

Silvia Brem

## Dyslexie – Zoom sur le cerveau

Pourquoi la lecture pose problème à nombre d'enfants, d'adolescents et d'adultes

### Résumé

*Avec une prévalence de l'ordre de 5 à 12 %, on peut s'attendre à ce qu'au moins un enfant par classe souffre d'une forme de dyslexie développementale. Qu'entend-on par « dyslexie » ? En quoi le cerveau des personnes concernées diffère-t-il de celui des autres lecteurs ? En cas d'entraînement, quels sont les changements apportés aux réseaux activés dans le cerveau, et quel est l'apport pour l'école des connaissances acquises par les neurosciences ? L'article qui suit se propose d'aborder ce type de questions, en donnant un aperçu de l'anatomie du cerveau ainsi que de la manière dont il fonctionne lorsqu'une personne est en train de lire et lorsqu'une personne est atteinte de dyslexie.*

### Zusammenfassung

*Ausgehend von einer Prävalenz zwischen 5–12 % ist zu erwarten, dass in jeder Schulklasse mindestens ein Kind von einer Entwicklungsdyslexie betroffen ist. Was versteht man unter einer Dyslexie? Wie unterscheidet sich das Gehirn von betroffenen und normal lesenden Personen? Wie verändern sich die im Gehirn involvierten Netzwerke durch Training, und was bringen neurowissenschaftliche Erkenntnisse für die Schule? Mit einem Einblick in Anatomie und Funktion des Gehirns beim Lesen und bei Dyslexie sollen diese und weitere Fragen in diesem Artikel besprochen werden.*

### Dyslexie et dysorthographe (développementale)

On dit d'un enfant qu'il est atteint de dyslexie développementale (appelée plus simplement « dyslexie » dans la suite du texte) lorsqu'il rencontre, de façon inattendue, des difficultés significatives dans son apprentissage de la lecture ou de l'écriture. Le fait que cela concerne en moyenne un à deux enfants par classe démontre l'importance particulière de ce trouble pour l'école. La dyslexie se manifeste par une lecture hésitante et fortement ralentie, des erreurs de lecture fréquentes et une compréhension écrite généralement insuffisante. Comme le spécifie le *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (DSM-5<sup>1</sup>), les difficultés

peuvent concerner soit la lecture ou l'écriture uniquement, soit les deux. Les atteintes importantes constatées au niveau des aptitudes en lecture et en écriture ne peuvent s'expliquer ni par des troubles neurologiques acquis, des maladies, des problèmes de vue ou d'ouïe, ni par une diminution des capacités intellectuelles, un manque de pratique ou encore l'âge de développement (CIM-10<sup>2</sup>). Les problèmes que rencontrent les personnes touchées les accompagnent souvent toute leur vie, et leur portent préjudice à l'école, dans l'exercice de leur profession et dans leur carrière. Lorsqu'aucune mesure adéquate n'est prise et qu'aucune intervention n'est proposée, il n'est pas rare que les enfants concernés développent, en rai-

<sup>1</sup> American Psychiatric Association (2013). *Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux*, Washington D. C., 5<sup>e</sup> édition (disponible en français depuis 2015).

<sup>2</sup> Organisation mondiale de la santé (1992). *Classification des troubles mentaux et des troubles du comportement: descriptions cliniques et directives diagnostiques* (CIM-10). Genève: OMS.

son des situations d'échec qu'ils rencontrent, des troubles secondaires durant leur scolarité, tels que des troubles du comportement, une phobie scolaire, des symptômes sociaux, émotionnels, psychologiques ou psychosomatiques (Mugnaini, Lassi, La Malfa, & Albertini, 2009). Les enfants souffrant de dyslexie sont plus menacés par le décrochage scolaire, la dépression et les pensées suicidaires (Daniel et al., 2006). Pour prévenir la perte de motivation et la frustration scolaire liées aux situations d'échec, il est important que les enfants concernés soient identifiés le plus tôt possible et qu'ils puissent être soutenus dans leurs apprentissages à un stade aussi précoce que possible – et ce d'autant plus que les interventions précoces sont d'une plus grande efficacité.

