovet et coll., 1994). L'existence d'un déficit en géométrie est moins sûre, certaines études en faisant état (Mazocco, 2001) alors que d'autres ne le retrouvent pas (Rovet et coll., 1994). Pour l'heure, il est impossible d'affirmer qu'il existe certains aspects des activités numériques qui seraient spécifiquement affectés alors que d'autres seraient préservés chez les filles atteintes du syndrome de Turner (Mazocco et McCloskey, 2005). Bien que dyscalculie et troubles de la lecture soient fréquemment associés comme nous l'avons vu précédemment, les filles atteintes du syndrome de Turner n'ont pas davantage de difficultés en lecture que l'ensemble de la population. De même, on ne relève pas de problèmes de langage, à l'exception toutefois de la tâche de dénomination rapide (*Rapid Automatized Naming*, RAN) dans laquelle les filles avec un syndrome de Turner sont plus lentes (Temple et Sherwood, 2002). Ce point est intéressant à souligner parce qu'on a par ailleurs montré que cette même vitesse de dénomination est corrélée avec les performances en arithmétique dans une population tout-venant (Mazzocco et Myers, 2003) et qu'elle l'est aussi avec les performances en lecture. Dans leur revue de questions sur le sujet, Mazocco et McCloskey (2005) relèvent que parmi les fonctions cognitives liées aux activités numériques, le syndrome de Turner s'accompagne d'un déficit des fonctions exécutives et du traitement en continu de l'information en mémoire de travail, alors que les déficits en mémoire à court terme sont moins clairs, certaines études en faisant état (Rovet, 1993), d'autres non (Temple et Sherwood, 2002). De même, plus que d'un déficit de la mémoire visuelle ou spatiale en elle-même, les sujets souffriraient plutôt d'une faible capacité en mémoire de travail visuo-spatiale. En outre, on observe les déficits visuo-perceptif et visuo-moteur (Mazzocco, 2001).

À l'inverse du syndrome de Turner, le syndrome de l'X fragile s'accompagne d'un retard mental sans différence notable entre les QI verbal et performance. Alors que ce retard mental affecte 100 % des garçons porteurs du syndrome, il n'affecte que 50 % des filles. Les filles sans retard mental présentent un phénotype cognitif proche de celui des enfants atteints du syn-

drome de Turner, avec des performances en arithmétique inférieures aux performances en lecture, beaucoup de filles X-fragile sans retard mental ne présentant pas de difficultés en lecture. Selon Bennetto et coll. (2001), un déficit des fonctions exécutives est à la base de leur phénotype cognitif. Il est à noter que les déficits visuo-perceptif et visuo-moteur présents dans le syndrome de Turner ne s'observent pas dans le syndrome de l'X fragile (Mazzocco, 2001). Cette différence avec le syndrome de Turner fait écho à la distinction souvent faite entre difficultés en arithmétique sous-tendues ou en tous cas s'accompagnant d'un déficit spatial et celles qui en sont indépendantes.

Une autre atteinte neurodéveloppementale présentant un intérêt théorique particulier en ce qui concerne les sous-types de la dyscalculie est le spina bifida myéломéningocole (Wills et coll., 1990 ; Barnes et coll., 2005). De nombreux enfants présentant un spina bifida rencontrent d'importantes difficultés en arithmétique associées ou non avec des difficultés en lecture alors que les difficultés isolées en lecture sont rares. Environ 40 % d'entre eux sont dyscalculiques, 20 % présentant un trouble spécifique de l'arithmétique. Par ailleurs, ces difficultés isolées en arithmétique sont associées à des troubles visuo-spatiaux. En outre, les anomalies du cerveau entraînées par le spina bifida associent souvent la planification motrice, la motricité fine et plus particulièrement le contrôle des doigts avec des dommages des lobes pariétaux. Or, on verra que Butterworth (1999) voit dans l'utilisation des doigts pour compter l'origine des représentations numériques dans les lobes pariétaux à proximité du cortex prémoteur intéressant les doigts. L'étude des enfants atteints de spina bifida pourrait donc constituer un paradigme intéressant pour la compréhension des relations entre motricité fine et habiletés en calcul (Fayol et coll., 1998). En fait, Barnes et coll. (2005) observent que des enfants atteints de spina bifida ne commettent pas dans la résolution d'opérations posées plus d'erreurs « visuo-spatiales » que des enfants témoins (mauvais alignement des chiffres dans les colonnes, oublis de colonnes...). Ils commettent en revanche plus d'erreurs procédurales. Ces erreurs pourraient provenir selon les auteurs de la lenteur avec laquelle leurs sujets expérimentaux retrouvent les faits numériques en mémoire. Des analyses de régression ont permis de vérifier que les performances aux opérations complexes chez les enfants atteints de spina bifida étaient liées à leurs habiletés motrices fines mais pas à leurs habiletés visuo-spatiales qui apparaissaient indépendantes des habiletés à effectuer des calculs sur des nombres à plusieurs chiffres. Les auteurs ont aussi vérifié que les performances des enfants de 3 ans avec spina bifida dans les activités de dénombrement étaient liées à leurs habiletés motrices fines.

La dyscalculie est aussi un des critères majeurs pour diagnostiquer le syndrome de Gertsman (Gertsman, 1940). Outre la dyscalculie, ce syndrome associe une agnosie digitale, les enfants étant incapables d'identifier et montrer un doigt en particulier sur eux-mêmes ou une autre personne, une agra-

phie sans alexie ainsi que des problèmes d'orientation visuo-spatiale avec des confusions droite-gauche sur le corps propre ou celui d'une autre personne. Benton (1987) a suggéré que cette association de symptômes trouve sa source dans la proximité des aires cérébrales qui sous-tendent les diverses fonctions affectées, toutes étant regroupées dans la zone occipito-pariétale, et plus particulièrement dans le gyrus angulaire gauche. Cette association de symptômes liés à une acalculie fait écho à ce qui a été rapporté plus haut concernant le spina bifida myéломéningocole et l'association qui semble exister entre certaines habiletés numériques et le développement neuropsychologique concernant la motricité fine.

Isaacs et coll. (2001) ont étudié un groupe d'enfants nés prématurés avec un poids inférieur à 1 500 g. Beaucoup de ces enfants présentent une dyscalculie et par ailleurs ont des cortex pariétaux gauches plus petits que ceux qui n'ont pas de difficultés. D'autres troubles enfin ont été évoqués comme particulièrement propices à l'apparition d'une dyscalculie. Citons l'épilepsie (Seidenberg et coll., 1986), la phénylcétonurie (Pennington, 1991) ou encore le syndrome de Williams (Ansari et Karmiloff-Smith, 2002).

Héritabilité

Dans la définition qu'il donnait de la dyscalculie, Kosci (1974) faisait l'hypothèse d'un trouble congénital ou héréditaire. Trois études sont récemment venues confirmer cette supposition. Tout d'abord, Light et DeFries (1995) ont conduit une étude sur 148 paires de jumeaux monozygotes (MZ) et 111 paires de jumeaux dizygotes (DZ) entre 8 et 20 ans dans lesquelles un des membres de la paire au moins était atteint de troubles d'apprentissage de la lecture. Cette étude est pertinente ici parce que outre la recherche chez l'autre jumeau d'éventuels troubles de la lecture, les auteurs relèvent aussi les troubles d'apprentissage des mathématiques. Ils font l'hypothèse que les déficits en mathématiques souvent observés chez les sujets ayant des difficultés en lecture sont dus, au moins en partie, à des facteurs génétiques qui influencent aussi leurs performances en lecture. De fait, les auteurs observent que 49% des jumeaux MZ et 32 % des jumeaux DZ présentent une déficience en mathématiques. La différence significative entre les deux taux suggère que la comorbidité entre troubles d'apprentissage de la lecture et de l'arithmétique est due au moins en partie à des influences génétiques. Selon les résultats, les influences génétiques et environnementales contribuent de façon équivalente à la covariance entre scores en lecture et en arithmétique dans les paires de jumeaux présentant une déficience en lecture. Une étude ultérieure de Alarcon et coll. (1997) utilisant toujours la méthode des jumeaux porte spécifiquement sur la dyscalculie (désignée par les auteurs comme *mathematic disabilities*). Les auteurs identifient 40 paires de jumeaux MZ et 23 paires de jumeaux DZ dans les-

quelles un au moins des deux jumeaux présente une dyscalculie. Les critères utilisés sont un score normalisé inférieur de 1,5 écart-type à la moyenne d'un groupe témoin dans une épreuve de mathématiques, un QI verbal ou performance supérieur à 90 et une absence de problèmes comportementaux, neurologiques ou émotionnels. En outre, les auteurs distinguent les jumeaux probants présentant un trouble spécifique des mathématiques (MD) et ceux présentant en outre un déficit en lecture (MD-RD). Dans les paires de jumeaux étudiés, 58 % des jumeaux MZ et 39 % des jumeaux DZ présentaient aussi une déficience en mathématiques. Les analyses de régression indiquent que 40 % du déficit sont dus à des facteurs héréditaires. En ce qui concerne l'étiologie différentielle des déficits en mathématiques spécifiques ou associés à des déficits en lecture, les auteurs observent que le déficit de type MD-RD semble légèrement plus héréditaire que le déficit spécifique de type RD sans pour autant que la différence soit significative, ce qui peut être dû à la faible taille des échantillons.

Une étude plus récente conduite par Shalev et coll. (2001) établit que la dyscalculie est un trouble familial. Les auteurs reprennent la cohorte de 140 enfants dyscalculiques étudiés par Gross-Tsur et coll. (1996) et isolent 39 enfants ne présentant pas de troubles associés (dyslexie, dysgraphie, ou de trouble déficitaire de l'attention). Les membres des familles de ces enfants (43 pères ou mères, 90 frères ou sœurs, 16 parents au second degré) sont soumis à des épreuves standardisées de mathématiques, de lecture, ainsi qu'à une version abrégée de test d'intelligence (WISC-R ou WAIS) et divers autres tests. Les résultats sont éloquentes : plus de la moitié des parents et frères et sœurs sont classés comme dyscalculiques (67 %, 41 %, 53 % et 52 % des mères, pères, frères et sœurs respectivement). Les auteurs considèrent leurs résultats comme d'autant plus robustes que la propension à présenter une dyscalculie pour les membres des familles serait indépendante, comme la dyslexie, du QI. Toutefois, les réserves émises plus haut sur les mesures de QI dans les études de Shalev s'appliquent ici aussi. Les QI moyens des groupes de parents ou de frères et sœurs présentant ou non une dyscalculie sont tous supérieurs à 108 (une moyenne atteint même 116 !) et bien que de manière non significative, les individus dyscalculiques ont dans tous les groupes des QI moyens inférieurs aux autres (lorsque la population est considérée dans son ensemble, on peut vérifier par le calcul que la différence est significative).

En résumé, les études d'héritabilité font apparaître que la dyscalculie est un trouble dû au moins en partie à des facteurs génétiques dans des proportions comparables à ce qui est observé pour la dyslexie. L'étude de Alarcon et coll. (1997) suggère a minima que la dyscalculie comme trouble isolé n'est pas plus et pourrait même être moins héréditaire que lorsqu'il existe une comorbidité avec la dyslexie. Ainsi, la moitié des parents et frères et sœurs d'enfants dyscalculiques présentent aussi d'importantes difficultés en arithmétique.

Nature, causes et évolution des troubles

La plus grande partie des travaux sur la dyscalculie et les difficultés d'apprentissage de l'arithmétique sont consacrés à la description et à l'analyse des troubles afin d'en cerner les causes et déterminants. Si la description des troubles et de leur évolution avec l'âge est relativement consensuelle, on verra que les avis sur leur origine divergent fortement et qu'à l'heure actuelle, les causes de la dyscalculie demeurent encore obscures.

Nature des troubles

Au-delà des faibles performances scolaires qui se reflètent dans les scores aux échelles d'aptitude, les chercheurs ont tenté de pointer les compétences et connaissances faisant particulièrement défaut aux dyscalculiques dans le domaine du nombre. Comme de nombreux auteurs l'ont souligné, ces recherches ont suivi la voie tracée par l'étude des habiletés numériques chez le jeune enfant en psychologie cognitive. Il est en effet apparu que les enfants développent, avant leur entrée à l'école primaire, des connaissances mathématiques informelles qui guident les apprentissages ultérieurs (Gelman et Gallistel, 1978 ; Fayol, 1990 ; Dehaene, 1997). Par exemple, les jeunes enfants semblent comprendre les principes de base du dénombrement (Gelman et Gallistel, 1978 ; Gelman et Meck, 1983 ; Briars et Siegler, 1984), développent spontanément des stratégies de résolution des additions et soustractions simples (Groen et Resnick, 1977 ; Carpenter et Moser, 1984 ; Siegler, 1987) et même les bébés semblent présenter une sensibilité au nombre et à ses transformations (Starkey et Cooper, 1980 ; Antell et Keating, 1983 ; Wynn, 1992). Il a été ainsi établi que les troubles dont souffrent les enfants dyscalculiques affectent les aspects procéduraux mais aussi conceptuels des activités de calcul et de comptage ainsi que la mémorisation des faits numériques qui résulte habituellement de ces activités.

En ce qui concerne les procédures spontanément mises en œuvre dans les calculs les plus simples (combien font $5+3$?), il a été maintes fois démontré que les enfants dyscalculiques utilisent plus souvent et plus longtemps que les enfants normaux des stratégies primitives de comptage (Ostad, 1997). Dès 1975, Svenson et Broquist observaient que des enfants en difficulté en mathématiques (*mathematically disabled*, MD) de 10,6 ans à 13,7 ans étaient plus lents pour résoudre des additions simples que des enfants normaux de même niveau (et donc plus jeunes). Geary (1990) a comparé les stratégies mises en œuvre par des enfants de CP et CE1 soit normaux soit présentant des difficultés en mathématiques (MD) dans la résolution d'additions simples. Il est apparu que les enfants MD utilisaient les mêmes stratégies que les enfants normaux (comptage sur les doigts, comptage verbal, récupération directe du résultat en mémoire) mais commettaient plus d'erreurs dans la mise en œuvre des procédures ainsi que lorsqu'ils récupéraient le résultat en

mémoire. Plus souvent que les autres, ils utilisaient une stratégie immature consistant à tout compter (pour effectuer $4+2$, compter 1, 2, 3, 4, 5, 6 plutôt que de commencer à 4 et de poursuivre par 5 et 6). En outre, leurs temps de réponses étaient plus variables que ceux des enfants normaux. Ces résultats suggéraient chez les enfants MD un déficit fonctionnel consistant en de faibles habiletés procédurales et une représentation des résultats en mémoire pour le moins atypique. Les mêmes enfants ont été revus 10 mois plus tard par Geary et coll. (1991). Alors que les enfants normaux changent progressivement de stratégie pour recourir de plus en plus souvent à la récupération directe du résultat en mémoire, les enfants MD ne présentent aucun changement dans les stratégies utilisées. C'est, selon les auteurs, l'incapacité à mémoriser et à retrouver les résultats qui contraint les enfants MD à recourir à des stratégies de comptage que les enfants normaux abandonnent progressivement. Le même constat est effectué par Geary et Brown (1991) sur des enfants plus âgés (CE2 et CM1). Là encore, alors que les enfants normaux utilisent majoritairement une stratégie de récupération directe du résultat en mémoire et que les plus doués d'entre eux y recourent presque systématiquement, les enfants MD continuent à utiliser préférentiellement les stratégies de comptage verbal et même parfois de comptage sur les doigts. La conclusion des auteurs est ici encore que les enfants MD souffrent d'une organisation défaillante des faits additifs en mémoire. De tels résultats avaient déjà été obtenus par Geary et coll. (1987) par une méthode plus indirecte d'analyse de temps de vérifications d'additions justes ou fausses qui suggéraient que des enfants MD de CE1, CM1 et 6^e recouraient davantage au comptage qu'à la récupération et ne manifestaient pas, dans leur choix de stratégie, le passage à la récupération caractéristique du développement normal.

Ces études, conduites aux alentours des années 1990, portaient sur des groupes d'enfants MD sans prise en compte de possibles troubles associés en lecture. Des études plus récentes distinguant des enfants ayant seulement des troubles en mathématiques (MD) de ceux ayant aussi des troubles en lecture (MD-LD) montrent que l'usage de stratégies primitives comme le comptage sur les doigts s'observe dans les deux groupes (Jordan et Montani, 1997). En revanche, les enfants MD-LD commettent plus d'erreurs que les enfants MD dont les taux de performance rejoignent ceux des enfants normaux pour peu qu'on leur laisse le temps de mettre en œuvre leurs procédures de comptage. Les enfants MD-LD présentent des performances toujours inférieures aux enfants témoins même lorsqu'ils ont tout le temps qu'ils souhaitent pour effectuer les calculs. Ce résultat est retrouvé par Hanish et coll. (2001). Une étude longitudinale couvrant les deux premières années de primaire (Geary et coll., 2000) précise ce tableau et révèle qu'à la fin de la seconde année, les enfants souffrant seulement de difficultés en mathématiques se rapprochent fortement des enfants normaux en ce qui concerne l'usage de la stratégie dite Min (pour minimum) qui est la plus sophistiquée des stratégies de comptage alors que ce progrès ne s'observe pas chez les enfants MD-LD.

En résumé, l'ensemble des études ayant abordé le développement des stratégies de résolution des additions simples, mais aussi des soustractions (Ostad, 1999 et 2000), convergent vers un même constat qui est que les enfants dyscalculiques se distinguent des autres par l'usage plus fréquent et moins précis de stratégies de comptage primitives et par une difficulté notoire à accéder à la stratégie de récupération directe du résultat en mémoire. Ce retard semble cependant plus marqué pour les enfants qui présentent en outre des difficultés en lecture (Jordan et Hanish, 2000). Les enfants ne présentant que des difficultés en arithmétique ne se distinguent pas des enfants tout-venant en ce qui concerne les stratégies de résolution des opérations, leur déficit lié aux opérations semblant circonscrit à la récupération des faits numériques en mémoire (Jordan et Montani, 1997).

Les enfants développent les stratégies de résolution des opérations simples dont nous venons de parler à partir de leurs connaissances concernant le comptage. Il semble que les activités de comptage des jeunes enfants soient guidées par des contraintes que Gelman et Gallistel (1978) ont décrites comme autant de principes. On distingue ainsi un principe de correspondance terme à terme (un mot et un seul est assigné à chaque objet dénombré : « un », « deux », « trois », ...), un principe d'ordre stable (ces mots doivent toujours être produits dans le même ordre), un principe de cardinalité (le dernier mot prononcé indique le cardinal de la collection), un principe d'abstraction (des objets même très hétérogènes peuvent être regroupés et comptés), et enfin un principe de non pertinence de l'ordre qui fait que les objets à dénombrer peuvent l'être dans n'importe quel ordre sans affecter le résultat. Gelman et Gallistel (1978) ont même suggéré que les trois premiers principes seraient innés et constitueraient les bases de la connaissance du comptage. Toutefois, les enfants s'appuient aussi sur l'observation des activités de dénombrement pour en induire des connaissances (Briars et Siegler, 1984 ; Fuson, 1988). Ce processus inductif renforce probablement les règles décrites par Gelman et Gallistel si elles lui préexistent mais entraîne aussi l'abstraction de pseudo-règles dérivées de régularités non essentielles. Par exemple, beaucoup de jeunes enfants de 5 ans pensent qu'un dénombrement correct nécessite de compter en succession immédiate les objets proches sans sauter d'une extrémité à l'autre de la collection (règle de proximité), ou encore que le dénombrement doit toujours être effectué dans la même direction, d'une extrémité de la collection à l'autre (par exemple de gauche à droite). De manière intéressante, les enfants dyscalculiques distinguent moins bien que les autres les principes essentiels des pseudo-principes. C'est ce qu'ont montré Geary et coll. (1992) qui demandaient à des enfants de CP d'observer une poupée qui dénombrerait des collections soit de manière correcte, soit en violant tantôt les principes essentiels décrits par Gelman et Gallistel (1978), tantôt les pseudo-principes décrits par Briars et Siegler (1984). Cependant, les difficultés des enfants dyscalculiques dans les habiletés élémentaires de comptage et autres ne doivent pas être exagérées. Étudiant 143 enfants de 11 et 12 ans diagnostiqués comme dyscalculiques,

Gross-Tsur et coll. (1996) observaient que les faiblesses les plus prononcées se manifestaient dans les domaines des calculs complexes et de la connaissance des faits arithmétiques alors que les domaines de la compréhension (comparaisons de quantités ou de nombres à un ou plusieurs chiffres) et de la production des nombres (comptage, écriture de nombres) étaient relativement préservés. Un suivi longitudinal de la même cohorte 3 années plus tard (Shalev, et coll., 1998) indiquait d'ailleurs que les enfants dyscalculiques tendent à rattraper progressivement leur retard dans les activités les plus simples (la résolution des additions à 14 ans). On notera toutefois qu'une étude récente rapporte des difficultés dans les activités numériques les plus élémentaires chez des enfants dyscalculiques de 8 et 9 ans (Landerl et coll., 2004). Cependant, la portée de ce résultat pourrait être atténuée par le fait qu'il ne concerne qu'un groupe restreint de 10 sujets classés comme dyscalculiques sur la base d'épreuves chronométrées d'arithmétique mentale (temps de réaction ou taux d'erreurs supérieur de trois écarts-types à celui de sujets témoins sur des additions, soustractions et multiplications). Les enfants dyscalculiques sont plus lents que les témoins pour lire, écrire et comparer les nombres de même que pour dénombrer des collections. En outre, ils présentent une pente de *subitizing*²⁶ plus prononcée que les témoins. Toutefois, ayant été constitué sur la base de temps de réaction particulièrement élevés dans la récupération de faits numériques en mémoire, il n'est peut-être pas étonnant que le groupe des enfants dyscalculiques étudiés par Landerl et coll. (2004) soit aussi plus lent que le groupe témoin dans des activités plus élémentaires. Ce point est cependant primordial et mérite un approfondissement des recherches. En effet, les auteurs proposent que la dyscalculie résulte d'un déficit spécifique de la représentation et du traitement des informations numériques provenant du développement anormal des aires cérébrales normalement dévolues à ces fonctions (les lobes pariétaux et plus spécifiquement selon Dehaene et coll. (2003), le sillon intra-pariétal). On peut toutefois noter que parmi les rares études se penchant sur les processus élémentaires tels que la comparaison de nombres, celle de Geary et coll. (2000) ne confirme pas les conclusions de Landerl et coll. (2004). Alors que ces derniers ne trouvent pas de différence entre les enfants MD et les enfants MD-LD, Geary et coll. (2000) observent d'une part qu'à 7 ans les enfants MD-LD ont de plus faibles performances dans une tâche de comparaison que les MD et d'autre part que deux ans plus tard, les enfants MD ne présentent plus de différence avec les enfants normaux alors que les enfants MD-LD présentent toujours des performances plus faibles. Les auteurs en concluent

26. On appelle *subitizing* le processus d'aperception rapide de petites quantités (de 1 à 4) sans comptage. Bien que ces petites quantités puissent être énumérées sans être comptées, les temps de réponse augmentent très légèrement avec le nombre d'objets présentés. Chaque objet supplémentaire se traduit par un accroissement du temps de réponse de 40 à 100 ms : c'est la pente du *subitizing*.

que « les difficultés dans la compréhension des nombres chez les enfants MD-LD ne sont pas manifestes chez les enfants MD, ce qui suggère que de telles difficultés ne sont pas une caractéristique essentielle de la dyscalculie » (Geary et coll., 2000).

Le processus sans doute le plus étudié dans les acquisitions numériques scolaires est le changement dans le type de stratégies utilisées par les enfants pour résoudre les additions simples, des stratégies algorithmiques de comptage à la récupération directe du résultat en mémoire (Aschcraft, 1982 ; Carpenter et Moser, 1984 ; Siegler et Shrager, 1984 ; Geary, 1994 ; Siegler, 1996). On explique ce changement par un processus d'apprentissage associatif. La répétition par des procédures algorithmiques des mêmes calculs conduirait à l'association en mémoire des problèmes et du résultat obtenu. Par exemple, la résolution correcte de $5+3$ à l'aide de la stratégie minimum (partir de 5 et avancer de 3 pas dans la chaîne numérique) conduirait à associer $5+3$ et 8 en mémoire. Chaque occurrence de ce calcul renforcerait la trace mnésique jusqu'à ce que la réponse soit automatiquement activée et récupérée dès présentation du problème. Cette stratégie de récupération est bien entendu la plus rapide et la plus efficace, bien qu'elle ne s'applique réellement qu'aux opérations portant sur des nombres à un chiffre (additions et multiplications). Aschcraft (1982) a établi que la transition des procédures algorithmiques à la récupération en mémoire pour les additions simples se produit durant le CE2. Selon Geary (2004), le résultat le plus régulièrement obtenu dans l'étude de la dyscalculie est que les enfants dyscalculiques diffèrent des autres par leurs difficultés à retrouver en mémoire les faits arithmétiques. Ces difficultés de récupération sont présentes chez tous les enfants MD et persistent au moins tout au long de la scolarité primaire (Jordan et Montani, 1997 ; Ostad, 1997, 1999 et 2000). Quand ces enfants retrouvent des réponses en mémoire, celles-ci sont plus souvent fausses que chez les enfants se développant normalement avec des patterns de temps de réponses atypiques (Geary, 1990 ; Geary et Brown, 1991). À titre d'exemple, Shalev et coll. (2005) testent à 17 ans les sujets dyscalculiques étudiés par Shalev et coll. (1998) 3 ans plus tôt et par Gross-Tsur et coll. (1996) 6 ans plus tôt. Même à 17 ans, 51 % d'entre eux contre 17 % des témoins demeurent incapables de donner le résultat de 7×8 . L'étude longitudinale de Jordan et coll. (2003a) a montré que ce déficit évolue peu avec l'âge. Ayant sélectionné un groupe d'enfants pour leur faible maîtrise des faits numériques, les auteurs observent qu'un an et demi plus tard (entre le début du CE1 et la fin du CE2) les enfants n'ont pratiquement pas progressé dans ce domaine alors qu'ils manifestaient un développement normal dans d'autres secteurs des activités numériques tels que la résolution de problèmes à énoncés verbaux ou même la résolution d'opérations lorsque l'enfant n'est pas contraint de récupérer le résultat en mémoire mais peut utiliser ses doigts pour compter.

Les faits arithmétiques étant stockés sous une forme verbale (Dehaene, 1992), il a été suggéré que les difficultés dans leur récupération et les diffi-

cultés en lecture partageaient une base commune liée à des traitements phonologiques défectueux (Geary, 1993 ; Hanish et coll., 2001). Toutefois, les résultats de Jordan et coll. (2003a) contredisent cette hypothèse, les enfants ayant des difficultés de mémorisation et de récupération en mémoire des faits arithmétiques ne se distinguant pas des autres sur un test de lecture rapide de mots ou encore un test plus global de lecture. Cette conclusion est confirmée par une autre étude des mêmes auteurs (Jordan et coll., 2003b) qui comparent des enfants MD à des enfants ayant des difficultés isolées en lecture (LD), des enfants ayant des difficultés dans les deux domaines (LD-MD) et enfin des enfants ayant des performances normales. Les deux groupes MD (MD et MD-LD) ont des performances inférieures aux deux autres groupes en ce qui concerne la récupération des faits arithmétiques mais ne diffèrent pas entre eux, suggérant que le trouble est indépendant d'éventuelles difficultés en lecture.

