

# Origine Cognitive et Neurobiologique des Dyslexies Développementales une Revue de Litterature avec Focus sur La Langue Arabe

**Sylviane Valdois\***

Directrice de Recherche CNRS – Université Grenoble-Alpes – France  
sylviane.valdois@univ-grenoble-alpes.fr

تاريخ القبول: 2023-12-25

تاريخ الاستلام: 2023-12-14

## Résumé :

Cet article propose une revue de la littérature scientifique sur l'origine cognitive et neurobiologique des troubles dyslexiques en insistant sur les similarités et différences inter-langues et en intégrant les données issues des études portant sur la langue arabe. L'apprentissage de la lecture est plus ou moins facile selon les langues et les manifestations d'une dyslexie ne sont pas les mêmes selon la langue. Les dyslexiques ont du mal à développer les capacités de décodage qui sont le socle permettant à terme d'aboutir à une lecture fluente, une bonne compréhension des textes et le plaisir de lire. Des difficultés de décodage peuvent résulter soit d'un déficit de la conscience phonémique en lien avec un dysfonctionnement cérébral périsylvien gauche, soit d'un déficit de l'empan visuo-attentionnel associé à un dysfonctionnement des lobules pariétaux supérieurs. Des entraînements ciblant les déficits cognitifs sous-jacents sont efficaces pour améliorer le niveau de lecture des enfants dyslexiques.

**Mots clés :** Dyslexies développementales - Déficit phonologique - Déficit de l'empan visuo-attentionnel - Différences inter-langues - Remédiation.

\*Auteur correspondant : Sylviane Valdois  
Email : sylviane.valdois@univ-grenoble-alpes.fr

## الأصل المعرفي والعصبي البيولوجي لعسر القراءة النمائي مرجع نظري مع التركيز على اللغة العربية

ملخص:

يقترح هذا المقال مراجعة نظرية للأدبيات العلمية حول الأصل المعرفي والعصبي البيولوجي لاضطرابات عسر القراءة، مع التركيز على أوجه الاختلاف بين اللغات، ودمج المعطيات الخاصة بالدراسات المتعلقة باللغة العربية.

يقتصر تعلم القراءة على نوع اللغة، كما تختلف مظاهر عسر القراءة من لغة إلى أخرى حسب خصائص النظام الكتابي لتلك اللغة. يواجه المصابون بعسر القراءة صعوبة في تطوير مهارات فك الترميز، التي تعدّ الركيزة الأساسية لتقنيق القراءة المسترسلة، والفهم الجيد، والمتعة في القراءة. ويمكن أن تتجلى صعوبات فك الترميز إمّا عن عجز في الوعي الصوتي المرتبط بخلل وظيفي في منطقة المحيطة بشق سيليفيوس من الدماغ الأيسر، أو عن عجز في مدى الانتباه البصري المرتبط بخلل في الفص الجداري العلوي.

يمكن تحسين مستوى القراءة عند أطفال معسرين القراءة من خلال إخضاعهم للتدريبات تستهدف الصعوبات المعرفية المصاحبة لعسر القراءة.

الكلمات المفتاحية: عسر القراءة النمائي - الاضطراب الفونولوجي - اضطراب مدى الانتباه البصري - إختلاف اللغات - العلاج.

## **The cognitive and neuronal bases of developmental dyslexia a review with emphasis on the arabic language**

### **Abstract :**

We provide a review of the scientific literature on the cognitive and neurobiological bases of dyslexic disorders, emphasizing the similarities and differences between languages and integrating data from studies on the Arabic language. Learning to read is more or less effortful and the manifestations of dyslexia are different depending on the characteristics of the writing systems. Children with dyslexia have trouble cracking the alphabetic code, which prevents them ultimately achieving fluent word reading and comprehension. Two main deficits of either phonological awareness or visual-attention span are independently involved in the development of dyslexia. These cognitive deficits relate to the dysfunction of different brain networks and are more or less impacting depending on the language orthography. Dyslexic children benefit from trainings that specifically target their underlying cognitive deficit, leading to significant reading improvements. Early interventions that explicitly focus on phonological processing or visual attention are effective to prevent reading difficulties.

**Keywords :** Developmental dyslexia - Phonological awareness - Visual-attention span - Cross-language - Remediation.

## **Introduction**

Le terme de dyslexie développementale ou trouble spécifique de l'apprentissage de la lecture renvoie à un déficit qui empêche l'acquisition normale de la lecture (cf. classifications internationales des maladies : CIM 11, <https://icd.who.int/fr>). Les difficultés se manifestent dès

le début de l'apprentissage et persistent tout au long de la scolarité et même au-delà. Le diagnostic de dyslexie peut être posé au cours de la deuxième année d'apprentissage explicite de la lecture, si l'on montre que l'enfant présente un retard significatif en lecture. Il faut pour cela disposer de tests standardisés qui permettent de situer le niveau de lecture de l'enfant par référence à sa classe d'âge. Les enfants dont le niveau de performance est particulièrement bas (par exemple, inférieur au 10<sup>ème</sup> percentile ou situé à au moins -1.65 écart-types de la norme) sont alors considérés comme significativement en retard par référence à leur classe d'âge. Mais tous les enfants qui présentent un retard significatif en lecture ne sont pas pour autant dyslexiques. La dyslexie se manifeste chez des enfants que rien ne prédisposait à rencontrer de telles difficultés. On doit donc réserver le diagnostic de dyslexie à des enfants qui ne présentent pas de déficience intellectuelle, ne souffrent pas de trouble mental, et n'ont pas d'atteinte neurologique avérée (lésion cérébrale ou maladie neuro-dégénérative). Il faut également vérifier que ces enfants ont une acuité auditive et visuelle normale (ou corrigée, par le port de lunettes ou de prothèses auditives, par exemple). On s'assure également que l'enfant va régulièrement à l'école et que ses difficultés d'apprentissage ne résultent pas simplement d'un manque d'assiduité scolaire.

On trouve des enfants dyslexiques dans tous les milieux socio-économiques, qu'ils soient très favorisés ou très défavorisés mais poser un diagnostic de dyslexie est souvent plus difficile lorsque l'enfant évolue dans un milieu défavorisé. Un enfant qui a accès à des livres à la maison, qui voit ses parents lire, à qui on lisait des histoires étant petit et qui est accompagné dans ses apprentissages scolaires évolue dans un environnement plutôt favorable à l'apprentissage de la lecture. On remarquera d'autant plus facilement les difficultés qu'il rencontre en lecture et on posera plus facilement le diagnostic de dyslexie dans son cas. La pertinence du diagnostic se pose de façon plus aiguë lorsque l'enfant évolue dans un milieu familial particulièrement peu stimulant. On sait que le milieu socio-culturel est un facteur d'inégalité des chances face aux apprentissages (Fluss et al., 2008). On peut donc avoir tendance à attribuer les difficultés de lecture à l'environnement de l'enfant et sous-estimer l'existence d'une dyslexie. Ce serait alors une double peine, l'enfant évolue dans un milieu qui ne favorise pas les apprentissages et on ne reconnaît pas qu'il souffre d'un trouble spécifique de la lecture. Il est toujours très difficile de faire la part des choses dans ce cas. Plusieurs études préconisent de vérifier si l'enfant répond à une intervention pédagogique ciblée avant de se prononcer sur le diagnostic (Gibbs & Elliott, 2020 ; voir Rapport d'expertise INSERM, 2010, <https://www.ipubli.inserm.fr/handle/10608/73>).

Définissons d'abord ce qu'est une intervention pédagogique ciblée. Dans cette optique, l'enseignant est invité à vérifier très régulièrement si les notions abordées en classe ont été acquises, de façon à identifier les élèves qui rencontrent des difficultés. Toute la question est de savoir si ces difficultés sont ponctuelles ou persistantes. Il est alors recommandé à l'enseignant de proposer une aide aux élèves qui n'ont pas acquis la notion travaillée de façon à ne pas cristalliser les difficultés dans le temps. L'aide est proposée soit en classe entière soit au sous-groupe d'élèves en difficulté sur cette notion. L'intervention consiste à réexpliquer la notion non acquise et à adopter une démarche systématique (explications, directives, démonstration, exercices, commentaire sur les réponses proposées). L'enseignant donne systématiquement une information sur la qualité des réponses et encourage les progrès des

élèves. La réponse pédagogique peut être plus ou moins intensive (fréquence des sessions) selon les besoins des élèves.

L'intérêt de ce type d'intervention est double. D'une part, elle s'avère très efficace pour les élèves qui rencontrent des difficultés au cours de l'apprentissage et ne bénéficient pas d'une aide parentale à la maison. La plupart bénéficient d'une intervention pédagogique ciblée (Desrochers, La plante & Brodeur, 2016). Cela leur permet d'acquérir la notion travaillée et de rejoindre le niveau attendu. D'autre part, elle permet d'identifier les élèves dont les difficultés persistent malgré l'intervention pédagogique ciblée, ce qui est en faveur d'un trouble spécifique de l'apprentissage de la lecture. Il est ainsi possible de repérer plus tôt les enfants qui nécessitent une prise en charge spécifique et individualisée en dehors de la classe.

Le terme de dyslexie développementale ne s'applique donc qu'à une partie des enfants qui présentent des difficultés sévères d'apprentissage de la lecture (voir rapport d'expertise INSERM, 2010).

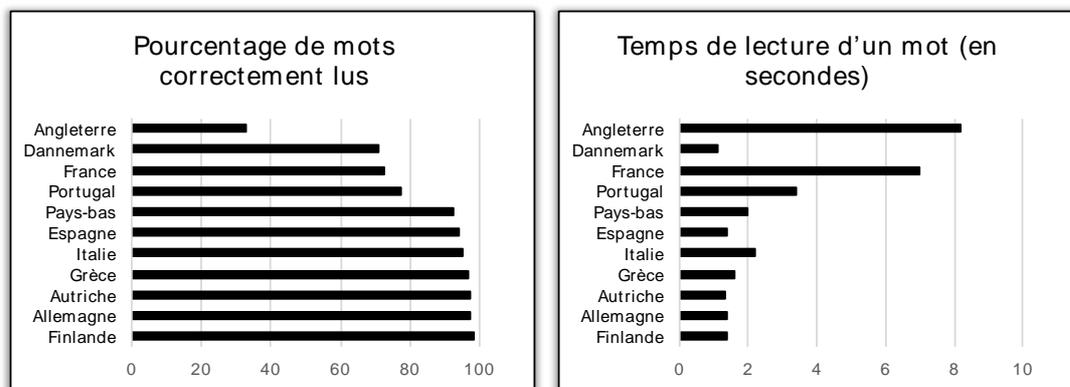
Les troubles dyslexiques se manifestent de façon différente selon les langues. Pendant longtemps, la plupart des études portant sur les dyslexies développementales et l'apprentissage de la lecture ont été conduites en langue anglaise, avec l'idée que ce qui était vrai pour les enfants anglophones serait généralisable à l'ensemble des lecteurs quelle que soit leur langue. On sait à présent que chaque langue a ses spécificités et que les caractéristiques de la langue influent sur l'apprentissage de la lecture et la forme que revêtent les troubles dyslexiques. Actuellement, de nombreuses études concernent les langues européennes mais on dispose encore de peu de données pour les autres familles de langues, dont les langues sémitiques comme l'arabe. On s'accorde en général sur le fait que les mêmes aptitudes cognitives et les mêmes réseaux neuronaux sont impliqués dans l'apprentissage de la lecture dans toutes les langues (Paulesu et al., 2001), mais toutes les langues ne sollicitent pas de la même façon les mécanismes cognitifs de la lecture. Il est donc très important de prendre en compte les caractéristiques de la langue d'apprentissage pour comprendre l'apprentissage normal de la lecture et ses troubles.

