



<http://portaildoc.univ-lyon1.fr>

Creative commons : Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale -  
Pas de Modification 2.0 France (CC BY-NC-ND 2.0)



<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/fr>



**N° de mémoire 2324**

Mémoire d'Orthophonie

présenté pour l'obtention du

**Certificat de capacité d'orthophoniste**

Par

**BRITTAIN Eloïse**

**Effets d'un entraînement rythmique de 2 périodes de 3 semaines  
sur les compétences langagières d'enfants ayant un Trouble  
Développemental du Langage (TDL)**

Mémoire dirigé par

**BEDOIN Nathalie  
TILLMANN Barbara**

Mémoire évalué par

**LEVEQUE Yohana  
VALVERDE Brigitte**

Année académique

**2022-2023**

**INSTITUT DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE READAPTATION**  
**DEPARTEMENT ORTHOPHONIE**

Directeur ISTR  
**Pr. Jacques LUAUTÉ**

**Équipe de direction du département d'orthophonie**

Directeur de formation  
**Solveig CHAPUIS**

Coordinateur de cycle 1  
**Claire GENTIL**

Coordinateur de cycle 2  
**Ségolène CHOPARD**

Responsables de l'enseignement clinique  
**Johanne BOUQUAND**  
**Ségolène CHOPARD**  
**Alice MICHEL-JOMBART**

Responsables des travaux de recherche  
**Mélanie CANAULT**  
**Floriane DELPHIN-COMBE**  
**Claire GENTIL**  
**Nicolas PETIT**

Responsable de la formation continue  
**Johanne BOUQUAND**

Responsable du pôle scolarité  
**Rachel BOUTARD**

Secrétariat de scolarité  
**Audran ARRAMBOURG**  
**Sigolène-Victoria CHEVALIER**  
**Danièle FEDIRICI**

# UNIVERSITE CLAUDE BERNARD LYON 1

Président  
**Pr. FLEURY Frédéric**

Vice-président CFVU  
**Mme BROCHIER Céline**

Vice-président CA  
**Pr. REVEL Didier**

Vice-président CR  
**M. HONNERAT Jérôme**  
Délégué de la Commission Recherche Secteur  
Santé

Directeur Général des Services  
**M. ROLLAND Pierre**

## **1 Secteur Santé**

U.F.R. de Médecine Lyon Est Doyen  
**Pr. RODE Gilles**

Institut des Sciences Pharmaceutiques et  
Biologiques  
**Pr. DUSSART Claude**

U.F.R. de Médecine et de maïeutique  
Lyon-Sud Charles Mérieux Doyenne  
**Pr. PAPAREL Philippe**

Institut des Sciences et Techniques de la  
Réadaptation (I.S.T.R.)  
**Pr LUAUTÉ Jacques**

U.F.R. d'Odontologie  
**Pr. MAURIN Jean-Christophe**

## **2 Secteur Sciences et Technologie**

U.F.R. Faculté des Sciences  
Directeur **M. ANDRIOLETTI Bruno**

Institut des Sciences Financières et  
d'Assurance (I.S.F.A.)  
Directeur **M. LEBOISNE Nicolas**

U.F.R. Biosciences  
Directrice **Mme GIESELER Kathrin**

Observatoire Astronomique de Lyon  
Directeur **M. GUIDERDONI Bruno**

U.F.R. de Sciences et Techniques des  
Activités Physiques et Sportives  
(S.T.A.P.S.)  
Directeur **M. BODET Guillaume**

POLYTECH LYON  
Directeur **M. PERRIN Emmanuel**

Institut National Supérieure du  
Professorat et de l'Éducation (INSPé)  
Directeur **M. CHAREYRON Pierre**

Institut Universitaire de Technologie de  
Lyon 1 (I.U.T. LYON 1)  
Directeur **M. MASSENZIO Michel**

## Résumé

La littérature a mis en avant des similitudes entre le rythme musical et celui de la parole sur plusieurs aspects : leurs caractéristiques acoustiques, leur perception par le cerveau et la sollicitation d'une analyse auditive subtile. Le rythme du langage est moins régulier que le rythme musical, qui présente un battement auquel on peut se synchroniser en tapant des mains. Bien qu'ils partagent des mécanismes neurologiques, le rythme musical exige un traitement temporel plus précis que le rythme de parole. Les individus porteurs d'un Trouble Développemental du Langage (TDL) présentent, en plus des faiblesses en langage, des capacités rythmiques déficitaires. Cette association est cohérente, au regard de l'importance du traitement prosodique pour le développement des habiletés langagières. Des chercheurs émettent l'hypothèse qu'un travail rythmique chez ces personnes pourrait avoir un effet bénéfique, grâce à un transfert possible du traitement auditif précis entraîné par le rythme musical sur les processus d'analyse du signal de parole. L'objectif de l'expérience présentée ici est de mesurer les apports d'un protocole d'entraînement rythmique sur support vidéo, réalisable en autonomie avec un parent. Neuf enfants de 6 à 13 ans ayant un TDL ont suivi ce programme, composé d'un entraînement en condition dynamique et d'un autre en condition statique. L'échantillon, séparé en deux groupes, a suivi chaque entraînement (3 sessions hebdomadaires pendant 3 semaines) selon une méthodologie cross-over. Des évaluations pré-post ont permis d'objectiver l'effet du programme sur les habiletés rythmiques, le langage, et la concentration. Les données recueillies ne montrent pas d'amélioration de la compétence rythmique mais un progrès en concentration, en répétition de pseudo-mots et d'éléments morphosyntaxiques, suite à l'entraînement. Ces résultats sont meilleurs pour la condition Dynamique que Statique. Ce travail soutient l'intérêt de l'utilisation du rythme comme moyen thérapeutique complémentaire aux rééducations centrées sur le langage dans le cadre du TDL.

Mots-clés : trouble développemental du langage, entraînement rythmique, perception de la parole, traitement auditif

## **Abstract**

Research studies show similarities between musical and speech rhythm on numerous levels : their acoustic properties, the eliciting of precise auditory analysis and their perception in similar brain areas. Speech rhythm is not as regular as is musical rhythm, that has a clear underlying, isochronous pulse (beat) one can clap to. Although they share neural correlates, musical rhythm requires more precision in temporal processing than does speech rhythm. Individuals with Developmental Language Disorder (DLD) have been reported to have impaired rhythm abilities, even with non-verbal materials and in addition to deficits in language skills. This association is coherent, given the importance of prosodic processing in developing good linguistic competence. Some authors suggested that greater precision in auditory processing could be achieved by these individuals, through the training of musical rhythm perception and be transferred to be used in speech perception, thus increasing language skills. The aim of the present intervention study is to measure the impact of a short training program based on videos that elicit musical rhythm perception. Nine children between 6 to 13 years old and diagnosed with DLD followed this program, comprising two training conditions : dynamic (involving movement) and static. The children were separated into two groups that underwent both trainings (3 weekly sessions during 3 weeks) following a crossover design. The effect of the training on rhythmic skills, language skills and concentration was assessed through the comparison of performance in pre- and post-test sessions. The collected data did not reveal an effect on rhythmic skills. However, results showed an increase of performance in pseudo-word repetition, morphosyntactic words repetition and concentration, after the rhythmic training in comparison to before (independently of the condition). Greater increase in results was found in the dynamic condition compared to the static condition. This data supports the relevance of using rhythm as a therapeutic tool, as a supplement to language rehabilitation for DLD patients.

Key words : developmental language disorder, rhythmic intervention, speech perception, auditory processing

## Remerciements

Je remercie ma directrice de mémoire Barbara Tillmann pour son encadrement et ses relectures depuis le DRTO l'année dernière et de m'avoir mis en lien avec Nathalie Bedoin pour travailler sur ce projet.

Je remercie ma directrice de mémoire Nathalie Bedoin pour sa bienveillance, sa disponibilité et son accompagnement à chaque étape de ce travail. Je la remercie pour tout le temps qu'elle a accordé à ce mémoire, les moments de partage et la passion qu'elle transmet aux étudiants.

Je remercie nos responsables recherche Floriane Delphin-Combe et Nicolas Petit, pour leur soutien et leur accompagnement rassurant tout au long de l'année.

Je remercie Alix Raillard pour son travail : la création du protocole d'entraînement rythmique sur lequel nous nous basons dans ce mémoire.

Je remercie tous les participants qui ont permis à ce projet d'exister : les enfants et leurs parents, l'école Cérène et les orthophonistes Sophie Chambost et Pauline Ortega. Merci à vous pour votre implication, qui n'était pas évidente au vu du quotidien chargé de chacun.

Je remercie mes maîtres de stage, qui m'ont toutes accueillie chaleureusement ces 5 dernières années et apporté des connaissances et des expériences précieuses qui ont contribué à mon développement professionnel. Merci de m'avoir donné de votre temps pour partager cela avec moi !

Je remercie ma promotion, si solidaire, et les déléguées qui nous ont portées et ont passé beaucoup de temps à nous aider.

Je remercie mes amies de promotion avec qui j'ai vécu les moments les plus joyeux, les plus doux et les plus difficiles pendant ces études. Je suis admirative de ce que chacune d'elles a accompli et je suis heureuse de savoir que nous serons toujours collègues et amies.

## Sommaire

<b>I. Partie théorique</b> .....	<b>1</b>
<b>1. Introduction</b> .....	<b>1</b>
<b>2. TDL : définition, mécanismes sous-jacents et déficits associés</b> .....	<b>2</b>
2.1 Tableau clinique du TDL .....	2
2.2 Le TDL, un trouble qui dépasse la sphère langagière .....	3
2.3 TDL et traitement rythmique.....	4
<b>3. Rythme musical et de la parole</b> .....	<b>5</b>
3.1 Définition du rythme .....	5
3.2 Le rythme à l'échelle des neurones .....	6
3.2.1 <i>La perception du rythme</i> .....	6
3.2.2 <i>L'analyse cérébrale du rythme</i> .....	6
3.3 Rythme et parole.....	7
3.3.1 <i>Quel rythme dans la parole ?</i> .....	7
3.3.2 <i>Rythme et acquisition du langage</i> .....	7
3.3.3 <i>La musique au service du langage</i> .....	8
<b>4. Les entraînements rythmiques dans la littérature</b> .....	<b>9</b>
<b>5. Le projet de ce mémoire</b> .....	<b>10</b>
5.1 Un entraînement basé sur le travail d'Alix Raillard .....	10
5.2 Problématique et hypothèses .....	10
<b>II. Méthode</b> .....	<b>11</b>
<b>1. Population</b> .....	<b>11</b>
1.1 Le recrutement des participants.....	11
1.2 Critères d'inclusion.....	12
1.3 Critères de non-inclusion .....	12
1.4 L'échantillon constitué.....	12
<b>2. Matériel</b> .....	<b>13</b>
2.1 Épreuves d'évaluation.....	13

2.1.1	<i>Dépistage d'un trouble associé.</i>	13
2.1.2	<i>Evaluation du langage.</i>	14
2.1.3	<i>Evaluation des compétences rythmiques.</i>	15
2.1.4	<i>Evaluation de l'attention visuelle.</i>	15
2.1.5	<i>Epreuve contrôle.</i>	15
2.2	Matériel de recueil de données	15
2.3	Matériel d'entraînement	15
<b>3.</b>	<b>Procédure</b>	<b>16</b>
3.1	Plan expérimental	16
3.2	Phases d'évaluation	17
3.3	Phases d'entraînement	17
<b>III.</b>	<b>Résultats</b>	<b>18</b>
1.	Traitement des données	18
2.	Résultats aux épreuves de rythme	18
3.	Résultats en langage oral et lecture	20
4.	Résultats à l'épreuve d'attention	22
5.	Résultats de l'épreuve contrôle : mémoire visuelle à court-terme	23
<b>IV.</b>	<b>Discussion</b>	<b>23</b>
1.	Recontextualisation	23
2.	Mise en lien avec les recherches antérieures	24
2.1	Effets du programme rythmique audio-visuel complet	24
2.2	Effets de l'entraînement selon la condition (dynamique ou statique)	26
3.	Limites et perspectives	27
<b>V.</b>	<b>Conclusion</b>	<b>31</b>

