

# Remédiation efficace de la dyslexie : un programme multicomponentiel à domicile

J. C. ZIEGLER<sup>1</sup>, A. DENIS-NOËL<sup>1</sup>, B. DE CARA<sup>2</sup>, G. LELOUP<sup>3</sup>, J. NOTHELIER<sup>2</sup>,  
H. CACI<sup>4</sup>, S. FAURE<sup>2</sup>, K.-L. HARRAR-ESKINAZI<sup>2</sup>

## RÉSUMÉ : Remédiation efficace de la dyslexie : un programme multicomponentiel à domicile

Nous montrons qu'un programme de remédiation à domicile ciblant les processus visuo-attentionnels, phonologiques et d'intégration phono-orthographique permet de remédier à la dyslexie développementale via des outils numériques et l'implication des parents. Ce protocole entraîne des gains de lecture en fluence, compréhension et orthographe, supérieurs à une remédiation classique. Après l'intervention, 49 % des enfants entraînés ont normalisé leur déficit de lecture.

**Mots clés :** Dyslexie – Intervention – Attention – Phonologie – GraphoGame.

## SUMMARY: Effective Dyslexia Remediation: A Home-Based Multi-Component Program

We show that a home-based remediation program targeting visual-attentional, phonological, and phono-orthographic integration processes can remediate developmental dyslexia through digital tools and parental involvement. The program yields reading gains in fluency, comprehension, and spelling, exceeding those of conventional remediation. After the intervention, 49% of children who have benefited from this program had normalized their reading deficit.

**Key words :** Dyslexia – Intervention – Attention – Phonology – GraphoGame.

## RESUMEN: Remediación eficaz de la dislexia: un programa multicomponente a domicilio

Mostramos que un programa de remediación en casa, que apunta a procesos viso-atencionales, fonológicos y integración fono-ortográfico, puede remediar la dislexia del desarrollo mediante herramientas digitales y la implicación de los padres. El protocolo genera mejoras acumulativas en fluidez, comprensión y ortografía, superiores a las de la remediación convencional. Tras la intervención, el 49% de los niños normalizó su dificultad lectora.

**Palabras clave:** Dislexia – Intervención – Atención – Fonología – GraphoGame.

1. Aix-Marseille Université, CNRS, CRPN, Marseille, France.

2. Côte d'Azur Université, LAPCOS, Nice, France.

3. Côte d'Azur Université, CoBTeK, Nice, France.

4. Hôpitaux de Nice CHU-Lenval & CESP, INSERM (U1018), UPS-UVSQ, Nice, France.

### Auteur de correspondance

Johannes C. Ziegler, CRPN, Aix-Marseille Université, 3 place Victor Hugo, 13003 Marseille, France.  
johannes.ziegler@univ-amu.fr

Conflicts d'intérêts : les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts.

### Financement

Cette étude a été financée par une Convention Industrielle de Formation par la Recherche (n° 2018/1089), le programme eFRAN (France 2030) soutenu par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-22-FRAN-0004), l'Institut de Convergences sur le Langage, la Communication et le Cerveau (ILCB, ANR-16-CONV-0002), le Pôle pilote pour la recherche en éducation et la formation des enseignants (AMPIRIC) et le Centre de Référence des Troubles du Langage et des Apprentissages (CRTLA), Hôpitaux Pédiatriques de Nice CHU – Lenval.

Pour citer cet article : Ziegler, J. C., Denis-Noël, A., De Cara, B., Leloup, G., Nothelier, J., Caci, H., Faure, S., & Harrar-Eskinazi, K.-L. (2025). Remédiation efficace de la dyslexie : un programme multicomponentiel à domicile. A.N.A.E., 197, 000-000.

## Introduction

La dyslexie développementale (DD) est un trouble neurodéveloppemental persistant, qui peut fortement impacter la réussite scolaire, les perspectives professionnelles et le bien-être. Dans la plupart des pays, les interventions reposent sur des séances de thérapie hebdomadaires avec un-e orthophoniste. Toutefois, l'accès à ces soins dépend largement du temps, de la disponibilité et des ressources des parents, ce qui engendre d'importantes inégalités sociales. En France, par exemple, les séances de remédiation sont souvent limitées à 30 minutes, une fois par semaine. Combinée au fait que l'efficacité globale de la remédiation conventionnelle est rarement évaluée de manière rigoureuse, cette faible intensité conduit à ce que de nombreuses enfants dyslexiques persistent à rencontrer des difficultés tout au long de leur vie. Ces constatations amènent à la nécessité de développer des interventions en lecture plus efficaces et plus intensives.

