



HAL
open science

Des fondements théoriques de la dyslexie développementale vers la construction d'une méthodologie de soin

Karine Harrar-Eskinazi, Denis-Noël Ambre, Cara Bruno De, Leloup Gilles,
Nothelier Julie, Faure Sylvane, Ziegler Johannes C.

► To cite this version:

Karine Harrar-Eskinazi, Denis-Noël Ambre, Cara Bruno De, Leloup Gilles, Nothelier Julie, et al.. Des fondements théoriques de la dyslexie développementale vers la construction d'une méthodologie de soin. *Rééducation orthophonique*, 2024, 298, pp.46-67. hal-04847027

HAL Id: hal-04847027

<https://amu.hal.science/hal-04847027v1>

Submitted on 18 Dec 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Des fondements théoriques de la dyslexie développementale vers la construction d'une méthodologie de soin

Karine L. Harrar-Eskinazi
Orthophoniste, PhD, Post-doctorante en Psychologie
Université Côte d'Azur, LAPCOS, Nice
karine.harrar@etu.univ-cotedazur.fr

Ambre Denis-Noël
Ingénieure de recherche
Aix-Marseille CNRS, LPC, Marseille
ambre.DENIS@univ-amu.fr

Bruno De Cara
Maître de Conférence en Psychologie
Université Côte d'Azur, LAPCOS, Nice
bruno.de-cara@univ-cotedazur.fr

Gilles Leloup
Orthophoniste, PhD
Université Côte d'Azur, CoBTeK, Nice
gileloup@gmail.com

Julie Nothelier
Orthophoniste, Ingénieure d'Étude
Université Côte d'Azur, LAPCOS, Nice
julie.nothelier@gmail.com

Sylvane Faure
Professeur des Universités en Neuropsychologie
Université Côte d'Azur, LAPCOS, Nice
sylvane.faure@univ-cotedazur.fr

Johannes C. Ziegler
Docteur en Neurosciences, Directeur de Recherche
Aix-Marseille Université, CNRS, LPC, ILCB, Marseille
johannes.ziegler@univ-amu.fr

Résumé

Malgré des décennies de recherche, les répercussions sévères de la dyslexie développementale sur l'ensemble des apprentissages scolaires, l'estime de soi et le devenir professionnel demeurent encore un problème de santé publique. La remédiation de la dyslexie a suscité, depuis plus d'un siècle, de nombreux travaux scientifiques pour tenter de réduire le déficit de lecture soit par des remédiations ciblant les procédures de lecture (phonologique ou orthographique), soit par des remédiations ciblant les déficits cognitifs sous-jacents audio-phonologiques, visuels ou audio-visuels, soit par des interventions combinées ciblant les procédures de lecture et les déficits cognitifs sous-jacents. Cependant, ces nombreuses études scientifiques restent peu appliquées dans un contexte clinique où de

nombreuses entraves et interrogations persistent. A quels niveaux pouvons-nous intervenir ? Quelles stratégies de remédiation pouvons-nous utiliser ? Quels sont les critères de validité et les limites sur le plan méthodologique ? Comment pouvons-nous intervenir ? Quels outils utilisés pour intervenir ? Comment mesurer les gains obtenus ? Cet article tente très modestement d'apporter quelques pistes afin de faire émerger des solutions en partant des fondements théoriques pour s'orienter vers la construction d'une méthodologie de soin plus efficace et écologique.

Mots clés : dyslexie développementale, remédiation, méthodologie de soin

From the theoretical foundations of developmental dyslexia to the construction of a care methodology

Abstract

Despite decades of research, the negative effects of developmental dyslexia on academic success, self-esteem and career prospects are still a serious public health problem. For over a century, many scientific studies have attempted to reduce the reading deficits of dyslexic readers, either through the remediation of phonological or orthographic reading procedures, or through the remediation of underlying audio-phonological, visual or audio-visual cognitive deficits, or through combined interventions targeting both reading procedures and underlying cognitive deficits. However, these numerous scientific studies remain little applied in a clinical context where many obstacles and questions persist. At what levels can we intervene? What remedial strategies can we use? What are the validity criteria and limitations of this methodological framework? How can we intervene? What tools can we use to intervene? How can we measure the gains made? This article is a modest attempt to suggest some possible solutions, starting from theoretical foundations and moving towards the construction of a more effective and ecological care methodology.

Key words: developmental dyslexia, remediation, care methodology

Introduction

La lecture est la colonne vertébrale des apprentissages scolaires, un vecteur omniprésent et incontournable de la vie sociale et de la communication. Maîtriser la lecture demeure une variable prédictive probante du bien-être économique et social des nations (Beddington et al., 2008). Associé à des conséquences négatives sur le devenir scolaire, social, comportemental et émotionnel, un faible niveau en lecture représente donc un handicap dans les sociétés modernes alphabétisées. Parmi les faibles lecteurs, certains présentent ce que l'on nomme une dyslexie développementale, définie comme un trouble neurodéveloppemental et spécifique d'apprentissage avec altération de la lecture et de la production écrite par les classifications internationales DSM-5 (American Psychiatric Association, 2013) et *CIM-11* (Organisation Mondiale de la Santé, 2022). Singulier et inattendu, ce trouble sévère et durable de l'apprentissage de la lecture persiste en dépit d'une intelligence normale et de l'absence de pathologie neurologique, psychiatrique, de déficit sensoriel visuel et auditif ou de carence socio-éducative grave (DSM-5). Présente quelle que soit la langue (Peterson & Pennington, 2012), la dyslexie développementale est universelle et fait référence aux difficultés de lecture dans la reconnaissance exacte et fluide des mots écrits ainsi qu'à leurs conséquences sur la compréhension écrite et sur l'orthographe (Conners & Olson, 2012; Ehri, 2000). Les lecteurs dyslexiques (LD) sont caractérisés par des difficultés à apprendre et à automatiser le décodage des mots écrits (Ziegler et al., 2020). Ce trouble d'identification des mots écrits serait fondé sur une altération du développement de la conversion grapho-phonémique qui consiste à relier les unités de base de la langue écrite (lettres ou graphèmes) aux unités de base de la langue parlée (sons ou phonèmes). Ainsi, la lecture reste peu fluide et nécessite un effort cognitif supérieur à celui fourni par des enfants normolecteurs (Shaywitz & Shaywitz, 2005; Sprenger-Charolles et al., 2013). La prévalence de la dyslexie développementale est estimée entre 5 et 17 % dans la population générale selon le niveau de sévérité du trouble (Shaywitz & Shaywitz, 2005) et selon les critères épidémiologiques appliqués (Di Folco et al., 2022). Son caractère héréditaire et ses répercussions sévères sur l'ensemble des apprentissages scolaires, l'estime de soi, les troubles anxieux et le devenir professionnel en font un problème de santé publique majeur (Esser et al., 2002; McGee et al., 2002).