On a aussi supposé que ces difficultés de récupération étaient liées à une incapacité à résister aux interférences produites par d'autres résultats associés aux opérandes. Barrouillet et coll. (1997) ont montré que l'organisation en mémoire des tables de multiplication ne diffère pas entre les enfants en difficulté d'apprentissage et les enfants tout-venant, mais que les plus faibles performances des premiers résultent de leur plus grande sensibilité aux interférences. Ces enfants avaient par exemple moins de difficultés à sélectionner le résultat de 4×6 parmi des distracteurs faiblement interférents (24 environné de 22, 23, et 26, aucun de ces nombres n'apparaissant dans la table de Pythagore) que parmi des distracteurs hautement interférents appartenant à des tables de l'un ou l'autre des deux opérandes (30, 18, 28). Toutefois, cette étude ne portait pas sur des enfants dyscalculiques au sens strict puisqu'il s'agissait d'adolescents scolarisés en SEGPA pour lesquels le diagnostic de déficience intellectuelle légère ne peut a priori être écarté. Ce résultat a été cependant répliqué par Geary et coll. (2000) chez des sujets MD résolvant des additions. Dans une tâche où les enfants devaient uniquement utiliser la récupération en mémoire pour résoudre des additions, les enfants MD et MD-LD, mais aussi les enfants LD commettaient plus d'erreurs que les enfants normaux même lorsque les différences de QI étaient contrôlées. De manière intéressante, l'erreur la plus fréquente consistait à produire une réponse associée dans la chaîne numérique à l'un des deux opérandes et activée automatiquement. Par exemple, des erreurs de récupération courantes pour $6+2$ étaient 7 ou 3, les nombres qui suivent directement les opérandes dans la chaîne numérique. Des phénomènes semblables sont rapportés par Hanish et coll. (2001). Selon Barrouillet et coll. (1997) qui s'inspirent du modèle de Conway et Engle (1994), ces difficultés à résister aux interférences seraient imputables à de faibles capacités en mémoire de travail affectant principalement l'étape de sélection de la réponse. D'autres auteurs ont aussi émis l'hypothèse que les difficultés de récupération résultent de faibles capacités en mémoire de travail (Geary, 1990 ; Ostad, 1998).

Enfin, ces difficultés de récupération pourraient aussi provenir de problèmes développementaux affectant des systèmes neurocognitifs modulaires, indépendants de la mémoire sémantique ou de la mémoire de travail, spécialisés dans la représentation et la récupération des connaissances arithmétiques (Butterworth, 1999 ; Temple et Sherwood, 2002). Ce problème sera plus amplement abordé plus loin.

En résumé, l'ensemble des études concernant les déficits des enfants dyscalculiques indiquent que ceux-ci présentent un retard de développement dans le domaine des procédures de comptage permettant les calculs les plus élémentaires (additions et soustractions). Ils recourent plus souvent que les autres à des stratégies primitives et au comptage sur les doigts, le passage à la récupération directe des résultats en mémoire étant largement retardé. Ces déficits pourraient trouver leur origine dans une mauvaise compréhension des principes régissant les activités de dénombrement, lesquelles constituent la matrice de toutes les acquisitions numériques ultérieures. Les difficultés des dyscalculiques à récupérer les faits arithmétiques en mémoire sont unanimement reconnues et décrites avec une remarquable constance (apparition tardive, utilisation plus rare que chez les enfants normaux et conduisant à davantage d'erreurs avec une variabilité atypique des temps de récupération). Ces retards ont bien entendu un effet délétère sur les activités plus complexes de résolution de problèmes. Les dyscalculiques se caractérisent aussi par des difficultés dans la résolution des opérations impliquant de grands nombres et l'utilisation des retenues (Bryant et coll., 2000). Ces difficultés semblent cependant plus marquées pour les enfants qui présentent en outre des difficultés en lecture (Geary et coll., 2000 ; Jordan et Hanish, 2000 ; Fuchs et Fuchs, 2002). On a vu que, dans le domaine de la résolution des opérations, les enfants ne présentant que des difficultés en arithmétique ne se distinguent pas des enfants tout-venant en ce qui concerne les stratégies, leur déficit semblant circonscrit à la récupération des faits numériques en mémoire (Jordan et Montani, 1997). Comme nous l'avons vu, les études qui distinguent les enfants MD des enfants MD-LD font état chez ces derniers de troubles plus envahissants dont l'intensité augmente avec la complexité des opérations ou des problèmes qui leur sont proposés. Certaines études rapportent que les enfants présentant des difficultés spécifiques en mathématiques souffrent de troubles plus ciblés. Hormis la récupération des faits arithmétiques, la nature de ces déficits semble varier d'une étude à l'autre. Tantôt limités dans certaines études à la résolution des problèmes verbaux les plus complexes (Jordan et Hanish, 2000), ils s'étendent dans d'autres au calcul par approximation ou aux traitements visuo-spatiaux (Hanich et coll., 2001). En revanche, Fletcher (2005) qui compare les deux populations MD et MD-LD n'observe pas de différence de profil, les enfants MD-LD présentant juste un déficit plus prononcé. Ces fluctuations sont probablement dues à l'étendue et à la variété des activités numériques, les déficits ne pouvant être identifiés, par définition, que sur les activités faisant

l'objet d'une investigation. En tout état de cause, on peut retenir la conclusion que les enfants présentant un retard en mathématiques et en lecture diffèrent des enfants présentant des difficultés spécifiques en mathématiques par l'intensité plus que par la nature des déficits. Il semble ne pas exister de différence notoire de profil entre les difficultés rencontrées par les uns et les autres. Comme nous allons le voir, les études portant sur l'évolution des troubles confirment d'ailleurs ce point.

Classifications et sous-types

L'hétérogénéité des profils cognitifs observés parmi les enfants présentant des difficultés en arithmétique a frappé de nombreux chercheurs et cliniciens, les conduisant à proposer diverses classifications en sous-types. On peut grossièrement distinguer trois types de classifications. Celles qui s'inspirent, comme le note Noël (2000), de la neuropsychologie de l'adulte et des études de patients acalculiques, celles qui se fondent sur des bases anatomofonctionnelles, et celles enfin qui reposent sur l'étude des fonctions cognitives sous-tendant les activités numériques.

Classifications neuropsychologiques

La première classification des troubles acquis du calcul a été proposée par Hécaen et coll. (1961). Ces auteurs distinguaient :

- les acalculies résultant d'une alexie ou d'une agraphie des nombres pouvant survenir sans trouble associé de lecture et liées à des atteintes de l'hémisphère gauche le plus souvent ;
- les acalculies spatiales consistant en un défaut dans l'organisation spatiale des nombres (mauvais alignement des chiffres dans les colonnes des opérations posées, inversion de chiffres comme 6 pour 9, 12 pour 21) qui résulteraient d'une atteinte des parties postérieures de l'hémisphère droit ;
- les anarithméties, difficultés dans le calcul lui-même plutôt associées à des lésions de l'hémisphère gauche.

On voit que cette classification intéresse surtout l'activité de résolution des opérations posées à laquelle une attention moindre est prêtée aujourd'hui chez l'enfant en comparaison de l'arithmétique mentale ou du dénombrement. Badian (1983) s'est cependant inspirée de cette classification pour distinguer 5 groupes d'enfants présentant des difficultés en arithmétique et pouvant représenter 5 types de dyscalculie :

- dyscalculie résultant d'une aphasie avec alexie ou d'une agraphie des nombres ;
- dyscalculie résultant de difficultés visuo-spatiales avec mauvais alignement des nombres ;

- anarithmétique, c'est-à-dire bonne connaissance des faits numériques mais confusion entre les algorithmes de calcul ;
- dyscalculies liées à des troubles attentionnels se manifestant par des oublis lors de l'exécution des algorithmes de calcul ainsi que des difficultés à mémoriser les tables. On notera avec intérêt que ce sous-type est identifié par Badian comme le plus fréquent ;
- dyscalculies résultant d'une combinaison de ces catégories.

Ce type de classification pourrait être dit composite. On y trouve en effet des sous-types caractérisés par la nature des erreurs les plus fréquentes (l'anarithmétique), d'autres définis par une cause fonctionnelle sous-jacente (un trouble de l'attention, des difficultés spatiales), d'autres enfin décrits comme résultant d'autres troubles (aphasie). On peut ranger dans cette catégorie la classification de Kosci (1974) qui dans son étude princeps pensait pouvoir distinguer entre dyscalculies verbales (difficulté à nommer les objets et relations mathématiques), practognosiques (difficulté dans les manipulations liées aux mathématiques comme le dénombrement, la sériation en fonction de la longueur), lexicales (difficultés de lecture des symboles tels que chiffres, nombres, signes d'opérations), graphiques (affectant l'écriture des chiffres et des nombres), idéagnostiques (difficulté à comprendre les relations mathématiques, par exemple que 9 est à la fois la moitié de 18 et aussi 10-1), et enfin opérationnelles (appelée anarithmétique chez les auteurs cités plus haut).

Bien que ces classifications reposent sur des observations cliniques souvent fines, leur intérêt est sans doute limité. D'une part, comme nous l'avons dit, elles sont composites et hétérogènes parce que non adossées à une théorie explicative du trouble. D'autre part, elles résultent parfois des analyses d'erreurs sur un éventail de tâches extrêmement réduit (la résolution d'opérations posées en colonnes pour Badian). Enfin, elles relèvent souvent d'une analyse pour le moins sommaire des processus cognitifs à la source des erreurs observées. Par exemple, on trouve parmi les erreurs que Badian identifie comme relevant d'un trouble spatial des erreurs qui pourraient tout aussi bien être attribuées à une mauvaise maîtrise des retenues ou de l'écriture positionnelle comme oublier le 0 dans l'écriture de 507, erreur qui relève plus sûrement d'une mauvaise maîtrise des procédures de transcodage que d'un trouble spatial (Barrouillet et coll., 2004a). La portée de ces classifications s'en trouve donc amoindrie dans l'optique d'une éventuelle élaboration d'outils de diagnostic et de remédiation.

Classification anatomo-fonctionnelle de Rourke

La plus connue des classifications est probablement celle de Rourke (Rourke et Finlayson, 1978 ; Rourke et Strang, 1978 ; Rourke, 1993 ; Rourke et Conway, 1997). Cet auteur propose que les déficiences en arithmétique

résultent de deux classes très générales de troubles neuropsychologiques, l'une basée sur des déficits verbaux reflétant un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche et l'autre basée sur des déficiences non verbales qui résultent d'atteintes précoces affectant l'hémisphère droit. Cette distinction prend sa source dans une étude princeps distinguant des enfants présentant de faibles performances en arithmétique et en lecture (groupe 1), des enfants ayant de faibles performances en lecture et meilleures en arithmétique (groupe 2) et enfin des enfants ayant des difficultés plus prononcées en arithmétique qu'en lecture (groupe 3), les trois groupes étant appariés sur le QI total. Les auteurs prédisaient que les enfants du groupe 3, surtout faibles en arithmétique, présenteraient un QI verbal supérieur au QI performance alors que les enfants du groupe 2 présenteraient un QI performance supérieur à celui du groupe 3. Ces prédictions se fondent sur l'hypothèse que des difficultés spécifiques en calcul sont dues à des difficultés dans l'organisation et l'intégration visuo-spatiale, habiletés considérées comme assurées principalement par l'hémisphère droit et dont la défaillance devrait entraîner un QI performance faible à la WISC. Corrélativement, l'auteur suppose que l'intégrité de l'hémisphère gauche se manifeste par un QI verbal normal. De fait, les auteurs observaient que les enfants du groupe 2 présentaient un QI verbal nettement inférieur au QI performance (92 *versus* 107) alors que l'inverse était observé pour le groupe 3 (102 *versus* 88). Rourke et Strang (1978) ont examiné les performances de ces trois groupes dans des tâches motrices, psychomotrices et perceptives et confirmé que les enfants du groupe 3 présentaient une déficience dans ces activités, confirmant par là l'hypothèse d'une déficience relative des systèmes de l'hémisphère droit. Les déficiences des enfants du groupe 2 seraient en revanche confinées au domaine verbal, et plus particulièrement aux aspects auditivo-perceptifs. Strang et Rourke (1983) ajouteront à ce tableau que les enfants du groupe 3 présentent de moins bonnes performances que ceux du groupe 2 dans des tâches d'extraction de concepts impliquant des raisonnements non verbaux abstraits et la capacité à bénéficier de *feed-back* positifs et négatifs. Dans une synthèse de ces travaux, Rourke (1993) évoquant le cadre théorique piagétien suggère alors que, contrairement aux enfants du groupe 2, ceux du groupe 3 « n'auraient pas bénéficié autant que les autres de la période sensorimotrice de développement et que l'on peut s'attendre à ce que leurs opérations cognitives, et principalement celles qui ne sont pas facilement régulées par des apprentissages verbaux par cœur, soient déficientes ». Les désordres développementaux de l'hémisphère droit conduiraient les enfants du groupe 3 à développer un syndrome de déficience non verbale affectant en outre l'adaptation sociale et la stabilité émotionnelle.

Sur le plan des performances arithmétiques, il existerait selon Rourke (1993) d'importantes différences qualitatives dans les déficits en arithmétique manifestés par les enfants des groupes 2 et 3. Ces derniers commettraient des erreurs liées à l'organisation spatiale des nombres dans les opérations, des erreurs d'inattention dues à leur négligence de certains

détails visuels, ils oublieraient des étapes dans les procédures de calcul, auraient des difficultés à passer d'une activité à l'autre, présenteraient des troubles graphomoteurs, des insuffisances de raisonnement et de jugement. Ils présenteraient aussi des difficultés à mémoriser les faits numériques, bien que ce type d'erreur ne soit pas prédominant dans le profil. Hélas, l'auteur ne fournit pas de description aussi détaillée des erreurs commises par les enfants du groupe 2.

La cohérence et la précision de ces descriptions ont de quoi impressionner de même que le contraste saisissant que brosse Rourke entre deux types de dyscalculie que tout semble opposer. Néanmoins, malgré son caractère intuitivement attractif (les troubles de la lecture étant de toute évidence liés à la sphère verbale, les troubles du calcul seraient, eux, associés à un déficit des aspects non-verbaux), un examen attentif des travaux disponibles, y compris ceux de Rourke lui-même, conduit à tempérer ce que l'auteur présente souvent comme des faits acquis. Tout d'abord, il convient de souligner que les groupes 2 et 3 présentés par Rourke et Finlayson (1978) ne correspondent pas totalement à la description que les auteurs en font et qui sera ensuite fréquemment reprise (Badian, 1983). En effet, il ne s'agit pas de deux groupes dont l'un aurait des troubles spécifiques en lecture et l'autre des troubles spécifiques en arithmétique. En réalité, ces groupes ne se différencient pas sur leurs performances en arithmétique, mais seulement en lecture. Il s'agit de dyscalculiques dans les deux cas, les uns présentant en outre des difficultés en lecture, les autres non. Ceci explique pourquoi les moyennes du groupe 2 ne se distinguent en rien de celles du groupe 1 (enfants déficitaires dans les deux domaines) dans l'étude princeps de Rourke et Finlayson (1978) et pourquoi les auteurs sont si peu intéressés par ce groupe 1 qui ne fait l'objet de pratiquement aucune analyse. Ce point, sur lequel les auteurs demeurent discrets, sera plus ouvertement reconnu dans les travaux ultérieurs. Il est cependant important et jette un éclairage tout autre sur les différences que rapporte Rourke entre les deux groupes. Étant établi que le groupe 2 présente en fait un déficit en lecture et en arithmétique alors que les déficits du groupe 3 se cantonnent à l'arithmétique, il devient paradoxal de présenter les enfants du groupe 2 comme des individus dont les déficits se limiteraient à la sphère verbale comme le fait Rourke (1993). Par ailleurs, certains résultats rapportés par leurs auteurs comme conformes aux conceptions de Rourke s'en éloignent de manière importante. C'est par exemple le cas de Share et coll. (1988). Ces auteurs testent les hypothèses de Rourke concernant les patterns de QI des enfants selon que leur déficit est spécifique à l'arithmétique (A) ou s'étend à la lecture (A et L). Le pattern d'un QI verbal supérieur au QI performance chez les enfants de type A ne s'observe que chez les garçons mais s'inverse chez les filles. Sur l'ensemble du groupe, la différence disparaît. Les hypothèses initiales de Rourke prévoyaient aussi que le QI performance des enfants du groupe 2 (ici A et L) devait être supérieur à celui du groupe 3 (ici A). Cette différence, négligeable chez les garçons, s'inverse très nettement chez les filles (les filles A ont un QI verbal

inférieur à leur QI performance, lequel est très nettement supérieur à celui des filles A et L), si bien que sur l'ensemble des sujets c'est l'effet inverse de celui prédit par Rourke qui apparaît. En fait, les enfants A et L ont certes un QI verbal faible (le contraire eut étonné) mais un QI performance lui aussi largement inférieur à des enfants témoins. En outre, les enfants A ont un QI verbal inférieur à celui du groupe témoin. Les auteurs sont conduits à conclure que des déficits limités à la sphère langagière ne sont pas suffisants pour expliquer des difficultés en arithmétique s'accompagnant aussi de difficultés en lecture et que si les garçons présentant une dyscalculie spécifique ont des habiletés non verbales faibles (ce qui n'est pas le cas chez les filles), il ne s'en suit pas que leurs déficits sont exclusivement non-verbaux. Dowker (1998) étudiant les relations entre habiletés numériques chez des enfants tout-venant de 6 à 9 ans et scores de QI verbal et performance n'observe pas que le QI performance est plus lié aux performances arithmétiques que le QI verbal. C'est plutôt le contraire qui serait observé.

D'autres études conduisent à fortement tempérer les conclusions de Rourke. Lewis et coll. (1994) n'observent pas que les habiletés non verbales des enfants présentant des déficits spécifiques en arithmétique soient inférieures à celles des enfants présentant en outre des difficultés en lecture, et observent même le contraire. Comme le relève Shalev (2003) et comme nous l'avons vu plus haut, la plupart des études ayant comparé les difficultés rencontrées en arithmétique par divers types de dyscalculiques montrent que ceux qui ont en outre des difficultés en lecture présentent, contrairement aux descriptions de Rourke, les problèmes les plus importants et les plus étendus (Fletcher, 2005). Les différences qualitatives semblent rares entre les groupes et de plus variables d'une étude à l'autre. De manière assez ironique, le déficit le plus régulièrement rapporté chez les enfants ayant des difficultés spécifiques en arithmétique concerne celui auquel Rourke accorde le moins d'importance : la récupération des faits numériques en mémoire. En outre, comme nous le verrons dans l'étude de l'évolution des troubles, les formes de dyscalculie les plus stables et les plus persistantes, suggérant les troubles les plus profonds et envahissants, sont celles qui s'accompagnent de difficultés en lecture. Enfin, les travaux abordant la nature des erreurs en arithmétique commises par les enfants selon que l'intégrité des hémisphères droit ou gauche est atteinte ne confirment pas les descriptions de Rourke. Certes, certaines études rapportent que des atteintes de l'hémisphère droit entraînent plus fréquemment que celles de l'hémisphère gauche des troubles en arithmétique (Aram et Ekelman, 1988). Toutefois, toutes les études ne convergent pas, loin s'en faut. Ashcraft et coll. (1992) comparent les performances et erreurs en arithmétique d'enfants et adolescents présentant une lésion cérébrale acquise gauche ou droite, pour la plupart à la suite d'un accident vasculaire cérébral. Il apparaît que les enfants ayant souffert d'une lésion dans l'hémisphère gauche présentent les troubles les plus importants dans une large gamme d'activités. Les déficits observés chez les enfants présentant une lésion à droite sont moins prononcés et de même nature, y com-

pris lorsqu'une analyse qualitative des erreurs observées est conduite. Ashcraft et coll. (1992), reprenant les conclusions de Spiers (1987) et anticipant celles de Butterworth (1999), proposent que les traitements numériques et mathématiques dépendent principalement de l'hémisphère gauche. On peut à ce propos rappeler que le syndrome de Gertsman, que Rourke (1993) rapproche du syndrome de difficulté d'apprentissage non verbal intéresse l'hémisphère gauche.

Pour conclure, bien qu'elle soit demeurée influente, on peut douter de la pertinence de la classification proposée par Rourke. Il existe sans doute des enfants présentant des troubles spécifiques de l'arithmétique associés à des difficultés d'organisation visuo-spatiale, mais il est en tout état de cause impossible d'affirmer que les enfants présentant des difficultés spécifiques en arithmétique présenteraient systématiquement de telles difficultés visuo-spatiales ni que ces difficultés spécifiques proviendraient d'un dysfonctionnement relatif de l'hémisphère droit. Il est en revanche possible d'affirmer, devant la convergence des résultats, que les troubles isolés de l'arithmétique sont, contrairement à ce que décrit Rourke, moins étendus, importants, et persistants que ceux s'accompagnant en outre d'un trouble de la lecture.

Classifications cognitives

Alors que les classifications décrites jusqu'ici s'appuient sur des analyses cliniques et une investigation des processus intellectuels reposant sur les tests d'intelligence (principalement la WISC), les classifications regroupées dans cette sous-partie sont fondées sur des distinctions introduites par la psychologie cognitive concernant les divers processus qui sous-tendent les activités numériques. Trois classifications ont été proposées dans cette optique par Temple (1992), Geary (1993) et Von Aster (2000).

Temple (1992) propose une classification basée sur l'architecture cognitive que proposent McCloskey et coll. (1985). Ces auteurs, sur la base d'études neuropsychologiques chez l'adulte rapportant des doubles dissociations, proposent que trois modules fonctionnellement indépendants assurent les traitements numériques et le calcul. Le premier module est dit de compréhension des nombres. Il a pour rôle de transformer les entrées verbales ou en chiffres arabes en une représentation sémantique de la quantité à laquelle ses entrées réfèrent. Le second module, de production, traduit les représentations sémantiques en sorties verbales ou en chiffres arabes. Un troisième module est dévolu aux mécanismes de calcul. Ce module comporte à la fois les faits arithmétiques connus et pouvant être retrouvés ainsi que les procédures de calcul requises lorsque la réponse ne peut être directement atteinte par récupération. Doivent être ajoutés à ces procédures les algorithmes associés aux opérateurs arithmétiques. Sur cette base, Temple (1992) distingue trois types de dyscalculie :

- une dyscalculie du traitement numérique qui se caractérise par des difficultés dans le traitement des symboles numériques ou des mots comme des difficultés à lire ou écrire les nombres. Temple (1989) décrit par exemple le cas d'un enfant de 11 ans qui bien qu'ayant un niveau normal de lecture des mots présente d'importantes difficultés pour lire les nombres ou les écrire sous dictée. Noël (2000) fait cependant remarquer, à juste titre, que ce cas est loin d'être « pur », l'enfant ne maîtrisant en fait aucun concept ou opération et ne réussissant à résoudre que des additions dont le total est inférieur à 10 ;
- une dyscalculie des faits numériques qui se caractérise par une incapacité à acquérir les tables d'addition et de multiplication. Temple (1991) décrit un cas d'adolescente qui malgré une intelligence normale et une bonne maîtrise des procédures de calculs commet un grand nombre d'erreurs sur les multiplications simples, produisant le plus fréquemment des résultats faux mais appartenant à la table de l'un ou des deux opérands (voir dans la section précédente l'étude de Barrouillet et coll., 1997, pour une description de ce phénomène) ;
- une dyscalculie procédurale qui se caractérise par une difficulté à planifier et exécuter les diverses étapes des algorithmes de calcul, principalement lorsque les calculs sont complexes et écrits. Là encore, Temple (1991) décrit un cas d'adolescent illustrant ce type chez qui la maîtrise des faits arithmétiques contraste avec les difficultés de résolution des soustractions, multiplications et divisions.

Selon Temple (1997), les dyscalculies développementales qui résultent du dysfonctionnement des modules décrits par McCloskey et coll. (1985) sont comparables aux dissociations fonctionnelles observées chez les patients adultes souffrant d'acalculie suite à des atteintes cérébrales. On notera cependant qu'il s'agit là d'études de cas sur lesquelles il peut être imprudent de fonder des classifications générales. En outre, il arrive parfois que les auteurs forcent un peu le trait pour rendre claires des dissociations qui ne le sont pas totalement. Cependant, ces dissociations n'en restent pas moins frappantes et témoignent a minima de la complexité et de la variété des processus cognitifs sous-tendant les activités arithmétiques et mathématiques.

Une classification proche de celle de Temple a été proposée par Geary (1993). Cet auteur reprend la catégorie désignée par Temple comme dyscalculie procédurale en la précisant : ces enfants utilisent, comme nous l'avons vu, des procédures immatures de comptage et font preuve d'une faible compréhension des concepts qui sous-tendent cette activité. Ce type de dyscalculie est considéré par Geary comme relevant principalement d'un retard de développement résultant probablement d'un dysfonctionnement de l'hémisphère gauche. La dyscalculie des faits numériques chez Temple est ici décrite comme résultant d'un trouble de la mémoire sémantique avec des difficultés à retrouver les faits numériques en mémoire, des temps de récupération particulièrement lents et variables ainsi qu'une forte propension à commettre

des erreurs provoquées par des interférences dans la récupération des réponses. Bien que probablement lié à un dysfonctionnement dans l'hémisphère gauche, ce sous-type se distingue du précédent par le fait qu'il s'agirait, pour Geary, non pas d'un simple retard de développement mais d'une réelle différence, génétiquement héritable, qui reste inchangée tout au long du développement. Enfin, Geary distingue un type visuo-spatial. Celui-ci se traduirait par de mauvais alignements des chiffres dans les opérations posées ou encore une mauvaise interprétation de l'information positionnelle dans l'écriture en base 10. Geary et Hoard (2005) précisent que ce type pourrait aussi s'accompagner de difficultés à représenter de manière spatiale la taille des nombres dans la ligne numérique orientée postulée par Dehaene et Cohen (1997), laquelle constitue la base de ce que ces auteurs appellent le « sens » du nombre. Toutefois, Geary précise que cette hypothèse n'a pas encore été testée.

Comme on le voit, ces deux classifications sont basées sur les apports de la psychologie cognitive à l'étude des activités numériques et de leur développement. Elles reprennent l'opposition générale qui est classiquement établie, dans les processus conduisant à la réponse, entre stratégies procédurales et récupération en mémoire (Logan, 1988 ; Siegler, 1996). Des déficiences dans chacun de ces deux versants des processus cognitifs conduiraient à des dyscalculies procédurales d'une part, « mémorielles » d'autre part. On notera que bien que distincts, les types que Temple et Geary décrivent respectivement comme dyscalculie des traitements numériques et déficit visuo-spatial se recoupent sur certains points, comme les problèmes liés à la valeur positionnelle des chiffres dans l'écriture de la forme arabe des nombres, problèmes tantôt imputés à des troubles de l'organisation spatiale, tantôt à un module spécialisé dans le transcodage.