## Nature multifactorielle de la dyslexie développementale

Bien que les troubles du traitement phonologique aient été identifiés comme l'un des principaux facteurs à l'origine de la dyslexie (Snowling & Melby-Lervåg, 2016), de nombreuses études convergent vers l'idée que les causes de la dyslexie sont multifactorielles (Pammer & Vidya-sagar, 2005 ; Peterson & Pennington, 2015 ; Ziegler *et al.*, 2019, 2020). Plusieurs types de déficits cognitifs sous-jacents ont été décrits dans la littérature scientifique.

Premièrement, de nombreux travaux montrent que certains déficits phonologiques proviennent de difficultés de traitement auditif (Goswami, 2011 ; Serniclaes *et al.*, 2015). Ces difficultés peuvent affecter l'identification, le stockage, la récupération ou la manipulation des syllabes et des phonèmes – des processus essentiels pour les premières étapes de l'apprentissage de la lecture (Ziegler *et al.*, 2014).

Deuxièmement, plusieurs études ont mis en évidence l'existence de déficits visuo-attentionnels chez certains lecteurs dyslexiques (pour une revue, voir Valdois, 2022). Ces déficits peuvent concerner l'identification des lettres, le codage de leur position, le traitement parallèle des chaînes de lettres, l'aperçu parafovéal, ou encore la programmation des mouvements oculaires – autant de compétences nécessaires au développement de la reconnaissance automatique des mots.

Enfin, il existe des preuves que certains lecteurs dyslexiques rencontrent des difficultés spécifiques dans l'intégration intermodale (Blomert & Froyen, 2010), notamment dans l'association entre lettres et sons du langage (Blau *et al.*, 2009). Ces difficultés peuvent entraver fortement l'établissement des correspondances entre les unités orthographiques et phonologiques à différents niveaux de granularité (Ziegler & Goswami, 2005).

## Conception d'un programme de remédiation multi componentielle pour la dyslexie

Compte tenu de la nature multifactorielle de la dyslexie, une intervention efficace ne doit pas seulement cibler la lecture et l'orthographe, mais également traiter les déficits cognitifs sous-jacents (Menghini *et al.*, 2010 ; Pasqualotto & Venuti, 2020 ; Ramus, 2003 ; White *et al.*, 2006 ; Ziegler *et al.*, 2008 ; Zoubrinetzky *et al.*, 2014). La plupart des programmes existants ciblent un ou deux types de déficits cognitifs et ne tiennent pas compte de la diversité et de l'hétérogénéité des profils dyslexiques (Galuschka *et al.*, 2014).

L'objectif principal de notre étude était de développer et d'évaluer un programme de remédiation multicomponentielle qui entraîne simultanément les compétences audio-phonologiques, visuo-attentionnelles et phonorthographiques, en les complétant par un entraînement de l'identification des mots écrit et de l'orthographe. Un critère fondamental était de garantir une forte validité écologique, c'est-à-dire que le programme pourrait être mis en œuvre dans des conditions réalistes, sans recours intensif à des assistants de recherche, des enseignants spécialisés ou des professionnels de santé. Pour cela, nous avons principalement utilisé des applications numériques permettant d'entraîner les trois compétences cognitives sous-jacentes, avec une supervision hebdomadaire minimal assurée par un-e orthophoniste.

Pour cibler les déficits cognitifs, nous avons sélectionné des programmes ayant déjà démontré leur efficacité sur les performances en lecture. Dans le domaine audio-phonologique, nous avons utilisé trois interventions portant sur la catégorisation des phonèmes (Zoubrinetzky *et al.*, 2019), la dénomination rapide automatisée (Pecini *et al.*, 2019) et la mémoire phonologique à court terme (Yang *et al.*, 2017). Pour le domaine visuo-attentionnel, nous avons utilisé un programme visant à améliorer l'empan attentionnel visuel (c'est-à-dire le nombre de lettres traitées simultanément lors d'une fixa-

tion oculaire) ainsi qu'un programme facilitant l'alternance de l'attention visuelle aux niveaux global et local (Bédoin, 2017 ; Franceschini et al., 2017 ; Zoubrinetzky et al., 2019). Enfin, pour le domaine intermodal, nous avons utilisé la version française de *GraphoGame* (Lassault et al., 2022), un outil visant à automatiser les associations graphophonologiques à différents niveaux linguistiques (lettres, graphèmes, syllabes, mots). Cette version de *GraphoGame* a montré des effets positifs sur la conscience phonémique, la mémoire orthographique et la fluence en lecture. Nous faisons référence à ce module sous le nom d'entraînement à l'intégration simultanée des représentations phonologiques et orthographiques (PO) pour automatiser les associations graphophonologiques.