## I. Partie théorique

### 1. Introduction

Le Trouble Développementale du Langage (TDL) est un trouble du langage oral sur son versant réceptif et/ou expressif. Il se traduit par une atteinte de la phonologie, du lexique et de la morphosyntaxe mais ne se résume pas à un déficit langagier : il résulte d'une combinaison d'anomalies cognitives. Parmi celles-ci, un déficit du traitement auditif temporel est décrit (Maillart, 2018) et pourrait être à l'origine du TDL (Corriveau et al., 2007; Ladányi et al., 2021). En effet, le signal de parole suit une organisation temporelle rythmique quasi-régulière qui guide la segmentation du signal en syllabes, mots et unités syntaxiques (Fiveash et al., 2021). Une insensibilité à ce rythme chez les enfants TDL affecterait l'acquisition du langage (Gordon et al., 2015), notamment la mise en lien de la structure prosodique avec la syntaxe (Marshall et al., 2009). La prise en soin du TDL est un enjeu important puisqu'il concerne 7,58% de la population (Norbury et al., 2016), il retentit négativement sur l'apprentissage de l'écrit et l'ensemble de la scolarité, les relations avec les pairs, la participation sociale (Sylvestre et al., 2016) et la qualité de vie (Eadie et al., 2018). Il est essentiel de procurer à ces enfants des remédiations adaptées, dès le plus jeune âge, pour réduire les conséquences du trouble.

Certains moyens thérapeutiques s'appuient sur les liens démontrés entre la musique et la parole. Toutes deux entraînent en effet une synchronisation des oscillations neuronales dans les mêmes aires cérébrales (Nayak et al., 2021) et, sur le plan comportemental, les performances rythmiques en musique prédisent par exemple le niveau de conscience phonologique et de lecture en primaire (Moritz et al., 2013). C'est pourquoi des chercheurs ont envisagé d'utiliser le rythme musical pour aider à traiter le langage, même si l'enfant est en difficulté avec le rythme. Le rythme musical étant plus régulier que celui de la parole, il serait plus facile de s'y ajuster. Des recherches se basent alors sur l'hypothèse selon laquelle la répétition d'exercices sur le rythme musical pourrait améliorer les capacités à synchroniser les oscillations cérébrales et l'attention temporelle à une source externe, avec un transfert de compétence vers le langage (Schön & Tillmann, 2015). Des entraînements musicaux centrés sur le rythme ont été suivis de progrès en langage chez des enfants dyslexiques (Bonacina et al., 2015; Flaugnacco et al., 2015). D'autres recherches se basent sur l'hypothèse d'un pré-ajustement temporel transitoire de l'attention et des oscillations cérébrales qui la sous-tendent, à partir de l'écoute d'une amorce musicale régulière, permettant, dans les secondes suivantes, une meilleure analyse de la parole. Un tel effet à court-terme a été observé sur le jugement grammatical de phrases chez des enfants TDL (Bedoin et al., 2016; Ladányi et al., 2021; Przybylski et al., 2013). L'objet de ce mémoire est de tester l'efficacité à moyen terme d'un court entraînement rythmique auprès d'un petit groupe de 9 enfants TDL âgés de 6 à 13 ans.

## 2. TDL : définition, mécanismes sous-jacents et déficits associés

### 2.1 Tableau clinique du TDL

Le TDL est caractérisé par un déficit massif en morphosyntaxe, associé à des troubles phonologiques et sémantiques (Bishop et al., 2017) qui entravent la compréhension et la production du langage. L'apparition du TDL et sa sévérité sont déterminées par de multiples facteurs de risque aux niveaux génétique, biologique et environnemental (Maillart, 2018). Le niveau de vocabulaire et la combinaison de mots à 2 ans, la longueur des énoncés et le niveau de compréhension à 3 ans sont de bons prédicteurs de ce trouble neuro-développemental (Maillart, 2018). Le diagnostic de TDL est posé si les déficits langagiers ne s'expliquent pas par une carence d'exposition à la langue, un déficit sensoriel ou moteur (Bishop et al., 2017). Il peut être posé à partir de 4-5 ans, lorsque les difficultés persistent (APA, 2015; Bishop et al., 2017) en dehors d'une déficience intellectuelle. Il concernerait 8% des garçons et 6% des filles (Tomblin et al., 1997). Les anomalies langagières de ces enfants sont multiples.

Les enfants atteints de TDL se singularisent souvent d'autres enfants ayant des troubles du langage par des difficultés majeures en grammaire : ils sont peu sensibles aux erreurs de morphosyntaxe ou de syntaxe qu'ils détectent mal dans des tests de jugement de grammaticalité (Maillart & Schelstraete, 2005; Miller et al., 2008). Ils parlent en faisant beaucoup d'erreurs de flexions verbales et nominales (Parisse & Maillart, 2004), comprennent mal *et/ou* n'utilisent pas les combinaisons de règles implicites (e.g., accord en genre et en nombre). Ils produisent très peu de sur-régularisations (e.g., *j'ai perdu* pour *j'ai pris*) qui indiquent habituellement l'intégration de règles de grammaire chez les enfants au développement typique (Ullmann & Van der Lely, 2001). Ils préfèrent que les phrases du locuteur soient à structure canonique, sujet-verbe-objet, plutôt que complexe (Bourdin et al., 2016), et ils évitent de produire des formes syntaxiques complexes (Tuller et al., 2012). Ils font des erreurs de compréhension et d'expression liées à l'ordre des mots, et se trompent plus que les autres si cet ordre n'est pas calqué sur la succession temporelle des événements exprimés (e.g., *il mange après avoir bu*). Ils éprouvent aussi des difficultés à assigner les fonctions thématiques aux mots, par exemple dans les formes passives et les propositions relatives (Levy & Friedmann, 2009; Novogrodsky & Friedmann, 2009). La grammaire est donc un module du langage qui met les enfants porteurs d'un TDL en grande difficulté.

Le système lexico-sémantique est quant à lui partiellement préservé dans ce trouble. Ces enfants se trompent moins sur les noms communs que sur les verbes, qui posent le problème de la conjugaison (Rice et al., 1994; Rice & Bode, 1993). Néanmoins, ils sont en difficulté avec les mots complexes, composés, et lorsque la compréhension des mots dépend d'indices grammaticaux, ce qui ralentit l'acquisition du vocabulaire et amoindrit la qualité et la quantité

des informations lexicales retenues (McGregor et al., 2013). Cela s'explique par plusieurs déficits, notamment une faible discrimination des phonèmes constituant les mots (Alt & Plante, 2006). L'acquisition de nouveaux mots est d'autant plus difficile si le débit du locuteur est rapide et/ou si le maintien en mémoire de travail est très sollicité, ce qui est souvent le cas dans un contexte naturel de « bain de langage ». Ces enfants sont peu performants en répétition de pseudo-mots (tâche considérée comme un indicateur diagnostique du TDL) (Ahufinger et al., 2021), ce qui témoigne d'une capacité limitée en mémoire à court-terme verbale, la mémoire mobilisée pour encoder des unités phonologiques. Ils intègrent ainsi avec difficulté de nouvelles formes phonologiques au lexique. En effet, Gathercole & Baddeley (1990) ont montré qu'il y avait une corrélation entre les performances en répétition de non-mots et l'acquisition du vocabulaire. En définitive, les enfants atteints de TDL sont capables d'apprendre du vocabulaire, bien qu'il leur faille pour cela plus de répétitions (Kan & Windsor, 2010) et d'indices contextuels associés au flux de parole écouté. Une autre limite à leur compétence lexicale est la difficulté d'accès au stock : ils récupèrent lentement les mots en mémoire (Nation, 2014).

Les caractéristiques du langage des enfants présentant un TDL sont en lien avec un profil cognitif particulier et des déficits dans certaines fonctions non spécifiquement linguistiques.

## **2.2 Le TDL, un trouble qui dépasse la sphère langagière**

Le TDL coexiste souvent avec d'autres troubles. L'ancienne terminologie, de Trouble Spécifique du Langage (TSL) (APA, 2003), a été modifiée à travers un consensus international (Bishop et al., 2017) remettant en cause le terme « spécifique » du fait de l'association fréquente du TDL avec d'autres troubles, linguistiques ou non. Par exemple, le TDAH, les troubles de la communication sociale et la dyspraxie coexistent souvent avec le TDL (APA, 2015). Maillart (2018) décrit aussi, chez les enfants ayant un TDL, l'atteinte de fonctions cognitives de haut niveau (mémoire, raisonnement, fonctions exécutives) chez les enfants ayant un TDL. Ces comorbidités suggèrent l'altération de substrats neuronaux et de mécanismes sous-jacents non spécifiques au traitement du langage. Pour expliquer cela, Ullman et Pierpont (2005) proposent le Modèle du Déficit Procédural (MDP). La mémoire procédurale serait un système impliquant des fonctions cognitives générales nécessaires aux apprentissages implicites (mémoire de travail, apprentissage et traitement de séquences temporelles). Elle serait sous-tendue par un ensemble de circuits neuronaux impliquant les aires frontales et les ganglions de la base. Selon le MDP, la cause neurocognitive du TDL et de ses troubles associés serait un dysfonctionnement de ce système, au-delà de la sphère purement linguistique.

Bien qu'un déficit général de traitement tel que suggéré par Ullman (2005) soit envisagé, d'autres études suggèrent des déficits cognitifs plus spécifiques. L'une des pistes les plus documentées est celle d'un trouble auditif central perturbant l'analyse acoustique du signal de parole. C'est une hypothèse amplement investiguée pour la dyslexie. D'après le *Temporal Sampling Framework* (TSF, modèle de l'échantillonnage temporel, Goswami, 2011a), les personnes dyslexiques présentent un déficit de perception du *Rise Time* (RT) : la durée du changement d'amplitude en début de syllabe (attaque de syllabe ou de mot). Selon le TSF, cela serait dû à un déficit de synchronisation des oscillations cérébrales aux unités du signal de parole. Un tel déficit d'ajustement temporel est aussi présent chez les individus TDL : ils s'avèrent peu sensibles au RT et à la durée des sons, ce qui a été évoqué comme une cause possible de leur faible conscience phonologique et de leur vocabulaire limité (Corriveau et al., 2007). Des données soutiennent que la sensibilité au RT est un prédicteur robuste de la conscience phonologique en anglais, en chinois et en espagnol (Goswami et al., 2011b).

Ce déficit de traitement auditif perturbe l'analyse du langage. La sensibilité altérée au RT des mots qui s'enchaînent dans la phrase compromet la perception de la structure prosodique (i.e., rythmique) de la parole. Or, le rythme de la parole permet aux très jeunes enfants de segmenter le signal en syllabes et en mots. La prosodie rend en effet les unités grammaticales plus saillantes et favorise le développement des connaissances implicites sur les régularités syntaxiques (Cumming et al., 2015a). Les enfants TDL ont aussi des difficultés à percevoir les syllabes non-accentuées, dont le RT est subtil, mais qui portent souvent des informations morphosyntaxiques importantes sur l'accord entre les mots (Gordon et al., 2015). Cela ne les encourage pas à automatiser l'anticipation des accords. En cas de TDL, un déficit de synchronisation neurale et de traitement auditif central entraverait ainsi l'établissement de la représentation du schéma prosodique. Cela est évoqué comme une des causes des troubles langagiers. La faible sensibilité générale au rythme est une des particularités cognitives des personnes ayant un TDL. Celle-ci est étudiée même en-dehors du champ du langage.