Von Aster (2000) a pour sa part proposé une classification s'appuyant sur le modèle dit du « triple code » de Dehaene (Dehaene 1992 et 1997 ; Dehaene et Cohen, 1995 et 1997). Selon ce modèle, l'information numérique peut être manipulée dans trois formats de représentation : une représentation analogique codant la magnitude du nombre, un code verbal, et un code visuel pour l'écriture en chiffres arabes. Le code analogique supporterait une représentation sémantique des nombres (de la quantité à laquelle ils réfèrent) sur une ligne numérique mentale orientée. Il serait impliqué dans les activités de comparaison des nombres ainsi que dans l'estimation des quantités et les calculs approximatifs. Le code verbal serait impliqué dans les activités de comptage mais aussi dans l'apprentissage et le maintien des faits numériques (tables d'addition et de multiplication) qui seraient stockés sous une forme verbale. Le code arabe serait impliqué dans les calculs complexes mais aussi dans les jugements de parité. Contrairement au modèle précédemment évoqué de McCloskey et coll. (1985), il existerait des connexions directes entre ces trois codes permettant par exemple de passer directement d'une représentation verbale à une représentation arabe sans qu'une repré-

sentation sémantique du nombre soit nécessairement évoquée. Ceci serait rendu possible par le fait que ces trois codes seraient implantés dans trois systèmes cérébraux distincts mais interconnectés²⁷.

Ainsi, Von Aster décrit trois types de dyscalculie. Il existerait une dyscalculie verbale dans laquelle les enfants éprouveraient des difficultés dans la mise en route des routines de comptage pour effectuer les additions ainsi que dans le stockage et la récupération des faits numériques. Ce type s'accompagnerait fréquemment de difficultés en lecture (50 % selon l'auteur) et de déficits de l'attention avec hyperactivité. Le second type est dit sous-type arabe. Les enfants éprouveraient d'importantes difficultés pour lire et écrire les nombres en chiffres arabes, ce qui se rapproche de la dyscalculie du traitement numérique décrite par Temple (1989). Enfin, Von Aster suggère l'existence d'un type général (*pervasive*) regroupant les enfants ayant des difficultés dans pratiquement tous les domaines de l'activité numérique. Ceci serait dû, selon l'auteur, à un mauvais développement des structures cérébrales qui sous-tendent le code analogique dans le modèle du triple code, privant ces enfants du « sens » des nombres et entraînant des troubles généraux. Toutefois, l'auteur ajoute aussi que pratiquement tous les enfants de ce groupe présentent aussi des difficultés en lecture, suggérant que les troubles dépassent de très loin une simple atteinte du code analogique, lequel est dans le modèle de Dehaene non verbal.

En résumé, il est clair ici encore qu'il n'existe pas de consensus sur l'existence de divers sous-types de dyscalculie. Comme on a pu le voir, chaque auteur distingue des sous-types à partir des modèles théoriques qu'il privilégie. Des travaux plus approfondis seraient sans doute nécessaires pour établir l'existence d'éventuels sous-types.

Facteurs causaux

Comme les diverses classifications exposées ci-dessus le laissent deviner, il n'existe pas de consensus quant aux causes de la dyscalculie. Schématiquement, on peut opposer, comme le fait Butterworth (2005), les auteurs qui proposent que la dyscalculie est une manifestation secondaire d'un déficit cognitif plus général ou plus élémentaire à ceux qui pensent qu'elle est un trouble primaire lié au dysfonctionnement d'un système neuro-anatomique spécifique aux traitements numériques. Dans le premier cas, deux déficits généraux ont été supposés à la source de la dyscalculie : un déficit mémoriel

27. Le code analogique serait implanté de manière bilatérale dans les aires pariétales gauche et droite aux alentours de la jonction pariéto-occipito-temporale de chaque hémisphère. Le code arabe serait aussi implanté dans les deux hémisphères dans les régions occipito-temporales. Enfin, le code verbal serait implanté dans les aires du langage de l'hémisphère gauche.

lié principalement à de faibles ressources en mémoire de travail ou bien un trouble des habiletés visuo-spatiales.

Dyscalculie et mémoire de travail

L'arithmétique étant de toute évidence une activité complexe et de haut niveau sur le plan cognitif, il est naturel que les psychologues aient cherché la cause des troubles dans une déficience des systèmes sollicités par les activités complexes et contrôlées, le plus important d'entre eux étant la mémoire de travail. Geary (1993) a probablement présenté l'exposé le plus détaillé de l'hypothèse sous-tendant cette proposition. Dans sa revue sur les troubles des apprentissages arithmétiques, Geary (1993) souligne que les deux déficits fondamentaux qui caractérisent les enfants qui en sont atteints sont d'une part un retard développemental dans l'utilisation des procédures de calcul qui demeurent immatures, et d'autre part une difficulté notoire à stocker en mémoire, maintenir et retrouver les faits arithmétiques. Ces deux aspects seraient en fait étroitement liés. En effet, il est communément admis, comme nous l'avons vu précédemment, que la mémorisation des faits arithmétiques les plus élémentaires (les faits additifs) résulte de l'association en mémoire des problèmes et de leur réponse obtenue à l'origine à l'aide de procédures algorithmiques de comptage (Siegler, 1996). De faibles capacités en mémoire de travail entraînent une vitesse de traitement réduite rendant les procédures de comptage particulièrement lentes. Cette lenteur favoriserait les erreurs mais aussi l'oubli des valeurs devant être temporairement maintenues en mémoire à court terme jusqu'à ce que la réponse qui doit leur être associée soit obtenue. Thévenot et coll. (2001) ont démontré l'existence de ce phénomène d'oubli des opérandes au cours du calcul algorithmique de la réponse, même chez les adultes. Les enfants disposant de faibles capacités en mémoire de travail auraient ainsi moins de chances que les autres de mémoriser les faits arithmétiques. Le fait que les capacités en mémoire de travail des enfants comme des adolescents sont liées à leurs performances scolaires en arithmétique et mathématiques ne fait aucun doute (Gathercole et Pickering, 2000 ; Bull et Scérif, 2001 ; Gathercole et coll., 2004 ; Lépine et coll., 2005). Plus spécifiquement, Barrouillet et Lépine (2005) ont montré que chez les enfants de 9 et 10 ans la récupération des faits numériques en mémoire est d'autant plus rare et lente que leurs capacités en mémoire de travail sont faibles. Les très faibles performances des dyscalculiques devraient donc s'accompagner de faibles capacités en mémoire de travail.

De fait, de très nombreuses études ont montré que les enfants dyscalculiques ont des capacités en mémoire de travail, voire en mémoire à court terme (évaluées par un simple empan de chiffres) inférieures à celles d'enfants du même âge obtenant des performances normales (Siegel et Ryan, 1989 ; Geary et coll., 1991 ; Hitch et Mc Auley, 1991 ; Swanson, 1993 ; Koontz et Berch, 1996 ; Bull et Johnston, 1997 ; Mc Lean et Hitch, 1999). Cette différence s'observe même lorsque l'effet du QI est contrôlé (Geary et coll., 1999 ; Geary et coll., 2000 ; Geary et coll., 2004). À notre connaissance, seules deux études rapportent une

absence de différence entre dyscalculiques et témoins sur des épreuves mémorielles, celle de Temple et Sherwood (2002) dans laquelle les sujets dyscalculiques sont en outre atteints du syndrome de Turner et celle de Landerl et coll. (2004). On notera cependant que dans cette dernière étude, et comme on l'a déjà souligné précédemment, les sujets sont classés dyscalculiques sur la base de leur lenteur à résoudre des opérations, ce qui est un critère de classification plutôt inhabituel. En revanche, Bull et coll. (1999) rapportent que les différences d'empan de chiffres, de mots et de comptage entre enfants présentant ou non des déficiences en arithmétique disparaissent lorsque les différences individuelles en lecture sont contrôlées. Toutefois, même dans ce cas, les empan en mémoire continuent à être des prédicteurs des performances en arithmétique. Les auteurs font à ce propos remarquer que beaucoup d'études ne prennent pas en compte ce facteur dans l'évaluation des différences en mémoire de travail ou mémoire à court terme (Siegel et Ryan, 1989 ; Geary et coll., 1991 ; Hitch et McAuley, 1991). Ils concluent qu'il est difficile d'affirmer avec certitude que les déficits en arithmétique sont spécifiquement dus à des limitations de la mémoire à court terme : bien que les limitations en mémoire soient manifestement impliquées dans les difficultés en arithmétique, elles agissent en conjonction avec d'autres facteurs dont le principal semble être la vitesse de traitement de l'information. Les auteurs ont peut-être raison mais le problème se complique du fait que mémoire de travail et mémoire à court terme ne peuvent totalement être confondues et que les théories récentes de la mémoire de travail font de la vitesse de traitement un des facteurs explicatifs (mais non le seul) des empan en mémoire de travail (Barrouillet et coll., 2004b).

En résumé, la grande majorité des études disponibles confirment que les enfants dyscalculiques disposent de capacités réduites en mémoire de travail. Ce déficit pourrait être à la source de leurs fréquentes erreurs dans la mise en œuvre des procédures de comptage et de leurs difficultés à mémoriser les faits numériques. Ces faibles capacités pourraient aussi rendre compte du fait que les enfants en difficulté d'apprentissage semblent, comme nous l'avons vu plus haut, moins aptes que les autres à inhiber les réponses incorrectes lors de la recherche en mémoire (Barrouillet et coll., 1997 ; Geray et coll., 2004). Ajoutons que l'analyse des résultats est rendue malaisée par le fait que peu d'auteurs, dans le domaine des difficultés d'apprentissage, établissent des distinctions claires entre empan simples de mémoire à court terme et empan complexes de mémoire de travail²⁸. De même que les seconds sont de

28. Les empan simples de mémoire à court terme (MCT) consistent en une tâche de rappel immédiat d'une série de chiffres, lettres ou mots présentés oralement ou d'une série d'items présentés visuellement. Les empan complexes de mémoire de travail (MDT) impliquent quant à eux une activité secondaire devant être effectuée durant le maintien des items avant rappel. Par exemple, dans l'empan de comptage, l'enfant dénombre une série de planches de points et doit rappeler à la fin de la série et dans l'ordre de présentation le cardinal de chaque planche dénombrée. Les empan simples de MCT sont considérés habituellement comme des mesures relativement grossières des capacités en mémoire de travail (Conway et Engle, 1994).

meilleurs prédicteurs des performances scolaires que les premiers (Daneman et Carpenter, 1980), il n'est pas exclu qu'une partie des résultats contradictoires relevés soit due à la confusion entre les deux types d'empan.

Dyscalculie et habiletés visuo-spatiales

On a vu que de nombreux auteurs proposent que les troubles de l'arithmétique et les dyscalculies, ou certains sous-types de dyscalculie, sont dus à un déficit plus général des habiletés visuo-spatiales. Les hypothèses visant à rendre compte de l'impact des habiletés spatiales sur l'arithmétique ont évolué avec le temps. Badian (1983) suppose que des habiletés spatiales déficientes pourraient avoir un impact sur la résolution des opérations posées (mauvais alignement des chiffres, saut de colonne) ou sur le transcodage avec des difficultés à maîtriser l'écriture positionnelle ; cette hypothèse est à nouveau reprise par Geary et Hoard (2005). Dans ce cas, l'impact serait expliqué par le fait que certaines activités numériques comportent une composante spatiale. Selon Rourke, les déficits visuo-spatiaux accompagnent plus qu'ils ne provoquent les difficultés en arithmétique, les deux types de déficits découlant d'un dysfonctionnement de l'hémisphère droit. Dans les travaux plus récents, il est suggéré que des troubles de l'espace perturberaient la construction et l'utilisation de la représentation spatiale analogique et orientée, la ligne numérique, qui selon Dehaene coderait la magnitude du nombre et en fournirait le sens. Un tel trouble aurait ainsi une répercussion sur l'ensemble des activités numériques (Von Aster, 2000). Une mauvaise représentation spatiale des nombres pourrait même expliquer selon Jordan et coll. (2003a et b) les difficultés d'apprentissage des faits numériques. Les difficultés de manipulation de la ligne numérique perturberaient les procédures de comptage à la source des associations en mémoire entre problèmes et réponses.

Bien que l'association entre troubles spatiaux et troubles du calcul ait une longue histoire dans les modèles théoriques, les empiries établissant clairement un déficit des fonctions spatiales chez les dyscalculiques sont étonnamment éparses. Bien entendu, il existe celles rapportées par Rourke (Rourke et Finlayson, 1978 ; Rourke et Strang, 1978) qui indiquent que les enfants dyscalculiques ont de plus faibles performances que les enfants tout-venant dans les sub-tests « Complètement d'images », « Arrangements d'images », « Cubes, et Assemblage d'objets » de la WISC-R (Weschler, 1974). Jordan et coll. (2003a et b) ont rapporté des faits similaires, les enfants ayant une faible maîtrise des faits arithmétiques présentant de plus faibles performances dans les épreuves de QI non verbal. Cependant, nous avons aussi vu que le caractère spécifique de ces difficultés n'a pas toujours été répliqué, suggérant qu'elles pouvaient aussi être simplement liées à un faible niveau intellectuel général. Par exemple, Geary et coll. (2000) n'observent plus de différences selon les habiletés en arithmétique sur une épreuve de labyrinthes lorsque l'effet du QI est contrôlé. De même, les faibles performances des

dyscalculiques dans les *Making Trails tasks* ont parfois été rapportées à des problèmes d'intégration visuo-motrice (White et coll., 1992). Ce sont des tâches dans lesquelles l'enfant doit alterner deux séries, par exemple des chiffres et des lettres, en reliant par un trait des cercles contenant des nombres de 1 à 11 ou des lettres de A à K selon l'ordre 1-A-2-B-3-C...11-K. Cependant, Mc Lean et Hitch (1999) observent que les dyscalculiques ont aussi des difficultés dans les versions verbales de ces tâches (produire verbalement la série alternée), ce qui suggère que les problèmes rencontrés dans les *Making Trails tasks* sont plutôt dus à des difficultés à alterner rapidement des tâches plutôt qu'à des problèmes visuo-moteurs.

Ce puzzle pourrait trouver sa solution dans l'observation par Share et coll. (1988) que les déficits visuo-spatiaux semblent caractériser les garçons mais non les filles dyscalculiques. La diversité des résultats rapportés dans la littérature pourrait alors s'expliquer par le fait que l'analyse des résultats ne se fait pratiquement jamais en prenant en compte le sexe des sujets. Les différences pourraient dès lors dépendre de la proportion de garçons et de filles dans les populations expérimentales retenues.

Dyscalculie et atteinte d'un « module numérique »

Les facteurs évoqués jusqu'ici relient la dyscalculie à un trouble cognitif plus général dont la dyscalculie serait une manifestation. D'autres auteurs au contraire proposent que la dyscalculie résulterait d'un déficit sélectif et spécifique dans une capacité élémentaire à comprendre les nombres. Selon cette conception, principalement défendue par Butterworth (2005), les êtres humains naissent avec une capacité à reconnaître et manipuler mentalement des numérosités. Cette capacité résulterait de l'existence de circuits neuronaux spécifiques spécialisés dans les traitements numériques dont le mauvais développement ou fonctionnement serait à la source de la dyscalculie.

Cette hypothèse prend sa source dans les travaux de psychologie cognitive de ces trente dernières années qui ont mis en évidence des capacités jusque-là insoupçonnées chez les bébés humains. En utilisant des paradigmes expérimentaux particulièrement astucieux reposant sur le phénomène d'habituation, Starkey et Cooper (1980) ont mis en évidence la capacité chez des bébés de 5 mois à discriminer entre des collections de 2 et de 3 objets. Quelques années plus tard, Antell et Keating (1983) retrouvaient cette même capacité chez des bébés âgés seulement de 1 à 3 jours. De nombreuses études ont répliqué ces résultats quelle que soit la manipulation des conditions de présentation des objets (Starkey et coll., 1990). Cependant, pour des quantités supérieures à 3, les résultats sont beaucoup moins clairs. Par exemple, les bébés de 10-12 mois ne pourraient pas discriminer 4 de 5 (Strauss et Curtiss, 1984). Plus récemment, on a établi que les bébés avaient la capacité de discriminer des collections de plus grande taille à condition qu'elles diffèrent suffisamment entre elles. Par exemple, des bébés de 6 mois peuvent faire la

différence entre des collections de 8 et 16 objets mais ne peuvent discriminer 8 de 12 (Xu et Spelke, 2000). Une preuve supplémentaire des capacités numériques innées provient des recherches portant sur l'appariement de collections selon leur taille. Les bébés sont capables d'associer des collections ayant la même taille et ceci bien que ces collections aient été présentées dans des modalités sensorielles différentes (visuelle et auditive, Starkey et coll., 1990 ; voir cependant Moore et coll., 1987). Certains auteurs ont même affirmé que les bébés seraient capables d'effectuer des opérations élémentaires. Dans une série d'expériences, Wynn (1992) a montré que des bébés de 5 mois étaient capables d'effectuer des « calculs » (addition et soustraction) sur de petites quantités (1+1 ou 2-1). Ces résultats ont été répliqués de nombreuses fois (Uller et coll., 1999).

Ces compétences seraient liées à deux systèmes élémentaires et innés de traitement des nombres que nous partageons avec d'autres espèces animales (Feigenson et coll., 2004). Le premier, que nous avons déjà évoqué dans la présentation du modèle du triple code de Dehaene, permettrait la représentation de grandes quantités mais de façon approximative alors que le second permettrait la reconnaissance et discrimination précises de petites quantités mais serait limité à 4 voire 3 items maximum. De nombreuses études utilisant les potentiels évoqués (Dehaene, 1996 ; Kiefer et Dehaene, 1997) ou l'imagerie fonctionnelle (Dehaene et coll., 1999 ; Pinel et coll., 2001) convergent pour suggérer que le premier système est implémenté de manière bilatérale dans le cortex pariétal, et plus précisément dans le sillon intrapariétal. Les associations entre ces aires et celles du langage permettraient la représentation précise des grands nombres et de leur signification. De manière intéressante, les sillons intrapariétaux sont aussi impliqués dans le contrôle des doigts que les enfants utilisent pour compter. En revanche, les tentatives d'identification des corrélats neuronaux du second système ont jusqu'ici échoué.

L'hypothèse générale est que ces systèmes constitueraient les fondements de notre compréhension du nombre et de l'acquisition des habiletés numériques. Ainsi, des déficits précoces de ces systèmes, et principalement du premier, ou une anomalie dans leur développement pourraient être la cause de la dyscalculie chez des enfants se développant par ailleurs de façon tout à fait normale (Feigenson et coll., 2004). Par exemple, pour Butterworth (1999), une atteinte des lobes pariétaux, et plus particulièrement dans l'hémisphère gauche, pourrait affecter à la fois la représentation des doigts qui constitue la source de la représentation précise des nombres au travers des activités de comptage, ainsi que la représentation approximative des quantités permettant les activités d'estimation et de comparaison comme l'a montré Dehaene (1996). La proximité des aires impliquées entraînerait un déficit spécifique du sens des nombres et à terme la dyscalculie. Cette hypothèse donnerait par ailleurs un sens au syndrome de Gertsman qui associe la dyscalculie à une agnosie digitale.

Bien que séduisante, l'hypothèse de l'atteinte d'un « module numérique » n'a reçu jusqu'ici que de rares confirmations empiriques. Il a été observé une perte de matière grise dans le sillon intrapariétal pour deux atteintes associées à la dyscalculie, la grande prématurité (Isaacs et coll., 2001) et le syndrome de Turner (Molko et coll., 2003). Sur le plan comportemental, l'hypothèse du « module numérique » prédit que non seulement l'arithmétique, mais aussi et surtout les activités numériques les plus élémentaires, devraient être affectées. C'est le but de l'étude de Landerl et coll. (2004) déjà évoquée plus haut qui tentent de démontrer que les enfants dyscalculiques ont par ailleurs des déficits dans des activités comme la comparaison de nombres. Bien qu'intéressante, cette étude est cependant comme nous l'avons dit peu concluante. Les enfants dyscalculiques sont certes plus lents que leurs témoins dans une tâche de comparaison mais les groupes avaient au préalable été établis sur la base d'une autre épreuve chronométrée (résolution d'additions et de multiplications). Une autre voie serait d'établir un lien entre l'intégrité des systèmes élémentaires en œuvre chez le bébé et les performances ultérieures en arithmétique. Ansari et Karmiloff-Smith (2002) rapportent une étude où des bébés atteints soit du syndrome de Williams soit de celui de Down sont comparés à des bébés normaux dans une tâche de discrimination de quantités comme celles décrites précédemment (2 *versus* 3 objets). Il apparaît que les bébés atteints du syndrome de Williams ont un comportement comparable à celui des témoins dans leur sensibilité aux différences de quantité. En revanche, les enfants atteints du syndrome de Down semblent privés de ces capacités précoces de discrimination de numérosité. Toutefois, il est connu que les adultes atteints du syndrome de Williams présentent des déficits en arithmétique nettement plus prononcés que les adultes atteints du syndrome de Down. Certes, on peut comme les auteurs conclure de ces faits que le développement est non linéaire, mais on pourrait aussi, et peut-être plus simplement, en inférer que les habiletés précoces mises en évidence chez les nourrissons dans la discrimination de quantités demeurent sans lien avec les acquisitions numériques ultérieures. Finalement, l'étude comportementale apportant le plus de crédit à l'hypothèse du « module numérique » est peut-être celle de Fayol et coll. (1998), bien que celle-ci ne concerne pas directement la dyscalculie. Ces auteurs montrent que les performances d'enfants de 5 et 6 ans à des épreuves neuropsychologiques de gnosie et de discrimination digitale sont de meilleurs prédicteurs des performances arithmétiques en CP que le niveau de développement évalué à l'aide d'épreuves de dessin. Ces données sont confirmées par une étude longitudinale jusqu'au CE2 (Marinthe et coll., 2001). Bien que conformes à l'hypothèse générale de Butterworth, ces résultats ne sont cependant pas totalement concluants, l'évaluation du niveau de développement manquant sans doute de précision et l'étude ne portant pas spécifiquement sur une population en difficulté d'apprentissage.

Dyscalculie et facteurs causaux

Comme on peut le voir, malgré de nombreuses études, les causes de la dyscalculie demeurent obscures et pour l'heure largement indéterminées. S'il semble que les enfants dyscalculiques présentent des déficits de la mémoire de travail et des habiletés spatiales, il est possible que ces troubles n'aient pas le rôle déterminant que beaucoup leur accordent. Peut-être sont-ils fréquemment associés à la dyscalculie sans jouer aucun rôle causal. D'autre part, bien que les aires cérébrales identifiées par Dehaene jouent un rôle certain dans les traitements numériques, il n'en est pas pour autant assuré que les dyscalculies résultent de leur dysfonctionnement. Les activités numériques sont diverses et conceptuellement complexes, et il est peut-être hasardeux de supposer que notre capacité à comprendre et manipuler les nombres dépend du bon fonctionnement d'un ou même plusieurs modules numériques. En effet, certaines des prémisses sur lesquelles l'hypothèse du module numérique a été construite n'ont pas jusqu'ici reçu de confirmation empirique. Ainsi, malgré le caractère spectaculaire des capacités des nourrissons, leur lien avec les activités numériques ultérieures de l'enfant et de l'adulte reste à établir. Il n'est pas exclu par ailleurs que la dyscalculie résulte d'une conjonction des facteurs évoqués plus que de l'un ou l'autre d'entre eux considéré isolément.

Pronostic et évolution de la dyscalculie de développement

Il n'existe pour l'heure pas d'étude de l'impact à long terme de la dyscalculie sur le devenir social ou professionnel des individus atteints de dyscalculie développementale. Toutefois, un certain nombre d'études se sont intéressées à l'évolution des troubles au cours de la scolarité afin d'évaluer la stabilité de l'atteinte au cours du temps ainsi que celle des sous-types parfois distingués. Ces études adoptent bien sûr une démarche longitudinale par suivi de cohorte. Une des plus complètes a été conduite par Shalev et son équipe qui ont suivi les enfants identifiés comme dyscalculiques par Gross-Tsur et coll. (1996). Ceux-ci étaient 140 à l'âge de 11 ans. Rappelons que les critères d'inclusion étaient un QI supérieur à 80 et des performances aux tests d'arithmétique inférieures de deux ans au niveau scolaire actuel de l'enfant. Les mêmes enfants sont testés trois ans plus tard par Shalev et coll. (1998) qui retrouvent 123 des 144 enfants de la cohorte initiale et 6 ans plus tard par Shalev et coll. (2005). Ils sont alors 104. Sont considérés dyscalculiques les enfants situés en dessous du percentile 5 d'une population d'étalonnage. Les auteurs observent que 47 % des enfants diagnostiqués dyscalculiques en CM2 le sont toujours 3 ans plus tard selon les critères retenus, ce taux se maintenant à 40 % 6 ans plus tard. Cependant, après 6 ans, 95 % des enfants continuent à éprouver des difficultés en

mathématiques et se situent dans le quartile inférieur de leur classe d'âge. Les auteurs ont en outre analysé l'impact d'un grand nombre de facteurs sur la persistance de la dyscalculie. Les individus présentant un trouble persistant ont un QI plus faible que les autres et présentent plus fréquemment des troubles attentionnels. Si les 42 enfants qui sont toujours identifiés comme dyscalculiques à 17 ans ne se distinguent pas des autres par de plus fréquentes difficultés en lecture (le taux d'enfants ayant des problèmes en lecture serait inférieur à 10 % dans les deux groupes), ils manifestent cependant plus fréquemment des difficultés sur les tests d'écriture. En revanche, le statut socioéconomique, le niveau d'éducation des parents, le sexe, ou encore les performances au test de la figure de Rey sont des facteurs qui n'ont pas d'impact sur la persistance du trouble. Les auteurs relèvent avec un certain désarroi que les interventions pédagogiques et les diverses tentatives de remédiation n'ont pas d'impact sur la persistance du trouble.

L'étude de Shalev et coll. (1998 et 2005) ne distingue pas entre troubles spécifiques aux mathématiques et troubles plus généraux des apprentissages. On a vu précédemment que cette distinction est pertinente en ce qui concerne l'importance des déficits dans le domaine numérique. L'est-elle aussi en ce qui concerne l'évolution des troubles ? C'est la question que posent Silver et coll. (1999). Les auteurs identifient 80 enfants de 9 à 13 ans présentant une déficience en arithmétique parmi lesquels ils distinguent les enfants ayant des difficultés en arithmétique seulement (sous-type A), en arithmétique et lecture (AL), arithmétique et orthographe (AO) ou bien dans les trois matières (ALO). Pour être classé déficient dans une matière donnée, l'enfant doit obtenir un QI supérieur à 90 (WISC-R), un score standardisé dans la matière inférieur à 90 et s'écartant de plus d'un écart-type (15 points) du QI. Au bout de 19 mois, les mêmes enfants sont à nouveau soumis à des tests scolaires. Les résultats sont conformes aux observations de Shalev, 53 % des enfants étant toujours diagnostiqués dyscalculiques. Toutefois, il existe des différences de stabilité entre les sous-types. Le sous-type le plus stable est constitué des enfants présentant les déficits les plus nombreux : 60 % des enfants classés ALO lors du premier test le sont encore lors du second et 96 % d'entre eux présentent toujours au moins deux matières déficitaires. En revanche, seuls 31 % des enfants catégorisés A lors du premier test le sont toujours lors du second, 42 % d'entre eux ne remplissant plus les critères d'inclusion pour aucune matière. Ce dernier phénomène ne s'observe jamais dans le groupe ALO et seulement chez 17 % des enfants initialement classés AO ou AL. En résumé, l'atteinte est d'autant plus stable qu'elle est généralisée, les troubles en arithmétique étant d'autant plus volatils qu'ils sont spécifiques.