Des travaux antérieurs ont montré que les interventions combinant la remédiation des déficits cognitifs et des entraînements favorisant le transfert à la lecture et l'écriture pouvaient être plus efficaces que celles ciblant uniquement les déficits cognitifs (Galuschka et al., 2014). Nous avons donc complété chaque module numérique par des activités de lecture et d'écriture avec le concours des parents. Dans l'intervention audio-phonologique, les parents guidaient les enfants pour entraîner la fusion et la segmentation phonémique. Dans l'intervention visuo-attentionnelle, nous avons ajouté un entraînement à la mémoire orthographique. Enfin, dans l'intervention phono-orthographique, nous avons inclus un module de fluence en lecture.

## Objectifs de l'étude

Cette étude visait à concevoir et tester un programme de remédiation multi-componentielle innovant, présentant à la fois une forte validité écologique et une pertinence clinique. Le programme comprenait les trois types d'entraînements mentionnés ci-dessus : audio-phonologique (AP), visuo-attentionnel (VA) et phono-orthographique (PO).

Notre premier objectif était de fournir une preuve de faisabilité, en montrant qu'un programme intensif (quotidien), basé sur des outils numériques et non-numériques, pouvait être mis en œuvre à domicile par les parents, avec un encadrement hebdomadaire par un·e orthophoniste, et une implication minimale des chercheurs. Le deuxième objectif était de déterminer si chaque intervention entraînait des gains significatifs en fluence de lecture, au-delà de ceux observés pendant une phase de remédiation conventionnelle. Le troisième objectif consistait à examiner si l'ordre de présentation des interventions (commencer par AP ou

VA) avait un effet différentiel sur les progrès en lecture. Enfin, nous avons évalué combien d'enfants dyslexiques atteignaient un niveau de lecture correspondant à leur âge réel, sur la base d'un test standardisé étalonné.

## Méthode

Le protocole a été préenregistré sur *Clinical-Trials.gov* (NCT04028310) et publié avant la réalisation de l'étude (Harrar-Eskinazi et al., 2022). L'approbation éthique a été délivrée par le Comité national de Protection des Personnes (ID-RCB 2019-A01453-54).

## Participants

Au total, 144 enfants francophones âgés de 8 à 13 ans, présentant une dyslexie développementale (DD) selon les critères du DSM-5, ont été diagnostiqués et recrutés via un réseau de 94 orthophonistes répartis dans plusieurs villes françaises. Les caractéristiques détaillées des participants ainsi que les propriétés psychométriques des outils utilisés sont décrites dans Harrar-Eskinazi et al. (2025). Il est important de noter que tous les enfants dyslexiques présentaient des déficits dans les deux domaines – visuo-attentionnel et phonologique – sur au moins l'une des trois sous-tâches utilisées (par exemple, en phonologie : conscience phonémique, catégorisation phonémique, dénomination rapide ; en visuo-attentionnel : empan, interférence global-local, empan visuo-spatial).