### **L'influence des gènes et de l'environnement**

La dyslexie est plus fréquente dans certaines familles. Avec une prévalence d'environ 45 % (Pennington & Lefly, 2001 ; Snowling & Melby-Lervag, 2016), les enfants dont l'un des parents ou un membre de la fratrie est concerné ont un risque bien plus élevé de connaître eux aussi des difficultés en lecture et en écriture. Multifactorielle, la dyslexie est déterminée par une interaction de facteurs génétiques et d'influences environnementales. Des études montrent clairement que le trouble n'est pas dû à un seul gène mais résulte en fait d'une combinaison de différents gènes. La dyslexie est associée à pas moins de 14 gènes différents (Carrion-Castillo, Franke, & Fisher, 2013) situés sur neuf chromosomes. Il est intéressant de noter que la plupart de ces gènes jouent un rôle particulièrement important au cours du développement embryonnaire, lorsque les cellules nerveuses migrent pour occuper la place qui leur est destinée dans le cerveau en dévelop-

pement et qu'elles forment des connexions avec d'autres cellules nerveuses. Des études récentes ont permis d'établir une corrélation directe entre les gènes et les aptitudes phonologiques chez les rats : l'expression de certains gènes a été modifiée pendant le développement du cerveau de ces animaux et cette modification a entraîné des troubles focaux survenant au niveau de la migration des cellules nerveuses, sous la forme d'accumulations atypiques de cellules nerveuses semblables à ce que l'on observe chez les adultes souffrant de dyslexie (ectopies) (Galburda, Sherman, Rosen, Aboitz, & Geschwind, 1985) ; on a alors constaté une diminution de la capacité à distinguer les phonèmes (Centanni et al., 2014). Le risque de présenter une dyslexie est élevé lorsque tant les prédispositions génétiques que les facteurs environnementaux sont défavorables.

***Le risque de présenter une dyslexie est élevé lorsque tant les prédispositions génétiques que les facteurs environnementaux sont défavorables.***

### **Zoom sur le cerveau des enfants**

Si des études sur les lésions ont permis d'obtenir un premier aperçu sur la manière de traiter l'expression écrite et orale (Broca, 1861 ; Wernicke, 1874), de nouvelles méthodes d'imagerie ont révolutionné la recherche au cours des 25 dernières années. Il convient à cet égard de citer les méthodes non invasives, pouvant être employées avec des enfants et permettant d'observer le développement du cerveau de la petite enfance à l'âge adulte, tant chez des individus ne présentant pas de troubles que chez des personnes malades, offrant ainsi une « fenêtre » sur le cerveau. À noter en particulier les méthodes telles que l'électroencéphalographie

(EEG; mesure de l'activité électrique du cerveau) ou la magnétoencéphalographie (MEG), qui montrent le traitement en temps réel de l'information parvenant au cerveau, ainsi que la technique d'imagerie par résonance magnétique (IRM; résonance magnétique nucléaire), qui livre des informations sur l'anatomie cérébrale de même que sur la microstructure du cerveau et son fonctionnement. La grande majorité des constatations résumées ci-après sur le réseau qui s'active lorsqu'une personne, avec ou sans dyslexie, est en train de lire sont basées sur le recours à ces méthodes d'imagerie employées sur des enfants, des adolescents et des adultes.

### La lecture dans le cerveau – un réseau en action

Une lecture fluide nécessite l'action combinée de nombreuses régions différentes du cerveau. Généralement, les régions qui interviennent chez des lecteurs adultes se trouvent essentiellement dans l'hémisphère gauche du cerveau, dominant pour le langage, et peuvent, de manière très simplifiée, être réparties en trois zones (cf. Fig. 1, Pugh et al., 2000).