Pour atténuer ou, dans le meilleur des cas, empêcher cette évolution négative, une remédiation est nécessaire. De nombreuses méta-analyses ont mis en évidence l'efficacité des interventions nommées « phonics instruction » combinant un entraînement intensif de la conscience phonémique et du décodage phonologique (Ehri et al., 2001; Galuschka et al., 2014; McArthur et al., 2018). Cependant, si ces interventions validées pour améliorer la lecture et l'orthographe sont efficaces auprès des jeunes enfants à risque de développer un trouble de la lecture ou auprès des faibles lecteurs présentant un trouble léger de la lecture, elles semblent moins efficaces auprès des LD (Ehri et al., 2001; Galuschka et al., 2014). Ces limites de l'efficacité de la remédiation des troubles d'apprentissage du langage écrit chez les LD soulèvent de nombreuses interrogations auxquelles la recherche fondamentale et

clinique tente de répondre depuis plusieurs décennies afin de développer une méthodologie de soin efficace de la dyslexie développementale.

S'il est communément admis que le déficit d'accès aux représentations phonologiques soit la cause de la dyslexie développementale, aucune hypothèse causale n'est parvenue, à notre connaissance, à expliquer totalement la variabilité des tableaux sémiologiques cliniques, ni à valider une approche de remédiation unique de la dyslexie développementale. Ainsi, de multiples théories explicatives de la dyslexie, telles que la théorie d'un déficit de traitement audio-phonologique, la théorie d'un déficit de traitement visuo-attentionnel et la théorie d'un déficit de traitement audio-visuel (Serniclaes et al., 2015), ont orienté la recherche fondamentale et mis en évidence une hétérogénéité sémiologique de la DD. Cette hétérogénéité sémiologique s'exprime par une variabilité individuelle des déficits cognitifs sous-jacents (Menghini et al., 2010; Ramus, 2003; Saksida et al., 2016; White et al., 2006; Ziegler et al., 2008; Zoubrinetzky et al., 2014) qui entraîne elle-même une variabilité des symptômes cliniques des troubles de la lecture et de l'orthographe (O'Brien & Yeatman, 2021; Ring & Black, 2018), en accord avec une hypothèse étiologique multifactorielle.

L'hypothèse d'une étiologie multifactorielle a d'abord été définie par le Modèle Multi-Déficits de Pennington (2006). Ce modèle indique que quatre niveaux d'analyse différents peuvent s'influencer les uns les autres par des traitements ascendants et descendants. Le niveau génétique et épigénétique qui implique les gènes, l'environnement et l'interaction gènes et environnement. Le niveau cérébral qui implique le défaut de connectivité entre les zones impliquées dans la lecture. Le niveau cognitif qui implique les processus cognitifs altérés auditifs, visuels, phonologiques, visuo-attentionnels et audio-visuels. Et le niveau des symptômes qui implique les troubles comportementaux de la lecture et de l'orthographe. Ces quatre niveaux d'analyse expliqueraient l'hétérogénéité sémiologique de la DD mais aussi la comorbidité avec les autres troubles neurodéveloppementaux. Comme ces niveaux d'analyse sont interdépendants et s'influencent mutuellement, intervenir sur un niveau influencerait les autres niveaux.

Plus récemment, le Modèle Multi-Déficits de Ziegler et al. (2019, 2020) a simulé trois types de déficits pouvant altérer le réseau de décodage grapho-phonologique. Les déficits visuo-attentionnels peuvent altérer le niveau de traitement des lettres dans leur identification et le codage de leur position. Les déficits audio-phonologiques peuvent altérer le traitement des phonèmes dans leur discrimination, le codage de leur position et l'accès aux représentations phonologiques dans le lexique phonologique. Et le déficit de l'intégration audio-visuelle peut altérer le réseau de décodage grapho-phonologique qui est au cœur du modèle. En simulant ces différentes altérations à différents niveaux de traitement, le Modèle Multi-Déficits qui affecte simultanément les trois composants est plus performant que les modèles alternatifs qui affectent un seul composant (soit de déficit audio-phonologique, soit de déficit visuo-attentionnel) ou qui affectent tous les composants de façon non-spécifique (bruit global)(Perry et al., 2019).

Adapter les stratégies de remédiation selon les différents profils cognitifs et comportementaux propres à chaque lecteur dyslexique semble alors nécessaire. Cependant, les cliniciens se heurtent à trois limites majeures (Helloin, 2019). La première est l'abîme qui sépare les connaissances issues de la recherche scientifique et les solutions thérapeutiques qui sont appliquées dans la pratique clinique. La deuxième est un accès limité aux soins pour les patients souffrant d'un trouble de la lecture. Et la troisième est une insuffisance de cadre méthodologique de soin pour optimiser et valider les remédiations orthophoniques. Les conduites de remédiation renvoient à des concepts scientifiques, méthodologiques et cliniques qui soulèvent encore de nombreuses questions au sein de la communauté professionnelle. A quels niveaux pouvons-nous intervenir ? Quelles stratégies de remédiation pouvons-nous utiliser ? Quels sont les critères de validité et les limites de ce cadre méthodologique ? Comment pouvons-nous intervenir ? Quels outils utilisés pour intervenir ? Comment mesurer les gains obtenus ? Cet article tente très modestement d'apporter quelques pistes afin de faire émerger des solutions en partant des fondements théoriques pour s'orienter vers la construction d'une méthodologie de soin plus efficace et plus écologique.

1. A quels niveaux pouvons-nous intervenir ?

Plus précisément, devons-nous cibler les quatre niveaux d'analyse du Modèle Multi-Déficits de Pennington (2006) ou uniquement les processus-cognitifs sous-jacents impliqués dans la lecture ou devons-nous plutôt cibler les symptômes c'est-à-dire les troubles comportementaux de la lecture et de l'orthographe ?

Au niveau épigénétique, la variabilité des niveaux socio-éducatifs ou socio-économiques interagissent avec les facteurs génétiques s'exprimant par les antécédents familiaux de troubles de la lecture. Une intervention précoce pourrait donc agir sur l'interaction entre les facteurs de risque et de protection environnementaux auprès des enfants ayant un risque génétique pour développer une DD. Par exemple, il serait logique de favoriser le développement du langage oral et des prédicteurs d'un bon apprentissage de la lecture tels que la conscience phonologique. Les études d'intervention précoce à un niveau préscolaire, menées auprès d'enfants présentant un risque de dyslexie, en ciblant les compétences de langage oral et les compétences phonologiques, ont montré des effets à court terme sur la connaissance des lettres et la conscience des phonèmes, avec peu de transfert vers la lecture et l'écriture (voir par exemple l'étude de Duff et al., 2014). D'autres études longitudinales sont cependant nécessaires.