Ces faits se trouvent confirmés par une étude longitudinale conduite par l'équipe de Jordan (Jordan et coll., 2002). Cette étude a la particularité de

recourir à une méthode originale consistant à analyser les courbes de développement afin de déterminer la vitesse de développement (ou d'apprentissage) de divers groupes dans divers domaines d'activité en maintenant constantes un certain nombre de variables telles que le QI, le sexe, ou encore le niveau de revenus des parents. Jordan et coll. (2002) identifient 180 enfants de CE1 ayant des difficultés en mathématiques seulement (MD), en lecture seulement (LD), dans les deux matières (MD-LD) ou bien dans aucune et présentant des performances normales dans les deux domaines (PN). Le critère retenu était un score au dessous du 35^e percentile à l'entrée du CE1 (évaluation à l'aide de la batterie Woodcock-Johnson). Il s'agit d'un critère plus élevé qu'à l'accoutumée mais qui présente l'avantage de permettre la constitution d'échantillons importants. Les enfants sont ensuite évalués à trois reprises, au printemps du CE1, à l'automne et au printemps du CE2. Les résultats font apparaître que les enfants MD présentent une vitesse de développement supérieure à celle des enfants MD-LD en mathématiques, qu'il s'agisse d'opérations ou de résolution de problèmes. Dans le domaine des opérations, les enfants MD rejoignent même pratiquement les enfants des groupes PN et LD à la fin du CE2. Les résultats en ce qui concerne la lecture sont fort différents. En début de CE1, les groupes MD et PN sont bien entendu supérieurs aux groupes LD et MD-LD, mais ces différences demeurent inchangées au bout de deux ans, les enfants LD ne se développant pas plus vite que les enfants MD-LD. En d'autres termes, les enfants qui ont un trouble spécifique en arithmétique au début du CE1 se développent plus vite en arithmétique que ceux qui ont des difficultés en arithmétique et en lecture, et ils rattrapent en deux ans une part substantielle de leur retard sur les enfants normaux. À l'inverse, les enfants ayant un trouble spécifique en lecture ne se distinguent pas dans leur apprentissage de lecture des enfants ayant des difficultés globales. Il ressort de cette étude que les difficultés spécifiques en arithmétique sont relativement instables dans le temps, ce qui n'est pas le cas des difficultés en lecture.

En résumé, les études disponibles s'accordent à considérer que la dyscalculie est un trouble relativement persistant. Cette persistance semble d'autant plus forte que la dyscalculie n'est pas un trouble isolé et que le QI de l'enfant est faible, ce qui est somme toute assez peu étonnant. On notera cependant une différence avec la lecture, dont la persistance des troubles semble indépendante d'une éventuelle dyscalculie associée, au moins dans l'étude de Jordan et coll. (2002).

Interventions

Les études rapportant les effets d'interventions auprès d'enfants dyscalculiques en vue d'améliorer leurs performances en arithmétique sont rares. Il

existe certes de nombreux programmes d'intervention auprès d'enfants à risque ayant pour but d'introduire des activités et jeux numériques dans le cursus préscolaire aux États-Unis et en Grande-Bretagne (tableau 11.II). L'efficacité de ces programmes sur des enfants dyscalculiques n'a, à notre connaissance, pas été testée. En revanche, Van Luit et Schopman (2000) ont conduit une étude sur 124 enfants âgés de 5 à 7 ans dont le score à une épreuve de compréhension et de mise en œuvre du dénombrement (*Utrecht Test for Number Sense*) se situait dans le quartile inférieur. La moitié de ces enfants bénéficiaient de deux séances hebdomadaires par groupe de 3 d'une durée d'une demi-heure durant laquelle ils se familiarisaient avec les diverses représentations possibles et le dénombrement de collections de 1 à 15 objets. L'autre moitié constituait le groupe témoin. À la fin des 6 mois d'intervention, le groupe entraîné avait de bien meilleures performances que le groupe témoin, mais seulement sur les activités ayant donné lieu à apprentissage sans aucun transfert à des tâches similaires mais non identiques.

Tableau 11.II : Programmes d'intervention auprès des enfants à risque

Références Pays	Programmes
Programmes préscolaires	
Griffin et coll., 1994 États-Unis	<i>Righstart Program</i>
Starkey et Klein, 2000 États-Unis	<i>Berkeley Maths Readiness Project</i>
Arnold et coll., 2002 États-Unis	<i>Head Start Program</i>
Ginsburg et coll., 2003 États-Unis	<i>Big Math for Little Kids Program</i>
Gouvernement britannique Grande-Bretagne	<i>Family Numeracy Program</i>
Programmes individuels	
Wright et coll., 2000, 2002 Australie	<i>Mathematics Recovery Program</i>
Dowker, 2001 Grande-Bretagne	<i>Numeracy Recovery</i>

À l'inverse, l'étude de Trundley (1998) offre des résultats plus encourageants, peut-être parce que les objectifs en étaient aussi plus limités : il s'agissait de faire acquérir des stratégies dites *derived fact* où un résultat est dérivé d'un fait numérique connu ($7+5$ font 12 parce que $5+5=10$ et 2, 12). C'est ici l'impact d'interventions individuelles qui était testé auprès d'enfants en difficulté en arithmétique. Les professeurs impliqués dans le

programme offraient une séance individuelle de 20 minutes par semaine durant laquelle les habiletés de comptage étaient renforcées, les faits arithmétiques déjà connus étaient révisés et l'utilisation de faits numériques était suscitée et entraînée afin de dériver des réponses à des problèmes inconnus. Après 5 mois, le nombre de faits arithmétiques connus avait fortement augmenté, les procédures de comptage s'étaient diversifiées et la stratégie des faits dérivés étendue à de nombreux problèmes. Une intervention auprès de 6 enfants dyscalculiques de 9 et 10 ans conduite par Kaufmann et coll. (2003) portant sur une plus vaste gamme d'activités s'est aussi avérée efficace.

Des programmes individuels s'adressant à des enfants dyscalculiques ont été testés avec succès en Australie, le *Mathematics Recovery Program* (Wright et coll., 2000 et 2002), et en Angleterre le *Numeracy Recovery* (Dowker, 2001). Le premier est intensif (1/2 heure par jour pendant 3 mois), le second l'étant beaucoup moins (1/2 heure par semaine sur 30 semaines). Dans les deux cas, les interventions sont faites par les enseignants. Ces programmes ont la particularité de focaliser leur action sur les aspects des activités numériques les plus déficitaires chez les participants. Ces programmes s'avèrent efficaces, les enfants rattrapant parfois leur retard. Par ailleurs, l'étude de Dowker fait état d'un effet de l'apprentissage lors d'un post-test à un an.

Hasselbring et coll. (1988) ont pour leur part proposé une intervention à des enfants dyscalculiques plus âgés qui, comme on l'a vu, se caractérisent par une incapacité à mémoriser les faits numériques. Les auteurs utilisent un programme informatique qui crée des exercices individualisés présentant un mélange d'opérations dont le résultat est connu de l'enfant et d'opérations dont il ignore la réponse. Le programme force l'enfant à donner sa réponse sur la base d'une récupération en mémoire. L'entraînement était poursuivi jusqu'à ce que l'enfant utilise cette stratégie. Ce procédé est efficace pour la plupart des enfants dyscalculiques mais pas tous. Les enfants utilisant quasi exclusivement des stratégies de comptage sur les doigts ne bénéficient pas de l'apprentissage. Comme le soulignent Gersten et coll. (2005), l'utilisation de l'informatique pour créer des exercices adaptés au niveau de l'enfant constitue sans doute une alternative possible aux exercices sur papier effectués par le groupe classe en entier. De fait, un grand nombre de programmes informatisés ont été développés, les études utilisant ces programmes faisant état de résultats positifs mais sur de petits échantillons. Toutefois, la méta-analyse conduite par Kroesbergen et Van Luit (2003) semble indiquer que les interventions utilisant des programmes informatiques sont moins efficaces que celles conduites par les professeurs.

En résumé, bien que rares, les études sur les interventions laissent penser que des programmes ciblés sur les points les plus déficitaires au cours desquels des exercices adaptés sont proposés par les enseignants en situation individuelle ont une efficacité réelle. Toutefois, il convient de garder à l'esprit que les

troubles précoces sur lesquels portent beaucoup de ces études (6-7 ans) sont aussi les plus labiles, ce qui peut accroître le nombre de faux positifs dans ces études, et que l'effet de ces interventions à long terme demeure jusqu'ici inconnu alors que la dyscalculie est décrite le plus souvent comme un trouble durable, surtout lorsqu'il s'accompagne d'autres difficultés d'apprentissage. Par ailleurs, à l'exception des programmes informatiques et sans amoindrir le mérite des auteurs, le contenu de ces programmes ne semble pas différer fondamentalement des activités numériques que l'on trouve dans les manuels scolaires ou que pourrait imaginer tout pédagogue un peu inventif, une part importante de leur effet résidant peut-être davantage dans le caractère individuel de la prise en charge que dans l'originalité des activités proposées.

En conclusion, comme de nombreux auteurs le font remarquer, les études sur la dyscalculie n'en sont qu'à leurs débuts et notre degré de connaissance dans ce domaine ne peut être comparé à celui que nous avons acquis concernant la dyslexie. Bien que les difficultés rencontrées par de nombreux enfants en arithmétique et plus tard en mathématiques constituent un problème crucial dans une société technologique comme la nôtre, nos connaissances concernant la dyscalculie sont lacunaires et incertaines. Comme nous l'avons vu, il n'existe pas encore de définition ou de critères diagnostiques universellement admis de la dyscalculie. Ses causes demeurent incertaines et font l'objet de débats, certains hésitant même à la considérer comme un trouble primaire et la considérant comme une conséquence d'un trouble plus général des fonctions cognitives. Il n'est pas certain que de réels sous-types qui différeraient qualitativement puissent être distingués. Enfin, les manifestations du trouble ont jusqu'ici été analysées dans les domaines les mieux connus par la psychologie (le dénombrement, les stratégies de résolution des opérations simples, les algorithmes des opérations complexes), lesquels ne constituent qu'une petite partie des activités numériques et arithmétiques auxquelles les enfants sont quotidiennement confrontés dans la classe.

La limitation de nos connaissances concernant la dyscalculie est due à la fois au faible nombre d'études consacrées à la dyscalculie, comparativement à la dyslexie par exemple, mais surtout à l'ampleur et à la difficulté même de l'objet d'étude. Bien que la « lecture » et le « calcul » soient souvent mis sur un pied d'égalité comme les acquisitions fondamentales de l'école primaire, cela ne doit pas faire oublier que ces domaines ne sont pas comparables dans leur complexité sur le plan cognitif. Ce que l'on entend par traitements numériques et arithmétiques recouvre en réalité une grande variété d'activités allant de la quantification rapide de petites collections à la résolution de problèmes à énoncés verbaux impliquant la planification de solutions en plusieurs étapes, en passant par l'utilisation de plusieurs codes (oral, écrit, arabe), de nombreuses formes de dénombrement, la compréhension de la

notation en base 10, celle des nombres décimaux, des fractions, la manipulation d'algorithmes complexes pour résoudre les opérations... En outre, il revient à l'enfant d'intégrer chacune de ces acquisitions dans un système conceptuel qui est un univers à lui seul. Ainsi, il n'est pas étonnant que la dyslexie et les déficits qui la provoquent soient mieux compris que la dyscalculie. En outre, les activités numériques impliquent un tel nombre de fonctions cognitives que l'on peut légitimement douter de la possibilité d'identifier « la » fonction déficitaire qui serait à l'origine des difficultés en arithmétique. En tout état de cause, la dyscalculie est parmi les troubles de l'apprentissage pour lesquels les besoins de recherche sont les plus urgents. Il serait avant toute chose souhaitable que la communauté scientifique parvienne à un accord sur un ensemble de critères unanimement reconnus qui faciliteraient la comparaison entre études. Il est probable que les divergences observées aujourd'hui sont en partie dues au fait que les populations désignées sous des vocables identiques varient parfois fortement d'une étude à l'autre. Ensuite, la plupart des recherches se sont jusqu'ici limitées à un sous-ensemble relativement réduit des activités numériques qui pourraient faire l'objet d'une étude. Les recherches futures devront à l'évidence élargir cet éventail. On ne sait en effet presque rien de la compréhension par les dyscalculiques des nombres décimaux ou des fractions, mais aussi d'éventuelles difficultés dans l'acquisition du code arabe, la compréhension des concepts régissant les opérations comme la commutativité ou l'identité, ou encore leur capacité d'estimation des grandes quantités, sans parler de possibles difficultés dans le domaine du raisonnement. Enfin, les premières étapes des apprentissages devraient faire l'objet d'une attention particulière. Si, comme le pensent certains, la dyscalculie est bien un trouble spécifique dû au dysfonctionnement de structures cérébrales spécialisées, un effort de recherche particulier devrait se porter sur la cognition numérique chez le jeune enfant, à l'âge des toutes premières acquisitions, bien avant l'entrée à l'école primaire. Ce n'est que lorsque les causes de la dyscalculie seront mieux comprises que des programmes d'intervention raisonnés pourront être conçus, programmes dont l'efficacité devra être rigoureusement évaluée.

BIBLIOGRAPHIE

ACKERMAN PT, ANHALT JM, DYKMAN RA. Arithmetic automatization failure in children with attention and reading disorders: associations and sequela. *Journal of Learning Disabilities* 1986, **19** : 222-231

ALARCON M, DEFRIES JC, LIGHT JG, PENNINGTON BF. A twin study of mathematics disability. *Journal of Learning Disabilities* 1997, **30** : 617-623

AMERICAN PSYCHIATRIC ASSOCIATION. Troubles des apprentissages (auparavant troubles des acquisitions scolaires). In : DSM-IV-TR. manuel diagnostique et statis-

- tique des troubles mentaux. American Psychiatric Association, Masson, 2004 : 56-65
- ANSARI D, KARMILOFF-SMITH A. Atypical trajectories of number development: A neuroconstructivist perspective. *Trends in Cognitive Sciences* 2002, **6** : 511-516
- ANTELL S, KEATING DP. Perception of numerical invariance in neonates. *Child Development* 1983, **54** : 695-701
- ARAM DM, EKELMAN BL. Scholastic aptitude and achievement among children with unilateral brain lesions. *Neuropsychologia* 1988, **26** : 903-916
- ARNOLD DH, FISHER PH, DOCTOROFF GL, DOBBS J. Accelerating math development in Head Start classrooms. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 762-770
- ASHCRAFT MH. The development of cognitive arithmetic : A chronometric approach. *Developmental Review* 1982, **2** : 213-236
- ASHCRAFT MH, YAMASHITA TS, ARAM DM. Mathematics performance in left and right brain-lesioned children and adolescents. *Brain & Cognition* 1992, **19** : 208-252
- BADIAN NA. Dyscalculia and nonverbal disorders of learning. In : Progress in learning disabilities. MYKLEBUST HR (ed). (Vol 5), Stratton, New York, NY, 1983 : 235-364
- BALLOTIN U, ISOLA V, LARIZZA D, PICCINELLI P, ROSSI G, CURTO FL. Cognitive functions in Turner's syndrome. *Minerva Pediatrica* 1998, **50** : 419-425
- BARNES MA, SMITH-CHANT B, LANDRY SH. Number processing in neurodevelopmental disorders: Spina bifida myelomeningocele. In : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New York, NY, 2005 : 299-314
- BARROUILLET P, LÉPINE R. Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems. *Journal of Experimental Child Psychology* 2005, **91** : 183-204
- BARROUILLET P, FAYOL M, LATHULIÈRE E. Selecting between competitors in multiplication tasks: An explanation of the errors produced by adolescents with learning difficulties. *International Journal of Behavioral Development* 1997, **21** : 253-275
- BARROUILLET P, CAMOS V, PERRUCHET P, SERON X. ADAPT: A Developmental, Asemantic, and Procedural model for Transcoding from verbal to Arabic numerals. *Psychological Review* 2004a, **111** : 368-394
- BARROUILLET P, BERNARDIN S, CAMOS V. Time constraints and resource sharing in adults' working memory spans. *Journal of Experimental Psychology: General* 2004b, **133** : 83-100
- BENNETTO L, TAYLOR AK, PENNINGTON BF, PORTER D, KAGERMAN RJ. Profile of cognitive functioning in women with the fragile X mutation. *Neuropsychology* 2001, **15** : 290-299
- BENTON AL. Mathematical disability and the Gerstmann syndrome. In : Mathematical disabilities. A cognitive neuropsychological perspective. DELOCHE G, SERON X (eds). Lawrence Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1987 : 111-120
- BRIARS D, SIEGLER RS. A feature analysis of preschoolers' counting knowledge. *Developmental Psychology* 1984, **20** : 607-618

BRYANT DP, BRYANT BR, HAMMILL DD. Characteristic behaviors of students with LD who have teacher-identified math weaknesses. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 168-177

BULL R, JOHNSTON RS. Children's arithmetic difficulties: Contribution from processing speed, item identification, and short-term memory. *Journal of Experimental Child Psychology* 1997, **65** : 1-24

BULL R, SCERIF G. Executive functioning as a predictor of children's mathematics ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology* 2001, **19** : 273-293

BULL R, JOHNSTON RS, ROY JA. Exploring the role of the visual-spatial sketch pad and central executive in children's arithmetical skills: Views from cognition and developmental neuropsychology. *Developmental Neuropsychology* 1999, **15** : 421-442

BUTTERWORTH B. What counts: How every brain is hardwired for math. The Free Press, New York, NY, 1999

BUTTERWORTH B. Developmental dyscalculia. In : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New York, NY, 2005 : 455-468

CARPENTER TP, MOSER JM. The acquisition of addition and subtraction concepts in grades one through three. *Journal of Research in Mathematics Education* 1984, **15** : 179-202

COHN R. Arithmetic and learning disabilities. In : Progress in learning disabilities. MYKLEBUST HR (ed). Grune & Stratton, New York, 1971 : 322-389

CONWAY ARA, ENGLE RW. Working memory and retrieval: A resource-dependent inhibition model. *Journal of Experimental Psychology: General* 1994, **4** : 354-373

DANEMAN M, CARPENTER PA. Individual differences in working memory and reading. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 1980, **19** : 450-466

DEHAENE S. Varieties of numerical abilities. *Cognition* 1992, **4** : 1-42

DEHAENE S. The organization of brain activations in number comparison: Event-related potentials and the additive-factors method. *Journal of Cognitive Neurosciences* 1996, **8** : 47-68

DEHAENE S. The number sense. Oxford University Press, New York, 1997

DEHAENE S, COHEN L. Towards an anatomical and functional model of number processing. *Mathematical Cognition* 1995, **1** : 83-120

DEHAENE S, COHEN L. Cerebral pathways for calculation: Double dissociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex* 1997, **33** : 219-250

DEHAENE S, SPELKE L, STANESCU R, PINEL P, TSIVKIN S. Sources of mathematical thinking: Behavioral and brain-imaging evidence. *Science* 1999, **284** : 970-974

DEHAENE S, PIAZZA M, PINEL P, COHEN L. Three parietal circuits for number processing. *Cognitive Neuropsychology* 2003, **20** : 487-506

DESOETE A, ROEYERS H, DE CLERCQ A. Children with mathematics learning disabilities in Belgium. *Journal of Learning Disabilities* 2004, **37** : 50-61

- DOWKER A. Individual differences in normal arithmetical development. In : The development of mathematical skills. DONLAN C (ed). Psychology Press, Hove, England, 1998 : 275-302
- DOWKER A. Numeracy recovery: A pilot scheme for early intervention with young children with numeracy difficulties. *Support for Learning* 2001, **16** : 6-10
- FAYOL M. L'enfant et le nombre. Delachaux & Niestlé, Lausanne, 1990
- FAYOL M, BARROUILLET P, MARINTHE C. Predicting arithmetic achievement from neuropsychological performance: A longitudinal study. *Cognition* 1998, **68** : B63-B70
- FEIGENSON L, DEHAENE S, SPELKE E. Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences* 2004, **8** : 307-314
- FLETCHER JM. Predicting math outcomes: Reading predictors and comorbidity. *Journal of Learning Disabilities* 2005, **38** : 308-312
- FUCHS LS, FUCHS D. Mathematical problem-solving profiles of students with mathematics disabilities with and without comorbid reading disabilities. *Journal of Learning Disabilities* 2002, **35** : 563-573
- FUSON KC. Children's counting and concepts of number. New York, Springer-Verlag, 1988
- GATHERCOLE SE, PICKERING SJ. Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology* 2000, **92** : 377-390
- GATHERCOLE SE, PICKERING SJ, KNIGHT C, STEGMANN Z. Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology* 2004, **18** : 1-16
- GEARY DC. A componential analysis of an early learning deficit in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology* 1990, **49** : 363-383
- GEARY DC. Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological, and genetic components. *Psychological Bulletin* 1993, **114** : 345-362
- GEARY DC. Children's mathematical development: Research and practical applications. American Psychological Association, Washington, DC, 1994
- GEARY DC. Mathematics and learning disabilities. *Journal of Learning Disabilities* 2004, **37** : 4-15
- GEARY DC, BROWN SC. Cognitive addition: Strategy choice and speed-of-processing differences in gifted, normal, and mathematically disabled children. *Developmental Psychology* 1991, **27** : 398-406
- GEARY DC, HOARD MK. Learning disabilities in arithmetic and mathematics: Theoretical and empirical perspectives. In : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). New York, NY, Psychology Press, 2005 : 253-268
- GEARY DC, WIDAMAN KF, LITTLE TD, CORMIER P. Cognitive addition : Comparison of learning disabled and academically normal elementary school children. *Cognitive Development* 1987, **2** : 249-269

GEARY DC, BROWN SC, SAMARANAYAKE VA. Cognitive addition: A short longitudinal study of strategy choice and speed-of-processing differences in normal and mathematically disabled children. *Developmental Psychology* 1991, **27** : 787-798

GEARY DC, BOW-THOMAS C, YAO Y. Counting knowledge and skill in cognitive addition: A comparison of normal and mathematically disabled children. *Journal of Experimental Child Psychology* 1992, **54** : 372-391

GEARY DC, HOARD MK, HAMSON CO. Numerical and arithmetical cognition: Patterns of functions and deficits in children at risk for mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **74** : 213-239

GEARY DC, HAMSON CO, HOARD MK. Numerical and arithmetical cognition: A longitudinal study of process and concepts deficits in children with learning disability. *Journal of Experimental Child Psychology* 2000, **77** : 236-263

GEARY DC, HOARD MK, BYRD-CRAVEN J, DESOTO MC. Strategy choices in simple and complex additions: Contributions of working memory and counting knowledge for children with mathematical disability. *Journal of Experimental Child Psychology* 2004, **88** : 121-151

GELMAN R, GALLISTEL CR. The child's understanding of number. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1978

GELMAN R, MECK E. Preschooler's counting: Principles before skills. *Cognition* 1983, **13** : 343-359

GERSTEN R, JORDAN NC, FLOJO JR. Early identification and interventions for students with mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities* 2005, **38** : 293-304

GERSTMANN J. Syndrome of finger agnosia, disorientation for right and left, agraphia, and acalculia. *Archives of Neurology: Psychiatry* 1940, **44** : 398-408

GINSBURG HP, GREENES C, BALTANZ R. Big Math for Little Kids. Dale Seymour Publications, Parsippany, NJ, 2003

GRIFFIN SA, CASE R, SIEGLER R. Righstart: Providing the central conceptual prerequisites for first formal learning of arithmetic to students at risk for school failure. In : Classroom lessons: Integrating cognitive theory and classroom practice. MCGILLY K (ed). MIT Press, Cambridge, MA, 1994 : 25-49

GROEN GJ, RESNICK LB. Can preschool children invent addition algorithm? *Journal of Educational Psychology* 1977, **69** : 645-652

GROSS-TSUR V, MANOR O, SHALEV RS. Developmental dyscalculia, gender, and the brain. *Archives of Disease in Childhood* 1993, **68** : 510-512

GROSS-TSUR V, MANOR O, SHALEV RS. Developmental dyscalculia: Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1996, **38** : 25-33

HANISH LB, JORDAN NC, KAPLAN D, DICK J. Performance across different areas of mathematical cognition in children with learning difficulties. *Journal of Educational Psychology* 2001, **93** : 615-626

HASSELBRING TS, GOIN LI, BRANSFORD JD. Developing math automaticity in learning handicapped children: The role of computerized drill and practice. *Focus on Exceptional Child* 1988, **20** : 1-7

- HÉCAEN H, ANGELERGUES R, HOUILLIER S. Les variétés cliniques des acalculies au cours des lésions rétro-rolandiques: Approche statistique du problème. *Revue de Neurologie* 1961, **105** : 85-103
- HITCH GJ, MCAULEY E. Working memory in children with specific arithmetical learning difficulties. *British Journal of Psychology* 1991, **82** : 375-386
- ISAACS EB, EDMONDS CJ, LUCAS A, GADIAN D. Calculations difficulties in children of very low birthweight: A neural correlate. *Brain* 2001, **124** : 1701-1707
- JORDAN NC, MONTANI TO. Cognitive arithmetic and problem solving: A comparison of children with specific and general mathematics difficulties. *Journal of Learning Disabilities* 1997, **30** : 624-634
- JORDAN NC, HANISH LB. Mathematical thinking in second-grade children with different forms of LD. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 567-578
- JORDAN NC, KAPLAN D, HANISH LB. Achievement growth in children with learning difficulties in mathematics: Findings of a two-year longitudinal study. *Journal of Educational Psychology* 2002, **94** : 586-597
- JORDAN NC, HANISH LB, KAPLAN D. Arithmetic fact mastery in young children: A longitudinal investigation. *Journal of Experimental Child Psychology* 2003a, **85** : 103-119
- JORDAN NC, HANISH LB, KAPLAN D. A longitudinal study of mathematical competencies in children with specific mathematics difficulties versus children with comorbid mathematics and reading difficulties. *Child Development* 2003b, **74** : 834-850
- KAUFMANN L, HANDL P, THONY B. Evaluation of a numeracy intervention program focusing on basic numerical knowledge and conceptual knowledge: A pilot study. *Journal of Learning Disabilities* 2003, **36** : 564-573
- KIEFER M, DEHAENE S. The time course of parietal activation in single-digit multiplication: Evidence from event-related potentials. *Mathematical Cognition* 1997, **3** : 1-30
- KOONST KL, BERCH DB. Identifying simple numerical stimuli: Processing inefficiencies exhibited by arithmetic learning disabled children. *Mathematical Cognition* 1996, **2** : 1-23
- KOSC L. Developmental dyscalculia. *Journal of Learning Disabilities* 1974, **7** : 164-177
- KROESBERGEN EH, VAN LUIT JEH. Mathematics interventions for children with special educational needs: A meta-analysis. *Remedial and Special Education* 2003, **24** : 97-114
- LANDERL K, BEVAN A, BUTTERWORTH B. Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8-9-year-old students. *Cognition* 2004, **93** : 99-125
- LÉPINE R, BARROUILLET P, CAMOS V. What makes working memory spans so predictive of high-level cognition? *Psychonomic Bulletin and Review* 2005, **12** : 165-170
- LEWIS C, HITCH GJ, WALKER P. The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- to 10-year-old boys and girls. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 1994, **35** : 283-292

LIGHT JG, DEFRIES JC. Comorbidity of reading and mathematics disabilities: Genetic and environmental etiologies. *Journal of Learning Disabilities* 1995, **28** : 96-106

LOGAN GD. Toward an instance theory of automatization. *Psychological review* 1988, **95** : 492-527

MANOR O, SHALEV RS, JOSEPH A, GROSS-TSUR V. Arithmetic skills in kindergarten children with developmental language disorders. *European Journal of Paediatric Neurology* 2000, **5** : 71-77