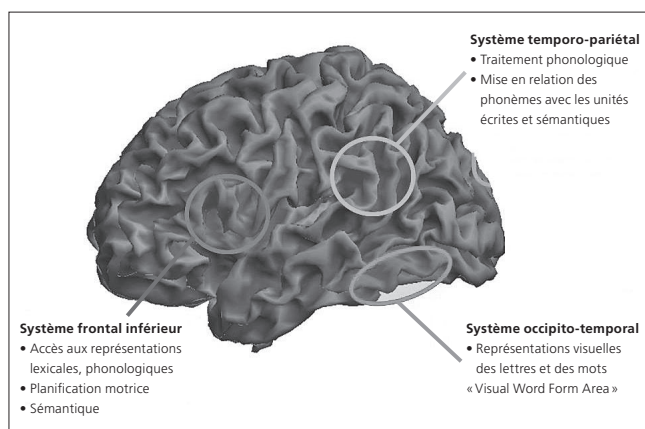


Figure 1 : Les trois zones du réseau cérébral activé quand un sujet est en train de lire. Une action combinée de différentes régions permet une lecture fluide.

La partie frontale inférieure comprend des régions cérébrales qui permettent l'accès aux représentations phonologiques lexicales et sous-lexicales, et qui sont responsables de la planification motrice et de l'articulation en cas de lecture silencieuse. La zone temporo-pariétale intervient pour traiter les informations phonologiques ainsi que pour mettre en relation les phonèmes avec les unités sémantiques et écrites, tandis que la zone occipito-temporale se charge du traitement visuel rapide des lettres, de l'écriture et de la reconnaissance des mots. Cette zone héberge d'ailleurs l'aire de reconnaissance visuelle des formes des mots (en anglais: « Visual Word Form Area »), qui permet d'identifier les mots à leur forme et qui est particulièrement importante pour une lecture fluide et automatisée du fait du traitement lexico-orthographique qui s'y opère (Dehaene, Cohen, Sigman, & Vinckier, 2005). Les différentes zones sont liées entre elles par des faisceaux de fibres, qui garantissent ainsi la communication entre elles.

Le réseau activé à la lecture s'appuie en grande partie sur le réseau neuronal pour la langue parlée. Ce réseau langagier commence à se développer chez l'enfant à naître dès l'instant où il perçoit des sons et des voix. Le réseau langagier connaît à nouveau un développement important au moment de l'apprentissage de la lecture à l'école, ce qui permet à l'individu de réussir aussi à traiter efficacement la représentation visuelle de la langue sous sa forme écrite. Ainsi, des études montrent que la zone occipito-temporale subit un développement particulièrement prononcé au cours de l'apprentissage de la lecture, en se spécialisant pour le traitement des lettres et de l'écriture (Maurer et al., 2007 ; Brem et al., 2010) et en permettant ainsi une lecture fluide.

## Les différences constatées dans le cerveau en cas de dyslexie

Toujours plus d'études d'imagerie s'intéressent aux changements qui s'opèrent au niveau de la microstructure du cerveau et de son fonctionnement chez les enfants, les adolescents et les adultes, dans le but de trouver des éléments d'explication pour les atteintes importantes constatées au niveau des aptitudes en lecture et en écriture. Il convient de préciser à cet égard que ces études, qui présentent des différences de moyennes, établissent généralement des comparaisons entre des groupes de personnes concernées par la dyslexie et des groupes témoin composés d'individus qui n'en souffrent pas.