Cet article propose une revue de littérature sur les troubles spécifiques de l'apprentissage de la lecture ou dyslexies développementales qui s'articule en trois parties. La première partie porte sur la manifestation des troubles dyslexiques selon les langues, en insistant sur le français et l'arabe. Les deux parties suivantes portent sur les dimensions neurocognitives des troubles dyslexiques. La première propose une synthèse des données portant sur les dimensions langagières et phonologiques des troubles dyslexiques. La seconde porte sur les dimensions visuelles de la lecture et l'existence d'un déficit de l'empan visuo-attentionnel en contexte dyslexique. L'exposé de ces deux types de troubles conduira à discuter des outils qui permettent d'évaluer les capacités phonologiques et d'empan visuo-attentionnel des enfants dyslexiques et des moyens de remédier à ces déficits. Nous verrons également que des entraînements préventifs portant sur ces deux dimensions, lorsqu'ils sont proposés en classe dès le début de la scolarité primaire permettent de favoriser l'apprentissage de la lecture chez tous les enfants.

## 1. Manifestations des troubles dyslexiques selon les langues

Tout le monde s'accorde sur le fait que les enfants dyslexiques présentent un déficit en lecture, qui se manifeste dès la lecture des mots isolés. On peut décrire les difficultés rencontrées à partir de la lecture de listes de mots. On mesure alors à la fois la qualité de la lecture (le nombre de mots correctement lus) et la vitesse de lecture (temps total nécessaire à la lecture de la liste complète). On peut également retenir une mesure de « fluence » qui correspond au nombre de mots correctement lus par minute.

Les études menées dans les langues européennes ont montré que l'apprentissage de la lecture était plus ou moins facile selon les caractéristiques de la langue. Les figures 1a et 1b illustrent les performances observées en lecture de mots familiers chez des élèves de première année d'apprentissage (Seymour et al., 2003). On voit sur ces figures que les scores (% de mots correctement lus) et les temps (temps de traitement par mot en secondes) de lecture varient fortement selon la langue.



**Figure 1 :** Effet de la langue sur l'apprentissage de la lecture (tiré de Seymour et al., 2003). 1a) pourcentage de mots familiers correctement lus en première année ; 1b) temps de lecture (en secondes par mot).

La Figure 1 montre que la lecture est particulièrement difficile en langue anglaise où seulement 33% des mots familiers sont correctement lus chez les débutants lecteurs et cela, malgré un temps de lecture particulièrement long. La lecture est également plus difficile en français que dans bon nombre d'autres langues européennes. Seulement 72% des mots familiers sont correctement lus et cela demande un temps de traitement presque aussi long que pour l'anglais. Par contre, toute une série de langues (comme le finnois, l'espagnol ou l'italien) sont caractérisées par une lecture de mots qui est à la fois correcte (plus de 90% de mots correctement lus) et rapide (moins de 2 secondes par mots). Ces résultats ont été interprétés comme témoignant d'une plus grande facilité d'apprentissage de la lecture dans les langues transparentes (comme le finnois, l'italien ou l'espagnol) qui se caractérisent par des relations très systématiques entre unités orthographiques et phonologiques. Dans ces langues, les unités orthographiques que l'on appelle graphèmes correspondent souvent à une seule lettre qui se prononce toujours de la même façon (par exemple M se prononce /m/ dans tous les mots). Au contraire, le français est une langue opaque (comme l'anglais ou le danois) où un même graphème peut correspondre à plusieurs prononciations différentes (comme CH qui se prononce /S/ dans « chocolat » mais /k/ dans « chorale »).

Nous ne disposons pas de comparaisons directes entre les langues indo-européennes et la langue arabe. En langue arabe, l'apprentissage de la lecture se caractérise par une première phase qui utilise une écriture voyellée, suivie d'une deuxième phase où la lecture porte sur une écriture (dite non-voyellée) où les voyelles courtes ne sont pas représentées. L'écriture voyellée est transparente dans la mesure où les lettres et diacritiques utilisés à l'écrit correspondent très systématiquement à l'information phonologique du mot. Ce n'est pas le cas de l'écriture non-voyellée puisqu'une partie de l'information phonologique du mot n'est pas représentée à l'écrit. En arabe non-voyellé, la fluence en lecture repose essentiellement sur le traitement des unités morphologiques du mot (la racine et le pattern) et sur le contexte sémantique de la phrase (Saiegh-Haddad & Malatesha, 2014). On peut en déduire que l'orthographe est transparente lors des premières années d'apprentissage en écriture voyellée, mais l'orthographe de l'arabe devient opaque lorsque l'écriture est non voyellée.

L'effet de la langue a également des conséquences sur les manifestations des troubles dyslexiques. Dans les langues transparentes, les troubles dyslexiques se manifestent essentiellement par une grande lenteur lors de la lecture des mots isolés ou des textes mais les erreurs de lecture sont peu nombreuses. Dans les langues opaques, le déficit touche à la fois la qualité et la vitesse de lecture. On note alors à la fois une forte proportion d'erreurs de lecture et également une grande lenteur chez les enfants dyslexiques.

De nombreuses batteries sont disponibles pour évaluer le niveau de lecture en français des enfants selon leur âge et leur niveau scolaire. Elles comportent en général une épreuve de lecture de texte et plusieurs listes de mots isolés : des mots réguliers, des mots irréguliers, et des pseudo-mots (des mots inventés). Les mots réguliers sont des mots dont les unités orthographiques se prononcent comme dans la plupart des autres mots de la langue. C'est le cas de TABLE, CHAT ou CONFITURE par exemple. Les mots irréguliers renferment des unités orthographiques dont la prononciation est inhabituelle. C'est le cas par exemple de MONSIEUR ou de CHORALE. Enfin, les pseudo-mots sont des suites de lettres prononçables qui respectent les règles de construction des mots en français, comme VERDULIN ou COFFAN par exemple. Plusieurs batteries sont téléchargeables gratuitement, par exemple la batterie ODEDYS (Jacquier-Roux, Valdois & Zorman, 2002) ou la BALE (Jacquier-Roux, Valdois, Lequette, Pouget & Zorman, 2010).

Plusieurs profils de lecture peuvent émerger de cette évaluation. La plupart des enfants dyslexiques présentent des déficits en score et en temps sur tous les types de mots. On dit qu'ils présentent un profil de lecture mixte, mais des profils particuliers ont été décrits chez des sous-groupes d'enfants dyslexiques. Certains peuvent présenter un déficit en lecture de pseudo-mots alors que la lecture des mots (réguliers et irréguliers) est préservée. On observe alors des erreurs de lexicalisation, le pseudo-mot étant lu comme un mot proche (par exemple, CATON lu « savon »). Inversement, d'autres enfants dyslexiques présentent un déficit en lecture de mots irréguliers alors que la lecture des mots réguliers et des pseudo-mots est préservée. Ils ont alors tendance à produire des erreurs de régularisation (où MONSIEUR est lu /mɔ̃sjœʁ/, le ON étant prononcé comme dans « montagne » et le « IEUR » comme dans skieur). Les formes de dyslexies caractérisées par un profil particulier sont moins fréquentes que les formes mixtes et se rencontrent chez des enfants dyslexiques en général plus âgés (Peterson et al., 2013).

Les études menées en langue arabe ont proposé des listes de mots et des textes selon les deux formats d'écriture, voyellée et non voyellée. Les résultats suggèrent que les mauvais lecteurs et les dyslexiques ont des difficultés dans les deux types d'écriture, qu'il s'agisse de lire des mots isolés ou des textes (Abu-Rabia, 1997 ; Abu-Rabbia & Abu-Rahmoun, 2012). Une étude effectuée en Egypte, auprès de 1106 élèves de 3<sup>ème</sup> année, montre également un effet du niveau des élèves sur la mesure de fluence pour des listes de mots et de pseudo-mots en écriture voyellée (Mohamed et al., 2014). Les faibles lecteurs lisaient en moyenne 2.6 mots par minute, contre 9.6 chez les lecteurs intermédiaires et 23.2 chez les meilleurs lecteurs. La lecture des pseudo-mots était nettement plus difficile dans tous les groupes avec des scores de fluence de 1.2, 4.5 et 12.6 respectivement. Une autre étude menée auprès d'élèves irakiens de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année montre des difficultés en lecture de texte non voyellé, en lecture de mots voyellés (courts et longs) et en lecture de pseudo-mots voyellés chez les faibles lecteurs que l'on considère le temps, le score ou la fluence de lecture (Awadh, 2016). La plupart des données convergent donc pour montrer des difficultés dans les deux scripts, voyellés ou non, sur tous les types d'items (mots connus, pseudo-mots ou texte), et sur les différentes mesures (score, temps et fluence).

## **2. Dimensions phonologiques des troubles dyslexiques**

L'apprentissage de la lecture se structure en étapes successives qui permettent de poser les bases amenant progressivement l'enfant à devenir un lecteur fluent qui comprend sans effort le sens du texte et prend plaisir à lire. Cet objectif de lecture fluente ne peut être atteint que si, en début d'apprentissage, l'enfant est informé de façon explicite des relations non arbitraires qui existent entre la forme orthographique et la forme orale des mots (Valdois, 2020). Ceci repose sur l'apprentissage systématique du code et le développement de la conscience phonémique, deux aptitudes qui sont souvent déficitaires chez les enfants dyslexiques.