### **2.3 TDL et traitement rythmique**

Des recherches montrent que le traitement temporel altéré des informations acoustiques chez les personnes atteintes de TDL (Richards & Goswami, 2019) engendre une perception et une production déficitaires du rythme (Corriveau & Goswami, 2009). Weinert (1992) relatait déjà leurs faibles performances en discrimination rythmique et une utilisation insuffisante de la prosodie pour apprendre une langue artificielle. Caccia et Lorusso (2021) ont récemment montré leur sensibilité réduite à la prosodie dans une tâche d'association de phrases avec leurs versions musicales fredonnées. Les enfants ayant un TDL sont aussi moins compétents que les enfants contrôles dans une tâche où il faut taper en rythme (*tapping*) avec une musique ou un métronome (Corriveau & Goswami, 2009; Cumming et al., 2015b). Ce trouble a été

partiellement imputé à un déficit du réseau cérébral moteur (Corriveau & Goswami, 2009) et à une incapacité à intégrer des informations sensorielles qui convergent en succession rapide dans le cerveau, à travers les modalités auditive et motrice (Hill, 2001). La conjonction du trouble de la perception du rythme et d'une mauvaise programmation motrice conduirait à une production rythmique imparfaite en *tapping*, mais aussi lors de la parole.

Ces résultats comportementaux sont corroborés par des données électrophysiologiques. Une étude en MEG (magnétoencéphalographie) a montré que les activations cérébrales d'enfants TDL entre 8 et 13 ans se synchronisaient de manière atypique sur le rythme syllabique de la parole (Guiraud, 2017). De plus, une activité oscillatoire cérébrale atypique est par ailleurs décrite entre des nourrissons sains et des nourrissons ayant des antécédents familiaux de TDL (Cantiani et al., 2019; Heim et al., 2011). Une synchronisation anormale de ces oscillations à la parole réduit la précision et vitesse de traitement auditif chez les nourrissons nés dans un contexte familial de TDL (Cantiani et al., 2016; Choudhury et al., 2007). En s'appuyant sur ces découvertes, des chercheurs font l'hypothèse que la mesure de la perception du rythme dans la petite enfance pourrait permettre de détecter les enfants à risque de développer un trouble du langage (Ladányi et al., 2021). Ce dépistage aurait un réel intérêt dans la pratique clinique car il permettrait d'intervenir précocement et de restreindre le trouble langagier, par exemple en proposant très tôt des activités rythmiques, notamment musicales, à ces enfants. Cette démarche pourrait permettre d'améliorer leur sensibilité générale au rythme et espérer des retentissements sur leur langage. La musique serait ainsi mise à profit de la parole par le biais de leur point commun essentiel : le rythme.

### **3. Rythme musical et de la parole**

#### **3.1 Définition du rythme**

Le rythme est défini comme le motif des attaques et durées d'évènements qui se succèdent dans le temps, de nature physique, auditive ou visuelle. Il est central dans la musique et la parole qui sont des phénomènes acoustiques comportant des répétitions et des successions organisées de sons partageant certains paramètres (e.g., fréquence, timbre, intensité, durée) (Fiveash et al., 2021). Le rythme musical fait référence à trois notions principales : le groupement des notes, le battement régulier et la structure métrique (Patel, 2003). La théorie générative de la musique tonale (Lerdahl & Jackendoff, 1996) décrit les groupements comme formés par des séquences de notes organisées en phrases, entre lesquelles l'interprète fait une courte pause, prend une respiration. Les phrases musicales font émerger un battement clair, très régulier, auquel les gestes de l'auditeur peuvent se synchroniser (Patel, 2003). À partir de cette pulsation émerge la structure métrique, qui correspond à l'alternance régulière

des battements forts et faibles. La sensation de rythme est obtenue par le traitement cérébral de l'ensemble des informations temporelles issues du stimuli auditif.

### **3.2 Le rythme à l'échelle des neurones**

#### **3.2.1 La perception du rythme.**

Le rythme est perçu de manière multimodale : il entraîne des activations dans différentes aires cérébrales selon le stimulus qui le véhicule. Par exemple, lorsque l'on regarde une personne danser ou que l'on tape dans les mains au rythme d'une musique, plusieurs canaux sont sollicités : auditif, kinesthésique, visuel. Le système auditif est particulièrement actif quant au traitement du battement rythmique (Grahn & McAuley, 2010). Il est pour cela très rapide : il peut analyser des variations temporelles plus courtes qu'une milliseconde (Gourévitch, 2020).

Par ailleurs, il existe un lien étroit entre le système auditif et les aires liées à la motricité. Lors de l'écoute d'un rythme, certaines oscillations cérébrales (bêta) s'activent dans le cortex sensorimoteur, l'aire motrice supplémentaire et le cervelet, même en l'absence de programmation d'un mouvement de *tapping* ou de danse (Fujioka et al., 2012). Ces données suggèrent une forte connexion entre les processus auditifs et moteurs. Les informations visuelles peuvent elles aussi véhiculer un rythme, mais nous y sommes légèrement moins sensibles qu'à la périodicité des stimuli auditifs (Grahn & McAuley, 2010).

#### **3.2.2 L'analyse cérébrale du rythme.**

Plusieurs mécanismes neurophysiologiques sont impliqués dans l'analyse du rythme. L'un serait basé sur la perception d'intervalles (durées absolues) et l'autre sur celle du battement (durées relatives) (Grube et al., 2010; Koch et al., 2009; Teki, 2014). Le mécanisme prédominant dans le traitement d'informations temporelles varie selon la tâche réalisée, le stimulus et les individus (Grahn & McAuley, 2010).

La perception basée sur les durées absolues appréhende le rythme grâce à des neurones « chronomètres » qui codent des intervalles de temps (Merchant et al., 2011). Dans une tâche de continuation de rythme, Merchant et al. (2011) ont montré que la durée était mesurée grâce à l'interaction entre différents groupes de neurones dans le cortex prémoteur du singe. Chez l'humain, Grube (2010) a mis en évidence que le cervelet avait un rôle spécifique dans la mesure d'intervalles de temps fixes, grâce à des IRM chez des personnes présentant une atteinte cérébelleuse. Toutefois, la limite de la perception de durées absolues est qu'elle ne permet pas d'analyser les intervalles très courts.

La perception d'un battement impliquerait quant à elle des réseaux corticaux et sous-corticaux effectuant des mesures automatiques (pour les intervalles inférieurs à 1 seconde) ou contrôlées (> 1 seconde) (Grahn & McAuley, 2010; Lewis & Miall, 2003; Michon, 1985). Les

ganglions de la base se chargeraient de générer une pulsation interne, ce qui nous permet de continuer un battement lorsque celui-ci s'arrête dans la stimulation externe (Grahn & Rowe, 2013). L'aire motrice supplémentaire (AMS) sous-tendrait des interactions entre le système auditif et les programmes moteurs (Grahn & McAuley, 2010) pour permettre des prédictions temporelles (Bengtsson et al., 2009). Le cervelet est également impliqué, et son activité augmente avec la complexité de la tâche (Penhune, 1998). La synchronisation des ondes cérébrales dans l'ensemble de ces aires (résonance neuronale) permettrait une analyse temporelle très précise (Fujioka et al., 2012; Large & Snyder, 2009).

### **3.3 Rythme et parole**

#### ***3.3.1 Quel rythme dans la parole ?***

La parole, comme la musique, est intégrée via plusieurs modalités : auditive (phonèmes perçus), visuelle (mouvements articulatoires et non-verbaux) et kinesthésique (activation des commandes de gestes dans les aires motrices, même en l'absence d'articulation) (Chandrasekaran et al., 2009) et son traitement temporel se fait à des échelles multiples et hiérarchisées. Les phonèmes sont les plus petites unités à identifier et sont au sein de syllabes dont le RT varie selon le statut (accentué ou non). Grâce à un RT saillant, les syllabes accentuées, et les phonèmes qui les constituent, sont plus faciles à extraire, et leur survenue quasi-régulière dans la parole définit la prosodie : le rythme de l'énonciation (Fiveash et al., 2021). Ce rythme est différent selon les langues : les langues germaniques sont dites accentuelles avec des syllabes fortes et faibles, tandis que les langues latines, comme le français, suivent plutôt un motif isochronique ou syllabique (toutes les syllabes ont des durées similaires) (Ramus, 1999). La prosodie est un support privilégié de l'analyse grammaticale : elle permet de segmenter en unités syntaxiques et d'anticiper les accords morphosyntaxiques. Ces éléments posent problème pour les personnes ayant un TDL et entravent la compréhension.

#### ***3.3.2 Rythme et acquisition du langage***

Le rythme du signal de parole est fondamental pour l'extraction des unités syntaxiques et sémantiques. Selon la Théorie de l'Attention Dynamique (DAT), la synchronisation neuronale au rythme musical permettrait de générer des prédictions temporelles (Jones & Boltz, 1989). Cette théorie s'appliquerait également au stimuli verbal : les pics d'activation oscillatoire, synchronisés avec le rythme de parole perçu, correspondraient à des pics attentionnels, favorisant le traitement de la parole (Zion Golumbic et al., 2012). En effet, la perception d'un événement acoustique serait meilleure lorsque celui-ci intervient à un instant où il est attendu, c'est-à-dire en accord avec le rythme instauré sur les plans attentionnel et oscillatoire (Jones & Boltz, 1989). La prosodie permettant de générer des prédictions, faciliterait l'acquisition du

langage et de la conscience phonologique. De manière intéressante, Leong et Goswami (2015) ont montré que la parole adressée aux nourrissons était rythmiquement ajustée, à différentes échelles linguistiques (phonèmes, syllabes et prosodie) pour faciliter leur acquisition du langage, et notamment des représentations phonologiques. L'adaptation naturelle du rythme permet de faciliter la segmentation en mots (Dilley et al., 2010; Magne et al., 2007) et le traitement syntaxique (*prosodic bootstrapping*, Soderstrom et al., 2003). Ainsi, les nourrissons de 6 mois détectent déjà les indices prosodiques délimitant les unités syntaxiques (Soderstrom et al., 2003). Une perception altérée de la prosodie constituerait donc un risque de futur trouble du langage (Weber et al., 2005). Pour cette raison, la communauté scientifique explore les moyens de favoriser l'analyse prosodique.

### **3.3.3 La musique au service du langage**

La parole et la musique contiennent des signaux acoustiques caractérisés par les mêmes paramètres (fréquence, durée, intensité) analysés dans des régions cérébrales en grande partie partagées (Rogalsky et al., 2011; Tillmann, 2012). Des similitudes se trouvent aussi dans les mécanismes de traitement des deux types de stimuli. Le modèle PRISM (Fiveash et al., 2021) met en avant trois qualités communes nécessaires au niveau cérébral : 1) un traitement auditif précis, permettant une discrimination temporelle à l'échelle des millisecondes pour distinguer les éléments acoustiques (e.g., la durée des occlusives françaises sourdes et plus courte que celle des sonores) ; 2) la synchronisation des oscillations cérébrales au stimuli, en correspondance avec des unités rythmiques et linguistiques de différentes durées, pour générer des prédictions et ainsi améliorer l'analyse auditive (DAT, Jones & Boltz, 1989) ; 3) le couplage sensorimoteur (lien entre les systèmes auditif et moteur lors de la perception/production de musique ou de langage).