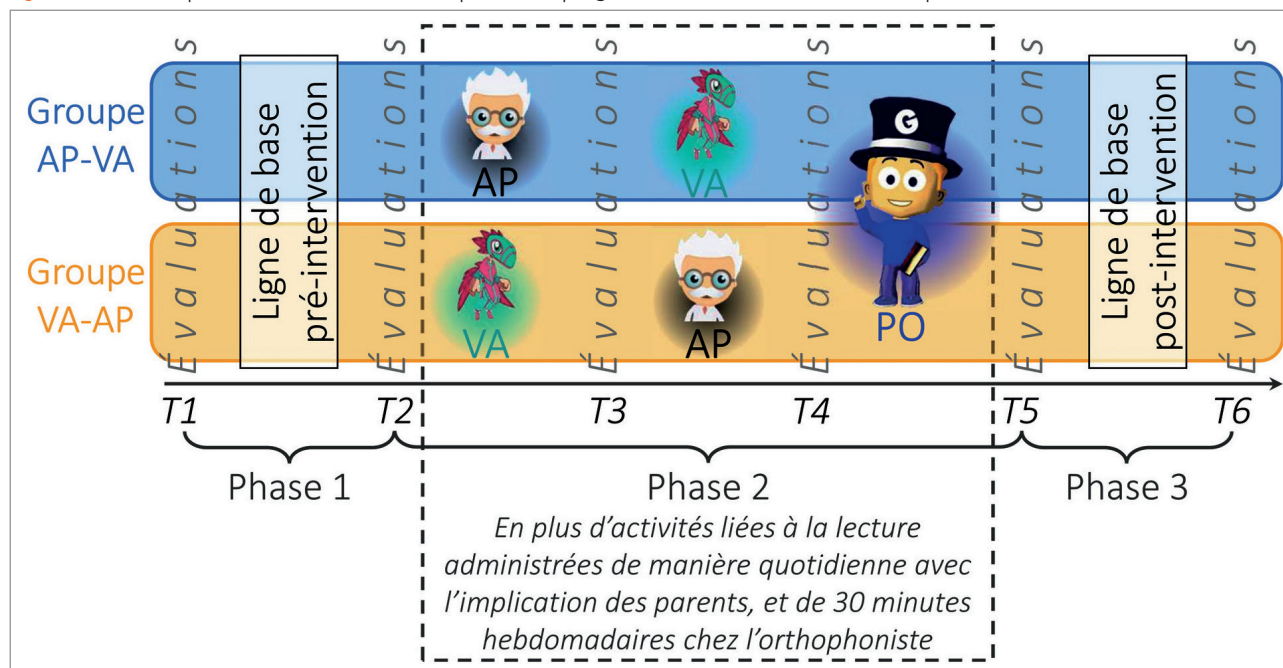
## Plan expérimental et déroulement

L'étude comportait trois phases (voir figure 1).

La phase 1 correspondait à une ligne de base de 8 semaines, avant l'intervention. Durant cette période, tous les participants ont bénéficié d'une remédiation conventionnelle en lecture (RCL) consistant en une séance hebdomadaire de 30 minutes, assurée par un·e orthophoniste participant à l'étude (soit un total de 4 heures). La RCL comprenait généralement des exercices en lecture et l'orthographe, associés à un enseignement phonologique de base. Aucun entraînement intensif à domicile n'était proposé durant cette phase. La différence de performance aux tests standardisés entre T1 et T2 servait de mesure de base pré-intervention. À l'issue de cette phase, les participants ont été répartis de façon aléatoire (sans stratification) en deux groupes : AP-VA ou VA-AP.

La phase 2 correspondait à la phase d'intervention intensive. Pendant 24 semaines, les participants ont suivi successivement trois programmes d'intervention intensive – audio-

Figure 1. Schéma expérimental illustrant les trois phases du programme de remédiation multi componentiel.



phonologique (AP), visuo-attentionnel (VA), et phono-orthographique (PO) – à raison de 5 jours par semaine, 15 minutes par jour, à domicile (soit un total de 30 heures d'entraînement). Chaque intervention durait 8 semaines et était suivie d'une pause de 15 jours. L'ordre des deux premières interventions (AP et VA) était contrebalancé entre les deux groupes.

Les séances hebdomadaires d'orthophonie ont été maintenues tout au long de l'étude. Ces séances servaient à suivre les progrès de l'enfant, à adapter les entraînements si nécessaire, et à vérifier que les consignes pour l'entraînement à domicile étaient bien comprises et appliquées. Les orthophonistes ont été formés à distance par l'investigateur principal. À l'issue de chaque module d'intervention (AP, VA, et PO), une évaluation post-intervention a été réalisée par l'orthophoniste (T3, T4 et T5, respectivement).

La phase 3 était une ligne de base post-intervention, identique à la phase 1 : les participants ont reçu à nouveau la RCL à raison d'une séance de 30 minutes par semaine pendant 8 semaines, sans entraînement intensif à domicile (soit un total de 4 heures). Une évaluation finale (T6) a été réalisée à la fin de cette phase.

### Mesures

Les variables principales étaient des tests standardisés de fluence en lecture, administrés à six temps de mesure : T1, T2, T3, T4, T5 et T6. Des tests standardisés de compréhension en lecture et d'orthographe ont également été administrés à T1, T2 et T5. La description complète de

la batterie de tests standardisés est disponible dans Harrar-Eskinazi et al. (2025).

### Programme d'intervention

Une description détaillée du programme complet de remédiation multicomponentielle est disponible dans le protocole préenregistré (Harrar-Eskinazi et al., 2022).

## Résultats

### Attrition

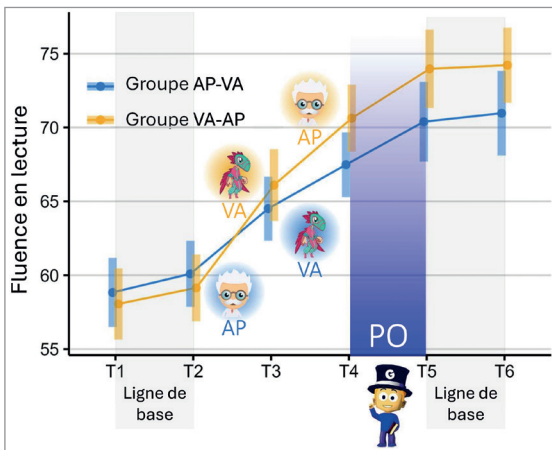
À la fin de l'étude (T6), 96 des 144 participants avaient mené à bien l'ensemble du protocole d'intervention (49 dans le groupe AP-VA et 47 dans le groupe VA-AP), ce qui représentait une durée cumulée de 30 heures d'entraînement à domicile. Ainsi, environ un tiers des enfants lecteurs dyslexiques n'a pas terminé le protocole. La principale raison de cette attrition réside dans la pandémie de COVID-19, qui a perturbé le suivi hebdomadaire par les orthophonistes. Par ailleurs, certaines familles ont rencontré des difficultés techniques avec les outils numériques d'entraînement, notamment des problèmes de compatibilité avec leur équipement informatique, ce qui a conduit à d'autres abandons.