### **2.1. Importance de l'apprentissage systématique du code**

Le très jeune enfant (non lecteur) apprend à désigner les choses qui l'entourent par association arbitraire entre une forme orale et ce qu'elle désigne. Par exemple, il n'y a pas de raison d'appeler « table » un objet constitué d'un plateau porté par un ou plusieurs pieds et rien dans la forme de l'objet ne constitue une aide pour retrouver le mot qui lui correspond. Il n'est donc pas naturel pour lui de rechercher dans la forme orthographique des mots des éléments qui permettent de dériver la forme orale correspondante. Cela doit faire l'objet d'un apprentissage explicite en classe, ce qui implique un apprentissage systématique et progressif des relations graphème-phonème (par exemple, en français, apprendre à associer OU avec /u/ comme dans POULE et PH avec /f/ comme dans PHOTO). Il a été démontré, dans toutes les langues, que cet apprentissage systématique permet un développement harmonieux de la lecture et aboutit à une meilleure compréhension des textes que lorsque l'apprentissage repose sur la méthode globale (où le mot écrit est associé à sa forme orale sans explicitation des liens entre unités orthographiques et phonologiques). Les enfants dyslexiques ont souvent du mal à acquérir les correspondances graphème-phonème, ce qui représente un frein à l'apprentissage de la lecture. Cela les empêche de décoder avec précision et en un temps relativement court les mots qu'ils n'ont encore jamais rencontré à l'écrit. Cela concerne tous les mots écrits en début

d'apprentissage, qu'il s'agisse de mots ou de pseudo-mots, mais le déficit est plus marqué en lecture de pseudo-mots par la suite.

Plusieurs études montrent un déficit en lecture de pseudo-mots chez les enfants dyslexiques arabophones qui traduit directement leur difficulté à acquérir et mobiliser des connaissances sur les liens graphème-phonème (Abu-Rabia et al., 2003 ; Elbeheri & Everatt, 2007). On conçoit facilement que cela puisse nuire fortement au traitement des mots puisque tout mot écrit est un mot nouveau (ou pseudo-mot) pour le lecteur débutant. Même si le mot et son sens sont connus à l'oral, l'enfant est confronté en début d'apprentissage à une forme écrite du mot qu'il ne connaît pas et qu'il doit décoder. On montre d'ailleurs, en langue arabe, que la capacité à décoder les pseudo-mots est un fort prédicteur de la capacité à lire les mots familiers (Layes et al., 2015).

## 2.2. Développement de la conscience phonologique

L'acquisition des correspondances entre forme écrite et forme parlée dépend de la capacité à identifier les graphèmes dans les mots écrits, de la capacité à identifier les phonèmes (les plus petites unités sonores) dans les mots parlés et de la capacité à associer graphèmes et phonèmes. Il est largement démontré aujourd'hui qu'un déficit d'identification des phonèmes à l'intérieur des mots parlés est à l'origine de difficultés d'acquisition des correspondances graphème-phonème chez certains dyslexiques (Ziegler, 2018). Plus largement, ces enfants présentent des troubles du traitement des unités phonologiques de la langue, non seulement les phonèmes mais également des unités plus larges, comme les syllabes ou les rimes.

parlé est constitué d'une ou de plusieurs syllabes (par exemple, 2 syllabes pour le mot « gravure », voir encadré). La capacité à segmenter le mot en syllabes avant l'apprentissage explicite de la lecture est un prédicteur du développement ultérieur de la lecture (Ziegler & Goswami, 2005). Dès 3-4 ans, les enfants sont capables de taper des mains pour indiquer le nombre de syllabes d'un mot (3 fois pour /sinema/ « cinéma » ou 2 fois pour /kado/ « cadeau »). Les pré-lecteurs qui ne parviennent pas à identifier les syllabes du mot risquent de rencontrer des difficultés au moment de l'apprentissage de la lecture. De la même façon, dès 5 ans, les enfants peuvent déterminer si deux mots qu'ils entendent riment ou non (Oui pour « maison-ballon » ou « cheval-canal » ; Non pour « tapis-matin » ou « voiture-statue »). Là encore, un enfant qui n'a pas développé de bonnes capacités de jugement de rimes risque fort de rencontrer des difficultés en lecture. Mais identifier les toutes petites unités que sont les phonèmes représente un véritable défi pour la plupart des enfants. Les jeunes enfants qui ont un vocabulaire oral particulièrement développé et qui connaissent beaucoup de mots phonologiquement proches (comme sable, fable, câble, table, par exemple) peuvent prendre conscience de l'importance des toutes petites unités que sont les phonèmes avant même le début de l'apprentissage de la lecture. Mais la plupart des enfants prennent conscience des phonèmes au moment où ils apprennent à lire, on dit qu'ils développent des capacités de conscience phonémique. Il est largement démontré qu'un bon niveau de conscience phonémique facilite l'apprentissage de la lecture et, qu'en retour, apprendre à lire facilite le développement de la conscience phonémique. Ce sont donc deux dimensions qui se développent en parallèle et s'enrichissent mutuellement.

Les études menées en langue arabe suggèrent une hiérarchie similaire des unités phonologiques mais un décalage dans le temps de leur acquisition. Dans une étude menée de la première à la troisième année d'apprentissage de la lecture chez des élèves des Emirats Arabes Unis, Tibi (2010) montre un traitement efficace des unités syllabes et rimes au cours des deux premières années alors que le traitement des phonèmes reste encore difficile en troisième année, sans doute à cause de la forte cohésion entre la consonne et la voyelle courte qui suit dans les mots arabes. Etant donné l'impact du langage oral sur le développement de la conscience phonémique, on doit s'attendre à observer des effets de la diglossie sur le développement de la conscience phonémique en langue arabe. Les données de Boukadida (2008) vont dans ce sens. Elles montrent de meilleures capacités de conscience phonémique en arabe dialectal qu'en arabe standard en début de primaire et un impact du niveau de conscience phonémique en arabe dialectal sur le niveau de lecture en arabe standard, au cours de la scolarité primaire.

### **2.3. Un déficit de conscience phonémique à l'origine des troubles dyslexiques**

De très nombreuses études qui ont comparé les performances de groupes d'enfants dyslexiques et normo-lecteurs montrent un déficit de conscience phonémique dans le groupe dyslexique et ce, dans toutes les langues européennes (Landerl et al., 2013 ; Melby-Lervag et al., 2012). Même à l'âge adulte, certains dyslexiques peuvent très difficilement réaliser les épreuves qui demandent de traiter les phonèmes à l'intérieur des mots parlés. On peut ainsi observer dans des tâches d'omission du premier phonème (par exemple : enlever le premier son de /plakɑ/ « placard ») une tendance à enlever soit la première syllabe du mot (réponse : /kɑ/) soit les deux consonnes de l'attaque (réponse : /akɑ/), au lieu de simplement enlever le premier phonème /p/ et produire /lakɑ/. Les difficultés de traitement phonologique peuvent être mises en évidence avant même l'apprentissage de la lecture et tout au long du primaire. Les études longitudinales qui ont suivi de larges cohortes d'élèves de la maternelle au primaire montrent que le groupe d'enfants qui développent une dyslexie au cours du primaire est celui qui présentait des difficultés sur les épreuves de conscience phonologique (traitement des syllabes et des assonances) avant même le début de l'apprentissage de la lecture (Snowling et al., 2019). Ces études montrent, en outre, que le déficit phonologique est persistant dans le temps, si bien que l'écart de performance entre normo-lecteurs et dyslexiques tend à s'accroître au cours du primaire. Le déficit de conscience phonologique et phonémique est en outre plus sévère chez les enfants qui présentaient initialement des problèmes de langage oral (notamment en répétition de pseudo-mots).

La question reste posée de la prévalence du déficit de conscience phonémique dans la population dyslexique. En effet, même si un déficit est en général objectivé lors de la comparaison de groupes d'enfants dyslexiques et normo-lecteurs, tous les enfants dyslexiques ne présentent pas de déficit de la conscience phonémique. Selon les études et les langues, il semblerait qu'entre 30% (Pennington, 2012) et 52% (White et al., 2006) des enfants dyslexiques présentent un déficit de la conscience phonémique. Il faut noter cependant que seule une étude épidémiologique à grande échelle permettrait de répondre avec certitude à cette question, mais nous ne disposons pas de ce type de données. Un déficit unique de conscience phonémique a été décrit en association avec un profil de lecture mixte (déficit sur tous les types

de mots, réguliers, irréguliers ou pseudo-mots ; Zoubrinetzky et al., 2014) mais il peut également se rencontrer chez des dyslexiques qui rencontrent des difficultés spécifiques en lecture de pseudo-mots (Campbell & Butterworth, 1985 ; Valdois et al., 2003). Quelques rares études se sont intéressées aux types d'erreurs produites en lecture lorsque les enfants présentent uniquement un déficit de la conscience phonémique. Elles montrent une tendance à confondre les phonèmes proches, notamment les sourdes et les sonores (comme /p/-/b/, /t/-/d/ ou /f/-/v/) aussi bien en lecture qu'à l'écrit (Zoubrinetzky et al., 2014). Cela corrobore les théories selon lesquelles le déficit de conscience phonémique serait associé et potentiellement secondaire à des difficultés de perception catégorielle (discrimination et identification) des phonèmes (Noordenbos & Serniclaes, 2015).

Les résultats des études menées en langue arabe suggèrent également que les faibles lecteurs et les dyslexiques ont des difficultés de traitement non seulement des phonèmes mais également des unités plus larges que le phonème. Ainsi, Elbeheri & Everatt (2007) montrent que les enfants dyslexiques égyptiens de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année ont des performances significativement plus faibles que leurs pairs normo-lecteurs dans des épreuves de détection de rimes. Awadh et al. (2022) montre que les élèves irakiens de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année qui ont des performances faibles en jugement de rimes et en omission de phonème (répéter « alyfp » en enlevant le /f/) ont également un faible niveau de lecture. Farran et al. (2012) montrent à partir de l'étude de 83 enfants bilingues (anglais-arabe) de 3<sup>ème</sup>, 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année que leur capacité de conscience phonémique en arabe est prédictive de leur lecture de mots et de pseudo-mots dans la même langue. La conscience phonémique était évaluée à partir de deux types de tâches : l'élision de phonème (prononcer « samir » sans le /s/) et la fusion de phonèmes (on prononce les phonèmes un à un, exemple /b/-/ae/-/j/-/t/, et l'enfant doit prononcer le mot correspondant, ici maison). Une étude menée auprès d'enfants monolingues arabophones de 3<sup>ème</sup> année va dans le même sens en montrant que leur niveau de conscience phonémique est un fort prédicteur de leur niveau de lecture (Tibi & Kirby, 2018). Concernant les enfants bilingues, une revue de question portant sur 13 études a montré que les enfants qui maîtrisent une langue transparente et une langue opaque ont un meilleur niveau de conscience phonémique que lorsque les deux langues sont opaques (Wren et al., 2013 ; pour une revue, voir Cornut & Casalis, 2023). Des résultats similaires sont rapportés par Bialystok et al. (2005) montrant un niveau de conscience phonémique supérieur en anglais chez les enfants bilingues anglais-arabe (opaque-transparent) de première année comparativement à des enfants bilingues anglais-chinois (deux langues opaques) ou des enfants monolingues anglophones. De nombreux effets inter-langues de ce type ont été décrits, suggérant que ce qui est appris dans une langue transfère dans l'autre langue et facilite les apprentissages (Lallier et Carreiras, 2018).