L'entraînement de ces processus de traitement rythmique pourrait renforcer les activations dans les régions impliquées, au bénéfice de l'analyse à la fois de la musique et du langage. Contrairement au rythme de la parole, qui n'est que quasi-régulier et difficile à percevoir en cas de déficit des traitements temporels, le rythme de la musique est très régulier et fait plus facilement émerger un battement (Patel, 2003). Le rythme musical est ainsi envisagé comme support d'entraînement de processus utiles au langage : un transfert des compétences rythmiques musicales renforcées au profit du traitement langagier peut être imaginé. Cela est en accord avec les hypothèses OPERA (Patel, 2011) et PATH (Tierney & Kraus, 2014). Un argument encourageant en ce sens est que la capacité à percevoir la musique est un bon prédicteur de la représentation prosodique (Good et al., 2017; Wong et al., 2007). De même, de bonnes compétences rythmiques sont associées à une bonne perception de la parole dans le bruit (Nayak et al., 2021; Zendel et al., 2015). Les adultes musiciens, très sensibles au rythme, s'avèrent aussi particulièrement performants dans l'encodage et la catégorisation des

sons du langage (Bidelman et al., 2014), ce qui renforce aussi l'hypothèse d'un transfert de la musique vers le langage et incite à l'utiliser dans la remédiation de difficultés langagières.

#### **4. Les entraînements rythmiques dans la littérature**

Un entraînement d'écoute répétée de séquences musicales régulières améliore la précision de l'analyse acoustique et optimise l'allocation des ressources attentionnelles, bénéfiques au traitement de stimuli langagiers. Des études longitudinales chez des personnes sans pathologie ont montré qu'un entraînement musical améliorerait la segmentation de la parole chez des enfants (François et al., 2013), et avait des effets positifs sur la conscience phonologique (Degé & Schwarzer, 2011).

Des entraînements musicaux à long-terme ont été testés auprès d'enfants ayant un trouble du langage écrit, qui présentent – comme les enfants atteints de TDL – des anomalies de traitement auditif et rythmique (Overy et al., 2003). Flaugnacco et al. (2015) ont mené un entraînement musical de 2 heures par semaine, pendant 7 semaines, auprès de 24 enfants dyslexiques, en petit groupes. Cet entraînement a accru la précision et la vitesse de lecture des enfants et leur conscience phonologique. L'étude de Bonacina et al. (2015) a montré des résultats similaires avec un programme de lecture rythmique chez 14 enfants dyslexiques (9 sessions de 30 minutes). Un entraînement auprès d'enfants sourds ayant des implants cochléaires, consistant à intercaler des exercices de grammaire et des séquences musicales régulières (vs. des bruits de l'environnement) a aussi été proposé (Bedoin et al., 2017). L'écoute de musiques régulières a engendré un progrès en répétition de pseudo-mots et en jugement de grammaticalité.

Des bénéfices à plus court-terme ont été observés grâce à des stimulations par des amorces rythmiques. Celles-ci améliorent par exemple l'intelligibilité lors de la lecture de phrases chez des personnes ayant la Maladie de Parkinson (Thaut et al., 2001) ou la production phonologique chez des enfants ayant une surdité (Cason et al., 2015). Un amorçage rythmique régulier facilite la détection d'erreurs morphosyntaxiques chez des enfants atteints de TDL, de dyslexie, ou sans pathologie (Bedoin et al., 2016; Ladányi, 2020; Przybylski et al., 2013). Tan et Shoemark (2015) ont montré que deux enfants TDL commettaient moins d'omissions de mots de fonction lorsqu'ils produisaient une phrase suite à un amorçage en chanson (vs. amorçage parlé). Cependant, cette étude de cas uniques est insuffisante pour généraliser l'effet positif à toute la population TDL. De plus, ces études sont basées sur une exposition brève au rythme et montrent des effets immédiats, transitoires.

On peut déplorer une carence d'études scientifiques sur l'effet d'interventions à long-terme utilisant le rythme avec des enfants TDL. Pourtant, les travaux qui viennent d'être mentionnés, ainsi que les liens entre les habiletés rythmiques et langagières, encouragent l'utilisation

d'exercices rythmiques auprès de tels patients. Il est nécessaire d'investiguer davantage cette piste de manière systématisée, par exemple à travers l'évaluation objective d'un programme d'entraînement rythmique court, clairement décrit, répliquable et complémentaire aux prises en soin orthophoniques. Le présent travail s'inscrit dans cette démarche et vise à obtenir non seulement de nouvelles informations au sujet des effets du rythme musical sur les habiletés langagières d'enfants TDL, mais aussi à apprécier l'apport des mouvements rythmiques des enfants durant l'entraînement. Cela serait cohérent avec l'intérêt du couplage sensori-moteur mentionné dans le modèle PRISM (Fiveash et al., 2021) pour un traitement auditif précis.

## **5. Le projet de ce mémoire**

### **5.1 Un entraînement basé sur le travail d'Alix Raillard**

Les ressemblances entre la parole et la musique, mises en lumière par les travaux scientifiques, ainsi que les effets à court-terme de l'amorçage rythmique sur les compétences linguistiques sont encourageants. Il serait intéressant d'approfondir les recherches à ce sujet, notamment par des études à plus long-terme. Un programme d'entraînement construit à partir de vidéos musicales exerçant les compétences rythmiques a été élaboré à l'occasion d'un précédent mémoire en orthophonie (Raillard, 2022). Le programme était destiné à des enfants qui bégaièrent, dans l'objectif d'agir sur la fluence de la parole en améliorant le traitement du rythme. Les enfants TDL, comme les enfants qui bégaièrent, ont des difficultés de traitement temporel et une moins bonne discrimination rythmique que les enfants neurotypiques (Cumming et al., 2015b). Il semble donc pertinent de leur proposer un entraînement de ce type. Dans la présente étude, nous mettons en application cet entraînement auprès d'un groupe de 9 enfants TDL âgés de 6 à 13 ans, en utilisant le dispositif élaboré par Alix Raillard et décrit en section **Méthode**. Si des bénéfices sont observés, ils constitueraient des arguments en faveur de l'efficacité d'un entraînement bref centré sur le rythme et d'un transfert de compétences à des traitements langagiers ou attentionnels. À cette étape de la recherche, il n'y a pas de groupe contrôle sans entraînement. Toutefois, la brièveté du programme proposé suggère que son effet éventuel est difficilement explicable par la poursuite du développement cognitif de l'enfant. Les conclusions devront être prudentes, mais un effet bénéfique sur le langage, seulement dans les tâches impliquant l'attention temporelle, et non dans une épreuve contrôle ne l'impliquant pas, permettrait un début de discussion. À terme, si des bénéfices sont observés, le programme pourrait éventuellement être proposé dans l'attente ou en complément d'un suivi en orthophonie.

### **5.2 Problématique et hypothèses**

Ce travail a pour ambition de répondre à la question suivante : une intervention de 36 séances d'environ 6 à 10 minutes chacune, supposée stimuler les réseaux cérébraux d'analyse du

rythme, améliore-t-elle les compétences langagières des enfants ? La réponse est envisagée à travers les hypothèses suivantes.

L'hypothèse théorique est que l'entraînement rythmique pourrait être suivi de progrès langagiers, du fait d'un transfert des compétences de traitement du rythme sur les processus impliqués dans la perception de la parole. De manière secondaire, il est supposé que ces progrès soient d'autant plus marqués quand l'entraînement est réalisé en ajustant des mouvements temporellement.

L'hypothèse opérationnelle est que les performances aux tests de rythme, d'attention, de langage et de lecture (taux de réussite, scores, vitesse) seront plus élevées à la fin (T4) qu'au début (T1) du programme complet. Elles devraient aussi être plus élevées dans les phases suivant un entraînement rythmique (post-tests postD et postS) que dans les phases précédant un entraînement (pré-tests préD et préS), bien que la période d'entraînement soit extrêmement brève. Enfin, nous supposons que l'amélioration des performances sera plus élevée entre les tests précédant et suivant l'entraînement avec mouvements synchronisés (condition dynamique), qu'entre les tests précédant et suivant l'entraînement immobile (condition statique), du fait de l'engagement du système moteur impliqué dans le réseau des traitements temporels de la musique et du langage.

## II. Méthode

### 1. Population

#### 1.1 Le recrutement des participants

Le recrutement des participants a commencé en octobre 2022, par différents moyens (mailing, réseaux sociaux, contact d'écoles, évènements). Nous avons participé à la *Journée des Dys* le 8 octobre au stand tenu par le CRNL. Cela nous a permis de présenter ce projet de recherche à des familles et des professionnels concernés par la problématique du TDL. Nous avons aussi assisté à l'assemblée générale *d'Avenir Dysphasie* le 2 décembre, pendant laquelle Nathalie Bedoin a fait un appel à participation pour ce projet. En **Annexe A** se trouvent les supports visuels partagés durant la phase de recrutement. Les participants étaient recrutés sur la base du bénévolat. L'étude (FlugRyth) et le recrutement ont été approuvés le 13 octobre 2022 par l'avis n°2022-09-15-003 du Comité d'Éthique pour les Recherches de l'Université de Lyon (CER-UdL) (**Annexe B**). Les fiches d'information et de signature de consentement destinés aux titulaires de l'autorité parentale sont en **Annexe C et D**. Une fiche de présentation spécifiquement destinée aux enfants a été élaborée (**Annexe E**). Le Comité d'Éthique a approuvé les mesures prises pour assurer l'anonymat, pour le stockage des données et leurs règles d'utilisation.

## **1.2 Critères d'inclusion**

Les participants ont été recrutés selon deux critères d'inclusion. D'abord, le critère d'âge : ils devaient avoir entre 6 et 13 ans. Le diagnostic de TDL pouvant être posé à partir de 5 ans (Bishop et al., 2017), la limite inférieure de 6 ans permettait de s'assurer que le trouble était diagnostiqué de manière fiable, les difficultés langagières ayant persisté plusieurs mois. Cette limite d'âge inférieure était aussi cohérente avec les épreuves sélectionnées, la plupart n'étant applicables qu'à partir du CP (6 ans). La limite d'âge supérieure a été fixée à 13 ans pour pouvoir utiliser les mêmes tests de langage oral pour tous les participants et comparer leurs performances. Par ailleurs, à cet âge et au-delà, le support d'entraînement pouvait être perçu comme infantilisant et peu motivant. Effectivement, il a été conçu pour des enfants de 4 à 6 ans (Raillard, 2022). L'autre critère était le moment du diagnostic, qui devait dater d'au moins 1 mois. Avant de le poser, les orthophonistes évoquent une suspicion de TDL et prennent un temps pour observer les difficultés langagières et leur persistance, caractéristique de ce trouble. Ainsi, ce critère assure que l'enfant recruté présente bien un TDL et non un simple retard de développement du langage.

## **1.3 Critères de non-inclusion**

Nous ne souhaitons pas inclure les enfants présentant un autre trouble ou une condition biomédicale associée (autre trouble neuro-développemental, déficience intellectuelle, maladie génétique). Toutefois, un enfant ayant une dyspraxie visuo-spatiale et gestuelle a été recruté. Son trouble n'empêchait pas la réalisation du programme mais affectait sélectivement les résultats aux tests impliquant de fortes demandes visuo-spatiales (test des jetons et Matrices de Raven), qui étaient anormalement échoués. Par ailleurs, nous avons exclu les enfants ayant ou ayant eu une pratique musicale de plus d'un an. Il s'agissait d'éviter que les exercices soient trop faciles pour des enfants déjà exercés au rythme par des cours de musique. La poursuite de cours de musique en parallèle de la période du programme aurait aussi empêché d'isoler les progrès relatifs à ce programme, de celles liées à leur propre exercice musical. Ces critères avaient pour but de favoriser la spécificité des mesures, en lien avec le TDL et l'entraînement prévu.