MARINTHE C, FAYOL M, BARROUILLET P. Des gnosies digitales à la performance arithmétique. In : Les dyscalculies. VAN HOUT A, MELJAC C (eds). Masson, Paris, 2001

MAZOCCO MMM. Math learning Disability and Math LD subtypes: Evidence from studies of Turner syndrome, fragile X syndrome, and neurofibromatosis type 1. *Journal of Learning Disabilities* 2001, **34** : 520-533

MAZOCCO MMM, MYERS GF. Complexities in identifying and defining mathematics learning disability in the primary school-age years. *Annals of Dyslexia* 2003, **53** : 218-253

MAZOCCO MMM, MCCLOSKEY M. Math performance in girls with Turner or fragile X syndrome. In : Handbook of mathematical cognition. CAMPBELL JID (ed). Psychology Press, New York, NY, 2005 : 269-298

MCCLOSKEY M, CARAMAZZA A, BASILI A. Cognitive mechanisms in number processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition* 1985, **4** : 171-196

MCLEAN JF, HITCH GJ. Working memory impairments in children with specific arithmetic learning difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology* 1999, **74** : 240-260

MOLKO N, CACHIA A, RIVIERE D, MANGIN J, BRUANDET M, et coll. Functional and structural alterations of the intraparietal sulcus in a developmental dyscalculia of genetic origin. *Neuron* 2003, **40** : 847-858

MOORE D, BENENSON J, REZNICK JS, PETERSON M, KAGAN J. Effect of auditory numerical information on infants' looking behavior: Contradictory evidence. *Developmental Psychology* 1987, **23** : 665-670

NICHELLI P, VENNERI A. Right hemisphere developmental learning disability: A case study. *Neurocase* 1995, **1** : 173-177

NOËL MP. La dyscalculie développementale: Un état de la question. In : Neuropsychologie des troubles du calcul et du traitement des nombres. PESENTI M, SERON X (eds). Solal, Marseille, 2000 : 59-84

O'HARE AE, BROWN JK, AITKEN K. Dyscalculia in children. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1991, **33** : 356-361

OSTAD SA. Developmental differences in addition strategies: A comparison of mathematically disabled and mathematically normal children. *British Journal of Educational Psychology* 1997, **67** : 345-357

- OSTAD SA. Comorbidity between mathematics and spelling difficulties. *Log Phon Vocol* 1998, **23** : 145-154
- OSTAD SA. Developmental progression of subtraction strategies: A comparison of mathematically normal mathematically disabled children. *European Journal of Special Needs Education* 1999, **14** : 21-36
- OSTAD SA. Cognitive subtraction in a developmental perspective: Accuracy, speed-of-processing and strategy-use differences in normal and mathematically disabled children. *Focus on Learning Problems in Mathematics* 2000, **22** : 18-31
- PENNINGTON BF. Genetics of learning disabilities. *Seminars in Neurology* 1991, **11** : 28-34
- PINEL P, DEHAENE S, RIVIERE D, LEBIHAN D. Modulation of parietal activation by semantic distance in number comparison task. *Neuroimage* 2001, **14** : 1013-1026
- ROURKE BP. Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *Journal of Learning disabilities* 1993, **26** : 214-226
- ROURKE BP, FINLAYSON MA. Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance: Verbal and visuo-spatial abilities. *Journal of Abnormal Child Psychology* 1978, **6** : 121-133
- ROURKE BP, STRANG JD. Neuropsychological significance of variations in patterns of academic performance: Motor, psychomotor, and tactile-perceptual abilities. *Journal of Pediatric Psychology* 1978, **3** : 62-66
- ROURKE BP, CONWAY JA. Disabilities of arithmetic and mathematical reasoning: Perspective from neurology and neuropsychology. *Journal of Learning disabilities* 1997, **30** : 34-46
- ROVET JF. The psychoeducational characteristics of children with Turner syndrome. *Journal of Learning disabilities* 1993, **26** : 333-341
- ROVET JF, SZEKELY C, HOCKENBERRY MN. Specific arithmetic calculation deficits in children with Turner syndrome. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology* 1994, **16** : 820-839
- SEIDENBERG M, BECK N, GEISSER M, GIORDANI B, SACKELLARES JC, et coll. Academic achievement of children with epilepsy. *Epilepsia* 1986, **27** : 753-759
- SHALEV RS. Developmental dyscalculia. In : *Handbook of neuropsychology*. SEGALOWITZ SJ, RAPIN I (eds). Vol. 8, Elsevier, Amsterdam, 2003 : 717-729
- SHALEV RS, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia and medical assessment. *Journal of Learning Disabilities* 1993, **26** : 134-137
- SHALEV RS, GROSS-TSUR V. Developmental Dyscalculia. *Pediatric Neurology* 2001, **24** : 337-342
- SHALEV RS, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia behavioral and attentional aspects: A research note. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 1995, **36** : 1261-1268
- SHALEV RS, MANOR O, GROSS-TSUR V. Neuropsychological aspects of developmental dyscalculia. *Mathematical Cognition* 1997, **33** : 105-120

SHALEV RS, MANOR O, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Persistence of developmental dyscalculia: What counts? *Journal of Pediatrics* 1998, **133** : 358–362

SHALEV RS, MANOR O, KEREM B, AYALI M, BADICHI N, FRIEDLANDER Y, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia is a familial learning disability. *Journal of Learning Disabilities* 2001, **34** : 59-65

SHALEV RS, MANOR O, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia: A prospective six-year follow-up. *Developmental Medicine and Child Neurology* 2005, **47** : 121–125

SHARE DL, MOFFITT TE, SILVA PA. Factors associated with arithmetic-and-reading disability and specific arithmetic disability. *Journal of Learning Disabilities* 1988, **21** : 313-320

SIEGEL LS, RYAN EB. The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children. *Child Development* 1989, **60** : 973-980

SIEGLER RS. The perils of averaging data over strategies: An example from children's addition. *Journal of Experimental Psychology: General* 1987, **116** : 250-264

SIEGLER RS. *Emerging minds: The process of change in children's thinking*. Oxford University Press, New York, 1996

SIEGLER RS, SHRAGER J. Strategy choices in addition and subtraction: How do children know what to do? In : *Origins of cognitive skills*. SOPHIAN C (ed). Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1984

SILVER CH, PENNETT HDL, BLACK JL, FAIR GW, BALISE RR. Stability of arithmetic disability subtypes. *Journal of Learning Disabilities* 1999, **32** : 108-119

SPIERS PA. Acalculia revisited: Current issues. In : *Mathematical disabilities: A cognitive neuropsychological perspective*. SERON X, DELOCHE G (eds). Hillsdale, NJ, Lawrence Erlbaum, 1987 : 1-25

STARKEY P, COOPER RG. Perception of numbers by human infants. *Science* 1980, **210** : 1033-1035

STARKEY P, KLEIN A. Fostering parental support for children's mathematical development: An intervention with Head Start families. *Early Education and Development* 2000, **11** : 659-680

STARKEY P, SPELKE ES, GELMAN R. Numerical abstraction by human infants. *Cognition* 1990, **36** : 97-127

STRANG JD, ROURKE BP. Concept-formation / nonverbal reasoning abilities of children who exhibit specific academic problems with arithmetic. *Journal of Clinical Child Psychology* 1983, **12** : 33-39

STRAUSS MS, CURTIS LE. Development of numerical concepts in infancy. In : *Origins of cognitive skills*. SOPHIAN C (ed). Hillsdale, NJ, LEA, 1984

SUTARIA SD. *Specific learning disabilities: Nature and needs*. Springfield, IL, Charles C. Thomas, 1985

SVENSON O, BROQUIST S. Strategies for solving simple additions problems: A comparison of normal and subnormal children. *Scandinavian Journal of Psychology* 1975, **16** : 143-151

- SWANSON HL. Working memory in learning disability subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology* 1993, **56** : 87-114
- TEMPLE CM. Digit dyslexia: A category-specific disorder in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology* 1989, **6** : 93-116
- TEMPLE CM. Procedural dyscalculia and number fact dyscalculia: Double dissociation in developmental dyscalculia. *Cognitive Neuropsychology* 1991, **8** : 155-176
- TEMPLE CM. *Developmental cognitive neuropsychology*. Hove, UK, Psychology Press, 1997
- TEMPLE CM. Developmental dyscalculia. In : *Handbook of neuropsychology*. RAPIN I, SEGALOWITZ SG, SIDNEY J (eds). Vol 7, New York, NY, Elsevier, 1992 : 211-222
- TEMPLE CM, SHERWOOD S. Representation and retrieval of arithmetic facts: Developmental difficulties. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 2002, **55** : 733-752
- THEVENOT C, BARROUILLET P, FAYOL M. Algorithmic solution of arithmetic problems and operand-answer associations in long term memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology* 2001, **54** : 599-611
- TRUNDLEY R. The Devon Raising Attainment in Numeracy Project, 1997-1998. Final Report. Devon County Council, Devon Curriculum Services, 1998
- ULLER C, CAREY S, HUNTLEF-FENNER G, KLATT L. What representation might underlie infant numerical knowledge? *Cognitive Development* 1999, **14** : 1-36
- VAN HOUT A. Dyscalculies développementales. In : *Troubles du calcul et dyscalculies chez l'enfant*. VAN HOUT A, MELJAC C (eds). Masson, Paris, 2001 : 139-170
- VAN LUIT JEH, SCHOPMAN EAM. Improving early numeracy of young children with special educational needs. *Remedial and Special Education* 2000, **21** : 27-40
- VON ASTER M. Developmental dyscalculia in children: Review of the literature and clinical validation. *Acta Paedopsychiatrica* 1994, **56** : 169-178
- VON ASTER M. Developmental cognitive neuropsychology of number processing and calculations: Varieties of developmental dyscalculia. *European Child & Adolescent Psychiatry* 2000, **9** : II41-57
- WEINTRAUB S, MESULAM MM. Developmental learning disabilities of the right hemisphere. *Archives of Neurology* 1983, **40** : 464-468
- WECHSLER D. *The Wechsler Intelligence Scale for Children-Revised*. San Antonio, TX: The Psychological Corporation, 1974
- WHITE J, MOFFITT TE, SILVA PA. Neuropsychological and socio-emotional correlates of specific-arithmetic disability. *Archives of Clinical Neuropsychology* 1992, **7** : 1-16
- WILLS KE, HOLMBECK GM, DILLON K, MCLONE DG. Intelligence and achievement in children with myelomeningocele. *Journal of Pediatric Psychology* 1990, **15** : 161-176
- WRIGHT RJ, MARTLAND J, STAFFORD AK. *Early numeracy: Assessment for teaching and intervention*. Corwin Press, Thousand oaks, CA, 2000

WRIGHT RJ, MARTLAND J, STAFFORD AK, STANGER G. Teaching number: Advancing children's skills and strategies. Thousand oaks, CA, Corwin Press, 2002

WYNN K. Addition and subtraction in human infants. *Nature* 1992, **358** : 748-750

XU F, SPELKE ES. Large number discrimination in 6-month-old infants. *Cognition* 2000, **74** : B1-B11

12

Troubles des acquisitions associés à la dyslexie

Une des principales leçons issues de l'expérience clinique est que la dyslexie, le symptôme le plus souvent situé en première ligne par ses conséquences majeures sur les apprentissages, survient rarement isolément. On observe dans la grande majorité des cas, des déficits associés que l'on qualifie de comorbides.

L'étude de ces syndromes comorbides est doublement intéressante. En premier lieu, elle est utile au clinicien en ce qu'elle le met en garde contre une vision étroite du problème de la dyslexie, l'incitant à aller systématiquement chercher d'autres troubles ailleurs que dans la lecture elle-même, même si cette dernière constitue, à juste titre, la plainte principale voire isolée de l'enfant, de sa famille et (surtout) de son enseignant. C'est ainsi que ces dernières années ont vu l'éclosion d'une conception syndromique de la dyslexie, à l'instar des grands syndromes de la médecine organique, avec comme résultat l'approfondissement du diagnostic, devenu multidisciplinaire et non plus seulement orthophonique, et, par voie de conséquence, le raffinement des indications thérapeutiques. Ce chapitre sera ainsi consacré à un panorama de ces associations constituant autant de syndromes, dont la connaissance est aujourd'hui indispensable au clinicien et au thérapeute.

Mais l'existence de troubles associés à la dyslexie constitue également un puissant outil théorique pour le chercheur, lui fournissant autant de pistes vers où orienter ses recherches. Si, par exemple, la dyslexie et la dyscalculie se rencontrent en association plus souvent que ne le voudrait le hasard, c'est peut-être qu'il y a un facteur commun capable d'expliquer l'émergence combinée de ces deux conditions, leur co-occurrence, facteur dont la découverte pourrait fournir de précieuses clés pour approcher les mécanismes physiopathologiques.

Comorbidités cliniques de la dyslexie : les syndromes « dys »

Il est actuellement usuel de désigner sous le terme de troubles spécifiques des apprentissages ou « syndromes dys » un ensemble de conditions ayant en commun :

- leur survenue en dehors de tout déficit perceptif, intellectuel ou neuropsychiatrique, c'est-à-dire en particulier chez des enfants normalement intelligents ;
- leur incidence néfaste sur les apprentissages, réalisant de loin le motif principal de consultation ;
- un caractère familial retrouvé de manière plus ou moins fréquente ;
- une prédominance de garçons pour la majorité d'entre elles.

Telles sont les caractéristiques qui définissent la dyslexie, dysorthographe, dysphasie, dyspraxie...

Or, une autre caractéristique commune à toutes ces entités est qu'elles se rencontrent souvent associées entre elles chez une même personne, ce qui pour le clinicien, le rééducateur ou le pédagogue est riche d'enseignements quant à la sévérité du trouble, et donc à ses répercussions en termes de rééducation tout autant que de pédagogie.

La création récente des centres de référence des troubles d'apprentissage en France fournit l'opportunité d'étudier de larges populations cliniques d'enfants référés pour troubles d'apprentissage et d'évaluer la fréquence des comorbidités au sein des troubles d'apprentissage. Le tableau 12.1 résume par exemple les diagnostics posés sur 209 consultations consécutives d'enfants âgés de 5 à 15 ans reçus dans le centre de référence du CHU de Marseille (Habib, 2003)²⁹. Les diagnostics présentés sont ceux établis à l'issue un examen pluridisciplinaire comportant au moins le bilan d'un orthophoniste et d'un neuropsychologue, et la synthèse d'un médecin neurologue. La somme des diagnostics dépasse le nombre total d'observations, en raison précisément de la fréquence des comorbidités (voir plus bas).

Tableau 12.1 : Inventaire des diagnostics portés lors de 209 cas successifs reçus dans une consultation de troubles d'apprentissage (CHU de Marseille, d'après Habib, 2003)

Diagnostic	Nombre d'enfants atteints (N = 209)
Dyslexie, dysorthographe	177
Troubles du langage oral	84
Dyscalculie	48
Dysgraphie	37
Trouble déficit de l'attention/hyperactivité	32

29. Nous n'envisageons pas dans cet ouvrage la question des comorbidités entre troubles d'apprentissage et psychopathologie, principalement l'autisme et les troubles des conduites, qui font l'objet d'autres ouvrages de cette collection. La question de l'hyperactivité, pour la même raison, n'est citée que marginalement ici.

Diagnostic	Nombre d'enfants atteints (N = 209)
Dysphasie	26
Précocité intellectuelle	21
Dyspraxie	19
Trouble des conduites	11
Autisme*	2
Dyschronie	45

*Les enfants atteints d'un trouble envahissant du développement (autisme) ne sont pas abordés dans ce chapitre car leur prise en charge ne relève pas d'un centre de référence pour troubles des apprentissages. Ce sujet est traité dans l'expertise « Troubles mentaux, dépistage et prévention chez l'enfant et l'adolescent » Inserm, 2002.

Dans cette étude, le diagnostic le plus souvent posé est celui de dyslexie (177 cas), devant celui de trouble du langage oral (110 cas incluant 26 cas de dysphasie avérée). Dans le contexte d'une consultation spécialisée dans les troubles des apprentissages, il n'est pas étonnant de constater une nette prédominance de dyslexies, ou de troubles sévères de l'acquisition du langage écrit (puisqu'on ne peut en théorie commencer à parler de dyslexie qu'après un certain temps d'apprentissage). Le relativement faible nombre de cas de dysorthographe (55 cas), alors qu'au moins tous les dyslexiques devraient être également qualifiés de dysorthographiques, réside sans doute dans le fait que chez les enfants vus dans les premières années d'apprentissage, la dysorthographe ne peut pas encore être diagnostiquée en tant que telle, puisque l'orthographe n'existe pas encore.

En revanche, la dysgraphie (37 cas) peut être décelée, avant l'apprentissage de la lecture, soit en grande section de maternelle. Le diagnostic repose sur deux aspects complémentaires : d'une part, la mauvaise tenue du crayon, réalisant des positions des doigts maladroites ou aberrantes ou encore une dystonie reflétant une mauvaise coordination du geste graphique en voie d'apprentissage ; et d'autre part la réalisation graphique elle-même qui peut être irrégulière, avec une mauvaise formation des lettres, qui sont parfois méconnaissables, même en copie de modèle. Dans cette étude, le terme de dyspraxie (19 cas) a été réservé aux cas où le trouble du geste dépasse le seul geste graphique et concerne des groupes plus vastes de muscles, y compris les muscles posturaux, et surtout dépasse le cadre de la seule motricité pour constituer un véritable syndrome sensori-moteur.

Après les troubles du langage, les deux troubles les plus régulièrement retrouvés, même s'ils ne réalisent pas forcément la plainte principale, sont la dyscalculie (48 cas) et la dyschronie (45 cas). La fréquence de dyscalculie dans les troubles d'apprentissage en général (et du langage en particulier) est généralement sous-estimée. Dans l'étude citée, elle est retrouvée chez près d'un quart des enfants se présentant pour trouble d'apprentissage.

Tout laisse à penser que la dyscalculie isolée existe, mais donne rarement lieu à consultation dans un centre de référence, ce qui voudrait dire que la fréquence réelle de dyscalculie dans la population est beaucoup plus forte. Le terme de dyschronie (parfois appelée chronagnosie ou difficulté de repérage temporel) est beaucoup moins répandu que ceux des autres syndromes, sans doute, ici encore, parce que le trouble ne constitue pas, en tout cas à première vue, un réel handicap pour la poursuite de la scolarité. En fait, il est probable que les enfants ayant une dyschronie importante souffrent également de difficultés d'organisation temporelle de la pensée, verbale ou non verbale, qui peut leur être très préjudiciable pour la poursuite des études, en particulier en secondaire. Il est bien établi que le trouble déficit de l'attention avec hyperactivité (TDAH), survient en association avec les troubles de la lecture (August et Garfinkel, 1990), avec une comorbidité de l'ordre de 25 % (Semrud-Clikeman et coll., 1992).

La figure 12.1 représente le nombre de cas respectif des différents troubles associés au diagnostic de dyslexie (Habib, 2003).

Il convient de signaler d'emblée que les signes associés au trouble de la lecture sont éminemment variables, tant qualitativement que quantitativement, selon le type de dyslexie. Si l'on s'en tient à la classification aujourd'hui classique en dyslexies phonologiques, visuelles ou mixtes, on remarque que les troubles de type dyspraxie, dysgraphie, sont volontiers associés aux formes visuelles ou mixtes, réalisant souvent le tableau de trouble d'apprentissage non verbal, parfois dénommé syndrome développemental hémisphérique droit (Rourke, 1995). Dans ce cas, on note que la sévérité de la dyslexie n'est pas proportionnelle à l'intensité du trouble phonologique, ce dernier pouvant être absent, mais plutôt à l'intensité des troubles de type sensori-moteur, avec au premier chef les troubles du graphisme et de la représentation spatiale (dyspraxie visuo-constructive). À l'inverse, des antécédents ou des signes actuels de troubles du langage oral sont beaucoup plus souvent associés (bien que non exclusivement) à des dyslexies de type phonologique (Castle et Coltheart, 1993 ; Manis et coll., 1996).

En tout état de cause, tous types confondus, la dyslexie apparaît plus souvent associée qu'isolée (seulement 10 % dans la population citée). Bien entendu, ce chiffre de 10 % n'est pas nécessairement généralisable. Il est probable que les services hospitaliers ne voient pas un échantillon représentatif de la population dyslexique, mais un échantillon biaisé dans le sens d'une plus grande sévérité et d'un plus grand nombre de symptômes, donc de plus de comorbidités. Il n'existe pas de données permettant d'évaluer la prévalence des comorbidités au sein de l'ensemble de la population dyslexique.

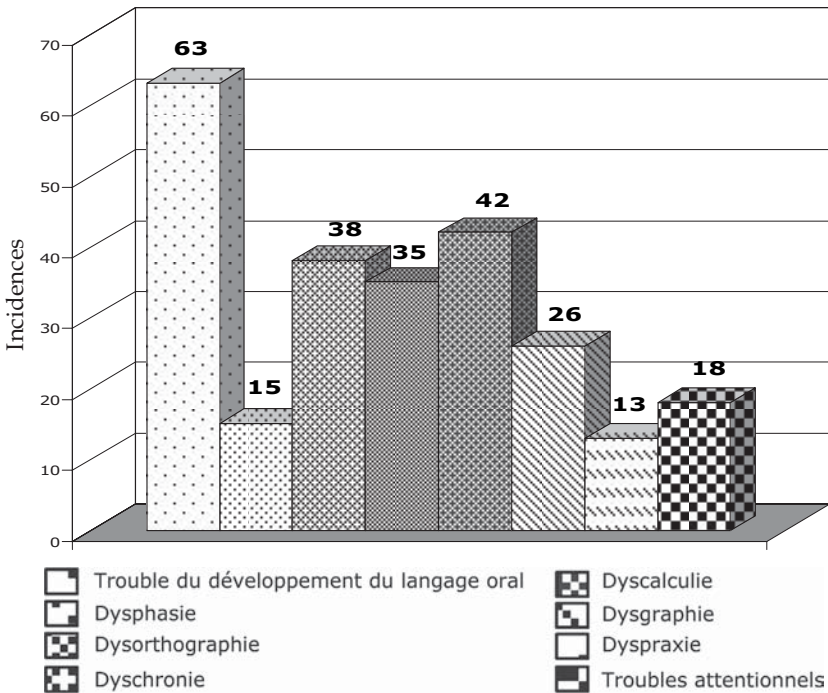


Figure 12.1 : Incidence respective des différents syndromes associés au diagnostic principal de dyslexie (177 observations) (d'après Habib, 2003)

Une autre étude réalisée en France au centre de référence du Kremlin-Bicêtre à Paris présente l'analyse des différents diagnostics retenus au décours d'une évaluation pluridisciplinaire effectuée chez tous les enfants rencontrés entre septembre 2001 et mars 2002 pour une plainte portant sur les apprentissages (langage oral, langage écrit, échec scolaire, troubles du graphisme ou de l'attention), âgés de 4 à 9 ans et testables (Billard et coll., 2006). Il s'agissait de 173 enfants, 117 garçons (67,67 %) et 56 filles (32,37 %). Les âges évoluaient entre 4 et 9 ans avec une moyenne d'âge de 6 ans et 7 mois. Les tests étalonnés étant différents, la population a été séparée en deux groupes : un de 4 à 6 ans exclus (63 enfants) et le second de 6 ans et plus (110 enfants). Ils suivaient la classe de leur tranche d'âge pour 64,74 % d'entre eux ou présentaient un retard de 1 an (30,64 %) ou plus (1,16 %) ou avaient été orientés en classe spécialisée (3,47 %) (tableau 12.II). Soixante cinq pour cent des enfants utilisaient la main droite pour écrire, 34,68 % utilisaient la main gauche.

Les diagnostics étaient classés de la façon suivante selon les critères du DSM-IV :

- trouble du langage oral (TLO) spécifique sévère, modéré, ou non spécifique ;
- trouble du langage écrit (TLE), spécifique sévère ou modéré, ou non spécifique ;
- trouble d'acquisition de la coordination ou dyspraxie, sévère ou modérée ;
- déficit intellectuel modéré ou léger ;
- troubles psycho-affectifs (selon l'évaluation clinique du psychologue et le questionnaire de comportement) ;
- trouble complexe des apprentissages (TCA : plusieurs apprentissages déficitaires sans déficit global de toutes les fonctions cognitives) ;
- trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH).

Tableau 12.II : Fréquence des diagnostics dans une population de 173 enfants avec troubles des apprentissages, âgés de 4 à 9 ans (d'après Billard et coll., 2006)

Diagnostic	Nombre d'enfants atteints (N = 173)
Trouble du langage oral (TLO)	110 cas
- spécifique sévère	55 (49,6 %)
- spécifique modéré	24 (21,6 %)
- non spécifique	32 (28,8 %)
Trouble du langage écrit (TLE)	68 cas
- spécifique sévère	35 (50 %)
- spécifique modéré	30 (42,9 %)
- non spécifique	3 (4,3 %)
Dyspraxie	32 cas
- sévère	8 (25 %)
- modérée	24 (75 %)
Déficiência intellectuelle	47 cas
- sévère	19 (38,8 %)
- modérée	28 (57,1 %)
Troubles psycho-affectifs	48 cas
Trouble complexe des apprentissages (TCA)	11 cas
Trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH)	11 cas

Les comorbidités entre les différents diagnostics chez les 173 enfants étaient fréquemment représentées. Pour n'en citer que quelques unes :

- les troubles psychoaffectifs s'associaient toujours à un autre diagnostic ;
- l'association trouble du langage oral et trouble du langage écrit concernait 53 des 68 enfants avec un TLE ;
- 2 enfants seulement avec un TLE n'avaient qu'une dyslexie sans dysorthographe ;
- enfin, un enfant sur 2 avec un trouble du langage écrit avait une dysgraphie.

Dyslexie et troubles du langage oral

Dans les deux séries décrites ci-dessus, comme dans la plupart de celles de la littérature (Vellutino, 1979 ; Bishop et Snowling, 2004), la dyslexie fait suite dans plus de la moitié des cas à des troubles du langage oral, eux-mêmes de présentation diverse. Le plus souvent, il s'agit de difficultés, diagnostiquées ou non, qui ne sont pas qualifiées de « dysphasique », donc n'ont pas été considérées de gravité ou de durabilité suffisante pour employer ce terme. Toutefois, on rappellera ici que le terme de dysphasie est assez rarement utilisé dans la littérature anglo-saxonne qui préfère regrouper sous celui d'altération spécifique du langage (*Specific language impairment*, ou SLI), tous les troubles du langage oral, sans présumer de leur sévérité. Certes, on reconnaît des différences qualitatives entre le déficit d'enfants qui vont récupérer quasi-totalement leurs habiletés langagières et ceux, qualifiés de dysphasiques, qui vont rester sévèrement et durablement déficitaires. Mais plus personne ne conteste, même en France, la validité du concept de SLI, ne serait-ce qu'en raison de sa puissante valeur prédictive d'un trouble d'apprentissage, en particulier lorsqu'il existe des antécédents familiaux du trouble (Lyytynen et coll., 2004).