### Le programme en trois étapes améliore-t-il la fluence en lecture de texte ?

Pour évaluer les progrès en fluence de lecture de texte, nous avons combiné les scores issus de trois tests standardisés – *Mouette-Pingouin*, *Alouette* et *DeltaText* – afin de construire une

variable composite de fluence (nombre de mots lus correctement en une minute). Nous avons ensuite analysé l'évolution de cette variable dans le temps à l'aide d'un modèle linéaire à effets mixtes. Ce modèle comprenait deux effets fixes (groupe : AP-VA vs. VA-AP ; temps : T1 à T6), leur interaction, ainsi que deux effets aléatoires (participant et texte). Trois covariables ont été ajoutées afin de contrôler la variabilité interindividuelle en début d'étude : la moyenne des scores à T1 et T2 ( $\mu(T1, T2)$ ), l'âge chronologique et le retard de lecture (différence entre l'âge de lecture et l'âge chronologique). Les résultats sont présentés dans la figure 2.

**Figure 2.** Moyennes marginales estimées de la fluence en lecture de texte (mots par minute) au cours du temps pour chaque groupe. Les barres d'erreur représentent les erreurs standards.



Comme le montre la figure 2, la fluence en lecture s'est améliorée au fil du temps dans les deux groupes. L'analyse a révélé un effet principal significatif du temps ( $F(5,1605) = 92.64, p < .001$ ), aucun effet principal significatif du groupe ( $F(1,93) = 3.52, p = .064$ ), et une interaction significative entre groupe et temps ( $F(5,1602) = 5.13, p < .001$ ).

### Effet de l'ordre des interventions

Les deux groupes randomisés ont reçu les mêmes interventions, mais dans des ordres différents. À T4, les deux groupes avaient suivi les interventions AP et VA, mais dans un ordre inversé. Si l'ordre n'avait aucun effet, les niveaux de fluence à T4 auraient dû être similaires, indépendamment de l'efficacité relative de chaque intervention. On n'aurait alors pas attendu d'interaction entre le groupe (VA-AP vs. AP-VA) et le temps (T2 à T4).

Pour tester cette hypothèse, nous avons conduit une analyse linéaire à effets mixtes avec le temps et le groupe comme effets fixes, les participants et les textes comme effets aléatoires, et les mêmes trois covariables que dans le modèle

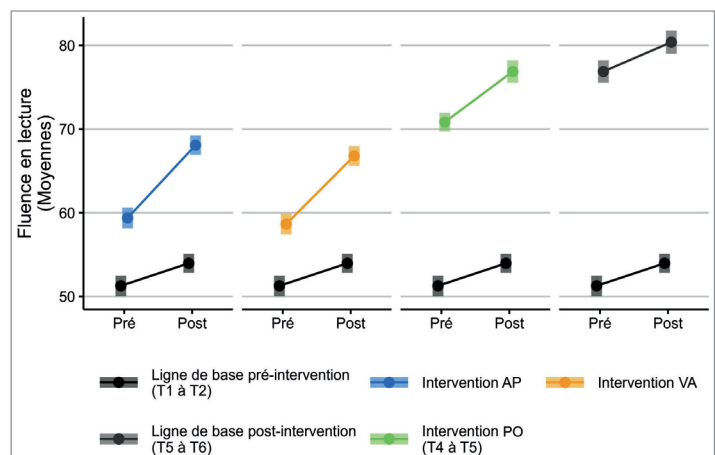
précédent ( $\mu(T1, T2)$ , âge chronologique et retard de lecture). L'analyse a révélé une interaction significative entre le temps et le groupe ( $F(1,474) = 11.78, p < .001$ ), indiquant que l'ordre des interventions avait bien un impact sur les performances. Plus précisément, commencer par l'entraînement visuo-attentionnel (VA) entraînait des gains plus importants de lecture que de commencer par l'entraînement audio-phonologique (AP).