## **1.4 L'échantillon constitué**

Treize participants ont été inscrits pour participer à l'entraînement. Parmi eux, 1 enfant n'a pas pu suivre la passation complète des tests en phase T1, en raison d'une forte distractibilité et d'un manque de coopération. De plus, le parent maîtrisant mal le français, il était difficile de lui expliquer l'objectif et les implications de l'entraînement. Ce participant n'a pas été retenu dans l'échantillon. Trois participants se sont désistés au début de l'entraînement, pour des raisons

personnelles. Enfin, une participante n'a pu passer que la première et dernière évaluation, bien qu'elle ait réalisé la totalité de l'entraînement.

L'échantillon ayant suivi tous les entraînements est de 9 enfants (6 filles et 3 garçons), répartis dans 2 groupes appariés en âge et en sévérité du trouble (**Tableau 1**). Chaque groupe a suivi l'entraînement en condition statique et en condition dynamique (avec « action-sensorimotrice »), ce qui permettait de réaliser des comparaisons intra-sujets. Un organigramme (**Annexe F**), résume la procédure de recrutement des participants et les différentes périodes du protocole.

Sujet	Âge (ans,mois)	Sexe	Ordre des phases d'entraînement (D = dynamique, S = Statique)	Matrices de Raven (ET à la norme)	Conners (n° des facteurs pathologiques)
S1	8,3	F	DS	0	2, 3
S2	9,1	F	DS	1	1
S3	11,9	F	DS	-5	2, 5, 6
S4	12,3	F	DS	0	aucun
S5	12,4	M	DS	0	1
S6	8,8	M	SD	1	aucun
S7	12,5	M	SD	1	aucun
S8	12,5	F	SD	-1.5	2, 4, 5, 6
S9	13,5	F	SD	0	aucun

**Tableau 1.** Données de chaque sujet concernant l'âge, le sexe, l'ordre d'entraînement, le score aux Matrices de Raven et les facteurs pathologiques relevés à travers le questionnaire de Conners (>p70).

## 2. Matériel

### 2.1 Épreuves d'évaluation

#### 2.1.1 Dépistage d'un trouble associé.

Nous avons utilisé le questionnaire de Conners (CPRS-48, Goyette et al. 1978, traduit par Dugas et al. 1987) destiné aux parents. Il permet de détecter un score anormal (> percentile 70) pour six critères indiquant la présence d'un TDAH (Trouble Déficitaire de l'Attention avec ou sans Hyperactivité). Les enfants retenus pour l'étude ne remplissaient pas plus de quatre critères. Deux enfants avaient déjà un diagnostic de TDAH mais étaient sous traitement. Nous avons aussi utilisé une tâche de complétion d'images avec un motif manquant (Matrices Progressives Colorées de Raven, 1998) pour évaluer le niveau de raisonnement analogique, les capacités de déduction et de reproduction, considérés comme des processus cognitifs constitutifs de l'intelligence générale. Ce test a permis d'exclure la présence d'une déficience intellectuelle.

### **2.1.2 Evaluation du langage.**

Des tableaux détaillés de toutes les épreuves utilisées avec leur description, le type et le nombre d'items, les mesures et la cotation de chacune d'elles sont en **Annexe G et H**. Nous avons testé les domaines langagiers les plus affectés dans le TDL et ciblés par l'entraînement : la phonologie et la morphosyntaxe. Nous avons aussi proposé des tâches de lecture pour les enfants qui étaient en âge de lire. En effet, les difficultés en langage oral sont fréquemment associées à des difficultés à l'écrit dans le cadre du TDL (Bishop et al., 2017). La lecture est aussi une compétence qui peut être améliorée par un exercice rythmique (Bonacina et al., 2015; Flaughnacco et al., 2015; Huss et al., 2011).

**Phonologie.** Nous avons sélectionné une épreuve de répétition de pseudo-mots et de discrimination phonologique de phonèmes dans des pseudo-mots de la batterie EVALEO 6-15 (Launay et al., 2018). Ces deux épreuves sont considérées comme des marqueurs caractéristiques du TDL (Coady & Evans, 2008; Reuterskiold et al., 2006). Nous avons aussi proposé des épreuves de méta-phonologie : une tâche de suppression du phonème initial (EVALEO 6-15, Launay et al., 2018) et de suppression du phonème final de la Batterie Analytique du Langage Écrit (BALE, Jacquier-Roux et al., 2010). Celles-ci permettent d'évaluer le niveau de conscience phonologique, une compétence sensible à l'entraînement rythmique (Flaughnacco et al., 2015).

**Morphosyntaxe.** Nous avons choisi les épreuves de jugement de grammaticalité et de compréhension de phrases complexes pour évaluer, en réception, la sensibilité aux marqueurs morphosyntaxiques et leur compréhension. Nous avons choisi l'épreuve de répétition de phrases complexes pour évaluer le versant expressif de la morphosyntaxe et la mémoire verbale à court terme (EVALEO 6-15, Launay et al., 2018).

**Lecture.** Pour les enfants en classe de CE1 ou inférieure, nous avons proposé une épreuve de lecture de texte signifiant de l'Evaluation de la Lecture en Fluence (E.L.FE, Lequette et al., 2008) comprise dans la BALE (Jacquier-Roux et al., 2010). Elle comprend deux textes différents (« Monsieur Petit » et « Géant Égoïste ») pour diminuer l'effet test-retest. Nous avons également utilisé une épreuve de lecture de texte non signifiant : le DeltaText (Thollon, 2013, dir. N.Bedoin). Il comporte 4 textes différents, équilibrés pour chaque mot selon plusieurs caractéristiques lexicales (fréquence, catégorie grammaticale, voisins orthographiques) et infra-lexicales (nombre de lettres, syllabes, phonèmes) ; un texte différent pouvait être utilisé à chacune des 4 sessions d'évaluation. Ces deux épreuves évaluent la vitesse et la précision de lecture. Pour les tests de l'E.L.FE, l'étalonnage ne dépasse pas le CM2, classe à laquelle ont tout de même été comparés les participants plus âgés. Pour DeltaText, des normes existent pour les enfants et les adolescents.

### **2.1.3 Evaluation des compétences rythmiques.**

Deux tâches ont été proposées pour évaluer les compétences rythmiques. La première est le jugement de synchronisation rythmique de la Batterie d'évaluation des habiletés auditives, sensorimotrices et temporelles (BAASTA, Dalla Bella et al., 2017), adaptée aux enfants avec des animations visuelles par Nathalie Bedoin. L'épreuve consiste à juger de l'isochronie d'un battement (son d'une percussion) avec une séquence mélodique. La seconde est la discrimination de séquences rythmiques de la Batterie de Montréal d'évaluation des habiletés musicales (MBEMA, Peretz et al., 2013, 2021). Dans cette épreuve, l'enfant écoute des paires de séquences musicales et juge si leur rythme est identique ou différent.

### **2.1.4 Evaluation de l'attention visuelle.**

Nous avons utilisé une tâche de barrage d'une cible visuelle (The d2 Test of Attention, Brickenkamp & Zillmer, 1998). Elle permet d'avoir une mesure des capacités d'attention visuelle et de concentration, par le calcul de plusieurs indices. Dans l'étalonnage, la tranche d'âge la plus jeune est 9 ans, et nous avons comparé les scores des participants ayant entre 6 et 8 ans aux normes de cette tranche d'âge.

### **2.1.5 Epreuve contrôle.**

Enfin, nous avons proposé une tâche de reproduction de localisation de jetons sur une grille (EVALEO). Cette épreuve teste la mémoire à court terme visuelle, pour laquelle nous n'attendons pas d'effet de l'entraînement rythmique.

## **2.2 Matériel de recueil de données**

Les performances des participants étaient recueillies sur la feuille de cotation du test ou par les différents logiciels utilisés (EVALEO ou e-Prime pour la MBEMA et la BAASTA). Les épreuves informatisées ont été réalisées avec un PC portable DELL. Un chronomètre était nécessaire pour certaines épreuves.

## **2.3 Matériel d'entraînement**

L'entraînement rythmique s'est fait à partir de vidéos réalisées par Alix Raillard (2022) dans le cadre de son mémoire d'orthophonie (**Annexe I**). La famille devait être équipée d'un ordinateur ou d'une tablette pour les visionner. La hauteur des sons correspondait à une fréquence étalée entre 130 et 1760 Hz, pour se rapprocher des fréquences des phonèmes du français (entre 250 et 4000 Hz). Nous avons veillé à ce que les sons soient diffusés à un degré d'intensité confortable. Les vidéos ont été construites de façon à ce que le rythme des musiques et des animations visuelles puisse renforcer, de façon exogène, des oscillations cérébrales endogènes impliquées dans le traitement du langage. Les exercices visaient donc à susciter

le traitement temporel de séquences sonores complexes, ayant un rythme proche de la parole. Le tempo du métronome se situait entre 1 et 6 Hz (correspondant à la plage de vitesse de la parole lente à très rapide, stimulant les oscillations delta et thêta). Un étayage visuel était également proposé. Il s'agissait de déplacements continus ou discontinus d'éléments visuels (dessins d'animaux, de formes) en synchronie avec le rythme auditif.

Le système kinesthésique n'était sollicité que dans la condition dynamique, avec un engagement moteur par le *tapping* des mains entre elles ou sur la table, le mouvement de la jambe ou le parcours avec le doigt du musicogramme (**Annexe J**). Pour cette condition, les vidéos comprenaient des tâches de synchronisation (*tapping* en rythme simple, puis avec un ajustement à des variations de tempo) et de production rythmique (continuation d'un rythme suite à l'arrêt de la musique, apprentissage d'une séquence simple et complétion rythmique).

Dans la condition statique, les participants devaient s'efforcer de ne pas bouger et posaient les deux mains sur la table. Les exercices demandaient de détecter des « intrus » rythmiques (une séquence dotée d'une vitesse et/ou d'un schéma rythmique différents des autres) et réaliser des jugements d'isochronie (reconnaître si deux séquences étaient jouées exactement au même tempo ou s'il y avait un décalage temporel entre elles).

L'entraînement se faisant en autonomie par l'enfant avec l'un de ses parents. Un journal de bord a été envoyé avec les vidéos pour aider le parent et son enfant à suivre l'entraînement (**Annexe K**). Il demandait à l'enfant de renseigner à chaque session son état émotionnel et le moment de la journée du visionnage. Une case était réservée au parent pour écrire des remarques qui lui semblaient pertinentes. Le journal permettait de donner des indications qualitatives sur des éléments pouvant influencer sur l'entraînement. Enfin, la tenue du journal était destinée à renforcer l'assiduité.

### 3. Procédure

#### 3.1 Plan expérimental

L'étude suivait une méthode expérimentale classique avec des pré- et post-tests, afin de mesurer les effets de l'entraînement sur les capacités rythmiques et langagières des participants. Le principe du cross-over a été mis en place. En effet, chacun des deux groupes de participants a réalisé l'entraînement dans les conditions statique et dynamique, en ordre contrebalancé. Les participants étaient évalués quatre fois : avant et après chaque condition d'entraînement. Une étape de *wash-out* (deux semaines de repos, sans entraînement) séparait le post-test de la première session d'entraînement et le pré-test de la deuxième session d'entraînement. Le principe du cross-over permettait de recueillir ici les données de huit participants en pré- et post-test pour chaque condition d'entraînement, avec contrebalancement de l'effet d'ordre. À cause des désistements, l'équilibre n'est pas parfait :

5 enfants suivaient la procédure dynamique puis statique et 3 enfants suivaient la procédure statique puis dynamique.