#### **2.4. Conséquences pour le diagnostic, la prévention et la remédiation**

Globalement, les données comportementales montrent combien il est important, lors de l'évaluation d'un enfant arabophone à risque de présenter une dyslexie, d'évaluer non seulement sa capacité à lire des textes et des mots connus mais également des mots inventés (ou pseudo-mots) de façon à estimer sa maîtrise des relations entre unités orthographiques et phonologiques. Il faut également évaluer très explicitement son niveau de conscience phonologique (traitement des syllabes, notamment) et de conscience phonémique (capacité à

identifier et manipuler les phonèmes dans des épreuves d'omission, de fusion ou de segmentation phonémique). Il est important de vérifier si un enfant dyslexique présente un déficit de conscience phonémique car une prise en charge efficace doit prendre en compte le déficit sous-jacent objectivé lors de l'évaluation.

La démonstration d'un lien fort entre conscience phonémique et apprentissage de la lecture a des conséquences directes pour la prévention des difficultés d'apprentissage et la remédiation des troubles dyslexiques. Dans les années 2000, le gouvernement américain a fait le constat alarmant que bon nombre d'élèves ne parvenaient pas à acquérir un niveau de lecture suffisant pour les activités de la vie quotidienne (s'informer ou lire un mode d'emploi). Ils ont alors demandé à des chercheurs de faire la synthèse des études internationales concernant les entraînements qui étaient les plus efficaces pour améliorer le niveau de lecture des élèves. L'analyse a porté sur 52 études menées dans différentes langues (Ehri et al., 2001). Les résultats montrent que lorsque les élèves reçoivent un entraînement spécifique en classe de la conscience phonémique, ils améliorent non seulement leur niveau de conscience phonémique mais également leur niveau de lecture. Tout le monde bénéficie de cet entraînement aussi bien les bons que les mauvais lecteurs, qu'ils soient issus de milieux socio-culturels défavorisés ou non, et que l'entraînement soit proposé avant l'apprentissage de la lecture (il porte alors sur les syllabes et les rimes essentiellement) ou en tout début d'apprentissage (avec un focus sur les phonèmes). Pour que l'entraînement soit efficace, il faut que le traitement des unités phonologiques ne se fasse pas seulement à l'oral mais que la segmentation du mot oral en sous-unités (syllabes, rimes, phonèmes) s'accompagne d'une segmentation simultanée du mot écrit (on peut pour cela utiliser des lettres mobiles). L'entraînement est facilité lorsque les enfants travaillent par petits groupes de niveau plutôt qu'en classe entière. Il est par ailleurs recommandé de répartir l'entraînement sur des séances de 20-30 minutes proposées plusieurs fois par semaine pour un temps total d'entraînement limité (entre 5h et 18h) et de varier les types d'exercices lors du travail portant sur une même unité (par exemple, comptage syllabique et omission de syllabe, ou segmentation phonémique, élision de phonèmes et fusion phonémique). Un entraînement systématique et progressif de la conscience phonologique et phonémique est de nature à faciliter l'acquisition du décodage (conversion graphème-phonème) et l'apprentissage de la lecture. Bien que portant sur un nombre limité d'enfants arabophones, l'étude de Layes et collaborateurs (2019) suggère qu'un travail sur la représentation mentale des phonèmes, leur identité et leur position dans le mot permet d'améliorer la lecture de mots et de pseudo-mots en arabe.

De la même façon, la remédiation des troubles de la conscience phonémique en contexte dyslexique diminue le retard en lecture des enfants et favorise leur apprentissage. Dans une étude menée auprès d'enfants dyslexiques ayant un déficit de la conscience phonémique, Simos et al. (2002) montre qu'un entraînement phonologique intensif (d'environ 8h au total) conduit à une amélioration significative du niveau de conscience phonémique et du niveau de lecture des enfants. L'étude comportait un volet comportemental et un volet neuroscience. Les activations cérébrales des participants étaient mesurées avant et après entraînement afin de déterminer si les progrès observés au niveau comportemental se traduisaient par un changement d'activation au niveau des régions cérébrales impliquées dans les traitements phonologiques. Les activations corticales ont été mesurées sous IRMf (Imagerie par résonance magnétique

fonctionnelle) pendant que les enfants effectuaient une tâche de jugement de rimes. Deux mots inventés s'affichaient sur l'écran placé à l'intérieur de l'IRM et l'enfant devait décider le plus vite possible si les deux mots rimaient ou non, en appuyant sur un bouton (par exemple, ils devaient répondre « oui » pour « fabot - séraux »). Les enfants contrôles activaient un réseau cortical périsylvien gauche lors de la réalisation de la tâche. Ce réseau comprenait notamment le gyrus temporal supérieur (portion postérieure), ainsi que le gyrus frontal inférieur et le gyrus supramarginal. Avant entraînement, on observait une sous-activation de ce réseau chez les enfants dyslexiques et une tendance à activer les régions homologues au sein de l'hémisphère droit. Après entraînement intensif, l'amélioration de leurs performances s'accompagnait d'une réactivation du réseau périsylvien gauche, notamment au niveau temporal supérieur, accompagnée d'une moindre activation droite plus en accord avec les profils d'activation des normo-lecteurs. Les entraînements proposés conduisent donc à réactiver un des principaux réseaux corticaux de la lecture (Dehaene, 2007).

Néanmoins, l'activité de lecture ne se résume pas aux seules dimensions phonologiques. Même si un déficit de la conscience phonémique est impliqué dans certaines formes de dyslexies, tous les dyslexiques ne présentent pas de déficit phonologique. Nous allons maintenant considérer les dimensions, liées à la capacité de traitement visuel des mots écrits, qui sont impliquées dans l'apprentissage de la lecture et peuvent être à l'origine de dyslexies lorsqu'elles sont déficitaires. Ces dimensions, notamment visuo-attentionnelles, pourraient être particulièrement importantes pour une langue comme l'arabe qui utilise des signes graphiques et une orthographe complexe.

### **3. Dimensions visuelles et visuo-attentionnelles des troubles dyslexiques**

Comme cela a été rappelé précédemment, l'apprentissage de la lecture se construit à partir de la connaissance des relations entre unités orthographiques et phonologiques. Nous venons de voir que cet apprentissage est facilité lorsque les enfants sont capables de repérer efficacement les unités qui composent les mots parlés et qu'un déficit de conscience phonémique entraîne des troubles dyslexiques. Mais l'apprentissage des relations entre unités orthographiques et phonologiques suppose que l'enfant soit également capable d'identifier rapidement et sans ambiguïté les unités orthographiques qui composent les mots écrits. Cela implique un traitement rapide des lettres et des groupes de lettres qui sont pertinents dans la langue. Nous allons voir maintenant l'importance de la reconnaissance des lettres dans cet apprentissage et le rôle joué par l'attention visuelle dans le traitement des séquences de lettres.

#### **3.1. Impact de la reconnaissance visuelle des lettres**

La connaissance des lettres est LE facteur qui est de loin, le plus prédictif de l'apprentissage de la lecture (Foulin, 2005). C'est aussi le prédicteur le plus consensuel entre études et entre langues. Les enfants pré-lecteurs qui reconnaissent efficacement les lettres (ou les caractères graphiques de leur langue), qui sont capables de discriminer les lettres proches et de désigner une lettre à partir de son nom sont aussi ceux qui apprendront le plus facilement à lire. Or, la reconnaissance des lettres est plus ou moins difficile selon la nature des graphies qui sont utilisées dans les différentes langues. Chang et al. (2018) a comparé la complexité des systèmes graphiques dans 131 langues. L'indice de complexité utilisé tient compte de plusieurs

paramètres incluant, une mesure de complexité périmétrique (densité de surface encrée par rapport à la surface totale du caractère) et des mesures du nombre de traits, de jonctions (par exemple T est composé de deux traits avec un seul point de jonction alors que F comporte 3 traits et deux points de jonction) et de discontinuités (une forme de base et un ou plusieurs points, par exemple) entre les éléments qui constituent la lettre. Cela permet de situer les systèmes graphiques de l'hébreu et de l'Italien parmi les plus simples, alors que ceux du chinois, du japonais et de l'arabe sont parmi les plus complexes. Le français occupe une place intermédiaire. Bien qu'il utilise l'alphabet latin, le français inclut nombre de diacritiques (é, è, ê, par exemple) qui n'existent pas dans des langues comme l'italien. Or, plus la complexité du système graphique est élevée, plus difficile sera l'acquisition de la lecture. De nombreuses études montrent que, même chez les lecteurs experts, l'identification des lettres isolées est plus difficile en langue arabe que dans les langues qui utilisent l'alphabet latin (Awadh et al., 2016 ; Eviatar et al., 2004). Dans sa thèse, Awadh (2016) a comparé les performances en seuil de lettres de 39 normo-lecteurs et de 45 faibles lecteurs arabophones irakiens de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année. Le seuil de lettres correspondait au temps de présentation le plus court permettant d'identifier au moins 80% des lettres lorsqu'elles sont présentées isolément. Les lettres s'affichaient à l'écran pour des durées de présentation variant aléatoirement entre 33 et 150 millisecondes. Les résultats montrent qu'un temps de présentation de 82 millisecondes est suffisant en moyenne pour reconnaître 80% des lettres chez les bons lecteurs. Chez les faibles lecteurs, il faut un temps de présentation de 106 millisecondes pour obtenir un taux d'identification similaire. Les faibles lecteurs présentent donc des difficultés en reconnaissance de lettres isolées. A titre illustratif, la même épreuve proposée à des normo-lecteurs francophones de même niveau scolaire montre que 80% des lettres latines sont correctement identifiées en moins de 50 ms. Ceci confirme la plus grande complexité des lettres de l'alphabet arabe. Awadh et al. (2016) montrent par ailleurs que la rapidité d'identification des lettres isolées contribue à expliquer le niveau de fluence (nombre de mots correctement lus par minute) en lecture de texte chez les enfants irakiens de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année. Cela conduit à recommander un travail systématique sur la reconnaissance des lettres en maternelle ou au début primaire afin de prévenir les difficultés ultérieures d'apprentissage de la lecture en arabe (Taouk & Coltheart, 2004). D'ailleurs, plusieurs études montrent que des entraînements portant sur la reconnaissance des lettres permettent d'atteindre un meilleur niveau en décodage de mots (Acha et al., 2023 ; Torres et al., 2020). L'entraînement à la reconnaissance des lettres isolées constitue un moyen efficace de prévention des difficultés d'apprentissage et d'aide pour la remédiation des troubles dyslexiques.