La synthèse proposée ci-après reprend essentiellement des changements survenus dans la microstructure du cerveau et son fonctionnement qui ont été reproduits à plusieurs reprises ou qui sont basés sur des méta-analyses. Pour ce qui est de la microstructure du cerveau, on établit une distinction entre les différences constatées dans la matière « grise » et celles observées dans la matière « blanche ». La matière grise, qui se trouve principalement à la surface du cerveau dans le cortex cérébral ou plus profondément dans des noyaux clairement séparés, comprend essentiellement les corps cellulaires des cellules nerveuses ainsi que leurs zones de contact. Quant à la matière blanche, elle est dominée par les fibres nerveuses, qui parcourent le cerveau et transmettent les informations. Chez les personnes souffrant de dyslexie, on observe notamment des différences de structure et de fonctionnement dans les aires langagières de l'hémisphère gauche. On note par exemple une activation moins importante dans les parties frontales inférieures de gauche, temporo-pariétales et occipito-

temporales, qui s'explique par des limitations dans le traitement de la forme des mots ainsi que des processus lexico-sémantiques et phonologiques. L'activation plus importante des aires motrices du cortex frontal et de certaines zones de l'hémisphère droit s'explique d'une part comme des processus compensatoires permettant par exemple le fait de répéter intérieurement ce qui est lu, et reflète d'autre part également les efforts plus importants déployés pour effectuer des tâches de lecture (Richlan, Kronbichler, & Wimmer, 2009). Les changements survenant dans le fonctionnement cérébral s'accompagnent aussi souvent de changements dans la microstructure du cerveau : dans les régions occipito-temporales et temporo-pariétales de gauche, de même que dans le cervelet, on observe en cas de dyslexie une diminution du volume de matière grise (Linkersdorfer et al., 2012), et les faisceaux de fibres qui traversent les régions temporo-pariétales de gauche sont également plus faibles (Vandermosten, Boets, Wouters, & Ghesquiere, 2012). Des études d'interventions montrent encore qu'un entraînement efficace s'accompagne de changements plastiques au niveau du fonctionnement cérébral et de la microstructure du cerveau. Dans ce cadre, on a d'une part pu observer une certaine normalisation des réseaux cérébraux et, de l'autre, des changements supplémentaires (p. ex. une augmentation de l'activité) en dehors des réseaux langagiers classiques, lesquels ont généralement été interprétés comme des mécanismes de compensation (Temple et al., 2003; Shaywitz et al., 2004; Krafnick, Flowers, Napoliello, & Eden, 2011). Il est intéressant de noter que des différences similaires dans le cerveau de personnes souffrant de dyslexie ont pu être constatées non seulement

dès la scolarité primaire jusqu'à l'âge adulte (Richlan, Kronbichler, & Wimmer, 2011), mais aussi avant l'entrée à l'école : même des enfants en âge préscolaire ne maîtrisant pas la lecture présentent déjà des différences notables dans leur réseau langagier. Ainsi, chez les enfants en âge préscolaire connaissant un risque familial de dyslexie et les enfants qui rencontrent ultérieurement des difficultés en lecture, on observe d'autres schémas d'activation (Raschle, Zuk, & Gaab, 2012), d'autres ondes cérébrales (Bach et al., 2013, Brem et al., 2013) et des différences au niveau de la microstructure du cerveau – tant dans le volume de la matière grise (Raschle, Chang, & Gaab, 2011) que dans l'anatomie des faisceaux de fibres (Vandermosten et al., 2015). On trouve étonnamment déjà des différences au niveau des flux cérébraux pendant le traitement auditif entre les nouveaux-nés connaissant un risque familial et ceux qui n'en ont pas (Guttorm, Leppanen, Richardson, & Lyytinen, 2001) – des différences qui s'avèrent d'ailleurs prédictives en ce qui concerne les compétences ultérieures en lecture de ces enfants.