Au niveau cérébral, le trouble de la lecture serait sous-tendu par le dysfonctionnement d'un vaste circuit de réseaux neuronaux interconnectés (Kershner, 2016). Chaque réseau déconnecté pourrait altérer une fonction ou des fonctions différentes selon les LD. Ainsi, une déconnexion du réseau fronto-pariétal altérerait les processus

attentionnels visuo-spatiaux, une déconnexion du réseau occipito-pariétal altérerait l'empan visuo-attentionnel, une déconnexion du réseau temporo-pariétal altérerait les processus phonologiques et une déconnexion du réseau occipito-temporo-pariétal altérerait les processus audio-visuels (Ozernov-Palchik & Gabrieli, 2018). En bref, trois types de déficits visuo-attentionnels, audio-phonologiques et intermodalitaires sous-tendus par des réseaux neuronaux spécifiques peuvent altérer la lecture. A l'heure actuelle, il n'y a aucune méthode scientifiquement validée permettant d'intervenir directement sur cette connectivité bien qu'une recherche récente a montré que la stimulation transcrânienne à courant alternatif (tACS) peut restaurer transitoirement une fonction oscillatoire « low-gamma » (30 Hz) dans le cortex auditif gauche qui est associé au déficit phonémique dans la dyslexie (Marchesotti et al., 2020). Cela dit, trop peu d'études ont évalué le potentiel de la stimulation transcrânienne ou du neurofeedback dans le développement de protocoles de traitement de la dyslexie (Costanzo et al., 2019). En attendant des avancées dans ce domaine, il nous semble qu'à l'heure actuelle, les interventions directement au niveau cérébral ne sont pas encore applicables en clinique.

Au niveau cognitif, en revanche, beaucoup d'interventions ont évalué les effets de l'entraînement de processus cognitifs sous-jacents (en général un seul) sur les compétences en lecture. Ces interventions ciblent principalement les déficits phonologiques en lien avec la théorie explicative la plus robuste. Un entraînement intensif, systématique et explicite de la conscience phonémique et des correspondances lettres-sons est largement recommandé (Ehri et al., 2001; Galuschka et al., 2014). Les activités de conscience phonémique, décrites comme les plus efficaces, sont la fusion et la segmentation de phonèmes, à condition que le phonème soit associé à la présentation visuelle du graphème (Torgesen et al., 2001). Cependant, 60 % des faibles lecteurs entraînés garderaient des compétences en lecture inférieures à celles des normolecteurs (Torgesen et al., 2001). Globalement, pour les LD, les bénéfices sont moindres et les effets restent modérés à court terme et faibles à long terme (Suggate, 2016). Environ 50 % des LD ne conservent pas les progrès acquis et ceux qui les conservent ne parviennent pas à obtenir des compétences en lecture équivalentes à leur niveau scolaire (Gabrieli, 2009). D'autres interventions ciblant la mémoire verbale à court terme ou encore la dénomination rapide automatisée (Pecini et al., 2019; Vander Stappen & Reybroeck, 2018) ont montré aussi des effets sur les compétences en lecture des LD mais d'autres études sont nécessaires pour confirmer ces résultats. Pour les LD résistants à l'intervention phonologique, de nombreux travaux se sont alors interrogés sur leurs capacités de traitement auditif, visuo-attentionnel et audio-visuel.

Certaines interventions ciblant les processus auditifs comme la perception de la parole dans le bruit ou la discrimination de fréquence (McArthur et al., 2008) ont amélioré le processus ciblé mais pas la lecture. D'autres interventions ciblant la perception catégorielle (Zoubrinetzky et al., 2019) et ou le traitement auditif temporel (Cogo-Moreira et al., 2012) ont montré des effets positifs sur la lecture.

En ce qui concerne les aspects visuo-attentionnels, comme la focalisation visuo-attentionnelle sur les modes d'analyse globale ou locale (Bedoin et al., 2010), l'augmentation de l'empan visuo-attentionnel (Zoubrinetzky et al., 2019) ou l'augmentation de l'espace inter-lettres (Zorzi et al., 2012), certaines études ont mis en évidence des effets positifs sur les compétences de lecture après des entraînements spécifiques de ces processus. De plus, fait très intéressant, l'entraînement plus général des processus exécutifs comme le contrôle attentionnel ou la mémoire de travail (Pasqualotto et al., 2022; Pasqualotto & Venuti, 2020) et l'entraînement du déplacement de l'attention visuo-spatiale par le recours à des jeux vidéo d'action améliorent les compétences en lecture (Franceschini et al., 2017; Peters et al., 2019).

Enfin, d'autres programmes de remédiation ciblant plus particulièrement l'intégration audio-visuelle ont montré des effets positifs sur la lecture avec des stimuli linguistiques (Lassault et al., 2022) et non-linguistiques (Kujala et al., 2001). Ces travaux semblent confirmer que l'apprentissage de la conscience phonémique et du décodage phonémique est bien sûr nécessaire mais doit être associé à l'intégration audio-visuelle pour avoir des effets à la fois sur la précision et la vitesse de lecture (González et al., 2015).

Au niveau comportemental (i.e., les symptômes), les interventions vont cibler plus directement les troubles de la lecture et de l'orthographe. La remédiation ciblant la procédure sublexicale est peu efficace lorsqu'elle n'est pas associée à une intervention sur la conscience phonémique (Hatcher et al., 1994). La remédiation ciblant la procédure lexicale comme la « lecture accélérée » (Horowitz-Kraus et al., 2014) est moins efficace si elle n'est pas associée au « masquage auditif » qui permet d'inhiber la procédure sublexicale (Leloup et al., 2021). Fait intéressant, l'intervention sur les deux procédures de lecture sublexicale et lexicale s'avère efficace, quel que soit l'ordre des interventions (McArthur et al., 2015), mais les compétences en lecture des LD restent inférieures à celles des normo-lecteurs (Tilanus et al., 2019).

Concernant l'amélioration de l'orthographe, l'apprentissage par analogie des régularités morphologiques ou graphotactiques de la langue et l'apprentissage répétitif et sériel (Bogaerts et al., 2015) ont montré des gains significatifs. Mais soulignons que les interventions axées sur de multiples stratégies de remédiation qui associent le développement des « connaissances orthographiques » au développement de la conscience phonologique, morphologique ou sémantique ont des tailles d'effets plus importantes (Squires & Wolter, 2016).

Pour conclure et répondre à la question, à quels niveaux devons-nous intervenir, il semble de plus en plus évident que cibler à la fois un processus cognitif sous-jacent et une procédure de lecture ou d'orthographe soit plus efficace qu'intervenir indépendamment sur l'un des deux. Et l'idée d'associer plusieurs programmes de remédiation pour cibler plusieurs déficits cognitifs sous-jacents et les deux procédures de lecture ou d'orthographe nous a semblé une alternative intéressante pour augmenter l'efficacité des interventions. Nous

nous sommes alors interrogés sur la façon de procéder, ce qui nous amène à la deuxième et à la troisième question.

2. Quelles stratégies de remédiation pouvons-nous utiliser ?

La remédiation cognitive s'articule autour de trois stratégies : curative, compensatoire et adaptative, qui sont interdépendantes et indissociables (Seron & Van der Linden, 2016).