### **3.2. Empan visuo-attentionnel, lecture et dyslexie**

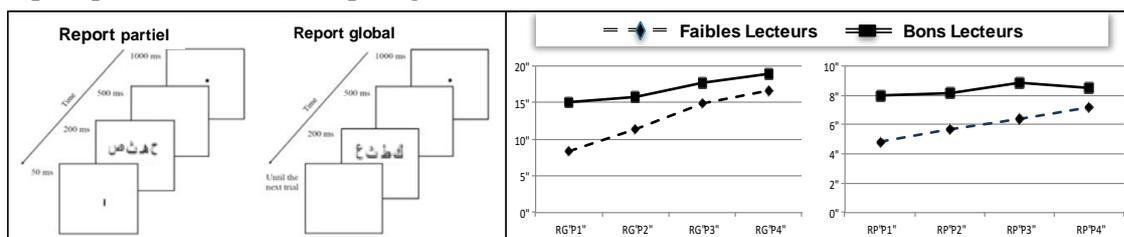
Même si la capacité à identifier les lettres isolées est un bon prédicteur de l'apprentissage, la lecture demande plus que la simple identification de lettres isolées. Un mot est constitué de plusieurs lettres et certaines séquences de lettres forment des unités spécifiques à l'intérieur du mot (graphème, syllabe ou morphème). Pour reconnaître ces unités, il faut que toutes les lettres qui les constituent soient simultanément identifiées. Ceci dépend des capacités d'empan visuo-attentionnel (VA) de l'enfant.

L'empan VA correspond au nombre d'éléments visuels distincts qu'il est possible d'identifier simultanément, c.à.d. en une fixation unique (Valdois, 2022). L'empan VA est mesuré par le biais d'épreuves de report global et partiel de lettres ou de chiffres. Ces épreuves consistent à présenter sur écran d'ordinateur des séquences de lettres ou de chiffres (comme « R H T S D » ou « 9 3 8 1 4 ») pendant un temps bref qui ne dépasse pas 200 millisecondes, afin de garantir une fixation unique. En report global, l'enfant doit dénommer toutes les lettres/chiffres qu'il a pu identifier dès que la séquence disparaît. En report partiel, une barre verticale apparaît sous l'emplacement d'une lettre/chiffre après disparition de la séquence et l'enfant doit dénommer la lettre qui occupait la position indiquée par la barre (voir Figure 2).

La Figure 2 (partie gauche) donne un exemple des épreuves de report global et partiel de lettres utilisées pour l'évaluation de l'empan VA chez des participants arabophones. La partie droite de la figure illustre les profils obtenus sur les deux épreuves pour deux groupes d'enfants, normo-lecteurs et faibles lecteurs. Dans la tâche de report global, 20 séquences de lettres sont successivement présentées et on note combien de lettres (sur 20) sont correctement dénommées dans chaque position (par exemple en français : si la séquence présentée est « S D F H » et que l'enfant dénomme « SHF » on comptera 1 point pour chaque position correctement identifiée, donc ici 1 point en position 1, 1 point en position 3 et 1 point en position 4. On ne comptabilise que les identifications correctes sans tenir compte de la position de la lettre au moment de son rappel. En report partiel, on présente à l'écran 40 séquences de lettres et une seule lettre est dénommée à chaque essai. La barre indique 10 fois chacune des positions de façon aléatoire, conduisant à calculer le nombre de lettres correctement identifiées dans chaque position sur un total de 10.

La Figure 2 (tirée de Awadh, 2016) montre que le nombre total de lettres correctement identifiées est nettement plus faible chez les faibles lecteurs que chez les normo-lecteurs, aussi bien en report global qu'en report partiel. En report global, seulement 51 lettres cibles sur 80 sont dénommées en moyenne chez les faibles lecteurs contre 68 lettres chez les normo-lecteurs. La différence est du même ordre en report partiel, avec un total de 24 lettres cibles identifiées chez les faibles lecteurs contre 34 chez les normo-lecteurs.

La répartition des réponses en fonction de la position initiale de la lettre montre que tous les enfants présentent un gradient droite-gauche, en report global. Les lettres sont mieux identifiées en début qu'en fin de séquence. En report partiel, les performances des normo-lecteurs sont moins sensibles à la position de la lettre dans la séquence qu'en report global avec une performance autour de 8 lettres correctement identifiées dans la plupart des positions. Par contre, les performances des faibles lecteurs se caractérisent par un gradient droite-gauche en report partiel comme en report global.



**Figure 2 :** illustration des épreuves de report partiel et global de lettres en arabe (partie gauche) et profils de réponse (nombre de lettres cibles correctement identifiées selon leur position) sur les deux épreuves pour des enfants faibles et bons lecteurs (partie droite).

Cette étude montre que l’empan VA est plus faible chez les faibles lecteurs que chez les normo-lecteurs arabophones. Des résultats similaires ont été décrits dans les langues indo-européennes. Plusieurs méta-analyses ont été effectuées ces dernières années. Elles confirment l’existence d’un déficit de l’empan VA chez les enfants dyslexiques et montrent un lien plus fort entre déficit de l’empan VA et niveau de lecture dans les langues opaques que dans les langues transparentes (Liu et al., 2023 ; Perry et Long, 2021 ; Tang et al., 2023).

### 3.3. Impact d’un déficit de l’empan VA sur la performance en lecture

La question est bien sûr de savoir pourquoi un déficit de l’empan VA entraîne des difficultés dans l’apprentissage de la lecture. En fait, ce déficit traduit des capacités limitées d’attention visuelle. Lorsque nous lisons un mot, qu’il soit isolé ou dans un texte, notre attention visuelle se porte d’abord sur le mot, ce qui entraîne une saccade oculaire lors de la lecture de phrase ou de texte. La lecture plus ou moins efficace du mot dépend ensuite de la quantité d’attention visuelle qui est mobilisée pour le traitement. La figure 3 illustre trois types différents de distribution attentionnelle pour la lecture du mot « LECTURE ».

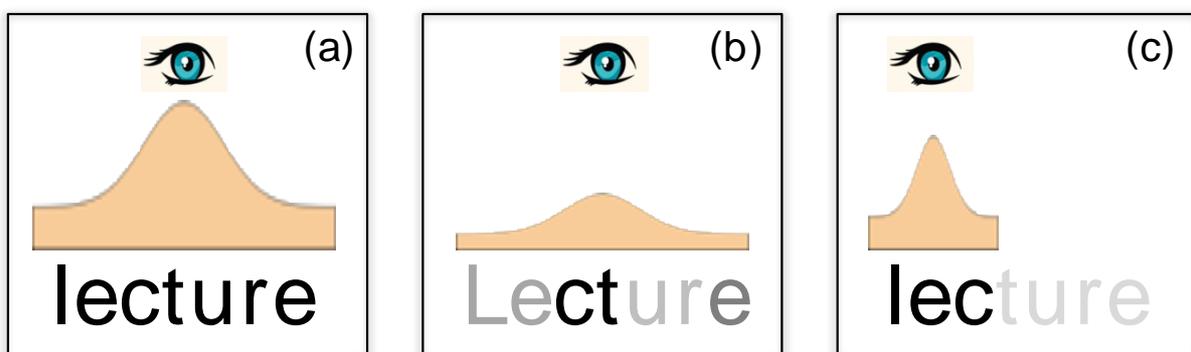


Figure 3 : Illustration des conséquences de différentes distributions de l’attention visuelle (partie orangée) sur le traitement du mot écrit « LECTURE ». (3a) distribution « normale » correspondant à celle d’un normo-lecteur qui a de bonnes ressources d’attention visuelle ; (3b) réduction des capacités d’attention visuelle ; (3c) stratégie de concentration de l’attention visuelle sur une sous-partie du mot.

Les Figures 3 a et 3b montrent deux exemples où l’attention visuelle se distribue sur toute la séquence du mot à lire mais cette distribution attentionnelle n’a pas les mêmes conséquences sur l’identification du mot selon que le lecteur dispose de beaucoup d’attention visuelle (Figure 3a) ou au contraire de capacités limitées (Figure 3b). On sait que l’attention visuelle permet de rendre plus visibles les objets (lettres ou séquences) qui sont sous focus attentionnel (Meyer et al., 2018). Ainsi, les lettres qui reçoivent de l’attention dans le mot sont mieux perçues et la quantité d’attention allouée à chaque lettre détermine la qualité de son identification. Lorsque

beaucoup de ressources d'attention visuelle sont disponibles pour le traitement du mot (surface orangée importante comme en 3a), chacune des lettres de la séquence reçoit suffisamment d'attention pour que toutes les lettres du mot soient facilement identifiées. Le traitement du mot est beaucoup plus difficile si le lecteur dispose de capacités d'attention visuelle limitées, tel qu'illustré dans la figure 3b. Dans ce cas, seulement certaines lettres du mot reçoivent la quantité d'attention nécessaire à leur identification. L'enfant dispose alors d'une information très parcellaire sur les lettres qui composent le mot. Il peut alors tenter de produire un mot connu sur la base des quelques lettres qu'il a pu identifier (par exemple, ACTE pour LECTURE) et c'est en général ce que font les enfants dyslexiques qui ont un déficit de l'empan VA lorsqu'on les met en condition de lecture rapide (présentation brève du mot à l'écran ou consigne de vitesse en lecture sur papier). Néanmoins, l'enfant a conscience qu'il n'a pas réussi à identifier toutes les lettres du mot. Si on lui en donne la possibilité, il préférera alors concentrer les ressources limitées d'attention visuelle dont il dispose sur une portion plus petite du mot, tel que représenté dans la figure 3c. On voit sur cet exemple que les ressources attentionnelles qui étaient préalablement distribuées sur toute la séquence du mot (3b) sont à présent concentrées sur le début de la séquence à lire. Cela permet d'allouer suffisamment d'attention aux trois premières lettres du mot et de lire la séquence « LEC ». L'enfant déplacera ensuite son attention sur les portions restantes du mot jusqu'à le lire dans sa totalité.