***Même des enfants en âge préscolaire ne maîtrisant pas la lecture présentent déjà des différences notables dans leur réseau langagier.***

### **Quel est l'apport pour l'école des connaissances acquises par les neurosciences ?**

Il s'avère souvent difficile voire impossible de transférer directement des connaissances produites par les neurosciences dans le quotidien scolaire. Malgré des différences uniformes, pour certaines repro-

duites à plusieurs reprises, il n'est pour l'instant pas possible de poser un diagnostic de dyslexie à partir de l'anatomie cérébrale, d'une image du fonctionnement du cerveau ou d'une mesure de l'activité cérébrale pratiquée sur un individu ; il n'est pas non plus possible de transposer directement les données obtenues par les neurosciences dans le quotidien scolaire. Et pourtant, les résultats de l'imagerie appliquée aux neurosciences sont d'une importance cruciale pour mieux comprendre les mécanismes à l'origine de ces troubles. Ils nous permettent d'identifier les réseaux dans le cerveau des personnes concernées qui fonctionnent autrement. Par ailleurs, de telles études livrent aussi des indications permettant de savoir si les réseaux neuroaux se normalisent au travers des interventions mises en place ou si les améliorations enregistrées au niveau du comportement s'expliquent par des processus compensatoires (supplémentaires) ou des stratégies de traitement différentes. Ces résultats nous aident ainsi à mieux comprendre dans quelles zones les interventions font effet et quels sont les mécanismes déclenchés. La caractérisation des régions et réseaux concernés livre des points de repère pour de nouvelles interventions. Le fait d'identifier des caractéristiques biologiques (biomarqueurs) pourrait dorénavant permettre de dépister certains troubles à un stade précoce, comme dans le cas de la dyslexie. Si l'on veut réussir, à l'avenir, à mieux intégrer les connaissances acquises par les neurosciences dans le quotidien scolaire, il est souhaitable et important de veiller à l'amélioration des échanges et à une collaboration plus étroite entre les représentants des sciences de l'éducation et ceux qui travaillent dans les neurosciences.

## Références

- Bach, S., Richardson, U., Brandeis, D., Martin, E. & Brem, S. (2013). Print-specific multimodal brain activation in kindergarten improves prediction of reading skills in second grade. *Neuroimage*, 82, 605–615.
- Brem, S., Bach, S., Kucian, K., Kujala, J.V., Guttorm, T.K., Martin, E., Lyytinen, H., Brandeis, D. & Richardson, U. (2010). Brain sensitivity to print emerges when children learn letter-speech sound correspondences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107 (17), 7939–7944.
- Brem, S., Bach, S., Kujala, J.V., Maurer, U., Lyytinen, H., Richardson, U. & Brandeis, D. (2013). An electrophysiological study of print processing in kindergarten: the contribution of the visual n1 as a predictor of reading outcome. *Developmental Neuropsychology*, 38 (8), 567–594.
- Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole). *Bulletins de la Société Anatomique de Paris*, 6 (6), 330–357.
- Carrion-Castillo, A., Franke, B. & Fisher, S.E. (2013). Molecular genetics of dyslexia: an overview. *Dyslexia*, 19 (4), 214–240.
- Centanni, T.M., Chen, F., Booker, A.M., Engineer, C.T., Sloan, A.M., Rennaker, R.L., LoTurco, J.J. & Kilgard, M.P. (2014). Speech sound processing deficits and training-induced neural plasticity in rats with dyslexia gene knockdown. *Public Library of Science*, 9 (5), e98439.
- Daniel, S.S., Walsh, A.K., Goldston, D.B., Arnold, E.M., Reboussin, B.A. & Wood, F.B. (2006). Suicidality, school dropout, and reading problems among adolescents. *Journal of Learning Disabilities*, 39 (6), 507–514.
- Dehaene, S., Cohen, L., Sigman, L. & Vinckier, F. (2005). The neural code for written words: a proposal. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (7), 335–341.
- Galaburda, A., Sherman, G.F., Rosen, G.D., Aboitz, F. & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18 (2), 222–233.
- Guttorm, T.K., Leppanen, P.H., Richardson, H. & Lyytinen, H. (2001). Event-related potentials and consonant differentiation in newborns with familial risk for dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 34 (6), 534–544.
- Krafnick, A.J., Flowers, D.L., Napoliello, E.M. & Eden, G.F. (2011). Gray matter volume changes following reading intervention in dyslexic children. *Neuroimage*, 57 (3), 733–741.
- Linkersdorfer, J., Lonnemann, J., Lindberg, S., Hasselhorn, M. & Fiebach, C.J. (2012). Grey matter alterations co-localize with functional abnormalities in developmental dyslexia: an ALE meta-analysis. *Public Library of Science*, 7 (8), e43122.
- Maurer, U., Brem, S., Bucher, K., Kranz, F., Benz, R., Steinhausen, H.C. & Brandeis, D. (2007). Impaired tuning of a fast occipito-temporal response for print in dyslexic children learning to read. *Brain*, 130 (Pt 12), 3200–3210.
- Mugnaini, D., Lassi, S., La Malfa, G. & Albertini, G. (2009). Internalizing correlates of dyslexia. *World Journal of Pediatrics*, 5 (4), 255–264.
- Pennington, B.F. & Lefly, D.L. (2001). Early reading development in children at family risk for dyslexia. *Child Development*, 72 (3), 816–833.
- Pugh, K.R., Mencl, W.E., Jenner, A.R., Katz, L., Frost, S.J., Lee, J.R., Shaywitz, S.E. & Shaywitz, B.A. (2000). Functional neuroi-