Il existe également une entité parfois considérée comme distincte des troubles du langage oral, volontiers qualifiée de « déficit auditif central » (King et coll., 2003). En fait, l'individualisation de cette entité repose sur la fréquence de troubles divers du traitement élémentaire de l'information auditive, par exemple la localisation des sons, l'estimation de la durée ou de la fréquence tonale... Dans certains cas, le trouble est cliniquement évident, en particulier lorsqu'on examine les erreurs de transcription des enfants dyslexiques, spécifiquement en situation de dictée de syllabes ou de pseudomots : dans ces circonstances, on voit apparaître des confusions, souvent non suspectées auparavant, en particulier entre des paires de consonnes auditivement proches, spécialement les paires sourdes-sonores (avec ou sans voisement). Ce déficit correspond à un défaut de traitement par le cortex auditif de la partie du phonème correspondant au voisement, défaut de traitement qui peut être clairement mis en évidence à l'aide de la méthode des potentiels évoqués auditifs (Liégeois-Chauvel et coll., 1999 ; Giraud et coll., 2005). Il serait présent chez la moitié des dyslexiques environ et son intensité n'est pas nécessairement proportionnelle au degré de difficulté dans l'apprentissage de la lecture (Ahissar et coll., 2000 ; Rosen, 2003).

Dyslexie et dyscalculie

Dans l'étude française décrite ci-dessus (Habib, 2003), la dyscalculie est le deuxième syndrome associé à la dyslexie, par ordre de fréquence (près d'un quart des cas). Une autre étude française (Cuvellier et coll., 2004), réalisée

au centre de référence de Lille, ne signale en revanche aucune occurrence de dyscalculie (0/100).

Dans une recherche auprès de 3 029 enfants scolarisés, l'équipe israélienne de Gross-Tsur (1996), s'appuyant sur des critères stricts tirés des modèles en neuropsychologie cognitive pour poser le diagnostic de dyscalculie, trouve 6,5 % d'enfants dont elle étudie les caractéristiques démographiques et cliniques. Tous les enfants dyscalculiques avaient un quotient intellectuel normal, des symptômes de déficit d'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) étaient trouvés chez 26 % d'entre eux, 17 % avaient aussi une dyslexie et la dyscalculie touchait aussi bien les garçons que les filles contrairement à ce que l'on retrouve dans plusieurs désordres développementaux (dyslexie, TDAH, troubles du langage oral) où les garçons sont atteints dans une plus grande proportion.

Ostad (1998) a étudié 927 enfants de 2^e, 4^e et 6^e années d'apprentissage, à qui il a fait passer en outre une évaluation du QI, et un test classique d'évaluation des aptitudes scolaires (*Stanford Achievement Test*). Le résultat a été une forte corrélation ($r = 0,47$) entre les aptitudes scolaires en mathématiques et les scores en orthographe. Cependant, la pertinence de cette constatation est affaiblie par le fait que, bien entendu, toutes les aptitudes scolaires sont très fortement corrélées entre elles pour des raisons n'ayant pas de rapport avec la notion de comorbidité.

Lewis et coll. (1994) ont étudié la co-occurrence de troubles de la lecture et du calcul chez des enfants de 9 et 10 ans, et retrouvé 3,6 % de difficultés spécifiques en arithmétique. Parmi ces derniers, 64 % étaient considérés comme également dyslexiques.

Finalement, une des principales questions posées par la comorbidité entre troubles du calcul et de la lecture, est celle du mécanisme sous-jacent à ce lien. Par exemple, Rourke (1993) proposait que les enfants souffrant du double déficit (calcul et lecture) aient un problème hémisphérique gauche, alors que ceux souffrant d'une dyscalculie isolée auraient plutôt une dysfonction hémisphérique droite. À l'inverse, Shalev et coll. (1997) n'ont retrouvé aucune différence qualitative entre la dyscalculie de ces deux groupes d'enfants. Plus récemment, Landerl et coll. (2004) ont étudié 4 groupes d'élèves de 8-9 ans : des sujets témoins, ayant une bonne performance en lecture et en calcul, des sujets seulement dyscalculiques, des sujets seulement dyslexiques et des enfants présentant l'association des deux tableaux. Globalement, les dyscalculiques et les déficits mixtes se comportèrent de manière similaire et notablement différente des dyslexiques et des témoins, une constatation allant à l'encontre des théories suggérant différents sous-groupes de dyscalculiques. L'une des principales caractéristiques du trouble du calcul est ici une incapacité à traiter simultanément les petites numérosités (jusqu'à 3), qui sont traitées par les deux groupes de dyscalculiques (associé ou non à une dyslexie) de façon sérielle et non simultanée.

D'un point de vue étiologique, la co-occurrence de dyslexie et de dyscalculie a pu être attribuée à un facteur génétique commun (Knopik et coll., 1997), encore qu'il soit bien difficile de distinguer ce qui, dans une difficulté en mathématique, revient au trouble de la lecture lui-même, à un trouble de la compréhension, ou encore à un trouble de mémoire de travail associé.

Reste le cadre du syndrome développemental de Gerstmann (Benson et Geschwind, 1970), dont l'existence a été contestée, mais qui a eu, outre le mérite d'attirer l'attention sur le lien entre calcul et gnosies digitales, celui de soulever la possible homologie entre un syndrome neurologique classique en pathologie lésionnelle de l'adulte, attribué à une lésion focale du lobe pariétal inférieur gauche, et un syndrome développemental où la majorité des symptômes évoquent pourtant plutôt un déficit hémisphérique droit...

À cet égard, les récentes données d'imagerie cérébrale fonctionnelle, démontrant le rôle singulier du lobe pariétal, en particulier le sillon intra-pariétal droit, dans la fonction de numérosité, a apporté une nouvelle dimension neurologique à la notion de dyscalculie (Dehaene et coll., 2004).

Dyslexie et dyschronie

Dans l'étude française (Habib, 2003), 35 cas de « dyschronie » associés à la dyslexie sont rapportés. La dyschronie concerne un domaine assez peu exploré et aux limites encore floues chez les enfants souffrant de troubles du langage oral ou écrit. Le tableau 12.III présente le questionnaire à partir duquel a été établi ce diagnostic. Ce questionnaire, rempli par les parents, a été validé précédemment (Daffaure et coll., 2001), comme donnant une appréciation fiable des difficultés que peut rencontrer l'enfant dans les différents aspects du repérage temporel. Le score à ce questionnaire est très significativement corrélé à une tâche de reproduction de rythmes et à une tâche de jugement d'ordre temporel (Rey et coll., 2002). Toutes ces mesures étaient également corrélées avec les tâches de conscience phonologique, mais pas avec les tâches de lecture, suggérant que le déficit de traitement temporel n'est pas directement impliqué dans le déterminisme du trouble de la lecture.

Tableau 12.III : Questionnaire de repérage temporel proposé aux parents (Daffaure et coll., 2001)

	Jamais	Rarement	Parfois	Souvent	Très souvent
1- Il (Elle) se souvient difficilement des jours / mois / année que nous sommes.					
2- Il (Elle) confond les moments de la journée matin / après-midi / soirée.					

Jamais Rarement Parfois Souvent Très souvent

- 3- Un événement qui est survenu le matin, il (elle) peut le placer la veille.
- 4- Pour un événement qui est survenu il y a quelques jours, il (elle) peut dire : « il y a très longtemps ».
- 5- Il lui est difficile de comprendre les relations existantes entre les membres de la famille : grands-parents, tantes, neveux, beau-frère.
- 6- Il (Elle) a du mal à comprendre les notions de hier, demain ou après-demain.
- 7- Il (Elle) a des difficultés à lire l'heure sur un cadran.
- 8- Il (Elle) se trompe lorsqu' il (elle) doit évaluer la durée d'un film, la durée d'une activité, voire même la durée d'une nuit de sommeil.
- 9- Vous avez besoin de lui donner des indices pour qu'il (elle) se repère dans une semaine (lundi : école ; mercredi : activités extra-scolaires ; dimanche : repos ...).
-

Le terme de dyschronie a été pour la première fois appliqué à la dyslexie par Rodolfo Llínas (1993) qui fait l'hypothèse que le cerveau du dyslexique manquerait d'un système de « *pace-maker* », capable de fournir le rythme d'activation neuronale à des systèmes de neurones, éventuellement situés à distance du *pace-maker* lui-même. Parmi les structures candidates à jouer ce rôle, Llínas propose le cervelet, dont l'organisation anatomo-fonctionnelle est particulièrement propice à une telle régulation des aspects temporels d'autres régions, en particulier corticales (Ivry et coll., 2002). Les tâches de perception de la durée d'un stimulus sont particulièrement altérées lors de lésions cérébelleuses (Ivry et Keele, 1989). Or, des dyslexiques ont été retrouvés déficitaires sur ce type de tâches (Nicolson et coll., 1995), bien que cela n'ait pas toujours été répliqué (Ramus et coll., 2003a et b). Par ailleurs, d'autres raisons sont évoquées pour lesquelles un rôle du cervelet a pu être proposé dans la dyslexie.

Dyslexie et trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

Sous la rubrique « déficit de l'attention et comportements perturbateurs », le DSM-IV définit un ensemble de troubles qui entretiennent des liens réciproques encore mal connus, mais indéniablement très étroits et complexes avec les troubles des apprentissages. Les trois principaux diagnostics dans cette rubrique sont : le trouble déficit d'attention avec hyperactivité (TDAH),

le trouble des conduites (sous-entendu conduites sociales) et le trouble oppositionnel avec provocation, souvent considéré comme une forme précoce des deux premiers. Le trouble déficit d'attention avec hyperactivité représente la comorbidité psychiatrique la plus fréquente chez les dyslexiques. Alors que la prévalence de chacune des deux affections est d'environ 5-7 %, il est admis que 25 à 40 % des enfants hyperactifs souffrent de troubles de lecture (Dykman et Ackerman, 1991 ; Semrud-Clikeman et coll., 1992), alors que 15 à 40 % des dyslexiques remplissent les critères de déficit d'attention avec hyperactivité (Gilger et coll., 1992 ; Shaywitz et coll., 1995 ; Willcutt et Pennington, 2000). De même, il a de longue date été démontré que les enfants présentant des troubles de lecture ont un risque 5 fois plus fort de présenter des comportements antisociaux que le reste de la population (Rutter et Yule, 1970), alors que des travaux plus récents ont révélé la fréquence élevée de troubles de lecture dans des populations de délinquants et d'enfants avec troubles des conduites (Hawkins et Lishner, 1987 ; Frick et coll., 1991). Globalement, cependant, on admet que les troubles du comportement chez les dyslexiques sont « médiés » par la plus grande fréquence chez eux de signes d'hyperactivité. Pour autant, la question du mécanisme sous-jacent à cette association est loin d'être résolue. Pour certains, la plus grande fréquence de troubles de la lecture chez les sujets hyperactifs serait la seule conséquence de difficultés de compréhension liées au déficit d'attention (Samuelson et coll., 2004). Pour d'autres, au contraire, il existerait bien un lien, sans doute d'ordre génétique, entre les deux affections. Dans cette conception, le déficit d'attention avec hyperactivité peut être considéré comme un autre syndrome « dys ». L'association « dyslexie et hyperactivité » sera également traitée dans le chapitre sur les troubles associés comportementaux et émotionnels.

Dyslexie et troubles moteurs

Dans la population citée ci-dessus (Habib, 2003), les troubles concernant la motricité (dyspraxie et dysgraphie) représentent 56 cas, soit 26 % de la population totale. La comorbidité entre dyslexie et troubles moteurs est particulièrement intéressante, car elle a fourni une piste pour tenter d'expliquer la dyslexie.

Comme le fait remarquer Albaret (1995), la notion de dyspraxie a connu un très grand nombre de dénominations, révélant la complexité et le peu de compréhension que les scientifiques possèdent encore de ces problèmes. C'est ainsi que l'on rencontre les termes de « maladresse anormale » (Orton), « maladresse congénitale » (Ford), « dyspraxie de développement » (Brain), « apraxie de développement » (Walton), « maladresse de développement » (Reuben et Bakwin), les tableaux « d'agnosie et apraxie du développement » (Gubbay), les « dyspraxies-dysgnosies de développement » (Lesny, 1980) et,

dernièrement, le trouble d'acquisition des coordinations (DSM-IV) ou le trouble spécifique du développement moteur (CIM-10) (Albaret, 1995).

On admet cependant que les troubles de la coordination, qui représentent environ 6 % (Albaret, 1995 ; Kadesjö et Gillberg, 1999) de la population générale, avec ici encore une nette prédominance de garçons, comportent divers symptômes aisément reconnaissables, mais qui se regroupent entre eux de manière très variable. Schématiquement, on reconnaît des troubles des « praxies », c'est-à-dire de la capacité à choisir, planifier, séquencer, et exécuter le mouvement, avec des conséquences d'importance variable sur les actes de la vie quotidienne (sauter, lacer ses chaussures, attraper une balle), en fait tous les actes qui nécessitent une bonne coordination gestuelle. L'incidence de ces troubles sur les apprentissages peut être majeure : parfois des actes aussi simples que tirer un trait avec un crayon et une règle, voire sortir sa gomme de sa trousse, peuvent être un obstacle insurmontable pour l'enfant à l'école. L'un des meilleurs exemples de la nécessité d'une bonne coordination visuo-motrice dans les apprentissages est sans doute celui de la poursuite visuelle, souvent altérée chez les dyspraxiques, et nécessaire à l'apprentissage de la lecture. Mais les troubles chez le dyspraxique ne se résument pas à des troubles moteurs, ou même de coordination sensori-motrice : des troubles de nature purement sensorielle peuvent sans doute être intégrés dans le concept de dyspraxie, de manière plus ou moins franche, intéressant de manière variable les principaux systèmes sensoriels impliqués dans la motricité : système proprioceptif, visuel et vestibulaire. En fait, toute action impliquant la gestualité et/ou la posture nécessite également des capacités perceptives et visuo-spatiales intactes, de sorte qu'il est difficile de dissocier ce qui est purement praxique, de ce qui relève de capacités perceptives. Cette complexité est bien illustrée dans la réalisation de la figure de Rey, outil classique appartenant à la fois au neuropsychologue et au psychomotricien, et particulièrement utile pour déceler des troubles de l'intégration visuo-praxique. En outre, parmi les troubles moteurs eux-mêmes, on va pouvoir distinguer ceux qui touchent les muscles proximaux et la posture, de ceux qui touchent l'exécution des mouvements fins et distaux, ou encore ceux qui concernent globalement tous les types de motricité. On comprend donc que, selon la présence ou l'absence de tous ces symptômes, les tableaux puissent être, au final, éminemment variables entre divers patients, pourtant tous qualifiés de dyspraxiques ou DCD (*developmental coordination disorder*).

Ces constatations ont amené diverses équipes à rechercher des sous-types de dyspraxie, correspondant à des associations variées de symptômes et les différents types de regroupements possibles, en utilisant des outils statistiques sophistiqués à la recherche de « *clusters* » ou regroupements de signes (Dewey et Kaplan, 1994 ; Hoare, 1994). De manière générale, ces tentatives ont été peu fructueuses, et certains se sont même demandés (Macnab et coll., 2001) si l'utilisation d'outils statistiques tels que l'analyse de *cluster* est une méthode pertinente pour approcher la question, face à l'incapacité des

modèles proposés à suggérer des mécanismes différents selon les sous-types, et donc des thérapeutiques appropriées.

Un article de Visser (2003) suggère que la meilleure approche est l'étude des comorbidités. D'après cet auteur, il existe un « fond de comorbidité » entre les troubles développementaux de coordination (DCD), les troubles déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH), les troubles de la lecture et les troubles du langage oral (SLI). Par exemple, Hill (2001), qui a mené une revue de littérature sur ce sujet, rapporte une importante comorbidité entre SLI et DCD, au point de suggérer que le SLI n'est pas vraiment un trouble spécifique du langage.

De même, il existe des arguments convergents montrant une forte comorbidité entre DCD et TDAH. Kadesjö et Gillberg (1999) ont ainsi montré qu'environ la moitié des enfants de 7 ans qu'ils avaient diagnostiqués comme dyspraxiques avaient également des symptômes de TDAH de sévérité variable. De la même manière, pour Kaplan et coll. (1998), dans une étude de 115 enfants référés pour des troubles de l'attention et de l'apprentissage, 53 seulement étaient considérés comme des « cas purs », 62 présentant en fait une comorbidité, avec au premier plan la comorbidité DCD-TDAH. Sur ces 62 cas, 23 avaient des déficits dans tous les secteurs mesurés.

Rasmussen et Gillberg (2000) ont spécifiquement considéré le problème des sous-types et de la comorbidité en relation avec le pronostic ultérieur des patients. Dans une étude longitudinale de 55 enfants ayant reçu le diagnostic de TDAH, ils ont distingué ceux qui avaient des signes concomitants de troubles de coordination, et ceux sans de tels signes. À l'âge de 22 ans, les patients étaient comparés à 46 sujets témoins appariés en âge, sans signes ni de TDAH, ni de DCD. Dans le groupe avec TDAH, 58 % avaient eu une évolution défavorable en termes de troubles d'apprentissage, de niveau scolaire atteint, et même de problèmes d'adaptation sociale. Le pronostic le plus défavorable était retrouvé chez les enfants ayant une comorbidité avec des troubles de coordination.

Dewey et coll. (2002) ont étudié 45 enfants identifiés comme dyspraxiques, 51 comme suspects de dyspraxie et 78 enfants témoins, à l'aide d'une batterie de tâches de lecture, d'écriture et d'orthographe. Les résultats montrèrent que tout autant les DCD que les enfants suspects de dyspraxie étaient significativement déficitaires par rapport aux témoins sur toutes les tâches de langage écrit.

Enfin, Piek et coll. (1999) ont recherché des troubles de la coordination chez des enfants hyperactifs, et ont retrouvé une incidence importante de troubles permettant de parler de dyspraxie. En outre, un patron de déficit moteur différent fut retrouvé selon le type de trouble d'hyperactivité : chez les enfants diagnostiqués comme à prédominance inattentive, ce sont les troubles de la motricité fine qui étaient principalement relevés, alors que

chez ceux porteurs du diagnostic de TDAH de forme mixte (à la fois inattentifs et hyperactifs), les troubles moteurs étaient plus globaux. En outre, ces auteurs notèrent une forte association entre le degré d'inattention et la sévérité du trouble moteur.

Enfin, la question spécifique des liens entre troubles de la coordination et difficultés de lecture a fait l'objet d'un intérêt particulier. Une des questions majeures encore non résolues est de savoir s'il existe une forme particulière de dyslexie qui accompagnerait de façon spécifique les troubles de la coordination sensori-motrice chez le dyspraxique. Dans la plupart des travaux sur le sujet, il est rapporté que plus de la moitié des dyspraxiques ont également des troubles d'apprentissage de la lecture. Fletcher-Flinn et coll. (1997) ont testé 28 enfants de 8 ans sur leurs capacités de langage oral et écrit, incluant la conscience phonologique, de coordination motrice et de discrimination visuelle et d'intégration visuo-motrice. Les résultats ont montré que la conscience phonologique restait le meilleur prédicteur des capacités de lecture, alors que les déficits visuo-perceptifs n'étaient corrélés qu'avec l'orthographe et les tests de coordination motrice.

De même, O'Hare et Khalid (2002) ont étudié 23 enfants avec un diagnostic de DCD et recherché les troubles de lecture à la fois par un questionnaire parental et une batterie de tests, par comparaison à un groupe témoin de 136 enfants à développement normal. Parmi les cas de DCD, 87 % avaient des troubles de l'écriture et 70 % des troubles de la lecture, comparés à des taux bien plus bas (15 et 14 % respectivement) dans le groupe témoin. Ces auteurs ont été à même de mettre en relation ces troubles avec des symptômes suggérant une dysfonction cérébelleuse, mais tout autant pour les DCD avec que sans troubles de l'écrit.

Finalement, comme le souligne Visser (2003), les théories et approches spécifiquement focalisées sur le trouble moteur n'ont pas réellement fait la preuve d'une grande efficacité dans le développement d'un modèle causal de ces affections. Au contraire, d'après cet auteur, les théories cherchant à rendre compte de l'association entre troubles moteurs et autres syndromes ont plus de chance d'être fructueuses, telle que l'hypothèse du déficit d'automatisation (Fawcett et Nicolson, 1992), qui fournit un « cadre rationnel pour la coexistence d'un ensemble de problèmes développementaux, tels que les difficultés d'articulation, de lecture, de coordination et d'attention. La théorie peut donc s'avérer utile dans la recherche de dysfonctions cérébrales sous-tendant les cas de comorbidité entre DCD, TDAH et troubles d'apprentissage du langage oral et écrit. » (Visser, 2003).

Cette coïncidence entre troubles moteurs et troubles de l'apprentissage en général, et de la lecture en particulier, a été un des supports de la théorie cérébelleuse qui représente l'une des pistes dans la quête actuelle des chercheurs pour une meilleure compréhension des déficits neurocognitifs sous-jacents aux troubles d'apprentissage.

De la dyspraxie à la dysgraphie

L'expérience clinique montre qu'il est rare qu'un enfant dyspraxique ait une écriture intacte. À l'inverse, il existe beaucoup de dysgraphiques chez qui on ne met pas en évidence de signes francs de dyspraxie.

Parmi les 209 consultants du CHU de Marseille (Habib, 2003), 19 enfants ont reçu un diagnostic principal de dyspraxie, dont 12 (63 %) étaient également dyslexiques. Une dysgraphie n'était présente que chez 7 (36 %) d'entre eux, alors que 26 sur les 177 dyslexiques (14 %) étaient également dysgraphiques. Cette apparente discordance provient sans doute du fait que la dysgraphie se remarque plus facilement chez un enfant n'ayant pas d'autre trouble moteur évident. Mais il faut reconnaître que les cliniciens manquent d'outils standardisés pour qualifier une écriture de dysgraphique.

Dans une autre étude de la même équipe (Brun-Hénin et coll., en préparation), 11 adultes dyslexiques ont également été examinés pour leurs performances en expression écrite. Chaque sujet a reçu d'une part une évaluation de la lecture (incluant la conscience phonologique) et de l'orthographe, et d'autre part deux approches de l'expression écrite, l'une mesurant la fluidité de l'écriture et la présence d'irrégularités de la production selon une grille utilisée classiquement en psychomotricité, l'autre, utilisant l'enregistrement de données par l'intermédiaire d'une tablette graphique (le nombre de levers du crayon, la pression et la vitesse du geste graphique lui-même). Les données d'évaluation clinique de l'écriture montrent d'une part une altération nette par rapport à des témoins non dyslexiques, avec en particulier une performance située entre 2 et 3 écarts-types en dessous de témoins non dyslexiques appariés (un seul sujet dyslexique obtient un score du niveau de la moyenne des témoins) ; et d'autre part, une corrélation nette avec toutes les mesures de lecture et de conscience phonologique, confirmant la proportionnalité entre le trouble de l'écrit ainsi mesuré et la sévérité de la dyslexie résiduelle. En revanche, ces déficits n'apparaissent plus si l'on considère les mesures effectuées sur la tablette graphique, donnant une appréciation plus directe d'un éventuel trouble de la coordination motrice. En particulier, la mesure de la pression moyenne ou celle de la vitesse du geste ne montrent ni différence significative entre dyslexiques et témoins, ni corrélation avec les épreuves de lecture et d'orthographe. Seulement 2 sur les 11 dyslexiques semblent franchement s'écarter de la moyenne des normaux. Ainsi, il apparaît que les difficultés que rencontrent, une fois adultes, les dyslexiques dans leur expression écrite, peuvent être de deux types : dans la majorité des cas, il s'agit de simples conséquences des difficultés générales avec l'écrit, capables de modifier et d'altérer la réalisation graphique de façon significative mais sans réel trouble neuro-moteur sous-jacent ; dans d'autres cas, plus rares, il pourrait s'agir d'une véritable association entre dyslexie et dyspraxie, et on s'attend alors à voir ces sujets échouer également dans d'autres tâches motrices que l'écriture. Des études similaires chez l'enfant sont en cours pour

tester plus directement cette hypothèse. Finalement, les liens entre DCD et troubles des apprentissages peuvent répondre à deux cas de figure : soit il s'agit d'une dyspraxie avec ses conséquences multiples et variables sur la réalisation des gestes, incluant l'écriture, soit le trouble est plus circonscrit au domaine de l'écriture elle-même et apparaît alors comme en lien étroit avec les performances dans le domaine linguistique. Dans ce dernier cas, la dysgraphie ne confère pas de particularité au profil cognitif de l'enfant, qui reste celui d'un trouble éminemment langagier, avec son cortège de difficultés d'intensité variable dans l'acquisition du langage oral, et surtout phonologique retentissant de manière proportionnelle sur la lecture. Dans les cas plus proprement dyspraxiques, au contraire, le profil cognitif est atypique, avec souvent un avantage des performances verbales sur les tâches non verbales au niveau du QI, écart parfois de l'ordre de plusieurs dizaines de points. Ce profil plus rare est souvent qualifié de « syndrome développemental non verbal », ou encore « hémisphérique droit », pour rappeler que les fonctions altérées sont celles classiquement attribuées à l'hémisphère droit, alors que les fonctions de nature linguistique, donc plus proprement hémisphériques gauches, sont relativement préservées. Il faut cependant admettre que cette distinction entre déficit verbal et non verbal, éminemment basée sur l'observation clinique de secteurs cognitifs et sensorimoteurs altérés ou au contraire intacts, et qui a eu un succès certain avant les années 1990 (voir par exemple Rourke, 1989 et 1995), n'est pratiquement plus citée dans les recherches actuelles. Il est probable que cette prise de distance de la part des chercheurs vis-à-vis d'une telle conception des troubles d'apprentissage, sans doute jugée trop globale, a le tort de s'éloigner par là même de la réalité clinique et sans doute d'occulter de nouvelles pistes de recherche potentiellement intéressantes.

Précocité et surdoués

Les travaux statistiques sur l'association entre précocité³⁰ et troubles d'apprentissage sont rares. Hormis l'association classique entre précocité et préférence manuelle atypique (Halpern, 2000) et les données incontestables en faveur d'une nette prédominance de garçons parmi les enfants doués en mathématiques (Benbow, 1988), il n'y a pratiquement aucun article scientifique consacré à l'étude de l'association précocité/trouble d'apprentissage. La seule association parfois relevée est l'hyperactivité, encore cette dernière n'est-elle pas particulièrement commentée ni discutée dans ses mécanismes

30. Si le concept commence à être assez unanimement reconnu comme une entité neuropsychologique, définie par un chiffre de quotient intellectuel supérieur à 130, la diversité des termes utilisés (enfant intellectuellement précoce, enfant à haut ou fort potentiel, enfant surdoué, en Anglais « *gifted child* ») traduit une absence de consensus sur les mécanismes sous-jacents.

(Kaufmann et coll., 2000). Assez paradoxalement, les commentaires de nature pédagogique abondent sous forme non scientifique, par exemple dans des dizaines d'articles ou de témoignages recueillis sur Internet. Ainsi, la recherche des mots clés *giftedness + dyslexia* donne 15 600 réponses sur le moteur de recherche généraliste « Google » et aucune sur la base de données scientifiques « Pubmed ».

Comme l'ont montré Kaufmann et coll. (2000), le syndrome d'hyperactivité est plus sévère chez les intellectuellement précoces, ce qui semble suggérer que les précoces moins sévèrement touchés parviennent à compenser leur hyperactivité modérée, de sorte que seuls les plus sévèrement hyperactifs peuvent être diagnostiqués.

Les enfants précoces avec trouble d'apprentissage peuvent être répartis en trois catégories :

- les enfants doués identifiés comme souffrant de trouble discret d'apprentissage ;
- les enfants non identifiés comme précoces ni comme dyslexiques, et dont la réussite scolaire, en général moyenne, nécessite des efforts constants et démesurés par rapport à leurs véritables compétences ;
- les enfants suivis et traités pour leur trouble d'apprentissage et dont on découvre tardivement la précocité (Baum, 1990).