Différentes mesures étaient faites (taux de réussite, score en écart-type à la norme, indices de précision/vitesse, de concentration) et constituaient les variables dépendantes, regroupant plusieurs domaines (rythme, le langage, l'attention et la concentration, et la mémoire visuelle à court terme). Les variables indépendantes étaient l'étape d'évaluation (pré ou post-entraînement) et le type d'entraînement (dynamique ou statique).

### **3.2 Phases d'évaluation**

L'**Annexe L** présente une description des 4 phases d'évaluation avec leur durée et le contenu plus précis des épreuves. Les quatre évaluations ont eu lieu au laboratoire du CRNL (Bâtiment IDEE), en rendez-vous individuel avec l'enfant et son parent. L'évaluation à T1 était la plus complète et comportait tous les tests de la liste. C'est à cette phase que nous avons proposé le questionnaire de Conners et les Matrices de Raven qui ne nécessitaient qu'une seule passation. L'évaluation T4 comprenait tous les tests mis à part ces deux derniers.

Les évaluations intermédiaires (T2, T3) étaient plus courtes, car deux épreuves ont été exclues pour tenir compte de la fatigabilité des participants, observée à T1. L'épreuve de discrimination phonologique a été retirée à T2 et T3, car elle demandait une analyse auditive fine et une attention particulièrement soutenue pendant 10 min. De plus, les épreuves de répétition de pseudo-mots et de méta-phonologie permettaient déjà de recueillir des données relatives à la phonologie. Nous avons privilégié ces épreuves, moins coûteuses sur le plan attentionnel. La compréhension orale de phrases a aussi été retirée à T2 et T3. Celle-ci dépend du niveau de maîtrise dans des domaines sous-jacents évalués par ailleurs (phonologie, morphosyntaxe) et est moins directement liée aux compétences rythmiques d'analyse auditive que la segmentation/manipulation des phonèmes ou l'analyse des marqueurs grammaticaux. Pour cette raison, nous avons testé la compréhension seulement au début et à la fin de la totalité de l'entraînement. De plus, la répétition de cette épreuve aurait pu mener à un apprentissage des phrases et à des progrès apparents mais artificiels.

### **3.3 Phases d'entraînement**

L'entraînement comprenait trois phases : une première de 3 semaines, une phase de repos de deux semaines, et une deuxième phase d'entraînement de 3 semaines. Les deux périodes d'entraînement correspondaient aux conditions expérimentales : dynamique et statique. Chaque phase d'entraînement était suivie par l'enfant, avec la supervision du parent, à partir de vidéos publiées sur YouTube. Les liens des vidéos étaient envoyés à la famille chaque semaine par mail. Chaque entraînement comportait 3 sessions hebdomadaires de 6 à 10

minutes, à répartir sur la semaine aux moments où les parents estimaient que l'enfant était disponible et calme. Pour les enfants qui suivaient un traitement pour leur trouble de l'attention, les parents se sont montrés très attentifs au choix du moment propice à ces exercices. Au total, l'enfant réalisait ainsi 54 minutes d'entraînement sur chaque période de 3 semaines, et donc au total près de 2 heures d'entraînement.

### III. Résultats

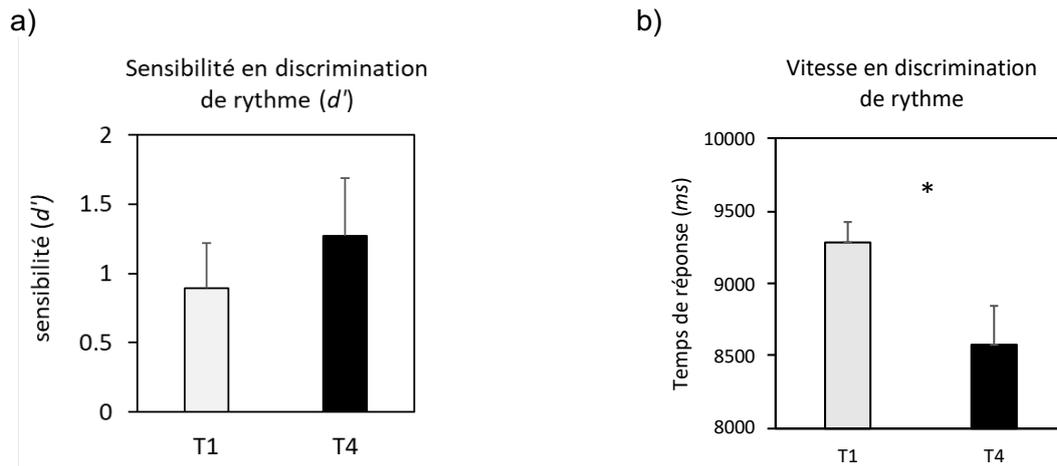
#### 1. Traitement des données

L'expérience évaluait l'effet du programme d'entraînement à quatre étapes. Les performances (score de réussite, temps de réponse et indice de sensibilité  $d'$ ) étaient comparées avant/après la session d'entraînement statique (préS, postS) et avant/après la session d'entraînement dynamique (préD-postD). Les éventuels progrès ont aussi été mesurés en comparant les performances avant le programme complet (T1) et après sa fin (T4). En l'absence de groupe contrôle ne réalisant pas l'entraînement, la comparaison T1-T4 permettait seulement d'estimer si les compétences testées étaient susceptibles de progresser. Les performances étaient aussi comparées avant/après la période de 16 jours sans entraînement (wash-out, T2-T3) pour estimer la taille de l'effet test-retest. L'indice  $d'$  était calculé avec la formule  $[Z(\text{Hits})-Z(\text{FA})]$  selon la Théorie de la Détection du Signal (Allan et al., 2005) :  $d'$  indiquait la sensibilité à une différence de rythme. Le biais de réponse était mesuré avec l'indice  $c$  :  $[-0.5*(Z(\text{Hits})+Z(\text{FA}))]$ .

Compte tenu de la petite taille de l'échantillon, des analyses non-paramétriques (test de rangs signés de Wilcoxon pour échantillons appariés) ont été réalisées avec le logiciel R-Studio. Le seuil de significativité était placé à  $p \leq .05$ . Cependant, les valeurs  $p$  renseignent seulement sur la présence d'un effet, et non sur sa magnitude (Sullivan & Feinn, 2012). Afin de considérer la taille des effets et de permettre une comparaison et une interprétation plus pertinente des résultats, l'indice delta de Cliff ( $\delta$ ) a alors été calculé (Bourque et al., 2009). Elle était interprétée selon Vargha et Delaney (2000) :  $< .11$  (petite),  $< .28$  (modérée),  $> 0.43$  (grande).

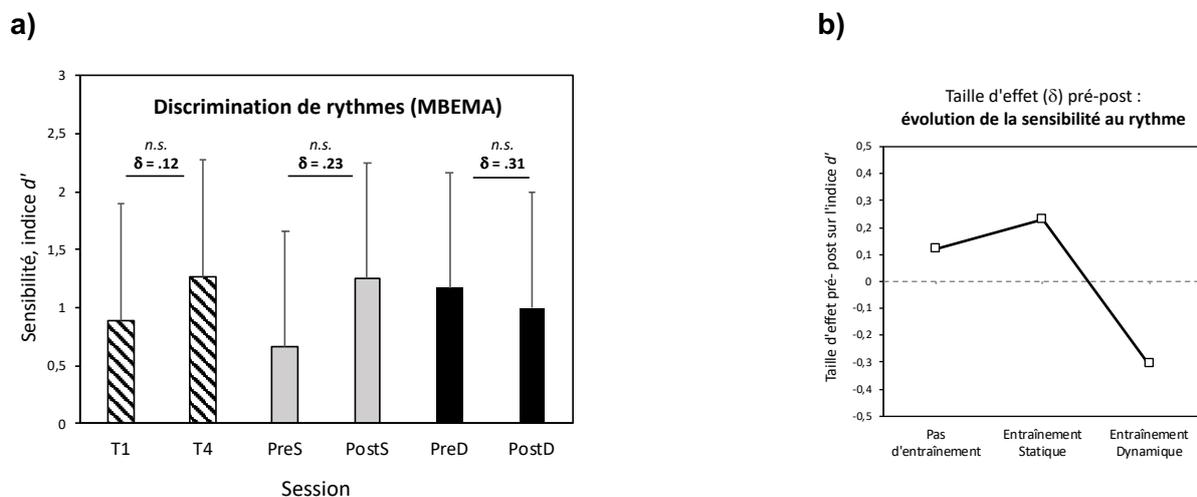
#### 2. Résultats aux épreuves de rythme

Dans l'épreuve de discrimination de séquences rythmiques (MBEMA), l'indice de sensibilité  $d'$  n'a pas augmenté de manière significative entre T1 et T4 ( $V = 18$ ,  $p = .652$ ,  $\delta = .12$ ), mais les réponses exactes se sont accélérées significativement ( $V = 40$ ,  $p = .039$ ,  $\delta = .24$ ). La **Figure 1** montre qu'il n'y avait pas d'échange rapidité-exactitude.



**Figure 1.** Performances moyennes en discrimination rythmique avant et après l'entraînement complet, pour **a)** la sensibilité aux différences rythmiques et **b)** la vitesse de réponse. L'erreur-type est en barre d'erreur. L'astérisque \* représente une différence significative.

Le  $d'$  n'augmentait pas significativement entre T2 et T3 ( $V = 21, p = .742, \delta = .12$ ) et la petite taille de cette différence indiquait un très faible effet test-retest. Comme l'illustre la **Figure 2**, il n'y avait pas de progrès significatif après les entraînements considérés séparément (statique,  $V = 28, p = .195, \delta = .23$  ; dynamique,  $V = 12, p = .800, \delta = .31$ ).



**Figure 2. a)** Niveau de sensibilité à une différence de rythme aux différentes étapes de testing (barre d'erreur = erreur-type) et **b)** Taille d'effet pour les 3 conditions : pas d'entraînement (T2-T3), pré/post-entraînement statique et pré/post-entraînement dynamique.

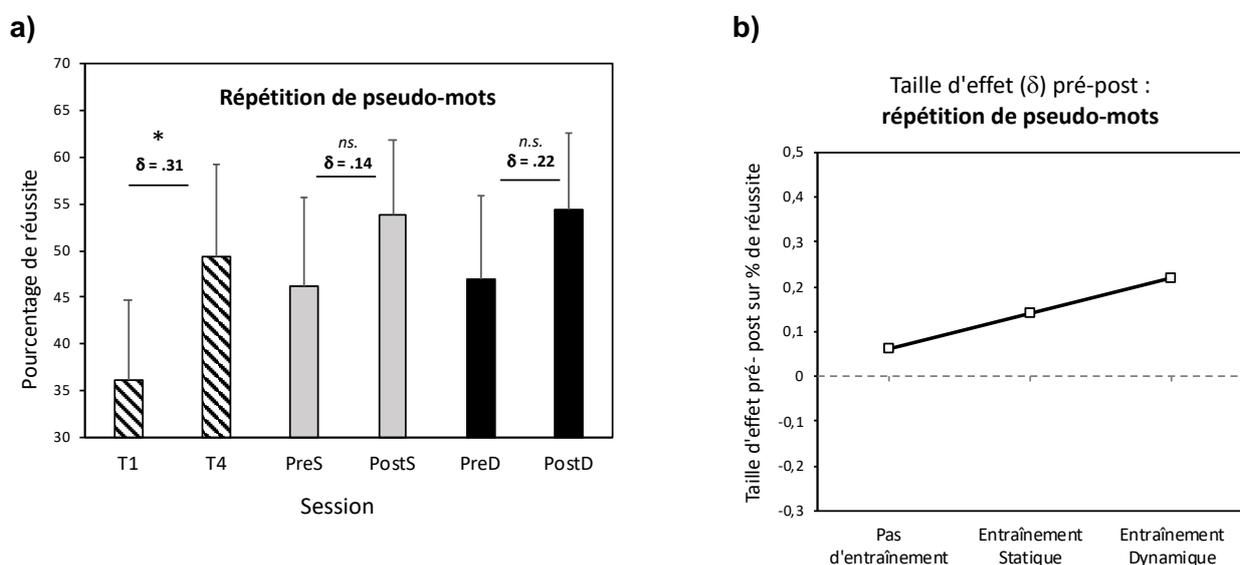
Concernant la vitesse, qui s'accélérait significativement entre T1 et T4 ( $V = 40, p = .039, \delta = .24$ ) (**Figure 1b**), la différence T2-T3 n'était pas significative, reflétant le peu d'effet test-retest ( $V = 8, p = .195, \delta = .22$ ). Les différences pré/post-entraînement étaient non-significatives, mais de taille supérieure à la différence T2-T3, surtout si la session était statique ( $V = 11, p = .383, \delta = .38$ ), dans une moindre mesure si elle était dynamique ( $V = 10, p = .313, \delta = .25$ ).