Les conséquences directes d'un déficit de l'empan VA sont donc un déficit majeur en lecture qui se caractérise soit par beaucoup d'erreurs liées à une analyse partielle du mot lorsque le temps de traitement est limité (Valdois et al., 2011), soit par une lecture très ralentie liée au traitement sériel de sous-portions de mots lorsque le temps de lecture est moins contraint. De très nombreuses études montrent que l'empan VA est un bon prédicteur de la fluence en lecture chez les enfants normo-lecteurs (e.g., Bosse & Valdois, 2009 ; Lobier et al., 2013). Les enfants dyslexiques qui présentent un déficit de l'empan VA sont particulièrement lents et présentent un effet de longueur massif en lecture. Même les mots très familiers ne sont pas reconnus d'emblée et font l'objet d'un traitement sériel, si bien que le temps de lecture augmente avec la longueur du mot (Ginestet et al., 2019 ; Valdois et al., 2003, 2011). Le traitement sériel du mot a pour autre conséquence de nuire à la lecture des mots irréguliers, comme FEMME ou CHORALE, l'enfant concentre successivement son attention sur des parties du mot, ce qui conduit à des erreurs de régularisation (FEMME prononcé /fømə/ ou /femə/ et CHORALE /ʃɔʁalə/). Un déficit de l'empan VA peut donc être associé soit à un profil de lecture mixte (Zoubrinetzky et al., 2014), soit à un profil de lecture caractérisé par un déficit spécifique à la lecture des mots irréguliers (Valdois et al., 2011).

Mais les enfants qui ont des ressources attentionnelles extrêmement limitées sont parfois contraints de lire lettre à lettre. Les ressources dont ils disposent ne permettent que l'identification correcte d'une ou deux lettres à la fois. Dans ce cas, la lecture est non seulement très lente mais elle entraîne aussi de nombreuses erreurs, en tout cas dans des langues comme le français qui possèdent des graphèmes longs (comme EAU ou AIN), des graphies contextuelles et des lettres muettes. Zoubrinetzky et al. (2014) ont montré que les enfants dyslexiques francophones avec déficit de l'empan VA produisaient davantage d'erreurs de segmentation graphémique que les dyslexiques avec déficit phonologique. Ils ont davantage tendance à segmenter un graphème long en plusieurs graphèmes courts ; par exemple, POINT

lu PO-INT /po-ẽ/ ou POI-INT /pwa-ẽ/ au lieu de /pwẽ/. Une lecture lettre à lettre entraîne également des erreurs sur les graphies contextuelles, comme C, G et S. Il faut obligatoirement analyser la lettre qui suit pour attribuer le bon phonème aux graphèmes C et G et analyser les deux lettres environnantes pour savoir comment se prononce le S à l'intérieur du mot. La concentration de l'attention sur une lettre unique à la fois peut donc conduire à associer S à /s/ indépendamment du contexte. De la même façon, lorsque l'attention se concentre sur des graphèmes comme T et P sans tenir compte du contexte, alors ces graphèmes sont systématiquement associés à /t/ et /p/ même s'ils apparaissent en fin de mot (NUIT est alors lu /nuĩt/ et LOUP /lup/). Au-delà des erreurs plus ou moins nombreuses selon le degré de sévérité du déficit, un empan VA réduit reflétant des ressources limitées d'attention visuelle a toujours des conséquences sur la vitesse de lecture. Un empan réduit conduit à traiter des unités plus courtes et empêche la reconnaissance d'emblée des mots même familiers.

Assez peu d'études se sont penchées sur les liens entre empan VA et lecture chez les enfants arabophones et aucune ne concerne des populations dyslexiques. Awadh et al. (2022) montre que l'empan VA d'enfants de 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> année prédit leur fluence en lecture de mots (7% de variance expliquée), de pseudo-mots (25%) et de textes (60%), indépendamment de leur QI et de leur capacité de traitement phonologique. L'empan VA est également un bon prédicteur de la compréhension des textes écrits (environ 10% de variance expliquée). Ceci laisse penser qu'un déficit de l'empan VA devrait avoir des conséquences non seulement en lecture mais également sur la compréhension des textes écrits, en langue arabe comme dans les autres types de langues.

Compte tenu des données sur les faibles lecteurs, on devrait s'attendre à ce qu'un déficit de l'empan VA chez les enfants dyslexiques arabophones se traduise par une lenteur en lecture voyellée. Il se pourrait également qu'il affecte le traitement morphologique des mots en lecture non voyellée. En effet, certaines études suggèrent que le traitement de la racine est particulièrement important pour l'identification des mots arabes et qu'il pourrait précéder le traitement du pattern (Perea et al., 2010, 2014). Or, les lettres de la racine et du pattern sont entremêlées dans les mots, ce qui devrait imposer des contraintes particulières pour la distribution de l'attention visuelle. Il se pourrait donc qu'un déficit de l'empan VA affecte les traitements morphologiques chez les lecteurs dyslexiques arabophones.

### **3.4. Conséquences pour l'évaluation, la prévention et la remédiation**

L'impact des ressources attentionnelles sur l'acquisition de la lecture et la mise en évidence de déficits de l'empan VA chez les enfants dyslexiques, impose d'évaluer les capacités d'empan VA de tout enfant qui consulte pour dyslexie. Le logiciel EVADYS (Valdois et al., 2014 ; <https://www.happyneuronpro.com/orthophonie/espace-evaluation/evadys/>) a été créé pour permettre l'évaluation de l'empan VA. Il comprend les épreuves de report global et de report partiel de lettres (alphabet latin). L'équivalent pour les caractères de la langue arabe n'est pas disponible mais peut être envoyé sur demande à des fins de recherche. Une utilisation en clinique nécessiterait de disposer de normes établies sur de larges populations d'enfants arabophones de différents niveaux scolaires, ce qui n'a pas été fait. Le logiciel inclut également une épreuve de seuil d'identification de lettres isolées qui permet de vérifier si l'enfant présente un déficit dès la reconnaissance des lettres isolées. Il faut rappeler que le diagnostic de déficit de l'empan VA n'est posé que si l'acuité visuelle est normale (ou corrigée par le port de

lunettes). Les études qui ont été menées sur l'empan VA concernaient en outre des populations d'enfants qui ne présentaient pas de trouble de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Le déficit de l'empan visuo-attentionnel traduit un déficit au niveau des capacités d'attention visuelle qui sont mobilisées dans le traitement des mots écrits en l'absence de pathologie attentionnelle plus générale.

Des outils d'entraînement de l'empan VA ont été développés et validés à la fois pour la remédiation des troubles dyslexiques et plus largement pour la prévention des difficultés d'apprentissage. Des études récentes (Valdois et Zoubrinetzky, 2022 ; Zoubrinetzky et al., 2019) montrent qu'un entraînement de l'empan VA, intensif s'étalant sur une durée relativement courte, conduit à une amélioration du niveau de lecture chez les enfants dyslexiques. Dans ces études, le logiciel MAEVA<sup>®</sup> (Valdois et al., 2017 ; diffusion HappyneuronPro) a été utilisé pour entraîner l'empan VA chez des enfants qui présentaient un déficit de l'empan VA avant entraînement. MAEVA<sup>®</sup> consiste à présenter des séquences de caractères (lettres, chiffres, pseudo-lettres, caractères japonais et formes géométriques non connues) dont la longueur augmente et le temps de présentation diminue au cours des essais. Après avoir vu la séquence, l'enfant doit répondre à une question démontrant qu'il a effectivement traité la séquence présentée. En début d'entraînement, les questions sont simples et portent sur le type d'éléments présents dans la séquence (appartiennent-ils tous à la même famille de caractères ? OUI pour F T D S, NON pour G S Z 4) mais les questions sont de plus en plus précises au cours de la progression et demandent une analyse de plus en plus fine de tous les éléments de la séquence. Les enfants s'entraînaient à raison de 15 minutes par jour, 5 jours par semaine pendant 6 semaines, soit un temps total d'entraînement de 7h30. Les résultats des deux études montrent que les enfants qui se sont entraînés avec MAEVA améliorent non seulement leur empan VA mais également leur niveau de lecture. Un entraînement intensif s'étalant sur seulement quelques semaines permet donc d'améliorer les performances en lecture des enfants dyslexiques, à condition de cibler le déficit sous-jacent.

Une étude de cas a également permis de montrer l'impact de l'entraînement de l'empan VA non seulement au niveau comportemental mais également au niveau neuronal (Valdois et al., 2014). Cette étude concernait une enfant de 8 ans bilingue français-espagnol qui présentait un trouble spécifique de la lecture dans les deux langues et un déficit de l'empan VA. Avant entraînement, on montrait que son déficit d'empan VA s'accompagnait d'une sous-activation des lobules pariétaux supérieurs bilatéralement. Le même dysfonctionnement cérébral a été préalablement décrit chez des enfants et des adultes dyslexiques avec déficit de l'empan VA (Peyrin et al., 2011 ; Lobier et al., 2014). Après entraînement, on observait une amélioration de l'empan VA et du niveau de lecture chez cette enfant, en même temps qu'une réactivation des lobules pariétaux supérieurs. Ceci démontre l'efficacité de l'entraînement et sa capacité à normaliser l'activation des régions cérébrales initialement dysfonctionnelles.

Enfin, nous avons récemment testé l'efficacité d'un nouvel entraînement de l'empan VA dans le but de prévenir les difficultés d'apprentissage de la lecture en classe. Le logiciel EVASION<sup>®</sup> a été créé pour cela. Il comprend 4 mini-jeux au cours desquels des séquences de lettres se déplacent à l'écran. L'enfant doit cliquer le plus vite possible sur les séquences de lettres cibles et éviter les distracteurs. Comme pour MAEVA<sup>®</sup>, les séquences de lettres présentées sont de plus longues au cours du jeu ; elles se déplacent de plus en plus vite à l'écran

et les distracteurs sont de plus en plus ressemblant à la cible. Le logiciel est doté d'un algorithme qui permet d'adapter le niveau de difficulté et la progression des exercices aux besoins de chacun des joueurs. L'entraînement est donc individualisé (pour une démonstration voir : [www.trans3.cnrs.fr](http://www.trans3.cnrs.fr)).

Nous avons demandé aux enseignants d'organiser des séances d'entraînement en classe pour les élèves de première année à raison de 20 minutes d'entraînement, 3 fois par semaine, pendant 10 semaines. L'étude a porté sur une large cohorte d'élèves, ce qui a permis de comparer les performances de trois groupes d'élèves : un groupe qui s'était entraîné avec EVASION©, un groupe qui s'entraînait sur un autre logiciel sans lien avec l'empan VA et un groupe qui suivait l'école comme d'habitude. La comparaison des performances des élèves en début et en fin d'année montre que les enfants du groupe EVASION ont davantage amélioré leur empan VA que ceux des deux autres groupes et qu'ils ont aussi davantage progressé en lecture. Un résultat tout-à-fait important est que les enfants initialement les plus en difficulté sont ceux qui ont le plus bénéficié de l'entraînement, suggérant qu'entraîner l'empan VA est de nature à réduire les écarts entre bons et mauvais lecteurs. L'analyse a également montré que le temps d'entraînement conseillé n'avait pas toujours été respecté et qu'un entraînement plus long s'accompagnait de progrès plus importants. Le logiciel EVASION devrait être disponible pour les cliniciens d'ici la fin de l'année 2024.