La stratégie curative, noyau dur de la remédiation cognitive, vise à restaurer les fonctions cognitives déficitaires et implique la spécificité de l'entraînement, la pratique intensive et répétée et l'apprentissage sans erreur. La spécificité de l'entraînement consiste en l'automatisation du processus cognitif qui est déficitaire et qui va être entraîné. Par exemple, si le LD présente un déficit de la dénomination rapide automatisée, la remédiation cible uniquement l'entraînement de tâches spécifiques afin d'améliorer cette tâche précise. L'objectif secondaire est d'obtenir une généralisation sur les compétences en lecture. La spécificité de l'entraînement dépend donc des déficits cognitifs propres à chaque individu. Il est recommandé d'entraîner un processus selon une modélisation théorique reliant le processus cognitif et la réponse comportementale, dans le but d'établir une relation causale entre les deux (Galuschka et al., 2014). Pour cela, une pratique intensive et répétée allant de 10 à 20 min par jour, 3 à 5 fois par semaine, pendant un minimum de 3 semaines pour une même tâche est nécessaire (Galuschka et al., 2014). Enfin, il est recommandé d'utiliser des outils favorisant un apprentissage sans erreur pour éviter de les reproduire et favoriser l'estime de soi (Rey et al., 2005).

La stratégie compensatoire a pour but d'optimiser une ou plusieurs fonctions préservées afin de compenser la fonction déficitaire et obtenir une réorganisation fonctionnelle. La métacognition, l'éducation thérapeutique et le renforcement positif sont des stratégies compensatoires qui visent à favoriser les capacités d'autorégulation (Deforge, 2011). Il s'agit ici de faire prendre conscience à l'enfant de ses compétences et de lui expliquer quel est son trouble, pourquoi, et quelles en sont ou seront les conséquences. Cette démarche est indispensable pour obtenir son engagement dans le soin et sa motivation pour les entraînements. Et bien sûr, à chaque séance, il ne faut surtout pas oublier de le féliciter, l'encourager, le récompenser pour ces efforts.

La stratégie adaptative vise à aménager l'environnement scolaire et familial pour limiter les répercussions des déficits. Ces aménagements doivent être discutés puis définis avec les parents et l'enfant concerné. Ainsi le tiers temps, la synthèse vocale, le correcteur orthographique, la dictée à trous, l'adaptation de la police de caractère sont des aménagements adaptatifs mais ne sont pas forcément bénéfiques à tous les LD (Peterson-Karlan, 2011). Il faudra veiller à ne pas freiner l'évolution de l'enfant en préconisant trop d'aménagements et à ne pas provoquer une diminution de l'estime de soi en supprimant trop vite les aménagements à la suite d'une évolution positive.

3. Quels sont les critères de validité et les limites de ce cadre méthodologique ?

Le noyau de la remédiation cognitive est un cadre méthodologique structuré par des critères de validité de contenu, didactique, de construit, de convergence et de conséquence (Hogan et al., 2017). La validité de contenu est la relation entre le contenu d'un outil et le processus cognitif visé. Il s'agit de choisir un outil dont les tâches sont spécifiquement conçues pour améliorer un processus cognitif, ce qui implique une connaissance parfaite du domaine visé et la prise en compte des données probantes dans la validation de l'outil. La validité didactique est l'expertise des utilisateurs dans la maîtrise du contenu et du référentiel de l'outil, ce qui implique souvent une formation préalable des cliniciens. La *validité de construit* implique une adéquation entre les bénéfices liés à l'utilisation de l'outil et le modèle théorique sur lequel il s'appuie. La validité de convergence implique une corrélation élevée entre les gains obtenus avec un nouvel outil et ceux obtenus avec un outil plus ancien, dans le même domaine ciblé. La validité de conséquence représente les conséquences des usages et interprétations d'un outil. Plus précisément, il s'agit des implications attendues au niveau de l'effet direct, du transfert et de la généralisation après l'utilisation d'un outil.

Pour éviter des risques de biais dans l'évaluation d'un protocole de remédiation, il faut aussi contrôler ce que l'on appelle des limites ou des effets méthodologiques (Peyroux & Seguin, 2018). L'effet test-retest est l'utilisation du même test sans version alternative qui va entraîner un gain dû à la réutilisation répétitive du même test et non à la remédiation. L'effet développemental est l'amélioration normalement attendue avec le développement spontané de l'enfant. L'effet de la « prise en charge », l'effet « thérapeute » ou l'effet « lieu » sont le résultat de l'amélioration spontanée due à l'attention portée sur l'enfant, les compétences professionnelles du thérapeute ou la spécificité du lieu de la prise en charge. Le biais de confusion est le choix d'un mauvais critère de jugement pour mesurer un processus ciblé. Le biais de mesure est l'erreur systématique dans un test. Le biais de non-réponse est l'opposition de l'enfant à répondre et non l'incompétence à répondre. Les effets non contrôlés sont par exemple l'état de fatigue ou d'anxiété au moment de l'évaluation.

4. Comment pouvons-nous intervenir ?

A partir des données de la littérature scientifique et d'un contexte clinique fragile de par la faible accessibilité aux soins pour les patients et l'absence de cadre méthodologique de soin pour les cliniciens (Helloin, 2019), nous avons élaboré les fondations d'un protocole de remédiation de la dyslexie basées sur sept points essentiels.

Le premier point est d'intervenir avec un protocole de remédiation multimodal (Harrar-Eskinazi, De Cara, Leloup, Nothelier, et al., 2022). L'architecture de cette méthodologie de soin multimodale se compose de trois piliers porteurs qui sont les trois modalités visuelle, auditive et audio-visuelle susceptibles d'être altérées. Ces trois modalités

représentent trois programmes de remédiation visuo-attentionnelle, audio-phonologique et intermodalitaire.