La moyenne de l'indice  $c$ , toujours positive, indiquait un biais vers la réponse « même rythme » qui ne changeait pas entre T1 et T4 ( $V = 32, p = .301, \delta = .20$ ), ni avant et après la session statique ( $V = 30, p = .109, \delta = .41$ ) ou dynamique ( $V = 11, p = .383, \delta = .31$ ).

Dans l'épreuve de discrimination d'asynchronie (BAASTA), les performances rythmiques n'évoluaient pas significativement entre T1 et T4, ni pour  $d'$  ( $V = 31, p = .080, \delta = .24$ ), ni pour la vitesse ( $V = 32, p = .301, \delta = .164$ ) et la configuration reflétait un échange rapidité-exactitude. Il n'y avait pas d'effet pré/post pour l'une ou l'autre session d'entraînement. Le  $c$  moyen indiquait un biais vers la réponse « synchrone » qui ne changeait pas significativement après l'entraînement statique ( $V = 18, p = .99, \delta = .11$ ) ou dynamique ( $V = 12, p = .834, \delta = .09$ ).

### 3. Résultats en langage oral et lecture

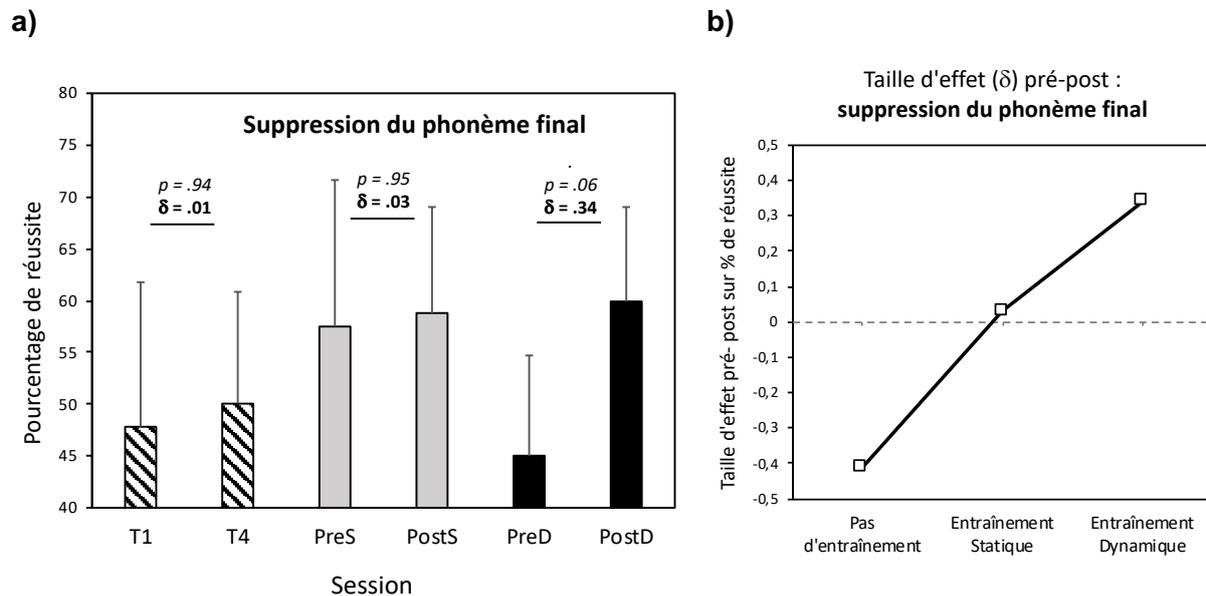
Pour la répétition de pseudo-mots, les performances augmentaient significativement après l'entraînement complet, la réussite passant de 36.11% à T1, à 49.44% à T4 ( $V = 1.5, p = .024, \delta = .31$ ). L'effet test-retest (T2-T3) était de taille négligeable ( $V = 13, p = .930, \delta = .06$ ), ce qui contrastait avec le progrès observé sur la **Figure 3a** après les entraînements dynamique ( $V = 22.5, p = .174, \delta = .22$ ) et statique ( $V = 23, p = .146, \delta = .14$ ) qui restaient toutefois non significatifs et de taille modeste (**Figure 3b**).



**Figure 3. a)** Pourcentage de réussite moyen en répétition de pseudo-mots avant/après le programme complet (T1-T4) et avant/après chaque session d'entraînement (statique, dynamique). L'erreur-type est en barre d'erreur. L'astérisque \* représente une différence significative. **b)** Taille d'effet pour les 3 conditions : pas d'entraînement (T2-T3), pré/post-statique et pré/post- dynamique.

Pour la suppression du phonème final, comme l'illustre la **Figure 4a**, il n'y avait pas de différence de performances entre T1 et T4 ( $V = 19, p = .944, \delta = .01$ ), ni entre T2 et T3, où elles décroissaient légèrement ( $V = 12, p = .461, \delta = .27$ ) (**Figure 4b**). Un progrès proche du

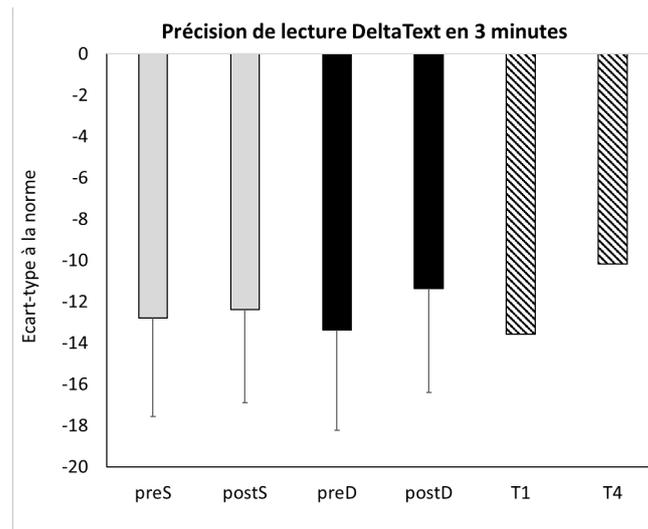
seuil de significativité et de taille modérée s'est produit après l'entraînement dynamique ( $V = 15$ ,  $p = .060$ ,  $\delta = .34$ ) et pas après l'entraînement statique ( $V = 19$ ,  $p = .945$ ,  $\delta = .03$ ).



**Figure 4. a)** Pourcentage de réussite moyen au test de suppression de phonème final avant et après l'une et l'autre session d'entraînement (statique, dynamique). L'erreur-type est en barre d'erreur. **b)** Taille d'effet pour les 3 conditions : pas d'entraînement (T2-T3), pré/post-entraînement statique et pré/post-entraînement dynamique.

Dans l'épreuve de **répétition de phrases**, le nombre d'éléments morphosyntaxiques répétés augmentait significativement entre T1 et T4 ( $V = 4$ ,  $p = .033$ ,  $\delta = .21$ ). Il n'y avait pas d'effet test-retest (T2-T3) ( $V = 11$ ,  $p = .673$ ,  $\delta = .06$ ), et aucun entraînement pris séparément ne suffisait à améliorer cette performance (dynamique,  $V = 18$ ,  $p = .142$  ;  $\delta = .16$  ; statique,  $V = 18$ ,  $p = .554$ ,  $\delta = .08$ ) (**Annexe M**).

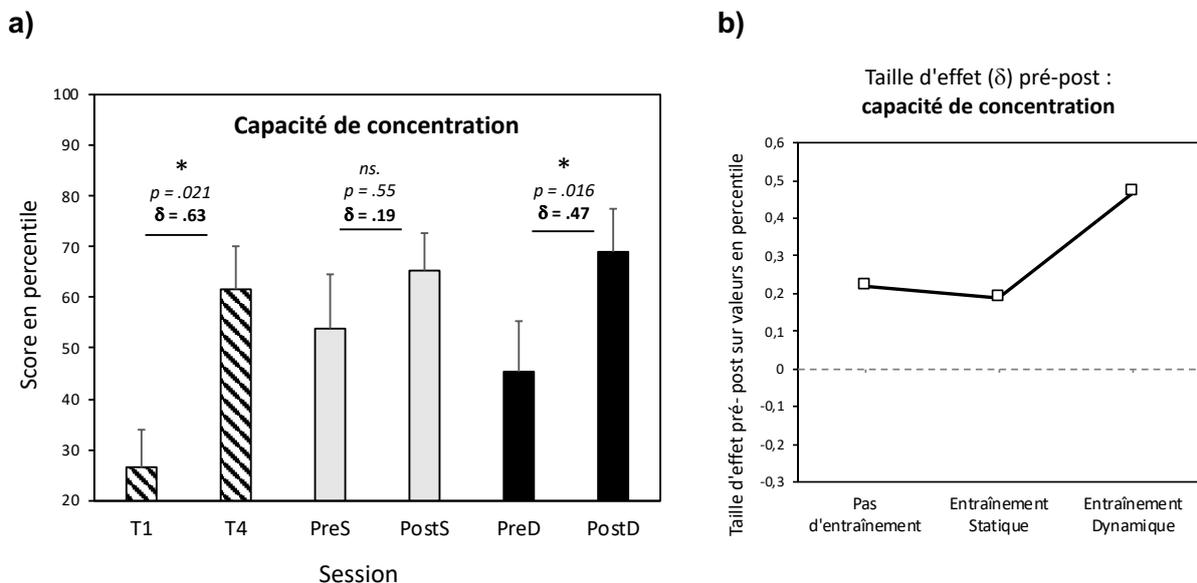
En **lecture de texte signifiant**, après le programme complet (T4) les enfants tendaient à avoir un meilleur score qu'avant celui-ci (T1) ( $V = 30$ ,  $p = .107$ ,  $\delta = .10$ ). L'effet test-retest entre T2 et T3 ne montrait aucun progrès ( $V = 17$ ,  $p = .945$ ,  $\delta = 0$ ), et une légère amélioration, non significative, était observée après l'entraînement dynamique ( $V = 13$ ,  $p = .546$ ,  $\delta = .13$ ), mais pas après l'entraînement statique ( $V = 25$ ,  $p = .844$ ,  $\delta = .06$ ). Pour la **lecture du texte non signifiant**, comme l'illustre la **Figure 5**, le seul changement était dans le sens d'un progrès, avec une petite diminution de l'écart-type à la norme pour l'indice de précision après l'entraînement dynamique ( $V = 24$ ,  $p = .108$ ,  $\delta = .17$ ).