Les estimations les plus basses indiquent que 2 à 10 % des enfants enrôlés dans les études américaines sur les surdoués souffrent également de troubles spécifiques d'apprentissage (Dix et Schafer, 1996), ce qui n'est pas significativement plus fréquent que dans la population générale, mais environ 40 % des écoliers surdoués ne sont pas diagnostiqués avant le lycée (Ferri et coll., 1997).

Dans la population française de 209 enfants avec troubles d'apprentissage (Habib, 2003), le diagnostic de précocité a été posé 25 fois ce qui représente environ 12 % des cas, alors que si on s'en tient à la définition classique du surdoué comme ayant un QI supérieur à 130, ils représenteraient moins de 2,5 % de la population générale. Certes, ici encore, on peut penser que le recrutement d'une consultation hospitalière spécialisée est biaisée en faveur de cas exceptionnels, mais l'écart constaté est, pour le moins, massif. Cette incidence est considérable quand on réalise que ces enfants ont souvent une réussite scolaire médiocre, avec son cortège de dépréciation par leur entourage et par eux-mêmes, pouvant compromettre durablement leur avenir socioprofessionnel, alors que leurs capacités intrinsèques devraient en théorie leur donner des facilités intellectuelles largement au-dessus de celles de leurs pairs. C'est dire l'importance pour le clinicien de ne pas passer à côté de cette éventualité face à un trouble d'apprentissage, au risque de compromettre définitivement l'avenir de ces enfants. C'est dire aussi que la fréquence de l'association a plus de chances d'être sous-estimée que surestimée.

Quant aux autres comorbidités observées chez les 25 cas de précocité, 17 (68 %) étaient également dyslexiques, en général une dyslexie de type visuelle (11) plutôt que phonologique (6), 8 étaient dysgraphiques, 6 avaient des troubles attentionnels et 7 des troubles d'acquisition du langage oral. Ces chiffres ne signifient pas que 68 % des enfants précoces ont des difficultés de lecture, puisque ce recrutement ne concernait que les enfants souffrant de difficultés d'apprentissage, ce qui n'est pas le cas de tous les enfants précoces...

Si les arguments font encore défaut pour associer dyslexie et précocité, ceux-ci ne manquent pas en revanche pour suggérer un développement cérébral atypique chez le surdoué. Dans une étude récente de 195 enfants ayant un quotient intellectuel supérieur à 130, Louis et coll. (2005) ont retrouvé deux types de facteurs significativement associés à la précocité : des facteurs d'ordre psychosocial, en particulier le statut marital des parents et leur niveau d'études, mais aussi des facteurs évoquant une altération d'ordre neurobiologique (grossesse anormale, stress périnatal, et terrain migraineux). Les auteurs discutent en particulier le possible effet à la fois physiologique et psychologique d'un stress périnatal sur le développement de l'enfant. Dans la littérature anglo-saxonne, les études sur les corrélats biologiques de la précocité ont surtout concerné des populations d'étudiants à haut degré de performance en mathématique. Les études de Camilla Benbow sont ainsi parmi les plus célèbres, dont celle montrant un plus grand nombre de gauchers et d'allergiques de même qu'un fonctionnement cognitif plutôt bihémisphérique (Benbow, 1986), autant de facteurs potentiels également invoqués à l'origine de la dyslexie.

Dans un cadre un peu différent, certains auteurs se sont demandés si une population de dyslexiques pourrait posséder un avantage cognitif sur la population générale, souvent désigné sous le terme de « talent ». L'un de ces talents souvent reconnus au dyslexique est une capacité supérieure dans le traitement visuo-spatial. Pourtant, les études réalisées dans ce domaine ont donné des résultats assez contradictoires. L'une des dernières, toutefois, est en faveur d'une supériorité générale des dyslexiques dans une tâche de décision sur des figures tridimensionnelles « impossibles », nécessitant de mettre en jeu une stratégie purement visuelle de rotation mentale (von Karolyi et coll., 2003). Une autre étude récente (Chiarello et coll., 2006) rapporte par le détail l'observation d'un adulte de 28 ans, à l'évidence sévèrement dyslexique et intellectuellement précoce, brillant étudiant en sciences sociales, avec un QI non verbal au 86^e percentile (PM 38) et pourtant en difficulté dans divers domaines de ses capacités cognitives dont le langage écrit, la mémoire et les capacités d'apprentissage, mais paradoxalement aussi certains aspects des mathématiques alors qu'il se disait globalement doué pour les maths. Par exemple, il enseignait brillamment les statistiques, mais se trouvait gêné par des calculs simples lorsqu'il devait faire une démonstration en cours. Globalement, après une scolarité à peine médiocre, il réussit de

brillantes études supérieures. Enfin, toutes les épreuves de langage écrit (sauf la compréhension) et certaines épreuves de langage oral, comme la morpho-syntaxe, étaient très déficitaires, laissant présumer de considérables facultés de compensation pour expliquer sa réussite actuelle. Les auteurs analysèrent avec attention son IRM cérébrale sur laquelle ils ont pu mettre en évidence un patron d'anatomie des sillons et des circonvolutions de la région pariétale inférieure, tout à fait inhabituel, se traduisant par une absence d'opercule pariétal sur l'hémisphère droit. Or, cet aspect est tout à fait exceptionnel, puisque les auteurs ne l'ont jamais retrouvé sur une soixantaine de sujets témoins. De manière très troublante, cet aspect a été également cité dans un cas célèbre de la littérature, le cerveau d'Albert Einstein, analysé il y a une dizaine d'années par Witelson et coll. (1999), une constatation qui avait donné lieu à l'époque à une énorme contestation dans le milieu scientifique, dénonçant quasi-unanimement un « inacceptable réductionnisme » et une « voie de recherche sans issue » (voir par exemple Galaburda, 1999). L'étude récente de Chiarello semblerait bien prouver le contraire³¹.

Incontestablement, la littérature est encore insuffisamment précise dans le domaine pour permettre de mesurer la fréquence exacte de l'association entre précocité et trouble des apprentissages, et de nouvelles études sont nécessaires. Mais si le fait se confirme, considérer la précocité intellectuelle comme une comorbidité de la dyslexie et des autres troubles d'apprentissage serait d'une importance théorique indéniable, fournissant un puissant instrument de réflexion pour aborder la question des mécanismes sous-jacents. En effet, plus encore que la co-occurrence de deux types de déficits, comme par exemple la dyslexie et la dyscalculie, l'observation chez un même individu d'un déficit et d'un talent particulier oblige à raisonner de manière différente. L'observation de deux déficits peut se concevoir à la lumière de la neuropsychologie modulaire classique comme l'effet d'un même processus pathologique sur deux modules distincts, tout comme une embolie cérébrale, par exemple, peut provoquer deux lésions distantes, l'une frontale, l'autre pariétale, et donner ainsi l'addition de symptômes de dysfonction frontale à des symptômes de dysfonction pariétale. Par analogie, on pourra alors présumer qu'un processus neurodéveloppemental pathologique puisse résulter à la fois en un déficit de nature linguistique (évoquant une dysfonction frontale gauche) et en un déficit de nature visuo-spatiale, évoquant une dysfonction pariétale droite. Dans ce contexte, on expliquera volontiers les différences entre syndromes lésionnels et syndromes développementaux par les qualités

31. De manière générale, les travaux d'imagerie dans le domaine de la précocité intellectuelle sont excessivement rares. On retiendra les écrits de Michael O'Boyle, en particulier une étude de sujets « mathématiquement doués » (O'Boyle et coll., 2005) dans laquelle ces auteurs retrouvent en IRM fonctionnelle un patron d'activation par une tâche de rotation mentale significativement plus vaste, en particulier dans les régions pariétales supérieures et frontales internes, par rapport à des sujets témoins.

de plasticité que possède le cerveau de l'enfant et que ne possède plus le cerveau adulte (Thomas et Karmiloff-Smith, 2002).

Mais si une telle explication peut à la rigueur se concevoir pour l'association de deux types de déficits, elle rend bien moins aisément compte de l'association d'un déficit avec un talent particulier. Dans ce cas, il est nécessaire d'imaginer qu'un processus commun ait été capable de provoquer à la fois la dysfonction d'un module et le meilleur fonctionnement d'un autre, ce qui contraint considérablement les modèles explicatifs potentiels. Par exemple, l'explication classique faisant du trouble phonologique l'unique déterminant du trouble d'apprentissage chez le dyslexique, peut être mise en difficulté par la constatation de déficits comorbides, et plus encore par celle de talents concomitants.

En conclusion, cette revue de littérature montre à quel point le concept de comorbidité est fondamental dans les troubles d'apprentissage et facteur de complexité tant pour le clinicien que pour le chercheur. Le clinicien doit rechercher et prendre en charge toutes les facettes du trouble, facettes relevant souvent de compétences professionnelles différentes, incitant encore une fois à promouvoir de manière impérative une attitude multidisciplinaire, volontiers aujourd'hui matérialisée sous la forme de réseaux de soins.

Pour le chercheur, ce concept est un puissant moteur pour avancer des hypothèses tentant d'expliquer par un ou des facteurs communs la survenue concomitante de plusieurs conditions, telles que celles revues ci-dessus. Il est clair qu'en retour, les avancées de la recherche ne pourront qu'être profitables à la démarche du clinicien.

BIBLIOGRAPHIE

AHISSAR M, PROTOPAPAS A, REID M, MERZENICH MM. Auditory processing parallels reading abilities in adults. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 2000, **97** : 6832-6837

ALBARET JM. Évaluation psychomotrice des dyspraxies de développement. *Evolutions Psychomotrices* 1995, **7** : 3-11

AUGUST G, GARFINKEL B. Comorbidity of ADHD and reading disability among clinic-referred children. *J Abnorm Child Psychol* 1990, **18** : 29-45

BAUM S. The gifted/learning disabled: A paradox for teachers. *Education Digest* 1990, **8** : 54-57

BENBOW CP. Physiological correlates of extreme intellectual precocity. *Neuropsychologia* 1986, **24** : 719-725

BENBOW CP. Sex differences in mathematical reasoning ability in intellectually talented preadolescents: their nature, effects and possible causes. *Brain Behav* 1988, **11** : 169-232

BENSON DF, GESCHWIND N. Developmental Gerstmann syndrome. *Neurology* 1970, **20** : 293-298

BILLARD C, DUCOT B, PINTON F, COSTE-ZEITOUN D, PICARD S, WARSZAWSKI J. Validation de la BREV, Batterie clinique d'évaluation des fonctions cognitives, en comparaison à une batterie de référence, dans les troubles des apprentissages. *Arch Fr Ped* 2006, **13** : 23-31

BISHOP DVM, SNOWLING MJ. Developmental Dyslexia and Specific Language Impairment: Same or Different? *Psychological Bulletin* 2004, **130** : 858-886

BRUN-HÉNIN F, CAY-MAUBUISSON M, HABIB M. Troubles de l'écriture résiduels chez l'adulte dyslexique. Manuscrit en préparation

CASTLES A, COLTHEART M. Varieties of developmental dyslexia. *Cognition* 1993, **47** : 149-180

CUVELLIER JC, PANDIT F, CASALIS S, LEMAÎTRE MP, CUISSET JM, et coll. Analyse d'une population de 100 enfants adressés pour troubles d'apprentissage scolaire. *Archives de pédiatrie* 2004, **11** : 201-206

CHIARELLO C, LOMBARDINO LJ, KACINIK NA, OTTO R, LEONARD CM. Neuroanatomical and behavioral asymmetry in an adult compensated dyslexic. *Brain Lang* 2006, **98** : 169-181

DAFFAURE V, DE MARTINO S, CHAUVIN C, CAY-MAUBUISSON M, CAMPS R, et coll. Dyslexie de développement et trouble temporel : de la perception auditive à la perception du temps conventionnel. *Rev Neuropsychol* 2001, **11** : 115-116

DEHAENE S, MOLKO N, COHEN L, WILSON AJ. Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology* 2004, **14** : 218-224

DEWEY D, KAPLAN BJ. Subtyping of developmental motor deficits. *Developmental Neuropsychology* 1994, **10** : 265-284

DEWEY D, KAPLAN BJ, CRAWFORD SG, WILSON BN. Developmental coordination disorder: associated problems in attention, learning, and psychosocial adjustment. *Hum Mov Sci* 2002, **21** : 905-918

DIX J, SCHAFER S. From paradox to performance: Practical strategies for identifying and teaching g/lid students. *Gifted Child Today Magazine* 1996, **19** : 22-31

DYKMAN RA, ACKERMAN PT. ADD and Specific Reading Disability: Separate but often overlapping disorders. *Journal of Learning Disabilities* 1991, **24** : 96-103

FAWCETT AJ, NICOLSON RI. Automatization deficits in balance for dyslexic children. *Perceptual and Motor Skills* 1992, **75** : 507-529

FERRI B, GREGG N, HEGGOY S. Profiles of college students demonstrating learning disabilities with and without giftedness. *J Learning Disabilities* 1997, **30** : 552-559

FLETCHER-FLINN C, ELMES H, STRUGNELL D. Visual-perceptual and phonological factors in the acquisition of literacy among children with congenital developmental coordination disorder. *Dev Med Child Neurol* 1997, **39** : 158-166

FRICK PJ, KAMPHAUS RW, LAHEY BB, LOEBER R, CHRIST MAG, et coll. Academic underachievement and the disruptive behavior disorders. *Journal of Consulting and Clinical Psychology* 1991, **59** : 289-294

GALABURDA AM. Albert Einstein's brain. *Lancet* 1999, **354** : 1821-1822

GILGER JW, PENNINGTON BF, DEFRIES JC. A twin study of the etiology of comorbidity: Attention deficit-hyperactivity disorder and dyslexia. *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 1992, **31** : 343-348

GIRAUD K, DEMONET DÉMONET JF, HABIB M, MARQUIS P, CHAUVEL P, LIEGEOIS-CHAUVEL C. Auditory Evoked Potential Patterns to Voiced and Voiceless Speech Sounds in Adult Developmental Dyslexics with Persistent Deficits. *Cereb Cortex* 2005, **15** : 1524-1534

GROSS-TSUR V, MANOR O, SHALEV RS. Developmental dyscalculia : Prevalence and demographic features. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1996, **38** : 25-33

HABIB M. La dyslexie à livre ouvert. Résodys, Marseille, 2003 : 171 p

HALPERN D. Sex differences in Cognitive abilities. 3d edition, Erlbaum, Mahwah, NJ, 2000

HAWKINS J, LISHNER D. Schooling and delinquency. In : Handbook of crime and delinquency prevention. JOHNSON EH (ed). New York, Guilford Press, 1987 : 179-221

HILL EL. Non-specific nature of specific language impairment: A review of the literature with regard to concomitant motor impairments. *International J Language Communication Disorders* 2001, **36** : 149-171

HOARE D. Subtypes of developmental coordination disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly* 1994, **11** : 158-169

IVRY RB, KEELE SW. Timing functions of the cerebellum. *J Cogn Neurosci* 1989, **1** : 136-152

IVRY RB, SPENCERRMC, ZELAZNIKHN, DIEDRICHSEN J. The cerebellum and event timing. *Ann N Y Acad Sci* 2002, **978** : 302-317

KADESJO B, GILLBERG C. Developmental coordination disorder in Swedish 7-year-old children. *J Am Acad Child Adol Psychiatry* 1999, **38** : 820-828

KAPLAN BJ, WILSON BN, DEWEY D, CRAWFORD SG. DCD may not be a discrete disorder. *Human Movement Science* 1998, **17** : 471-490

KAUFMANN F, KALBFLEISCH ML, CASTELLANOS FX. Attention deficit disorders and gifted students : what do we really know? Storrs, CT, National Research Center on the Gifted and Talented, University of Connecticut, 2000

KING WM, LOMBARDINO LJ, CRANDELL CC, LEONARD CC. Comorbid Auditory Processing Disorder in Developmental Dyslexia. *Ear & Hearing* 2003, **24** : 448-456

- KNOPIK VS, ALARCON M, DEFRIES JC. Comorbidity of mathematics and reading deficits: evidence for a genetic etiology. *Behav Genet* 1997, **27** : 447-453
- LANDERL K, BEVAN A, BUTTERWORTH B. Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9 year old students. *Cognition* 2004, **93** : 99-125
- LESNY IA. Developmental dyspraxia-dysgnosia as a cause of congenital children's clumsiness. *Brain & Development* 1980, **2** : 69-71
- LEWIS C, HITCH G, WALKER P. The prevalence of specific arithmetic difficulties and specific reading difficulties in 9- and 10-year-old boys and girls. *J Child Psychol Psychiatry* 1994, **35** : 283-292
- LIÉGEOIS-CHAUVÉL C, DEGRAAF JB, LAGUITTON V, CHAUVÉL P. Specialization of left auditory cortex for speech perception in man depends on temporal coding. *Cereb Cortex* 1999, **9** : 484-496
- LOUIS J, REVOL O, NEMOZ C, GULAC RM, FOURNERET P. Les facteurs psychophysiologiques de la précocité intellectuelle : résultats d'une enquête comparative chez l'enfant entre 8 et 11 ans. *Arch Pédiatrie* 2005, **12** : 520-525
- LYYTINEN H, AHONEN T, EKLUND K, GUTTORM T, KULJU P, et coll. Early Development of Children at Familial Risk for Dyslexia : Follow-up from Birth to School Age. *Dyslexia* 2004, **10** : 146-178
- LLÍNAS R. Is dyslexia a dyschronia ? *Ann NY Acad Sci* 1993, **682** : 48-56
- MACNAB JJ, MILLER LT, POLATAJKO HJ. The search for subtypes of DCD: Is cluster analysis the answer? *Human Movement Science* 2001, **20** : 49-72
- MANIS FR, SEIDENBERG MS, DOI LM, MCBRIDE-CHANG C, PETERSEN A. On the bases of two subtypes of development dyslexia. *Cognition* 1996, **58** : 157-195
- NICOLSON, RI, FAWCETT AJ, DEAN P. Time estimation deficits in developmental dyslexia: evidence for cerebellar involvement. *Proceedings of the Royal Society* 1995, **259** : 43-47
- O'BOYLE MW, CUNNINGTON R, SILK TJ, VAUGHAN D, JACKSON G, SYNGENIOTIS A, EGAN GF. Mathematically gifted male adolescents activate a unique brain network during mental rotation. *Cognitive Brain Research* 2005, **25** : 583-587
- O'HARE A, KHALID S. The association of abnormal cerebellar function in children with developmental coordination disorder and reading difficulties. *Dyslexia* 2002, **8** : 234-248
- OSTAD SE. Comorbidity between mathematics and spelling difficulties. *Logopedics Phoniatrics Vocology* 1998, **23** : 145-154
- PIEK JP, PITCHER TM, HAY DA. Motor coordination and kinaesthesia in boys with attention deficit-hyperactivity disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1999, **41** : 159-165
- RAMUS F, PIDGEON E, FRITH U. The relationship between motor control and phonology in dyslexic children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry* 2003a, **44** : 712-722

RAMUS F, ROSEN S, DAKIN SC, DAY BL, CASTELLOTE JM, et coll. Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain* 2003b, **126** : 841-865

RASMUSSEN P, GILLBERG C. Natural outcome of ADHD with developmental coordination disorder at age 22 years: A controlled, longitudinal, community-based study. *J Am Acad Child Adol Psychiatry* 2000, **39** : 1424-1431

REY V, DE MARTINO S, ESPESSER R, HABIB M. Temporal processing and phonological impairment in dyslexia. Effect of phoneme lengthening on order judgement of two consonants. *Brain Lang* 2002, **80** : 576-591

ROSEN S. Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *J Phonetics* 2003, **31** : 509-527

ROURKE BP. Arithmetic disabilities, specific and otherwise: A neuropsychological perspective. *J Learning Disabilities* 1993, **26** : 214-226

ROURKE BP. Syndrome of non-verbal learning disabilities: neurodevelopmental manifestations. New York, NY, Guilford Press, 1995

RUTTER M, YULE W. Reading retardation and antisocial behavior: The nature of the association. In : Education health and behavior. RUTTER M, TIZARD J, WHITMORE K (eds). Longmans, London, 1970 : 240-255

SAMUELSSON S, LUNDBERG I, HERKNER B. ADHD and reading disability in male adults: is there a connection? *J Learn Disabil* 2004, **37** : 155-168

SEMRUD-CLIKEMAN M, BIEDERMAN J, SPRICH-BUCKMINSTER S, LEHMAN B, FARAONE S, NORMAN D. Comorbidity between ADHD and learning disability: A review and report in a clinically referred sample. *J Am Acad Child Adol Psychiatry* 1992, **31** : 439-448

SHAYWITZ BA, FLETCHER JM, SHAYWITZ SE. Defining and classifying learning disabilities and attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of Child Neurology* 1995, **10** : S50-57

THOMAS M, KARMILOFF-SMITH A. Are developmental disorders like cases of adult brain damage? Implications from connectionist modelling. *Behavioral and Brain Sciences* 2002, **25** : 727-788

VELLUTINO FR. Dyslexia: Research and theory. MIT Press, Cambridge, MA, 1979

VISSER J. Developmental coordination disorder: a review of research on subtypes and comorbidities. *Human Movement Science* 2003, **22** : 479-493

VON KÁROLYI C, WINNER E, GRAY W, SHERMAN GF. Dyslexia linked to talent: Global visual-spatial ability. *Brain and Language* 2003, **85** : 427-431

WILLCUTT EG, PENNINGTON BF. Comorbidity of reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder: Differences by gender and subtype. *Journal of Learning Disabilities* 2000, **33** : 179-191

WITELSON SF, KIGAR DL, HARVEY T. The exceptional brain of Albert Einstein. *Lancet* 1999, **353** : 2149-2153

13

Troubles comportementaux ou émotionnels associés à la dyslexie

Plusieurs travaux de la littérature apportent des preuves significatives de la fréquence d'une association entre les difficultés d'apprentissages et les troubles comportementaux ou émotionnels. Ces troubles associés peuvent alors être secondaires à la situation d'échec scolaire et/ou aux conditions environnementales sociales, familiales ou psychoaffectives aggravant le trouble cognitif ou bien s'inscrire, au contraire, dans une réelle comorbidité, avec un lien d'ordre génétique, entre les deux affections.

Même si la question du mécanisme sous-jacent à l'association « troubles des apprentissages et troubles comportementaux et émotionnels » est loin d'être résolue, il apparaît indispensable de reconnaître chez les enfants, les caractéristiques des troubles cognitifs « spécifiques » pour leur accorder la prise en charge pédagogique et de soins adaptée.

Revue de la littérature

Prior et coll. (1999) ont étudié l'association entre les troubles comportementaux et émotionnels et les apprentissages scolaires à partir d'un échantillon initial de 2 443 enfants australiens suivis longitudinalement depuis l'âge de 7-8 ans et examinés à 11-12 ans sur le plan de leurs comportements et de leurs apprentissages. Parmi les 2 443 préadolescents, 183 ont été considérés comme le groupe « clinique », présentant un trouble psychopathologique, en ce sens que le CBQ (*Child Behavior Questionnaire*) révélait pour deux ou plus informateurs (parents, enfant et enseignant) un score d'au moins une déviation standard au-dessous de la norme à au moins une des échelles de troubles psychologiques externalisés (hostile-agressif, hyperactif-distractable) ou internalisé (anxieux-apeuré). Une interview individuelle complémentaire a cherché à effectuer un diagnostic de troubles du comportement ou troubles émotionnels selon les critères du DSM : chez 47,3 % des enfants du groupe « clinique », le diagnostic d'un, deux ou plus de troubles a été retenu. Un groupe témoin a été constitué de 96 enfants, sans trouble

au CBQ, appariés au groupe « clinique » selon l'âge et les facteurs socio-culturels. Parmi les enfants de ce groupe témoin, 9,3 % seulement ont reçu un diagnostic selon les critères du DSM. Le score du QI évalué par la forme brève du WISC est plus faible chez les enfants du groupe clinique (105,95 *versus* 112,44) mais néanmoins dans les normes. Les compétences en lecture (test ACER), orthographe (WRAT-R) et mathématiques (WRAT-R) du groupe « clinique » sont significativement plus faibles (en moyenne respectivement 36^e centile, 43^e et 51^e) que dans le groupe témoin (52^e, 61^e et 74^e centile). Cette étude très complète confirme la comorbidité entre troubles des apprentissages et troubles comportementaux et émotionnels. Si la comorbidité avec les troubles externalisés est très largement décrite dans la littérature (Hinshaw, 1992), cette étude indique également l'existence d'une comorbidité avec les troubles internalisés tels que l'anxiété détectée par l'interview de l'enfant. Le suivi longitudinal de cette cohorte montre que les troubles des apprentissages détectés à 7-8 ans persistent très largement à 11-12 ans (80 % de persistance pour les difficultés en langage écrit et 57 % pour les difficultés en mathématiques). Les troubles des apprentissages touchent aussi fréquemment les filles que les garçons. En cohérence avec l'expérience clinique, l'association entre difficultés d'apprentissages et troubles internalisés apparaît fréquente, principalement chez les filles.

Néanmoins, cette étude ne détaille pas les caractéristiques des troubles des apprentissages observés chez les enfants du groupe « clinique » avec troubles comportementaux et/ou émotionnels, ni en terme de sévérité ni en terme de profil.

Dans le même ordre d'idée, Maugham et coll. (2003) ont étudié l'association entre troubles de la lecture et humeur dépressive à partir d'un échantillon de 1 416 garçons âgés de 7 à 10 ans. Dans cet échantillon, 9,1 % des enfants (soit 134) ont été détectés comme pauvres lecteurs du fait d'un score au CAT (*California Achievement Test*) inférieur au 6^e centile lors de l'évaluation initiale et dont les difficultés persistaient lors du suivi longitudinal. Une humeur dépressive a été recherchée sur l'ensemble de la cohorte par le SMFQ (*Short Version of the Mood and Feelings Questionnaire*) et un trouble psychopathologique externalisé ou internalisé par le questionnaire CBCL (*Child Behavior Check List*). Les données ont été recueillies de façon longitudinale sur plusieurs années. Une analyse multivariée a permis d'apprécier le rôle des différents facteurs. Une humeur dépressive est associée de manière indépendante à deux facteurs démographiques et familiaux : l'existence de punitions physiques administrées par les parents ($p=0,002$) et un déficit de supervision parentale ($p=0,03$), alors que le niveau socioéconomique apparaît moins corrélé ($p=0,098$). Par ailleurs, une humeur dépressive est associée à un trouble des conduites ($p=0,02$) et à la délinquance ($p=0,038$), ainsi qu'à un trouble de l'attention indépendamment

des troubles de conduite ou délinquance. Dans l'analyse multivariée des corrélations démographiques, familiales et comportementales, les troubles de lecture sont liés aux facteurs ethniques (fréquence plus élevée chez les africains américains, $p < 0,001$) et au niveau socioéconomique ($p = 0,001$). La comorbidité des troubles de lecture est élevée avec les troubles de conduite ($p = 0,078$), le trouble déficit de l'attention/hyperactivité (TDAH) ($p = 0,04$) et l'inattention ($p = 0,009$).