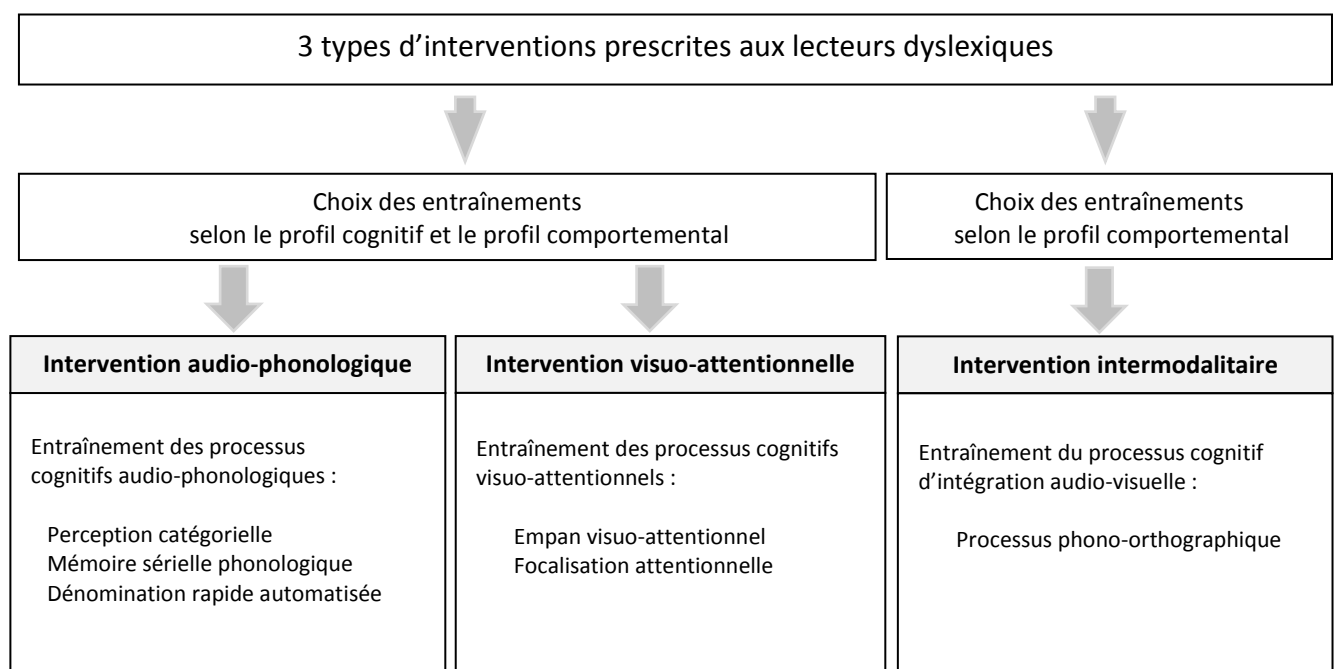
Le deuxième point est d'intervenir avec un protocole de remédiation multi-componentiel. Pour une modalité donnée, chaque pilier supporte plusieurs étages qui sont les différents composants de chaque programme de remédiation. Le programme audio-phonologique cible quatre composants susceptibles d'être altérés chez les LD tels que la perception catégorielle, la mémoire phonologique à court terme, la dénomination rapide automatisée et la conscience phonémique. Le programme visuo-attentionnel cible trois composants susceptibles d'être altérés chez les LD tels que l'empan visuo-attentionnel, la focalisation attentionnelle globale/locale et la mémoire orthographique. Une fois les processus audio-phonologiques et visuo-attentionnels améliorés, le programme intermodalitaire cible deux composants audio-visuels, l'automatisation du lien phono-orthographique et la fluence en lecture.

Le troisième point est de proposer, au sein de chaque programme de remédiation, des tâches adaptées aux profils sémiologiques individuels. Chaque programme va cibler les composants altérés selon chaque profil sémiologique individuel défini par les déficits relevés lors de l'évaluation des processus cognitifs audio-phonologiques, visuo-attentionnels et des procédures de lecture et d'orthographe (voir Figure 1).

Le quatrième point est de proposer une remédiation combinée c'est-à-dire de cibler à la fois les déficits cognitifs sous-jacents et les procédures de lecture et d'orthographe. Ainsi, l'entraînement de chaque processus audio-phonologique est associé à l'entraînement de l'analyse phonémique. L'entraînement de chaque processus visuo-attentionnel est associé à l'entraînement de la mémoire orthographique et l'entraînement du lien phono-orthographique est associé à un entraînement de la fluence en lecture (voir Figure 1).

Figure 1

Prescription de soin selon le profil cognitif et le profil comportemental de chaque enfant



| | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Entraînement de la conscience phonémique associé à la lecture et à la production écrite :</p> <p>Analyse phonémique</p> | <p>Entraînement de la mémoire orthographique associé à la lecture et à la production écrite :</p> <p>Mémoire Orthographique</p> | <p>Entraînement de la fluence en lecture sans production écrite :</p> <p>Lecture accompagnée, répétée, masquée, accélérée</p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Le cinquième point est de proposer des entraînements spécifiques, intensifs, répétés et sans erreur selon les principes de stratégie de remédiation curative tout en appliquant les principes de stratégie compensatoire et adaptative. Les entraînements sont à effectuer à domicile 15 min par jour, 5 jours par semaine pendant 6 mois et sont adaptés aux compétences de l'enfant.

Le sixième point est de proposer des entraînements numériques pour intensifier, standardiser, contrôler les entraînements et augmenter la motivation. Le recours à l'utilisation de supports numériques optimise les stratégies de remédiation cognitive. La reproductibilité fidèle des tâches, la constance des stimuli auditifs et visuels et le paramétrage précis des durées d'affichage favorisent la spécificité de l'entraînement. Par ailleurs, le contrôle des performances, de la progression et l'aspect ludique induisent l'engagement actif du patient et par conséquent le maintien d'une pratique intensive et répétée. De plus, le feed-back correctif favorise l'apprentissage sans erreur. L'utilisation de supports numériques permet d'effectuer plus facilement les entraînements à domicile.

Le septième point est de s'appuyer sur le partenariat parental et l'alliance thérapeutique pour optimiser l'engagement et la motivation des enfants et des parents. Nous avons créé un diaporama « La dyslexie, c'est quoi ? » pour expliquer ce qu'est la dyslexie et quelles sont les moyens de la « soigner ». Les scores aux tests effectués après chaque programme d'intervention ont été transmis à l'enfant et à ses parents. Les parents ont assisté à toutes les séances au cabinet de l'orthophoniste pour renforcer leurs connaissances concernant les difficultés de leur enfant et apprendre comment effectuer les entraînements et comment les étayer. Pour chaque entraînement, des fiches de consignes écrites leur ont été remises pour rappeler pourquoi, quand et comment faire les entraînements. À la fin de l'étude, un « diplôme de lecture » a été attribué à chaque enfant pour le récompenser de sa participation et pour une prise de conscience de l'ampleur de ses progrès.

5. Comment mesurer les gains obtenus ?

L'efficacité de ce programme a été évaluée par la mise en œuvre d'un essai clinique croisé randomisé et multicentrique mené auprès de 144 lecteurs dyslexiques âgés de 8 à 13 ans pendant 16 mois dont la méthodologie et les résultats ont déjà été largement décrits (voir Harrar-Eskinazi, De Cara, Leloup, Denis-Noël, et al., 2022; Harrar-Eskinazi, De Cara,

Leloup, Nothelier, et al., 2022; Harrar-Eskinazi et al., 2023). Les compétences en lecture et en orthographe ainsi que le traitement phonologique et visuo-attentionnel ont été évalués après chaque programme d'entraînement. Les résultats ont montré une amélioration significative de l'efficacité en lecture, de la compréhension en lecture et de l'orthographe en comparaison avec une rééducation orthophonique hebdomadaire, et ce quel que soit l'ordre des interventions. Chaque intervention, audio-phonologique, visuo-attentionnelle et intermodalitaire a contribué de façon équivalente à augmenter l'efficacité en lecture. Une analyse de cas multiples a mis en évidence une coexistence de compétences altérées et préservées, une hétérogénéité des déficits cognitifs sous-jacents et une normalisation des compétences en lecture pour 52 % des participants, un trouble modéré pour 19% et la persistance d'un trouble sévère pour 28 %. De plus, par le biais de deux questionnaires interrogeant les participants et leurs parents sur l'appétence à la lecture, les résultats scolaires et l'estime de soi, nous avons montré que leur perception du trouble de la lecture s'est aussi améliorée.