## 4 . Conclusion :

Les caractéristiques de la langue ont un impact sur l'apprentissage de la lecture et la manifestation des troubles dyslexiques mais les mêmes connaissances et mécanismes cognitifs sont impliqués dans l'apprentissage de la lecture dans toutes les langues. Il est largement démontré au niveau international qu'un apprentissage systématique des relations entre unités orthographiques et phonologiques est indispensable en début de scolarité pour faciliter l'apprentissage de la lecture. Cet apprentissage systématique permet de construire les connaissances nécessaires au développement d'une lecture fluente, à la fois précise, rapide et expressive. L'apprentissage des relations entre unités orthographiques et phonologiques (graphèmes-phonèmes) repose sur la capacité à segmenter à la fois les mots parlés en phonèmes et les mots écrits en graphèmes. Les enfants pré-lecteurs qui disposent d'un bon niveau de langage oral (notamment de vocabulaire) et de bonnes capacités d'identification et de segmentation des unités orales que sont la syllabe et la rime développeront plus vite un bon niveau de conscience phonémique. Cela facilitera l'acquisition des relations graphème-phonème et leur entrée dans la lecture, mais ce n'est pas suffisant. Il faut également qu'ils soient capables d'identifier rapidement les lettres et de traiter l'ensemble des lettres qui constituent les unités orthographiques au sein des mots écrits. Nous avons vu que cela dépend de leurs capacités d'attention visuelle. Les enfants qui ont des ressources suffisantes d'attention visuelle identifient mieux les lettres même isolées (notamment quand elles sont visuellement complexes, comme en langue arabe) et sont capables de traiter davantage de lettres simultanément ; ils ont un meilleur empan VA. Un déficit de conscience phonémique et un déficit de l'empan VA sont donc à l'origine des troubles dyslexiques. Un déficit unique de l'une de ces deux dimensions suffit à entraîner un trouble dyslexique puisque l'acquisition des relations graphème-phonème qui est à la base de l'apprentissage de la lecture nécessite à la fois un bon niveau de conscience phonémique et de bonnes capacités d'empan VA. Évidemment, les enfants qui présentent un double déficit sont très sévèrement touchés et rencontrent des difficultés majeures en lecture. Le niveau de langage oral est une autre dimension importante, ce qui complique les choses en condition de diglossie. Un enfant qui a un bon niveau de vocabulaire oral a plus de chance de développer ses capacités de conscience phonémique. Par ailleurs, les erreurs de décodage peuvent être au moins en partie compensées si l'enfant connaît à l'oral le mot qu'il tente de décoder à l'écrit. Le diagnostic de dyslexie repose sur la mise en évidence d'un retard significatif en lecture. Le fait d'objectiver un déficit sous-jacent n'est pas pris en compte pour poser le diagnostic de dyslexie. Néanmoins, il est très important d'évaluer les capacités de conscience phonologique et d'empan VA de tout enfant dyslexique. Ceci doit permettre de leur proposer des entraînements intensifs, adaptés au déficit qu'ils présentent. On dispose à présent d'entraînements de la conscience phonémique et de l'empan VA dont l'efficacité a été prouvée. Leur utilisation intensive pendant quelques semaines se traduit par une amélioration du niveau de lecture. Il est néanmoins préférable d'intégrer ces entraînements dans une prise en charge plus globale où l'enfant est exposé de façon répétée aux mêmes mots ou aux mêmes textes. En effet, l'objectif de l'entraînement intensif est de faciliter le décodage des mots, mais il faut que ces mots soient rencontrés et décodés à plusieurs reprises pour qu'ils puissent être mémorisés sous forme écrite et que l'enfant parvienne à terme à les reconnaître d'emblée. En résumé, de meilleures capacités de conscience phonologique et d'empan VA

permettent de développer plus vite des connaissances sur les relations graphème-phonème. Un décodage réussi participe à la mémorisation de la forme orthographique des mots, avec des conséquences directes sur la fluence de lecture.

## Références :

- Abu-Rabia, S. (1997). Reading in Arabic orthography: The effect of vowels and context on reading accuracy of poor and skilled native Arabic readers. *Reading and Writing*, **9**, 65-78. <https://doi.org/10.1023/A:1007962408827>
- Abu-Rabia, S. & Abu-Rahmoun, N. (2012). The role of phonology and morphology in the developmental of basic reading skills of dyslexic and normal native Arabic readers. *Creative Education*, **3**, 7, 1259-1268. <http://dx.doi.org/10.4236/ce.2012.37185>
- Abu-Rabia, S., Share, D. & Mansour, M.S. (2003). Word-recognition and basic cognitive processes among reading-disables and normal readers in Arabic. *Reading and Writing*, **16**, 423-442. <https://doi.org/10.1023/A:1024237415143>
- Acha, J., Rodriguez, N. & Perea, M. (2023). The role of letter knowledge acquisition ability on children's decoding and word identification: Evidence from an artificial orthography. *Journal of Research in Reading*. DOI:10.1111/1467-9817.12432
- Awadh, F.H.R. (2016). Caractérisation et rôle de l'empan visuo-attentionnel chez des lecteurs arabophones adultes et enfants. Thèse de doctorat, Université Grenoble-Alpes.
- Awadh, F., Phénix, T., Antzaka, A., Lallier, M., Carreiras, M., Valdois, S. (2016). Cross-language modulation of the VA span: A Spanish-French-Arabic comparison in adult skilled readers. *Frontiers in Psychology – Cognition*, **7**, 307. [doi: 10.3389/fpsyg.2016.00307](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00307) [hal-01569572v1]
- Awadh, F.H.R., Zoubinetzky, R., Zaher, A. & Valdois, S. (2022). Visual attention span as a predictor of reading fluency and reading comprehension in Arabic. *Frontiers in Psychology*, **13**: 868530. doi: 10.3389/fpsyg.2022.868530 [hal-03845042v1]
- Bialystok, E., Luk, G. & Kwan, E. (2005). Bilingualism, biliteracy and learning to read: Interactions among languages and writing systems. *Scientific Studies of Reading*, **9**, 1, 43-61. [https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0901\\_4](https://doi.org/10.1207/s1532799xssr0901_4)
- Bosse, M. L. & Valdois, S. (2009). Influence of the visual attention span on child reading performance: a cross-sectional study. *Journal of Research in Reading*, **32**, 2, 230-253. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2008.01387.x> [hal-00817785v1]
- Boukadida, N. (2008). Connaissances phonologiques et morphologiques dérivationnelles et apprentissage de la lecture en arabe. Thèse de doctorat, Université Européenne de Bretagne.
- Campbell, R. & Butterworth, B. (1985). Phonological dyslexia and dysgraphia in a highly literate subject: A developmental case with associated deficits of phonémique processing and awareness. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, **37**, 3, 435-475. <https://doi.org/10.1080/14640748508400944>

Chang, L.Y., Chen, Y.C. & Perfetti, C.A. (2018). Graphcom: A multidimensional measure of graphic complexity applied to 131 written languages. *Behavioral Research*, **50**, 427-449. DOI 10.3758/s13428-017-0881-y

Cornut, C. & Casalis, S. (2023). Dyslexie et bilinguisme. Dans S. Casalis (ed.). *Les dyslexies du développement* (page 65-77). Elsevier Masson SAS. ISBN 978-2-294-77569-7

Dehaene, S. (2007). *Les neurones de la lecture*. Editions Odile Jacobs. France. EAN13 : 978273818668

Desrochers, A., Laplante, L. & Brodeur, M. (2016). Le modèle « Réponse à l'Intervention » et la prévention des difficultés d'apprentissage de la lecture au préscolaire et au primaire. Dans M.F. Morin, A. Alamargot & C. Gonçalves (Eds.), *Perspectives actuelles sur l'apprentissage de la lecture et de l'écriture*. Actes du symposium sur la littéracie à l'école (p. 290-314). Editions de l'Université de Sherbrook, Canada. <https://doi.org/10.17118/11143/10274>

Ehri, L.C., Nunes, S.R., Willows, D.M., Schuster, B.V., Yaghoub-Zadeh, Z. & Shanahan, T. (2001). Phonemic awareness instruction helps children learn to read: Evidence from the National Reading Panel's meta-analysis. *Reading Research Quarterly*, **36**, 3, 250-287. <https://doi.org/10.1598/RRQ.36.3.2>

Elbeheri, G., and Everatt, J. (2007). Literacy ability and phonological processing skills amongst dyslexic and non-dyslexic speakers of Arabic. *Reading and Writing*, **20**, 3, 273–294. doi:10.1007/s11145-006-9031-0

Eviatar, Z., Ibrahim, R., Ganayim, D. (2004). Orthography and the hemispheres: Visual and linguistic aspects of letter processing. *Neuropsychology*, **18**, 174–184. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.18.1.174>

Farran, L.K., Bingham, G.E., Matthews, M.W. (2012). The relationship between language and reading in bilingual English-Arabic children. *Reading and Writing*, **25**, 2153-2181. DOI 10.1007/s11145-011-9352-5

Fluss, J., Ziegler, J., Ecalle, J., Magnan, A., Warszawski, J., Ducot, B., Richard, G. & Billard, C. (2008). Prévalence des troubles d'apprentissage du langage écrit en début de scolarité : l'impact du milieu socioéconomique dans 3 zones d'éducation distinctes. *Archives de pédiatrie*, **15**, 1049-1057.