- maging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6 (3), 207–213.
- Raschle, N. M., Chang, M. & Gaab, N. (2011). Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage*, 57 (3), 742–749.
- Raschle, N. M., Zuk, J. & Gaab, N. (2012). Functional characteristics of developmental dyslexia in left-hemispheric posterior brain regions predate reading onset. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109 (6), 2156–2161.
- Richlan, F., Kronbichler, M. & Wimmer, H. (2009). Functional abnormalities in the dyslexic brain: a quantitative meta-analysis of neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, 30 (10), 3299–3308.
- Richlan, F., Kronbichler, M. & Wimmer, H. (2011). Meta-analyzing brain dysfunctions in dyslexic children and adults. *Neuroimage*, 56 (3), 1735–1742.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Blachman, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., Mencl, W. E., Constable, R. T., Holahan, J. M., Marchione, K. E., Fletcher, J. M., Lyon, G. R. & Gore, J. C. (2004). Development of left occipitotemporal systems for skilled reading in children after a phonologically-based intervention. *Biological Psychiatry*, 55 (9), 926–933.
- Snowling, M. J. & Melby-Lervag, M. (2016). Oral language deficits in familial dyslexia: A meta-analysis and review. *Psychological Bulletin*, 142 (5), 498–545.
- Temple, E., Deutsch, G. K., Poldrack, R. A., Miller, S. L., Tallal, P., Merzenich, M. M. & Gabrieli, J. D. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: evidence from functional MRI. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100 (5), 2860–2865.
- Vandermosten, M., Boets, B., Wouters, J. & Ghesquiere, P. (2012). A qualitative and quantitative review of diffusion tensor imaging studies in reading & dyslexia. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36 (6), 1532–1552.
- Vandermosten, M., Vanderauwera, J., Theys, C., De Vos, A., Vanvooren, S., Sunaert, S., Wouters, J. & Ghesquière, P. (2015). A DTI tractography study in pre-readers at risk for dyslexia. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 14, 8–15.
- Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomenkomplex*. Breslau: Cohen & Weigert.

Prof. Dr. sc. nat. Silvia Brem  
Assistenzprofessorin für kognitive Neuro-  
wissenschaften im Kindes- und Jugendalter  
Psychiatrische Universitätsklinik Zürich  
Zentrum für Kinder- und  
Jugendpsychiatrische Forschung  
Neumünsterallee 9, 8032 Zürich  
silvia.brem@kjpd.uzh.ch