Enfin, dans le cadre de la référence aux données probantes, nous avons également mesuré les gains par des lignes de base clinique au sein de chaque programme audio-phonologique, visuo-attentionnel et intermodalitaire. Avant et après l'entraînement de chaque composant, nous avons évalué les performances aux items spécifiques entraînés et non-entraînés, ainsi que la généralisation sur l'efficacité en lecture et les performances aux items neutres non spécifiques. Pour illustrer l'intérêt de l'utilisation de ces lignes de bases cliniques, une étude de cas a été publiée dans cette même revue (Harrar-Eskinazi et al., 2021).

Conclusion

Nous faisons le constat que la multitude de données de la littérature scientifique n'est pas mise à profit dans la pratique clinique. Il est ainsi indispensable d'établir un lien étroit entre le monde de la recherche et celui de la clinique en encourageant les chercheurs et les cliniciens à collaborer pour mettre en œuvre des essais contrôlés randomisés. En 2024, alors que les avancées scientifiques sont d'une solidité et d'une ampleur incommensurables, des stratégies de remédiation en contradiction avec les théories scientifiques actuelles sont encore parfois appliquées dans la pratique clinique. De plus, certains praticiens ne prescrivent jamais d'entraînements intensifs, pensant que solliciter l'engagement des parents et des enfants reste une tâche difficile. Nous avons montré qu'il est possible d'augmenter très significativement l'intensité des entraînements et l'engagement des enfants à condition de s'appuyer sur le partenariat parental et l'alliance thérapeutique. En conciliant l'expertise scientifique et l'expertise clinique, nous avons conçu et évalué un programme de remédiation multimodal et multicomponentiel et montré que cette méthodologie de soin est efficace et applicable en clinique. Cette étude devra être répliquée pour confirmer ces résultats préliminaires et élargir l'intervention en ciblant des processus cognitifs plus généraux comme les fonctions exécutives (Pasqualotto et al., 2022;

Pasqualotto & Venuti, 2020). Nous espérons ainsi avoir amorcé un travail qui sera poursuivi afin d'améliorer la prise en soin des personnes souffrant de dyslexie développementale.

Financements et Remerciements

Cette recherche a été financée par le CHU Lenval à Nice, par une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (Cifre n° 2018/1089) en partenariat industriel avec la société GNOSIA et le Laboratoire d'Anthropologie et de Psychologie cliniques, Cognitives et Sociales (LAPCOS) et par le projet GraphoGameAdapt (ANR-22-FRAN-0004, PIA/France2030) dans le contexte du programme Efran (Espaces de formation, de recherche et d'animation numériques).

Nous remercions les sociétés *Ortho Éditions*, *HappyNeuron* et *Gnosia* pour la mise à disposition des outils numériques. Nous remercions tous les parents et tout particulièrement les orthophonistes qui ont participé à cette étude. Leur implication et leur motivation ont permis le bon déroulement de l'essai clinique : Méryl Alberti, Apolline Accary, Domitille Adriaens, Marine Amici-Serrette, Anne Anzuini-Keryvel, Christelle Belkada, Véronique Bonneau-Hiegel, Raphaëlle Bresson, Marine Ciano, Julie Boiton-Colliat, Emilie Coudougnan, Sabrina Courant, Gaëlle Darrot, Agnès De Buttet, Charlotte Desmons, Nathalie De Vaultier, Louise Duloquin, Martine Etard, Camille Fajon, Charlotte Forst, Lola François, Mélanie Gely, Marie Laure Grand, Sylvie Hammerli-Peter, Fanny Hocquet, Laurence Jacquin, Caroline Jorand, Christine Kalck, Carole Lancuentra, Marine Ladoul, Ludivine Lebel, Marion Le Bozec, Mélissa Lecoq, Amelyne Lecourt, Nathalie Lesaint, Joan Le Scornec, Nadine Lions, Agnes Lonne-Lafoy, Stéphanie Lorenzati, Juliette Mangin, Alice Motte, Isabelle Muller, Stéphanie Nadaud, Stéphanie Nazaryan, Elisabeth Nettersheim, Odile Nguyen, Clara Pastor, Jennifer Pignon, Manon Py, Charlotte Pycke, Claire Saint Gaudin, Catherine Scheubel-Clerjaut, Odile Tromelin, Ludivine Verlot-Mory, Marine Versio.

Références

- American Psychiatric Association. (2013). *American Psychiatric Association. Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders: Neurodevelopmental Disorders: DSM-5* (5th edition). American Psychiatric Publishing.
- Beddington, J., Cooper, C. L., Goswami, U., Huppert, F. A., Jenkins, R., Jones, H. S., Sahakian, B. J., & Thomas, M. (2008). *The mental wealth of nations*. 455, 3.
- Bedoin, N., Kéïta, L., Leculier, L., Rouse, C., Herbillon, V., & Launay, L. (2010). Diagnostic et remédiation d'un déficit d'inhibition des détails dans la dyslexie de surface. In *Le Langage oral: Données actuelles et perspectives en orthophonie*. (pp. 177–210).
- Bogaerts, L., Szmalec, A., Hachmann, W. M., Page, M. P. A., & Duyck, W. (2015). Linking memory and language: Evidence for a serial-order learning impairment in dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 43–44, 106–122. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.06.012>
- Carrion-Castillo, A., Franke, B., & Fisher, S. E. (2013). Molecular Genetics of Dyslexia: An Overview: Molecular Genetics of Dyslexia: An Overview. *Dyslexia*, 19(4), 214–240. <https://doi.org/10.1002/dys.1464>
- Cogo-Moreira, H., Andriolo, R. B., Yazigi, L., Ploubidis, G. B., Brandão de Ávila, C. R., & Mari, J. J. (2012). Music education for improving reading skills in children and