Foulin, J.N. (2005). Why is letter-name knowledge such a good predictor of learning to read? *Reading and Writing*, **18**, 129-155. DOI 10.1007/s11145-004-5892-2

Gibbs, S.J. & Elliott, J.G. (2020). The dyslexia debate: Life without the label. *Oxford Review of Education*. **46**, 4, 487-500. <https://doi.org/10.1080/03054985.2020.1747419>

- Ginestet, E., Phénix, T., Diard, J. & Valdois, S. (2019). Modelling the length effect for words in lexical decision: the role of visual attention. *Vision Research*, **159**, 10-20. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.03.003> [hal-02097508v1]
- Jacquier-Roux, M., Valdois, S. & Zorman, M. (2002). ODEDYS, un outil de dépistage des dyslexies [Odedys, a tool for the early detection of developmental dyslexia]. Laboratoire Cognisciences, Université Grenoble-Alpes. <https://www.dyslexie.lu/ODEDYS2.pdf>
- Jacquier-Roux, M., Valdois, S., Lequette, C., Pouget, G. & Zorman, M. (2010). BALE : Batterie Analytique du Langage Ecrit. Laboratoire Cognisciences, Université Grenoble-Alpes. <https://dle.ac-mayotte.fr/La-batterie-analytique-du-langage-ecrit-Outil-cognisciences-BALE.html>
- Landerl, K., Ramus, F., Moll, K., Lyytinen, H., Leppanen, H.T., et al. (2013). Predictors of developmental dyslexia in European orthographies with varying complexity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, **54**, 6, 686-694. doi:10.1111/jcpp.12029 [hal-00965034v1]
- Lallier, M. & Carreiras, M. (2018). Cross-linguistic transfer in bilinguals reading in two alphabetic orthographies: The grain size accommodation hypothesis. *Psychonomic Bulletin and Review*, **25**, 386-401. DOI 10.3758/s13423-017-1273-0
- Layes, S., Lalonde, R., Mecheri, S. & M. Rebaï (2015). Phonological and cognitive reading related skills as predictors of word reading and reading comprehension among Arabic dyslexic children. *Psychology*, **6**, 20-38. <http://dx.doi.org/10.4236/psych.2015.61003>
- Layes, S., Lalonde, R. & M. Rebaï (2019). Effects of an adaptative phonological training program on reading and phonological processing skills in Arabic-speaking children with dyslexia. *Reading and Writing Quarterly*, **35**, 2, 103-117. <https://doi.org/10.1080/10573569.2018.1515049>
- Liu, J., Ren, X., Wang, Y. & Zhao, J. (2023). Visual attention span capacity in developmental dyslexia: A meta-analysis. *Research in Developmental Disabilities*, **135**, 104465. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2023.104465>
- Lobier, M., Dubois, M. & Valdois, S. (2013). The role of visual processing speed in reading speed development. *Plos One*, **8**, 4, e58097 DOI:10.1371/journal.pone.0058097 [hal-00965071v1]
- Lobier, M., Peyrin, C., Pichat, C., Le Bas, J.F. & Valdois, S. (2014). Visual processing of multiple elements in the dyslexic brain: Evidence for a superior parietal dysfunction. *Frontiers in Human Neurosciences*, **8**, 479. Doi:10.3389/fnhum.2014.00479 [hal-01979615v1]
- Melby-Lervåg, M., Lyster, S. A. H., & Hulme, C. (2012). Phonological skills and their role in learning to read: A meta-analytic review. *Psychological Bulletin*, **138**, 2, 322-352. <https://doi.org/10.1037/a0026744>

Meyer, S., Diard, J. & Valdois, S. (2018). Lecteurs, votre attention s'il vous plaît ! Le rôle de l'attention visuelle en lecture. *A.N.A.E. (Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant)*, **157**, 697-705. [[hal-02002545v1](#)]

Mohamed, W., Landerl, K. & Elbert, T. (2014). An epidemiological survey of specific reading and spelling disabilities in Arabic speaking children in Egypt. In E. Saiegh-Haddad and J. Malatesha (Eds.). *Handbook of Arabic literacy* (pp.99-119). Dordrecht: Springer-Verlag. DOI 10.1007/978-94-017-8545-7

Noordenbos, M.W. & Serniclaes, W. (2015). The categorical perception deficit in dyslexia: A meta-analysis. *Scientific Studies of Reading*, **19**, 5, 340-359. DOI: 10.1080/10888438.2015.1052455

Paulesu, E., Démonet, J.F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S.F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C.D. & Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, **291**, 2165. DOI: 10.1126/science.1057179

Pennington, B.F., Santerre-Lemmon, L., Rosenberg, J., MacDonald, B. Boada, R., Friend, A., Leopold, D.R., Samuelsson, S., Byrne, B. & Olson, E.G. (2012). Individual prediction of dyslexia by single versus multiple deficit models. *Journal of Abnormal Psychology*, **121**, 1, 212-224. DOI: 10.1037/a0025823

Perea, M., Abu Mallouh, R. & Carreiras, M. (2010). Are root letters compulsory for lexical access in Semitic languages? The case of masked form-priming in Arabic. *Cognition*, **132**, 491-500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2014.05.008>

Perea, M., Mallouh, R.A., Carreiras, M. (2014). Are root letters compulsory for lexical access in Semitic languages? The case of masked form-priming in Arabic. *Cognition*, **132**, 491-500. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2014.05.008>

Perry, C. & Long, H. (2020). What is going on with visual attention in reading and dyslexia? A critical review of recent studies. *Brain Sciences*, **12**, 87. <https://doi.org/10.3390/brainsci12010087>

Peterson, R.L., Pennington, B.F. & Olson, R.K. (2013). Subtypes of developmental dyslexia: Testing the predictions of the dual-route and connectionist frameworks. *Cognition*, **126**, 20-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2012.08.007>

Peyrin, C., Démonet, J.F., Baciú, M., Le Bas, J.F., Valdois, S. (2011). Superior parietal lobe dysfunction in a homogeneous group of dyslexic children with a single visual attention span disorder. *Brain & Language*, **118**, 128-138. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2010.06.005> [[hal-00861985v1](#)]

Saiegh-Haddad, E. & Malatesha, J. (2014). *Handbook of Arabic literacy*. Dordrecht: Springer-Verlag. DOI 10.1007/978-94-017-8545-7

Seymour, P.H.K., Aro, M. & Erskine, J.M. (2003). Foundation literacy acquisition in European orthographies. *British Journal of Psychology*, **94**, 143-174.

<https://doi.org/10.1348/000712603321661859>

Simos, P. G., Fletcher, J. M., Bergman, E., Breier, J. I., Foorman, B. R., Castillo, E. M., et al. (2002). Dyslexia-specific brain activation profile becomes normal following successful remedial training. *Neurology*, **58**, 8, 1203-1213. DOI:<https://doi.org/10.1212/WNL.58.8.1203>

Snowling, M.J., Nash, H.M., Gooch, D.C., Hayiou-Thomas, M.E. & Hulme, C. (2019). Developmental outcomes for children at risk of dyslexia and children with developmental language disorders. *Child Development*, **90**, 5, e548-e564 . DOI: 10.1111/cdev.13216

Taouk, M. and Coltheart, M. (2004). The cognitive processes involved in learning to read in Arabic. *Reading and Writing*, **17**, 27-57.

<https://doi.org/10.1023/B:READ.0000013831.91795.ec>

Tang, J., Ma, X., Peng, P., Cha, K., Yao, Y. & Zhao, J. (2023). Visual attention span deficits in developmental dyslexia : a meta-analysis. *Research in developmental disabilities*. 141, <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2023.104590>

Tibi, S. (2010). Developmental hierarchy of Arabic phonological awareness skills. *International Journal of Special Education*, **25**, 1, 27-33.

Tibi, S. & Kirby, J.R. (2018). Investigating phonological awareness and naming speed as predictors of reading in Arabic. *Scientific Studies of Reading*, **22**, 1, 70-84.

<https://doi.org/10.1080/10888438.2017.1340948>

Torres, A.R., Mota, N.B., Adaly, N., Naschold, A., Lima, T.Z., Copelli, M., Weissheimer, J., Pegado, F. & Ribeiro, S. (2020). Selective inhibition of mirror invariance for letters consolidated by sleep doubles reading fluency. *Current Biology*, **31**, 4, 742-752. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.11.031>

Valdois, S. (2020). L'apprentissage de la lecture. In N. Poirel (Ed.). *Neurosciences Cognitives Développementales* (p.129-151). Editions de Boeck Supérieur. ISBN-13 9782807327474

Valdois, S. (2022). The visual-attention span deficit in developmental dyslexia: Review of evidence for a visual-attention-based deficit. *Dyslexia*, **28**, 397-415. DOI: 10.1002/dys.1724 ; téléchargement : [hal-03756740v1](#)

Valdois, S. (2020). L'apprentissage de la lecture. In N. Poirel (Ed.). *Neurosciences Cognitives Développementales* (p.129-151). Editions de Boeck Supérieur.

Valdois, S., Bidet-Ildei, C., Lassus-Sangosse, D., Reilhac, C., N'Guyen, M.A., Guinet E. & Orliaguet, J.P. (2011). A visual processing but no phonological disorder in a child with mixed dyslexia. *Cortex*, **47**, 1197-1218. [**hal-00965218v1**]

Valdois, S., Bosse, M.L., Ans B., Zorman, M., Carbonnel, S., David, D. & Pellat, J. (2003). Phonological and visual processing deficits are dissociated in developmental dyslexia: Evidence from two case studies. *Reading and Writing*, **16**, 543-572. [**hal-00826014v1**]

Valdois, S., Zoubinetzky, R., Diard, J. & Lobier, M. (2017). MAEVA : Mobilisation active de l'empan Visuo-attentionnel. HappyneuronPro. <https://science.happyneuron.com/maeva-le-defi-playtests-en-cours-avec-15-orthophonistes-et-une-trentaine-denfants-de-7-13-ans/>

Valdois, S., Peyrin, C., Lassus-Sangosse, D., Lallier, M., Demonet, J. F., & Kandel, S. (2014). Dyslexia in a French-Spanish bilingual girl: behavioural and neural modulations following a visual attention span intervention. *Cortex*, **53**, 120-145.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cortex.2013.11.006> [ **hal-00965217v1** ]

Valdois, S. & Zoubinetzky, R. (2022). Entraîner l'empan VA améliore le niveau de lecture des enfants dyslexiques. Dans F. Bois-Parriaud, S. Joly-Froment & A. Witko (Eds), *Actualité du langage écrit* (p. 115-132). Ortho-Edition : Paris.

White, S., Milne, E., Rosen, S., Hansen, P., Swettenham, J., Frith, U. & Ramus, F. (2006). The role of sensorimotor impairments in dyslexia: a multiple case study of dyslexic children? *Developmental Science*, **9**, 3, 237-269. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00483.x>

Wren, Y., Hambly, H. & Roulstone, S. (2013). A review of the impact of bilingualism on the development of phonemic awareness skills in children with typical speech development. *Child language teaching and therapy*, **29**, 1, 11-25.  
<https://doi.org/10.1177/0265659012464880>

Ziegler, J. (2018). Différences inter-linguistiques dans l'apprentissage de la lecture. *Lingue Française*, **3**, 35-49. *hal-01911663*

Ziegler, J.C. & Goswami, U. (2005). Reading acquisition, developmental dyslexia and skilled reading across languages: A psycholinguistic grain size theory. *Psychological Bulletin*, **131**, 1, 3-29. <http://dx.doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.3>

Zoubinetzky, R., Bielle, F., Valdois, S. (2014). New insights on developmental dyslexia subtypes: Heterogeneity of mixed reading profiles. *Plos One*, **9**(6) Article e99337. □  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099337>

Zoubinetzky, R., Collet, GM., N'Guyen-Morel, M.A., Valdois, S., & Serniclaes, W. (2019). Remediation of allophonic perception and visual attention span in developmental dyslexia: a joint assay. *Frontiers in Psychology*, **10**:1502. doi: 10.3389/fpsyg.2019.01502 [**hal-02489743v1**]