Les enfants en difficultés de lecture sont significativement plus déprimés (9,6 % chez les bons lecteurs *versus* 23 % chez les mauvais lecteurs, $p < 0,01$) et l'association reste très élevée lorsque l'analyse multivariée inclut tous les facteurs confondants ($p = 0,007$). Si l'association entre troubles de la lecture et humeur déprimée persiste lors des trois points du suivi longitudinal, il n'est pas montré d'exacerbation du risque de dépression. Les garçons en difficultés de lecture les plus jeunes ont trois fois plus de risques que leurs pairs d'être déprimés lors de la première évaluation. Le niveau socioéconomique plus faible chez les lecteurs en difficulté, ou les punitions physiques infligées par les parents et le déficit de supervision parentale, plus fréquents chez les enfants déprimés, affectent peu la corrélation entre trouble de lecture et dépression. De même, l'association entre troubles de la lecture et humeur dépressive reste significative et forte après exclusion des troubles psychiatriques externalisés. Enfin, le suivi longitudinal suggère que les effets d'une dépression précoce sur les scores de lecture sont faibles. Il est plus vraisemblable que les difficultés de lecture sont d'emblée associées à la dépression dans une réelle comorbidité.

Les résultats de ces deux études sont en accord avec le travail de Pennington (1992) qui montre également un taux accru de troubles internalisés chez les mauvais lecteurs.

Enfin, les caractéristiques comportementales d'une population de 130 enfants souffrant d'une dyscalculie développementale (62 garçons et 68 filles) ont été étudiées par le questionnaire CBCL en comparaison à une population témoin appariée non dyscalculique (Shalev et coll., 1995). Globalement, le pourcentage de problèmes comportementaux, aussi bien externalisés qu'internalisés est significativement plus élevé dans la population dyscalculique que dans la population normale mais moins élevé que dans une population d'enfants référés en psychiatrie. Ceci est aussi vrai chez les filles que les garçons. Parmi ces enfants, 37 % des garçons et 25 % des filles avec dyscalculie avaient un score pathologique au CBCL.

Avec une population plus restreinte (25 enfants dyslexiques) comparée à un groupe témoin et dont le comportement a été évalué à 10-12 ans par le CBCL rempli par les parents, le TRF (*Teacher Self report*) rempli par l'enseignant et le YSR (*Youth Self Report*) rempli par le pré-adolescent, Heiervang et coll. (2001) aboutissent aux mêmes conclusions. Dans le groupe dyslexique, les troubles psychopathologiques sont plus fréquents d'après le CBCL et le

TRF. La différence pour le YSR n'atteint pas le seuil de significativité. Les groupes diffèrent également sur le plan social, les risques périnataux, le poids de naissance, le QI et les difficultés à l'âge préscolaire, mais ces facteurs ne rendent pas compte du niveau de trouble comportemental dans la population dyslexique.

Dans un échantillon français, Billard et coll. (2006) retrouvaient, lors de l'examen médical, psychologique et orthophonique, des difficultés psychoaffectives chez 48 des 173 enfants de 4 à 9 ans porteurs d'un trouble des apprentissages.

Néanmoins, aucune de ces études ne compare précisément le profil cognitif de la population avec troubles des apprentissages et troubles psychoaffectifs associés à celui de la population sans trouble psychoaffectif (en référence aux neurosciences cognitives). La reconnaissance de cette fréquente association doit amener à des études plus fines sur les caractéristiques cognitives et psychopathologiques, sur leur évolution et les effets des prises en charge respectives.

Une synthèse de l'*American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* (AACAP, 1998) sur l'évaluation et le traitement des troubles du langage et des apprentissages de l'enfant décrit également cette comorbidité avec les troubles psychopathologiques de l'axe I du DSM-IV chez 50 % des enfants (Cantwell et Baker, 1991 ; Standford et Hynd, 1994 ; Beitchman et coll., 1996). Ces données sont issues aussi bien d'évaluations d'enfants référés à un système spécialisé d'éducation en raison, à la fois, d'un trouble psychiatrique et d'un trouble du développement, que d'évaluations psychiatriques d'enfants référés uniquement pour un trouble des apprentissages. L'anxiété de performance, les difficultés de relations avec les pairs, les relations familiales conflictuelles et la faible estime de soi sont également fréquemment rencontrées dans cette population même si les critères pour un trouble psychiatrique de l'axe I du DSM-IV ne sont pas remplis (Falik, 1995). L'association avec le TDAH est fréquente (Hinshaw, 1992). Un trouble de parole ou de langage est fréquemment associé à une anxiété, principalement chez les filles (Beitchman, 1996). Un trouble des apprentissages et/ou du langage prédispose souvent à un trouble psychiatrique ultérieur de l'axe I (Cantwell et Baker, 1991), même si celui-ci n'existait pas lors de la première évaluation. Les troubles émotionnels et/ou comportementaux peuvent masquer les difficultés d'apprentissages. Ceci souligne la nécessité pour le clinicien d'être vigilant dans l'évaluation et la prise en charge des troubles d'apprentissage : aspect cognitif, émotionnels et comportementaux. Une thérapie individuelle ou de groupe peut être envisagée en fonction de la symptomatologie et en association à la prise en charge pédagogique et rééducative.

Dyslexie et trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité

La littérature la plus abondante concerne l'association troubles des apprentissages, en général ou dyslexie en particulier, et trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Si un enfant présente soit une dyslexie, soit un TDAH, le risque qu'il manifeste l'autre trouble est évalué autour de 25 à 40 % (Semrud-Clikeman et coll., 1992 ; Willcutt et Pennington, 2000), voire une fourchette de fréquence encore plus large dans certaines études (10 à 92 %, Biederman et coll., 1991). Le choix des critères de définition pour le TDAH et les troubles des apprentissages, les instruments de mesure, l'âge de l'enfant et le lieu de recrutement sont autant de facteurs pouvant expliquer la disparité de la fréquence de cette comorbidité selon les études. Ce type d'association est également fréquemment retrouvé dans une population d'enfants français (Touzin et Mouren-Simeoni, 2000).

Plusieurs hypothèses de causalité peuvent être soulevées. La première hypothèse est que le TDAH peut conduire à l'échec scolaire, que l'on invoque un facteur psychopathologique ou un facteur cognitif (déficit des fonctions exécutives) à l'origine du trouble comportemental. La seconde hypothèse est que l'échec scolaire engendre une hyperactivité, qu'il s'agisse d'un vrai syndrome TDAH ou plutôt d'une phéno-copie (Pennington et coll., 1993). La troisième hypothèse suggère une origine commune sous-tendant les deux troubles.

Cette dernière hypothèse semble être privilégiée dans l'étude du *Colorado Learning Disabilities Research Center* qui recherche l'étiologie de la dyslexie et des troubles comorbides dans un échantillon de 394 jumeaux (Willcutt et Pennington, 2000). L'existence d'une ou des deux troubles (TDAH et dyslexie) est explorée à partir de questionnaires rétrospectifs (sur l'existence d'un TDAH ou d'une dyslexie dans l'enfance des parents et chez les enfants), de l'échelle du DSM-IV du TDAH, ainsi que d'une évaluation des compétences en lecture et orthographe (*Peabody Individual Achievement Test*) réalisée chez les enfants. Les auteurs trouvent que les enfants dyslexiques ont significativement plus de troubles d'allure psychiatrique que les non-dyslexiques. Parmi ces troubles, ils distinguent deux groupes : les troubles dits « externalisés » (agression, délinquance, trouble oppositionnel avec provocation, trouble des conduites) et les troubles « internalisés » (anxiété, dépression). Si les dyslexiques présentent plus fréquemment des troubles des deux types, une analyse par régression logistique montre que seuls ceux du deuxième groupe entretiennent un lien direct avec la dyslexie, lorsque le facteur hyperactivité est contrôlé. En d'autres termes, la fréquence plus élevée de troubles comportementaux de type externalisé chez les dyslexiques semble directement liée à la comorbidité entre dyslexie et hyperactivité. L'association entre anxiété et dépression, d'une part, et dyslexie d'autre part

est indépendante de l'hyperactivité, qu'il s'agisse d'une comorbidité ou de la conséquence d'un vécu négatif par l'enfant de ses difficultés d'apprentissage. En outre, fait remarquable, le lien entre dyslexie et troubles externalisés est spécifique du sexe masculin, alors que celui entre troubles internalisés et dyslexie est plus fort chez les dyslexiques de sexe féminin. Quant au facteur génétique, il apparaît dans cette étude qu'au sein d'une paire de jumeaux où seul l'un des enfants est dyslexique, la présence de troubles externalisés est commune aux deux jumeaux alors que les troubles internalisés sont spécifiques aux individus dyslexiques, suggérant ici encore un facteur génétique commun pour les troubles externalisés (incluant donc au premier chef l'hyperactivité) et non pour les troubles internalisés.

Des travaux récents en génétique moléculaire semblent confirmer cette hypothèse en montrant un lien entre l'association TDAH + dyslexie et certains sites sur le chromosome 14 (Gayan et coll., 2005) ou encore les chromosomes 16p et 17q (Loo et coll., 2004), de même qu'entre le polymorphisme d'un gène codant pour un récepteur adrénergique (ADRA2A) et l'association comorbide dyslexie-hyperactivité (Stevenson et coll., 2005). Citons enfin la possibilité d'intervention d'un phénomène dit de « *non-random mating* ». Telle que proposée initialement par Faraone et coll. (1993), cette hypothèse est basée sur l'observation que les épouses d'hommes souffrant de TDAH seraient plus souvent elles-mêmes dyslexiques, de sorte que, de par la transmission génétique indépendante des deux affections, leurs enfants auraient plus de risque d'être porteurs des deux troubles, une constatation qui n'a pas été confirmée dans une étude plus récente (Friedman et coll., 2003).

Finalement, cette tendance actuelle à considérer la comorbidité entre les deux affections comme essentiellement constitutionnelle ne doit pas occulter le fait que les troubles d'attention, symptôme cognitif majeur du tableau de TDAH, ont nécessairement une influence négative sur les apprentissages en général. Plusieurs études ont ainsi montré que les formes inattentives de TDAH sont les plus à même de retentir négativement sur les apprentissages et sur les performances scolaires (Aro et coll., 2005). Enfin, comme le font remarquer ces derniers auteurs, le trouble d'attention est source d'importantes frustrations et de possible démotivation dans les apprentissages en général, et les apprentissages fondamentaux (lecture, écriture, calcul) en particulier. Le trouble de l'attention peut aussi être « défensif », élaboré par l'enfant dans une tentative désespérée de rehausser son estime de soi, devenant ainsi une composante plausible de ses difficultés et participant au « cercle vicieux » de l'échec scolaire. Pour éviter ces effets confondants lors des études scientifiques, la priorité semble devoir être donnée aux études longitudinales multidimensionnelles, les plus à même d'affirmer le sens de la causalité suspectée entre deux types de symptômes. Ici, comme dans beaucoup d'autres domaines en matière de troubles des apprentissages, il convient de garder à l'esprit le caractère complexe et multifactoriel des effets

observés en clinique, même si les observations des chercheurs semblent relativement univoques.

En résumé, la comorbidité entre trouble déficit de l'attention/hyperactivité et troubles des apprentissages est une réalité. Même s'il n'est pas possible d'affirmer le lien de causalité, la part des facteurs génétiques ou des conséquences psychopathologiques à l'origine de cette association, il est une fois de plus indispensable d'évaluer chez les enfants porteurs d'un trouble des apprentissages les compétences attentionnelles et le degré d'hyperactivité, ainsi que les autres symptômes psychopathologiques associés, afin d'en déduire les conséquences thérapeutiques.

Troubles des apprentissages et psychanalyse

Plusieurs équipes ont largement décrit leur expérience de pédopsychiatre ou psychologue de formation ou d'orientation psychanalytique avec les enfants porteurs de troubles des apprentissages. Dès les années 1950, à la suite de l'émergence de la littérature anglo-saxonne et scandinave sur la dyslexie, les équipes d'Ajuriaguerra, Diatkine, en lien avec Borel-Maisonny se sont intéressées aux troubles du langage. Diatkine, dans son chapitre sur les troubles de la parole et du langage du « Nouveau Traité de Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent » (1985), décrit les troubles d'acquisitions de lecture des enfants dysphasiques ainsi que le concept de dyslexie-dysorthographe. Plus récemment, Birraux (2001), Berger (2003), Flagey (1996) reprennent, comme Diatkine, les critères actuels de définition des troubles spécifiques des apprentissages, ainsi que la nécessité d'un repérage précoce de ces troubles et d'une évaluation rigoureuse des compétences cognitives de l'enfant. La diversité des présentations cliniques des déficits instrumentaux présentés par les enfants est reconnue dans cette littérature (Flagey, 1996 ; Berger, 2003) : troubles du schéma corporel, des repères temporels, spatiaux, des discriminations perceptives (auditives, visuelles...), troubles du langage oral et écrit, des acquisitions en mathématiques, ainsi que leur point commun de s'inscrire tous dans des compétences intellectuelles globalement préservées. Il est également important de considérer comment ces déficits préexistants s'inscrivent dans le fonctionnement psychique de l'enfant. Les développements cognitif et affectif se trouvent, en effet, très tôt entremêlés.

Sollicités par les rééducateurs et les pédagogues, particulièrement lorsque l'évolution n'était pas optimale, les psychiatres et psychanalystes se sont intéressés à l'environnement et surtout au fonctionnement psychique dans lequel survenaient les difficultés d'apprentissage de l'enfant afin de mieux cerner les approches thérapeutiques à proposer. Berger (2003) décrit des tableaux cliniques très divers, à première vue disparates, dans lesquels s'inscrivent les difficultés d'apprentissage. Certaines difficultés d'apprentissage

peuvent être associées à un trouble envahissant du développement tel que défini par le DSM-IV, ou à une dysharmonie évolutive telle que décrite dans la Classification française des troubles mentaux de l'enfant et l'adolescent (Mises et coll., 2000), cette pathologie primitive mentale excluant donc le diagnostic de troubles spécifiques des apprentissages (donc de dyslexie). Pour d'autres enfants, les difficultés d'apprentissages peuvent s'inscrire dans des interactions précoces difficiles, ou dans une insuffisance de stimulation environnementale. Mais tous les auteurs s'accordent à dire que les dyslexies, comme les dyspraxies, peuvent survenir dans des familles « suffisamment bonnes » pour reprendre les termes de Winnicott (Diatkine, 1999 ; Mises, 2001 ; Flagey, 2002). Ces troubles spécifiques d'origine neurodéveloppementale peuvent alors entraîner de façon secondaire une souffrance liée à la situation d'échec. La grande diversité de ces situations est à rapprocher de façon générale de celle d'un handicap qui peut contraindre enfant et parents à une organisation psychique particulière (Lapalus-Netter, 1987).

Lorsque l'enfant et sa famille sont en souffrance, et/ou lorsque la rééducation appropriée ne donne pas les résultats escomptés, l'analyse du développement psychique de l'enfant et de ses interactions avec son environnement, utilisant les modèles psychanalytiques, peut s'articuler avec les données cognitives. Dans une étude comparant les résultats du test projectif de Rorschach chez 40 enfants non-lecteurs (Joubert et coll., 1994), à ceux d'un groupe témoin d'enfants tout-venant de 9 à 11 ans (Beizman, 1982), les auteurs concluent que l'impossibilité de lire ne s'appuie pas sur une organisation de personnalité univoque mais sur une grande diversité individuelle. Claudon et De Tychev (1998), comparant les résultats des données projectives de 18 enfants dyslexiques, en échec de rééducation orthophonique, à leurs homologues non dyslexiques décrivent des problèmes de résolution de l'Œdipe. Pour certains auteurs, les troubles des apprentissages peuvent s'associer à un trouble du registre narcissique (Flagey, 1996). Pour d'autres, les difficultés en lecture associées à des difficultés en mathématiques, sans déficience intellectuelle, peuvent évoquer un tableau d'inhibition psychique (Helman, 1954 ; Flagey, 1977), que les auteurs replacent dans le développement de la pensée et de l'intelligence et dans les conflits inconscients (Freud, 1926). La difficulté d'accéder au code alphabétique serait parfois à éclairer par l'histoire personnelle et familiale (Bergès, 2003 ; Rose, 2003).

L'objet même de la psychanalyse de l'enfant est l'étude du contexte psychoaffectif dans lequel se situe son développement. Certains psychanalystes insistent néanmoins sur la nécessité de connaître, reconnaître, et prendre en compte également les aspects cognitifs. Birraux (2001), dans son chapitre sur les troubles des fonctions cognitives du traité de psychopathologie de l'enfant, écrit : « La réalité des facteurs instrumentaux et cognitifs qui participent aussi au bon développement de l'enfant... est trop souvent négligée dans la clinique psychanalytique. » Quelle que soit la conception retenue du développement du langage, Diatkine, comme Berger et Flagey insistent sur

le rôle fondamental d'une rééducation appropriée et Diatkine rend hommage à l'expérience de Borel-Maisonny. On peut s'étonner avec Flagey (1996) « de la difficulté qu'ont beaucoup de professionnels de la santé mentale à prendre en compte la complexité de ces cas qui nous invite à articuler des points de vue différents : les facteurs biologiques, le fonctionnement cognitif, la structuration du psychisme et l'organisation fantasmatique, les systèmes familiaux et sociaux... Ces enfants au carrefour de toutes nos théories, nous lancent un défi passionnant, et nous invitent à mieux comprendre, en nous aussi, les rapports de la vie affective et de la connaissance ». L'approche psychanalytique vient donc apporter un éclairage complémentaire.

En conclusion, même si ceci semble paradoxal avec le caractère spécifique des troubles des apprentissages, la littérature comme la réalité clinique nous montrent que les enfants en souffrant ont aussi fréquemment des troubles comportementaux ou émotionnels. Il peut s'agir de troubles externalisés, dont le plus fréquemment étudié est l'hyperactivité et le déficit d'attention. Il peut s'agir aussi de troubles internalisés, moins visibles, qu'il convient de rechercher. Nous ne sommes pas aujourd'hui en mesure de définir précisément la relation de causalité. Néanmoins, la possibilité de cette association doit être reconnue pour une prise en compte des deux types de troubles sans exclusion. Les approches abordant différemment le développement de l'enfant, l'un cognitif basé sur les neurosciences, l'autre psychique basé sur les modèles psychanalytiques, sont loin d'être incompatibles. Elles peuvent même, à condition que l'une n'exclue pas l'autre, permettre une prise en charge de l'enfant dans sa globalité et sa diversité tant au plan cognitif, qu'au plan de sa relation à son environnement.

BIBLIOGRAPHIE

AJURRIAGUERRA J DE. À propos des troubles de l'apprentissage de la lecture ; critiques méthodologiques. *Enfance* 1951, **4** : 389-399

AJURRIAGUERRA J DE, BOREL-MAIZONNY S, DIATKINE R, STAMBAK M. Le groupe des audimutités. *Psychiatr. Enfant* 1958, **1** : 7-61

AMERICAN ACADEMY OF CHILD AND ADOLESCENT PSYCHIATRY (AACAP). Practice parameters for the assessment and treatment of children and adolescents with language and learning disorders. *J Am Child Adolesc Psychiatry* 1998, **37** : 10

ARO T, SEMRUD-CLIKEMAN M, LAPVETELÄINEN AM, LYYTINEN H. Developmental underpinnings of the association of attention deficit hyperactivity disorder and its subtypes to neuropsychological and academic weaknesses. In : Attention Deficit Hyperactivity Disorder: from genes to patients. GOZAL D, MOLFESE D (eds). Humana Press, Totowa, NJ, 2005

BEITCHMAN J, BROWNLIE E, INGLIS A, FERGUSON B, SCHACHTER D. Seven-year follow up of speech/Language impaired and control children: psychiatric outcome. *J Child Psychol Psychiatry* 1996, **37** : 961-970

BEIZMAN C. Le Rorschach de l'enfant à l'adulte, étude génétique et clinique. Neuchatel-Paris, Delachaux et Niestlé, 1982

BERGER M, FERRANT A. Le travail psychanalytique dans la prise en charge des troubles spécifiques des apprentissages. *Neuropsychiatrie de l'enfance et de l'adolescence* 2003, **51** : 212-222

BERGES J, BERGÈS-BOUNES M, CLAMETTES-JEAN S. Ce que nous apprenne les enfants qui n'apprennent pas. Édition Erès, Paris, 2003

BIEDERMAN J, NEWCORN J, SPRICH SE. Comorbidity of attention disorders. *Am J Psychiatry* 1991, **148** : 564-577

BILLARD C, DUCOT B, PINTON F, COSTE-ZEITOUN D, PICARD S, WARSZAWSKI J. Validation de la BREV, Batterie clinique d'évaluation des fonctions cognitives, en comparaison à une batterie de référence, dans les troubles des apprentissages. *Arch Fr Ped* 2006, **13** : 23-31

BIRRAUX A. Les troubles des fonctions cognitives *In* : Psychopathologie de l'enfant. Edition Impress, Paris, 2001

CANTWELL DP, BAKER L. Association between attention deficit-hyperactivity disorder and learning disorders. *J Learn Disabil* 1991, **24** : 88-95

DIATKINE R. Conditions psychologiques nécessaires à l'apprentissage de la lecture. *In* : La Dyslexie en question. Difficultés et échec d'apprentissage de la langue écrite. STAMBAK M, VIAL M, DIATKINE R, PLAISANCE E (eds). Arnaud Colin 1972 : 37-47

DIATKINE R. Les troubles de parole et de langage. *In* : Nouveau Traité de Psychiatrie de l'Enfant et de l'Adolescent. LEBOVICI S, DIATKINE R, SOULÉ M (eds). Les troubles de la parole et du langage. Quadrige PUF, Paris, 1999 (1ère édition 1985) : 1599-1640

FALIK LH. Family patterns of reaction to a child with a learning disability: a mediational perspective. *J Learn Disabil* 1995, **28** : 335-341

FARAONE SV, BIEDERMAN J, LEHMAN BK, KEENAN K, NORMAN D, et coll. Evidence for the independent familial transmission of attention deficit hyperactivity disorder and learning disabilities: results from a family genetic study. *Am J Psychiatry* 1993, **150** : 891-895

FLAGEY D. L'évolution du concept de troubles instrumentaux. *Psychiatrie de l'enfant* 1977, **20** : 471-492

FLAGEY D. Les enfants à troubles instrumentaux : des sujets pour toutes les théories. *Dialogue-Recherches cliniques et sociologiques sur le couple et la famille* 1996, **131** : 29-37

FLAGEY D. Mal à penser, mal à être. Troubles instrumentaux et pathologie narcissique. Paris : Gallimard, 2002

FREUD S. Inhibition, symptôme et angoisse 1926 (trad. Tort) Presses universitaires de France, Paris, 1965

FRIEDMAN MC, CHHABILDAS N, BUDHIRAJA N, WILLCUTT EG, PENNINGTON BF. Etiology of the comorbidity between RD and ADHD: Exploration of the non-random mating hypothesis. *American journal of Medical Genetics Part B* 2003, **120B** : 109-115

GAYAN J, WILLCUTT EG, FISHER SE, FRANCK S, CARDON LR, et coll. Bivariate linkage scan for reading disability and attention-deficit/hyperactivity disorder localizes pleiotropic loci. *J Child Psychol Psychiatry* 2005, **46** : 1045-1056

HEIERVANG E, STEVENSON J, LUND A, HUGDAHL K. Behaviour problems in children with dyslexia. *Nord J Psychiatry* 2001, **55** : 251-256

HELMAN I. Observations on mothers of children with intellectual inhibition. *Psychoanalytic Study of the Child* 1954, **IX** : 259-273

HINSHAW SP. Externalizing behavior problems and academic underachievement in childhood and adolescence: causal relationships and underlying mechanisms. *Psychol Bull* 1992, **111** : 127-155

JOUBERT B, PECQUET F. Les non-lecteurs à l'épreuve du Rorschach. In : Les enfants hors du lire. PRÉNERON C, MELJAC C, NETCHINE PAÏDOS S (eds). Recherche Bayard éditions, Editions Inserm/Ctnerhi, Paris, 1994 : 315-343

LAPALUS-NETTER G. Le travail psychothérapeutique avec les parents d'enfants handicapés. *Revue Internationale de Pédiatrie* 1987, **170** : 5-10

LOO SK, FISHER SE, FRANCK S, OGDIE MN, MACPHIE IL, et coll. Genome-wide scan of reading ability in affected sibling pairs with attention-deficit/hyperactivity disorder: Unique and shared genetic effects. *Mol Psychiatry* 2004, **9** : 485-493

MAUGHAN B, ROVE R, LOEBER R, STOUTHAMER-LOEBER M. Reading problems and depressed mood. *Journal of abnormal child psychology* 2003, **31** : 219-229

MISES R, QUEMADA N, BOTBOL M, BURSZTEJN CL, DURAND B, et coll. Nouvelle édition de la Classification française des troubles mentaux de l'enfant et de l'adolescent. CFTMEA R-2000

MISES R. L'exclusion de la psychopathologie. À leur tour les enfants dyslexiques. *La Lettre de Psychiatrie Française* 2001, **109** : 1-2

PENNINGTON BF, GILGER JW, OLSON RK ET DEFRIES JC. The external validity of age-discrepancy versus IQ-discrepancy definitions of reading disability-Lessons from a twin study. *Journal of Learning Disabilities* 1992, **25** : 562-573

PENNINGTON BF, GROISSER D, WELSH MC. Contrasting cognitive deficits in ADHD versus reading disability. *Dev Psychol* 1993, **29** : 511-523

PRIOR M, SMART D, SANSON A, OBERKLAID F. Relationships between learning difficulties and psychological problems in preadolescent children from a longitudinal sample. *J Am Child Adolesc Psychiatry* 1999, **38** : 429-436

RAUSCH DE TRAUNENBERG N, BOIZOU MF. Le Rorschach en clinique infantile, l'imaginaire et le réel chez l'enfant. Bordas, Paris, 1984

ROSE C. Lecture, croyances, doute et fragilité. Le « dilemme existentiel » des enfants non lecteurs. In : Les enfants hors du lire. PRÉNERON C, MELJAC C, NETCHINE PAÏDOS S

(eds). Recherche Bayard éditions, Editions Inserm/CTNERHI, Paris, 1994 : 177-190

SEMRUD-CLIKEMAN M, BIEDERMAN J, SPRICH-BUCKMINSTER S, LEHAMAN BK, FARAONE SV, NORMAN D. Comorbidity between ADDH and learning disability: a review and report in a clinically referred sample. *J Am Acad of Child Psychol Psychiatry* 1992, **31** : 439-448

SHALEV RS, AUERBACH J, GROSS-TSUR V. Developmental dyscalculia, behavioral and attentional aspects: a research note. *J Child Psychiat* 1995, **36** : 1261-1268

STANDFORD LD, HYND GW. Congruence of behavioral symptomatology in children with ADD/H, ADD/WO, and learning disabilities. *J Learn Disabil* 1994, **27** : 243-253

STEVENSON J, LANGLEY K, PAY H, PAYTON A, WORTHINGTON J, et coll. Attention deficit hyperactivity disorder with reading disabilities: preliminary genetic findings on the involvement of the ADRA2A gene. *J Child Psychol Psychiatry* 2005, **46** : 1081-1088

TOUZIN M, MOUREN-SIMEONI MC. Les troubles des apprentissages des enfants hyperactifs. *Ann Psychiatr* 2000, **15** : 176-183

WILLCUTT EG, PENNINGTON BF. Comorbidity of Reading disability and Attention-Deficit/hyperactivity disorder: Differences by gender and subtype. *J Learn Disabil* 2000, **33** : 179-191