### Amélioration de la fluence de lecture pour chaque intervention

Nous avons ensuite examiné si chaque type d'intervention (AP, VA et PO) produisait des gains supérieurs en fluence par rapport à la remédiation conventionnelle (RCL). Pour cela, nous avons conduit des modèles linéaires à effets mixtes séparés pour chaque type d'intervention, comparant les progrès réalisés pendant l'intervention à ceux observés pendant la ligne de base pré-intervention (T1-T2).

Chaque modèle incluait deux effets fixes (type d'intervention : intervention vs. RCL ; temps : pré-test vs. post-test), leur interaction, trois covariables ( $\mu(T1, T2)$ , âge chronologique, retard de lecture), et deux effets aléatoires (participant et texte).

**Figure 3.** Moyennes de la fluence en lecture de texte pour chaque type d'intervention, comparées à la ligne de base pré-intervention. Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance intra-sujets à 95 %. Les étiquettes « Pré » sur l'axe des abscisses correspondent aux évaluations avant entraînement, et les étiquettes « Post » aux évaluations après entraînement.



Comme le montre la figure 3, les résultats confirment que chacune des trois interventions a entraîné des progrès significatifs en fluence, supérieurs à ceux obtenus avec la RCL. Pour l'intervention audio-phonologique (AP), un effet principal du temps est observé ( $F(1,1089) = 46.49, p < .001$ ), un effet principal de l'intervention ( $F(1,1127) = 194.98, p < .001$ ), et une interaction significative entre les deux ( $F(1,1059)$

= 16.98,  $p < .001$ ), indiquant que l'intervention AP produit des gains supérieurs à la RCL.

L'intervention visuo-attentionnelle (VA) a également produit des effets principaux significatifs du temps ( $F(1,1083) = 65.39$ ,  $p < .001$ ) et de l'intervention ( $F(1,1137) = 160.18$ ,  $p < .001$ ), ainsi qu'une interaction significative ( $F(1,1055) = 25.54$ ,  $p < .001$ ), confirmant son efficacité supérieure à la RCL.

Enfin, pour l'intervention PO, un effet principal du temps est observé ( $F(1,1062) = 22.19$ ,  $p < .001$ ), un effet principal de l'intervention ( $F(1,1136) = 360.67$ ,  $p < .001$ ), ainsi qu'une interaction plus modeste mais significative ( $F(1,1046) = 4.75$ ,  $p = .030$ ), confirmant là aussi son efficacité supérieure.

Nous avons également comparé les deux périodes de ligne de base – pré-intervention (T1–T2) et post-intervention (T5–T6) – afin d'évaluer si l'effet de la RCL avait changé après les interventions intensives. Les résultats montrent un effet principal de l'intervention ( $F(1,1129) = 392.11$ ,  $p < .001$ ), mais aucun effet du temps ( $F(1,1048) = 3.36$ ,  $p = .067$ ) et aucune interaction ( $F(1,1038) = 0.56$ ,  $p = .456$ ), ce qui suggère que les effets modestes de la RCL sont restés stables.

En résumé, les trois interventions intensives (AP, VA, PO) ont généré des progrès significativement supérieurs en fluence par rapport aux séances hebdomadaires conventionnelles de la RCL, et ce, immédiatement après chaque module.

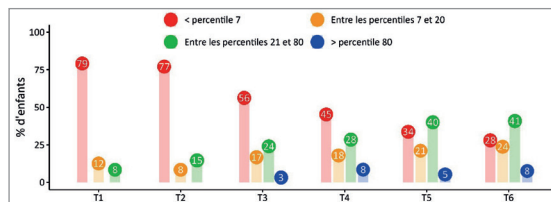
Il convient de noter que nous avons observé des bénéfices comparables pour la compréhension en lecture et pour l'orthographe. Ces résultats sont présentés dans la figure 3 de l'article de Harrar-Eskinazi et al. (2025).

### Amélioration de la fluence de lecture à l'échelle individuelle

Dans la dernière analyse, nous avons évalué dans quelle mesure la fluence en lecture s'était normalisée à l'échelle individuelle. Pour cela, nous avons comparé les scores des participants aux normes du test standardisé *Mouette-Pingouin* qui fournit des rangs centiles en fonction de l'âge. L'évolution des scores aux six temps de mesure de l'étude est présentée dans la figure 4. Les scores inférieurs au 7<sup>e</sup> centile sont indiqués en rouge, ceux compris entre le 7<sup>e</sup> et le 20<sup>e</sup> en jaune, entre le 21<sup>e</sup> et le 80<sup>e</sup> en vert, et au-dessus du 81<sup>e</sup> centile en bleu.