- adolescents with dyslexia. *Cochrane Database of Systematic Reviews*.
<https://doi.org/10.1002/14651858.CD009133.pub2>
- Conners, F. A., & Olson, R. K. (2012). Reading comprehension in dyslexic and normal readers: A component-skills analysis. In *Comprehension processes in reading* (pp. 579–602). Routledge.
- Costanzo, F., Rossi, S., Varuzza, C., Varvara, P., Vicari, S., & Menghini, D. (2019). Long-lasting improvement following tDCS treatment combined with a training for reading in children and adolescents with dyslexia. *Neuropsychologia*, *130*, 38–43.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.03.016>
- Deforge, H. (2011). Prise en charge des troubles attentionnels et exécutifs chez l'enfant. La remédiation cognitive: Pratiques et perspectives: *Développements*, *n° 8*(2).
<https://doi.org/10.3917/devel.008.0005>
- Di Folco, C., Guez, A., Peyre, H., & Ramus, F. (2022). Epidemiology of reading disability: A comparison of DSM-5 and ICD-11 criteria. *Scientific Studies of Reading*, *26*(4).
<https://doi.org/10.1080/10888438.2021.1998067>
- Duff, F. J., Hulme, C., Grainger, K., Hardwick, S. J., Miles, J. N. V., & Snowling, M. J. (2014). Reading and language intervention for children at risk of dyslexia: A randomised controlled trial. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *55*(11), 1234–1243. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12257>
- Ehri, L. C. (2000). Learning To Read and Learning To Spell: Two Sides of a Coin. *Topics in Language Disorders*, *20*(3), 19.
https://journals.lww.com/topicsinlanguagedisorders/Citation/2000/20030/Learning_To_Read_and_Learning_To_Spell_Two_Sides.5.aspx
- 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>
- Esser, G., Wyschkon, A., & Schmidt, M. H. (2002). Was wird aus Achtjährigen mit einer Lese- und Rechtschreibstörung. *Zeitschrift Für Klinische Psychologie Und Psychotherapie*, *31*(4), 235–242. <https://doi.org/10.1026/0084-5345.31.4.235>
- Franceschini, S., Trevisan, P., Ronconi, L., Bertoni, S., Colmar, S., Double, K., Facoetti, A., & Gori, S. (2017). Action video games improve reading abilities and visual-to-auditory attentional shifting in English-speaking children with dyslexia. *Scientific Reports*, *7*(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-017-05826-8>
- Gabrieli, J. D. E. (2009). Dyslexia: A New Synergy Between Education and Cognitive Neuroscience. *Science*, *325*(5938). <https://doi.org/10.1126/science.1171999>
- Galuschka, K., Ise, E., Krick, K., & Schulte-Körne, G. (2014a). Effectiveness of Treatment Approaches for Children and Adolescents with Reading Disabilities: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLoS ONE*, *9*(2), e89900.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089900>
- Galuschka, K., Ise, E., Krick, K., & Schulte-Körne, G. (2014b). Effectiveness of Treatment Approaches for Children and Adolescents with Reading Disabilities: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *PLoS ONE*, *9*(2).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089900>
- González, G. F., Žarić, G., Tijms, J., Bonte, M., Blomert, L., & Molen, M. W. van der. (2015). A Randomized Controlled Trial on The Beneficial Effects of Training Letter-Speech Sound Integration on Reading Fluency in Children with Dyslexia. *PLOS ONE*, *10*(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0143914>
- Harrar-Eskinazi, K. L., De Cara, B., Leloup, G., Denis-Noël, A., Lefèvre, E., Nothelier, J., Caci, H., Ziegler, J. C., & Faure, S. (2022). Intensive multimodal remediation program

- for dyslexic readers aged between 8 to 13 years. In F. Bois-Parriaud, S. Joly-Froment, & A. Witko (Eds.), *Actualités du langage écrit: Actes 2022* (Isbergues, pp. 376–405). Ortho Edition.
- Harrar-Eskinazi, K. L., De Cara, B., Leloup, G., Nothelier, J., Caci, H., Ziegler, J. C., & Faure, S. (2022). Multimodal intervention in 8- to 13-year-old French dyslexic readers: Study protocol for a randomized multicenter controlled crossover trial. *BMC Pediatrics*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12887-022-03701-8>
- Harrar-Eskinazi, K. L., De Cara, B., Leloup, G., Nothelier, J., Caci, H., Ziegler, J., & Faure, S. (2021). Developmental Dyslexia and Remediation Methods (DDMR): Presentation of a multimodal intervention illustrated by a case study. *Rééducation Orthophonique*, 288, 119–154.
- Harrar-Eskinazi, K. L., Denis-Noël, A., De Cara, B., Leloup, G., Nothelier, J., Caci, H., Faure, S., & Ziegler, J. C. (2023). Implementation and evaluation of an intensive and multimodal remediation protocol for developmental dyslexia. In *Un autre regard sur les troubles neurodéveloppementaux* (XXIXième Congrès Scientifique International FNO., pp. 314–343). Ortho Edition.
- Hatcher, P. J., Hulme, C., & Ellis, A. W. (1994). Ameliorating Early Reading Failure by Integrating the Teaching of Reading and Phonological Skills: The Phonological Linkage Hypothesis. *Child Development*, 65(1). <https://doi.org/10.2307/1131364>
- Helloin, M. (2019). Restitution et analyse au questionnaire: Prise en soin des troubles du langage écrit. *L'Orthophoniste*, 392, 15–23.
- Hogan, T. P., Parent, N., & Stephenson, R. (2017). *Introduction à la psychométrie* (Chenelière éducation).
- Horowitz-Kraus, T., Vannest, J. J., Kadis, D., Cicchino, N., Wang, Y. Y., & Holland, S. K. (2014). Reading acceleration training changes brain circuitry in children with reading difficulties. *Brain and Behavior*, 4(6). <https://doi.org/10.1002/brb3.281>
- Kershner, J. R. (2016). Network dynamics in dyslexia: Review and implications for remediation. *Research in Developmental Disabilities*, 59, 24–34. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2016.07.014>
- Kujala, T., Karma, K., Ceponiene, R., Belitz, S., Turkkila, P., Tervaniemi, M., & Naatanen, R. (2001). Plastic neural changes and reading improvement caused by audiovisual training in reading-impaired children. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(18). <https://doi.org/10.1073/pnas.181589198>
- Lassault, J., Sprenger-Charolles, L., Albrand, J.-P., Alavoine, E., Richardson, U., Lyytinen, H., & Ziegler, J. C. (2022). Testing the Effects of GraphoGame Against a Computer-Assisted Math Intervention in Primary School. *Scientific Studies of Reading*, 26(6). <https://doi.org/10.1080/10888438.2022.2052884>
- Leloup, G., Anders, R., Charlet, V., Eula-Fantozzi, B., Fossoud, C., & Cavalli, E. (2021). Improving reading skills in children with dyslexia: Efficacy studies on a newly proposed remedial intervention—repeated reading with vocal music masking (RVM). *Annals of Dyslexia*, 71(1). <https://doi.org/10.1007/s11881-021-00222-4>
- Marchesotti, S., Nicolle, J., Merlet, I., Arnal, L. H., Donoghue, J. P., & Giraud, A.-L. (2020). Selective enhancement of low-gamma activity by tACS improves phonemic processing and reading accuracy in dyslexia. *PLOS Biology*, 18(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000833>
- McArthur, G., Kohnen, S., Jones, K., Eve, P., Banales, E., Larsen, L., & Castles, A. (2015). Replicability of sight word training and phonics training in poor readers: A randomised controlled trial. *PeerJ*, 3, e922. <https://doi.org/10.7717/peerj.922>
- McArthur, G. M., Ellis, D., Atkinson, C. M., & Coltheart, M. (2008). Auditory processing deficits in children with reading and language impairments: Can they (and should they)