Au début de l'étude, 79,2 % des participants ( $n = 76$ ) présentaient un score inférieur au

Figure 4. Évolution du pourcentage d'enfants appartenant à l'un des quatre groupes de sévérité aux six temps d'évaluation de l'étude. Les lecteurs dyslexiques ont été classés dans l'un des quatre groupes à partir des résultats à un test standardisé de fluence en lecture (*Mouette-Pingouin*). Ce test définit les lecteurs sévèrement atteints comme étant en dessous du 7<sup>e</sup> centile (rouge), les lecteurs faibles entre le 7<sup>e</sup> et le 20<sup>e</sup> centile (orange), les lecteurs typiques entre le 20<sup>e</sup> et le 80<sup>e</sup> centile (vert), et les bons lecteurs au-dessus du 80<sup>e</sup> centile (bleu).



7<sup>e</sup> centile, indiquant un déficit sévère. À la fin de l'intervention (T6), cette proportion n'était plus que de 28 % ( $n = 26$ ). En revanche, 72,1 % des participants ( $n = 67$ ) avaient des scores supérieurs au 7<sup>e</sup> centile. Parmi eux, 23,7 % ( $n = 22$ ) présentaient encore un trouble modéré (entre le 7<sup>e</sup> et le 20<sup>e</sup> centile), 40,9 % ( $n = 38$ ) avaient des compétences typiques (entre le 21<sup>e</sup> et le 80<sup>e</sup> centile), et 7,5 % ( $n = 7$ ) atteignaient un niveau de performance élevé (au-dessus du 81<sup>e</sup> centile).

## Discussion

L'objectif principal de cette étude était de développer et d'évaluer un programme de remédiation multi-componentielle innovant pour les enfants lecteurs dyslexiques, présentant à la fois une forte validité écologique et clinique. Ce programme reposait sur trois types d'entraînement : audio-phonologique (AP), visuo-attentionnel (VA) et intégration phono-orthographique (PO). Les principaux résultats peuvent être résumés comme suit.

Premièrement, deux tiers de ces enfants lecteurs dyslexiques ont mené à bien l'intégralité du programme, qui nécessitait 30 heures d'entraînement, l'installation et l'utilisation de plusieurs logiciels, l'implication active des parents, de nombreuses évaluations standardisées, ainsi qu'une collaboration étroite entre les orthophonistes et les familles. Cette observance des soins montre qu'un programme intensif de remédiation informatisée peut effectivement être mis en œuvre à domicile, sous la supervision hebdomadaire d'un·e orthophoniste, avec une implication minimale des chercheurs. Le taux d'attrition, d'environ un tiers, s'explique en grande partie par les contraintes liées à la pandémie de COVID-19, qui a perturbé la régularité des séances en présentiel. D'autres abandons sont survenus en raison de problèmes techniques liés à la compatibilité des logiciels avec le matériel informatique familial.

Deuxièmement, le programme intensif en trois étapes a entraîné des améliorations significatives de la fluence en lecture ainsi que les améliorations en compréhension de l'écrit et en orthographe. Bien que nous n'ayons pas inclus de groupe contrôle sans traitement, chaque phase d'intervention (AP, VA, PO) a pu être comparée à une phase de ligne de base de même durée, durant laquelle les enfants recevaient une remédiation conventionnelle hebdomadaire. Dans chaque cas, les interventions numériques intensives ont généré des gains nettement supérieurs à ceux de la remédiation conventionnelle. Cela plaide en faveur de l'efficacité du programme multi-componentiel, bien que notre étude ne permette pas d'isoler l'origine exacte des effets observés : intensité accrue de l'intervention, apport des outils numériques, ou implication parentale. Ces facteurs font actuellement l'objet d'une investigation spécifique dans le cadre d'un essai contrôlé randomisé à cinq bras.

Troisièmement, nous avons examiné les progrès à l'échelle individuelle en utilisant les normes en centiles d'âge. Au départ, 79,2 % des enfants se situaient sous le 7<sup>e</sup> centile à un test standardisé de fluence, indiquant un déficit sévère. À la fin du protocole, cette proportion n'était plus que de 28,0 %. Au total, 48,8 % des enfants ont atteint un niveau de fluence situé dans la norme, ce qui témoigne du potentiel de ce programme pour remédier aux troubles sévères de la lecture.

## Conclusion

Cette étude apporte une preuve de concept qu'un programme de remédiation intensif, informatisé et à domicile – mis en œuvre avec le concours des parents et encadré hebdomadairement par un orthophoniste – peut entraîner des améliorations significatives de la fluence en lecture chez des enfants lecteurs dyslexiques. Notamment, 48,8 % des enfants ont atteint un niveau de lecture correspondant à leur âge après l'intervention, et ces gains sont restés stables une fois l'entraînement intensif terminé.

Par ailleurs, nos résultats montrent que l'ordre de passation des modules a un impact sur l'efficacité : commencer par l'entraînement visuo-attentionnel (VA) induit des gains supérieurs en fluence par rapport à l'entraînement audio-phonologique (AP). Cela souligne l'importance de la séquence d'intervention dans les programmes multi componentiels, un facteur encore peu étudié dans la littérature.

En somme, nous présentons ici un programme de remédiation de la dyslexie, à la fois efficace, simple à mettre en œuvre et peu coûteux, qui

peut être facilement diffusé à grande échelle. Bien que notre conception multi componentielle n'isole pas précisément les mécanismes cognitifs à l'origine des progrès, notre objectif était ici de mettre l'accent sur l'impact du programme, plutôt que d'en expliquer sélectivement les bénéfices. Dans un contexte où la demande pour des interventions accessibles et efficaces ne cesse de croître, nous pensons qu'un tel programme de recherche translationnelle et orientée vers l'impact est plus pertinent que jamais.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été présentée par Johannes Ziegler lors de la conférence de la Fédération Française de la Dyslexie en mars 2025. Les auteurs remercient chaleureusement les enfants, les parents et les orthophonistes ayant participé à l'étude. C'est avec eux – et pour eux – que nous avançons dans la lutte contre la dyslexie. Nous remercions également l'association LIREA (lirea-education.fr) pour son soutien précieux.

## RÉFÉRENCES

- Bedoin, N. (2017). Rééquilibrer les analyses visuo-attentionnelles globales et locales pour améliorer la lecture chez des enfants dyslexiques de surface. *A.N.A.E.*, 29(148), 276-294.
- Blau, V., van Atteveldt, N., Ekkebus, M., Goebel, R., & Blomert, L. (2009). Reduced Neural Integration of Letters and Speech Sounds Links Phonological and Reading Deficits in Adult Dyslexia. *Current Biology*, 19(6). <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.065>
- Blomert, L., & Froyen, D. (2010). Multi-sensory learning and learning to read. *International Journal of Psychophysiology*, 77(3). <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.06.025>
- Franceschini, S., Bertoni, S., Giancesini, T., Gori, S., & Facoetti, A. (2017). A different vision of dyslexia: Local precedence on global perception. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17626-1>
- Galuschka, K., Ise, E., Krick, K., & Schulte-Körne, G. (2014). 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>
- Goswami, U. (2011). Temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 15, 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.10.001>

- 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., Denis-Noël, A., De Cara, B., Leloup, G., Nothelier, J., Caci, H., Faure, S., & Ziegler, J. C. (2025). *Back on track: An efficient computer-assisted multi-componential remediation program for dyslexic readers* [Preprint]. PsyArXiv, <https://doi.org/10.31234/osf.io/s6j74>
- 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>
- 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). <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.11.003>
- Pammer, K., & Vidyasagar, T. R. (2005). Integration of the visual and auditory networks in dyslexia: A theoretical perspective. *Journal of Research in Reading*, 28(3), 320-331. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9817.2005.00272.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>
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2015). Developmental Dyslexia. *Annual Review of Clinical Psychology*, 11(1). <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-032814-112842>
- Ramus, F. (2003). Theories of developmental dyslexia: Insights from a multiple case study of dyslexic adults. *Brain*, 126(4). <https://doi.org/10.1093/brain/awg076>
- 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>
- Snowling, M. J., & Melby-Lervåg, M. (2016). Oral language deficits in familial dyslexia: A meta-analysis and review. *Psychological Bulletin*, 142(5). <https://doi.org/10.1037/bul0000037>
- Valdois, S. (2022). The visual-attention span deficit in developmental dyslexia: Review of evidence for a visual-attention-based deficit. *Dyslexia*, 28(4). <https://doi.org/10.1002/dys.1724>
- 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). <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2006.00483.x>
- Yang, J., Peng, J., Zhang, D., Zheng, L., & Mo, L. (2017). Specific effects of working memory training on the reading skills of Chinese children with developmental dyslexia. *PLOS ONE*, 12(11), e0186114. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186114>
- 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(1). <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.09.004>
- Ziegler, J. C., & Goswami, U. (2005). Reading Acquisition, Developmental Dyslexia, and Skilled Reading Across Languages: A Psycholinguistic Grain Size Theory. *Psychological Bulletin*, 131(1). <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.1.3>
- Ziegler, J. C., Perry, C., & Zorzi, M. (2014). Modelling reading development through phonological decoding and self-teaching: Implications for dyslexia. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1634). <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0397>
- 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). <https://doi.org/10.1177/0963721420915873>
- Zoubrinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S. (2014). New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles. *PLoS ONE*, 9(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099337>
- Zoubrinetzky, 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>