- be treated? *Cognition*, 107(3). <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.12.005>
- McArthur, G. M., Sheehan, Y., Badcock, N. A., Francis, D. A., Wang, H.-C., Kohonen, S., Banales, E., Anandakumar, T., Marinus, E., & Castles, A. (2018). Phonics training for English-speaking poor readers. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2018(11). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD009115.pub3>
- McGee, R., Prior, M., Williams, S., Smart, D., & Sanson, A. (2002). The long-term significance of teacher-rated hyperactivity and reading ability in childhood: Findings from two longitudinal studies. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 43(8), 1004–1017. <https://doi.org/10.1111/1469-7610.00228>
- Menghini, D., Finzi, A., Benassi, M., Bolzani, R., Facoetti, A., Giovagnoli, S., Ruffino, M., & Vicari, S. (2010). Different underlying neurocognitive deficits in developmental dyslexia: A comparative study. *Neuropsychologia*, 48(4), 863–872. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.003>
- O'Brien, G., & Yeatman, J. D. (2021). Bridging sensory and language theories of dyslexia: Toward a multifactorial model. *Developmental Science*, 24(3). <https://doi.org/10.1111/desc.13039>
- Organisation Mondiale de la Santé. (2022). *CIM-11: Classification Internationale des Maladies*. <https://icd.who.int/browse11/l-m/en>
- Ozernov-Palchik, O., & Gabrieli, J. D. (2018). Neuroimaging, early identification, and personalized intervention for developmental dyslexia. *Perspectives on Language and Literacy*, 44(3), 15–20.
- Pasqualotto, A., Altarelli, I., De Angeli, A., Menestrina, Z., Bavelier, D., & Venuti, P. (2022). Enhancing reading skills through a video game mixing action mechanics and cognitive training. *Nature Human Behaviour*, 6(4). <https://doi.org/10.1038/s41562-021-01254-x>
- Pasqualotto, A., & Venuti, P. (2020). A Multifactorial Model of Dyslexia: Evidence from Executive Functions and Phonological-based Treatments. *Learning Disabilities Research & Practice*, 35(3), 150–164. <https://doi.org/10.1111/ldrp.12228>
- Pecini, C., Spoglianti, S., Bonetti, S., Di Lieto, M. C., Guaran, F., Martinelli, A., Gasperini, F., Cristofani, P., Casalini, C., Mazzotti, S., Salvadorini, R., Bargagna, S., Palladino, P., Cismondo, D., Verga, A., Zorzi, C., Brizzolara, D., Vio, C., & Chilosi, A. M. (2019). Training RAN or reading? A telerehabilitation study on developmental dyslexia. *Dyslexia*, 25(3). <https://doi.org/10.1002/dys.1619>
- Pennington (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101(2), 385–413. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.04.008>
- Perry, C., Zorzi, M., & Ziegler, J. C. (2019). Understanding Dyslexia Through Personalized Large-Scale Computational Models. *Psychological Science*, 30(3). <https://doi.org/10.1177/0956797618823540>
- Peters, J. L., De Losa, L., Bavin, E. L., & Crewther, S. G. (2019). Efficacy of dynamic visuo-attentional interventions for reading in dyslexic and neurotypical children: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 100, 58–76. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.02.015>
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *The Lancet*, 379(9830), 1997–2007. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60198-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60198-6)
- Peterson-Karlan, G. R. (2011). *Technology to Support Writing by Students with Learning and Academic Disabilities: Recent Research Trends and Findings*. 7(1).
- Peyroux, E., & Seguin, C. (2018). Critères cliniques et objectifs rééducatifs. In *Rééducation cognitive chez l'enfant* (Deboeck supérieur, pp. 147–180).
- Ramus, F. (2003). Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4), 841–865. <https://doi.org/10.1093/brain/awg076>
- Rey, A., Pacton, S., & Perruchet, P. (2005). L'erreur dans l'acquisition de l'orthographe.

- Rééducation orthophonique*, 222.
- Ring, J., & Black, J. L. (2018). The multiple deficit model of dyslexia: What does it mean for identification and intervention? *Annals of Dyslexia*, 68(2), 104–125. <https://doi.org/10.1007/s11881-018-0157-y>
- Saksida, A., Iannuzzi, S., Bogliotti, C., Chaix, Y., Démonet, J.-F., Bricout, L., Billard, C., Nguyen-Morel, M.-A., Le Heuzey, M.-F., Soares-Boucaud, I., George, F., Ziegler, J. C., & Ramus, F. (2016). Phonological skills, visual attention span, and visual stress in developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, 52(10), 1503–1516. <https://doi.org/10.1037/dev0000184>
- Serniclaes, W., Collet, G., & Sprenger-Charolles, L. (2015). Review of neural rehabilitation programs for dyslexia: How can an allophonic system be changed into a phonemic one? *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00190>
- Seron, X., & Van der Linden, M. (2016). Objectifs et stratégies de la revalidation neuropsychologique. In *Traité de Neuropsychologie: Vol. Revalidation* (De Boeck Supérieur, p. Chapitre 1).
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2005). Dyslexia (Specific Reading Disability). *Biological Psychiatry*, 57(11), 1301–1309. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.043>
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., & Serniclaes, W. (2013). *Reading acquisition and developmental dyslexia*. (Psychology Press.).
- Squires, K. E., & Wolter, J. A. (2016). The Effects of Orthographic Pattern Intervention on Spelling Performance of Students With Reading Disabilities: A Best Evidence Synthesis. *Remedial and Special Education*, 37(6), 357–369. <https://doi.org/10.1177/0741932516631115>
- Tilanus, E. A. T., Segers, E., & Verhoeven, L. (2019). Predicting responsiveness to a sustained reading and spelling intervention in children with dyslexia. *Dyslexia*, 25(2). <https://doi.org/10.1002/dys.1614>
- Torgesen, J. K., Alexander, A. W., Wagner, R. K., Rashotte, C. A., Voeller, K. K. S., & Conway, T. (2001). Intensive Remedial Instruction for Children with Severe Reading Disabilities: Immediate and Long-term Outcomes From Two Instructional Approaches. *Journal of Learning Disabilities*, 34(1). <https://doi.org/10.1177/002221940103400104>
- Vander Stappen, C., & Reybroeck, M. V. (2018). Phonological Awareness and Rapid Automatized Naming Are Independent Phonological Competencies With Specific Impacts on Word Reading and Spelling: An Intervention Study. *Frontiers in Psychology*, 9, 320. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00320>
- 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), 237–255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00483.x>
- Ziegler, J. C., Castel, C., Pech-Georgel, C., George, F., Alario, F. X., & Perry, C. (2008). Developmental dyslexia and the dual route model of reading: Simulating individual differences and subtypes. *Cognition*, 107, 151–178.
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Zorzi, M. (2019). Modeling the Variability of Developmental Dyslexia. In L. Verhoeven, C. Perfetti, & K. Pugh (Eds.), *Developmental Dyslexia across Languages and Writing Systems* (1st ed., pp. 350–371). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108553377.016>
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Zorzi, M. (2020). Learning to Read and Dyslexia: From Theory to Intervention Through Personalized Computational Models. *Current Directions in Psychological Science*, 29(3), 293–300. <https://doi.org/10.1177/0963721420915873>
- Zorzi, M., Barbiero, C., Facoetti, A., Lonciari, I., Carrozzi, M., Montico, M., Bravar, L., George, F., Pech-Georgel, C., & Ziegler, J. C. (2012). Extra-large letter spacing

- improves reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(28). <https://doi.org/10.1073/pnas.1205566109>
- Zoubinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S. (2014). New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles. *PLoS ONE*, 9(6), 1–15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099337>
- Zoubinetzky, R., Collet, G., Nguyen-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. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01502>