**Figure 5.** Indice de précision des enfants TDL en lecture de texte non-signifiant (DeltaText), avant/après le programme (T1, T4) et avant/après les entraînements statique et dynamique. Les barres d'erreur représentent l'erreur-type.

#### 4. Résultats à l'épreuve d'attention

Les analyses montraient une amélioration significative de la capacité de concentration dans le test d2 entre T1 et T4 ( $V = 2.5$ ,  $p = .021$ ,  $\delta = .63$ ). Alors que le test-retest entre deux étapes ne suffisait pas à accroître la concentration (T2-T3,  $V = 24.5$ ,  $p = .400$ ,  $\delta = .22$ ), celle-ci augmentait significativement avec un effet de grande taille après l'entraînement lorsqu'il était dynamique ( $V = 35$ ,  $p = .016$ ,  $\delta = .47$ ) et non statique ( $V = 23$ ,  $p = .547$ ,  $\delta = .19$ ) (**Figure 6**).

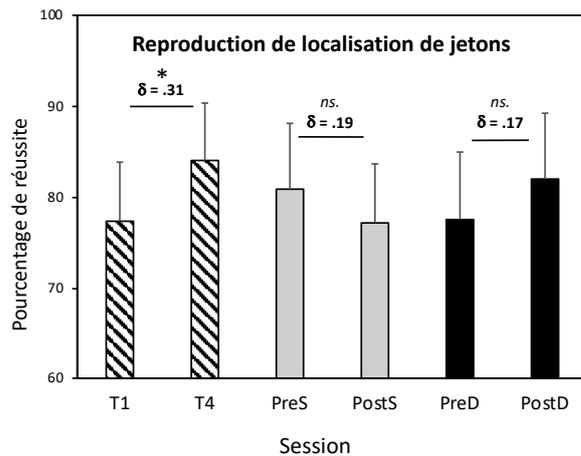


**Figure 6. a)** Scores moyens en percentile au test d2 mesurant l'attention visuelle et la concentration avant et après l'une et l'autre session d'entraînement (statique, dynamique). L'erreur-type est en barre d'erreur. L'astérisque \* représente une différence significative. **b)** Taille d'effet pour les 3 conditions : pas d'entraînement (T2-T3), pré/post-entraînement statique et pré/post-entraînement dynamique.

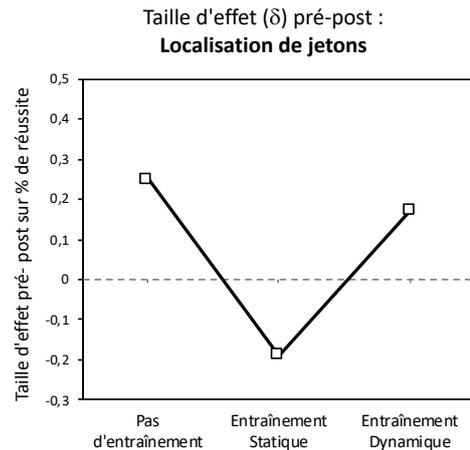
## 5. Résultats de l'épreuve contrôle : mémoire visuelle à court-terme

Les performances en tâche de reproduction de localisation de jetons s'amélioraient entre T1 et T4 ( $V = 1.5$ ,  $p = .042$ ,  $\delta = .31$ ) (**Figure 7a**). Cette amélioration était de plus grande taille entre T2 et T3 ( $V = 26.5$ ,  $p = .261$ ,  $\delta = .25$ ) qu'après l'entraînement dynamique ( $V = 15.5$ ,  $p = 0.344$ ,  $\delta = .17$ ) (**Figure 7b**) et les performances tendaient à diminuer après l'entraînement statique ( $V = 8$ ,  $p = 0.35$ ,  $\delta = .19$ ).

a)



b)



**Figure 7. a)** Pourcentages de réussite moyens à l'épreuve de reproduction de localisation de jetons. L'erreur-type est en barre d'erreur. L'astérisque \* représente une différence significative. **b)** Taille d'effet des 3 conditions : pas d'entraînement (T2-T3), pré/post-entraînement statique et pré/post-entraînement dynamique.

## IV. Discussion

### 1. Recontextualisation

Cette expérience avait pour but d'évaluer l'effet d'un entraînement rythmique court sur les compétences rythmiques et langagières d'un groupe d'enfants ayant un TDL. L'entraînement a été réalisé individuellement à partir de vidéos, en deux périodes de trois semaines. Chaque période correspondait à un type d'entraînement rythmique (immobile ou dynamique). Les deux entraînements ont été suivis par tous les 9 participants selon un design en cross-over, avec une pause intermédiaire de deux semaines. En nous appuyant sur les recherches actuelles, nous avons émis l'hypothèse que l'entraînement pourrait améliorer certaines compétences langagières, du fait d'un meilleur traitement du rythme susceptible de se transférer au traitement de la parole. Nous avons également fait l'hypothèse de progrès plus intenses si l'entraînement était réalisé en condition dynamique, où l'enfant effectue des mouvements en synchronie avec la musique, plutôt qu'en condition immobile. L'analyse statistique des données apporte des résultats relativement encourageants. Ils permettent de discuter les

hypothèses, en lien avec la littérature scientifique sur la musique et le langage et sur l'apport des prises en soin par le rythme en orthophonie.

## **2. Mise en lien avec les recherches antérieures**

### **2.1 Effets du programme rythmique audio-visuel complet**

La **première hypothèse** supposait que les tests de rythme seraient mieux réussis à la fin du programme d'entraînement (T4) qu'avant celui-ci (T1), et que les progrès se transfèreraient à des domaines non entraînés, relevant du langage et de l'attention. Quelques éléments dans les analyses de données vont dans le sens de cette attente.

Le traitement du rythme musical était la compétence directement entraînée par le programme, pour deux raisons : elle est reconnue comme déficitaire chez les enfants présentant un TDL (Corriveau & Goswami, 2009) et elle implique des traitements temporels comme la séquenciation et l'anticipation, indispensables au développement typique du langage (Goswami, 2011). Le déficit de ces traitements temporels pourrait expliquer des pathologies neuro-développementales du langage, et il serait donc bon de les réduire chez les enfants TDL. Malgré la brièveté du programme, l'entraînement rythmique musical et visuel utilisé a eu un petit impact positif sur cette compétence. Certes, les résultats en jugement d'isochronie (BAASTA) n'ont pas montré d'amélioration de la capacité à détecter un décalage entre la pulsation sous-jacente à une séquence musicale et le battement d'un instrument percussif. L'attitude des enfants pendant la tâche a montré que le test leur semblait si difficile qu'ils se décourageaient vite, suggérant un effet plancher. Par contre, la discrimination de séquences rythmiques présentées l'une après l'autre (MBEMA) s'est améliorée après l'entraînement : la vitesse de discrimination s'est significativement améliorée et l'exactitude tendait à s'accroître. Ce progrès peut être lié à l'habituation à la tâche au fil des testings, mais comme il n'y a pas eu de progrès dans l'autre test de rythme, il semble que l'entraînement ait eu un effet sur un aspect spécifique des traitements temporels : la capacité à maintenir en mémoire et comparer mentalement les représentations de deux séquences rythmiques entendues l'une après l'autre. Le jugement d'isochronie, qui ne s'est pas amélioré, implique de traiter deux stimuli auditifs superposés, alors que l'épreuve de discrimination se fait sur deux stimuli consécutifs, ce qui est moins coûteux pour les enfants présentant un TDL du fait de leurs difficultés à traiter plusieurs informations temporelles simultanément (Hill, 2001). L'amélioration du traitement rythmique musical après l'entraînement complet est ainsi seulement partiellement vérifiée.

Concernant les compétences langagières, deux tâches ont été significativement mieux réussies à la fin de l'entraînement, ce qui permet de confirmer notre hypothèse. Il s'agit de la répétition de pseudo-mots et du nombre d'éléments morphosyntaxiques correctement répétés, dans l'épreuve de répétition de phrases.

La tâche de **répétition de pseudo-mots** apporte des indications précieuses pour le diagnostic du TDL (Ahufinger et al., 2021). Les performances des participants sont cohérentes avec cette donnée car chacun avait un score pathologique ou faible (Evaleo 6-15, Launay et al., 2018) en première évaluation (T1). Cette tâche implique l'élaboration de représentations phonologiques fines et une capacité à reproduire une séquence de phonèmes à l'oral. L'une et/ou l'autre de ces compétences semblent avoir progressé significativement après le programme complet. Cela rejoint des résultats antérieurs concernant l'effet du rythme sur la phonologie. Bedoin et al. (2017) ont constaté une amélioration de la répétition de pseudo-mots après un entraînement grammatical de quelques semaines où des séquences musicales régulières étaient intercalées entre des exercices de grammaire, chez des enfants sourds implantés cochléaires. Flaugnacco et al. (2015) ont montré une meilleure lecture de pseudo-mots suite à un entraînement de 7 mois centré sur le rythme musical. Gué (2021) a aussi mis en avant des corrélations entre la production rythmique et la lecture et écriture de pseudo-mots. Les personnes ayant un TDL ont un traitement altéré des informations acoustiques (Richards & Goswami, 2019), dont une des causes serait une difficulté à synchroniser leurs oscillations à la récurrence des « rise time » (Corriveau et al., 2007). Les exercices du programme mobilisaient une synchronisation précise aux indices rythmiques, et proposaient des supports visuels pour aider. Stimuler cette compétence à travers des exercices non-verbaux semble permettre un transfert vers les traitements phonologiques.

Ensuite, l'amélioration du traitement **morphosyntaxique** dans l'épreuve de répétition de phrases complexes, après le programme complet, est cohérente avec les expériences montrant un effet d'amorçage rythmique musical bénéfique au traitement grammatical de phrases entendues, et notamment à la détection d'erreurs morphosyntaxiques (Bedoin, 2016, 2017 ; Ladányi, 2020 ; Przybylski, 2013 ; Schön & Tillmann, 2015) ou de violations syntaxiques (Gordon, 2016 ; Jentschke & Koelsch, 2009). La tâche de répétition de phrases, et surtout le nombre d'éléments morphosyntaxiques correctement répétés, est un autre moyen d'évaluer les compétences grammaticales (Pariisse & Maillart, 2013), mais peu d'études avaient testé sa sensibilité à un entraînement ou un amorçage rythmique. Cela présente pourtant l'intérêt d'évaluer le versant expressif de la morphosyntaxe, et le présent résultat est donc original. Il reste possible que le progrès résulte en partie de l'amélioration de la sensibilité aux éléments morphosyntaxiques lors de l'étape de perception, même si la tâche est expressive.

Pour rendre compte de l'effet de l'entraînement au rythme musical sur la grammaire, plusieurs aspects du traitement grammatical peuvent être évoqués. Tout d'abord, les éléments morphosyntaxiques sont souvent sur des syllabes non-accentuées (Gordon et al., 2015). Ce motif prosodique, couplé au traitement atypique du rythme de la parole par les enfants TDL (Guiraud, 2017), engendrerait une faible sensibilité aux erreurs de grammaire (Maillart &

Schelstraete, 2005). L'entraînement a pu accroître la précisions des traitements rythmiques et la synchronisation aux indices temporels, ce qui est utile pour ajuster l'attention à la récurrence des unités prosodiques, souvent porteuses d'informations sur la structure grammaticale des phrases. Cela peut avoir incité les enfants ayant un TDL à faire davantage de prédictions sur les marques d'accord morphosyntaxique à venir. Selon la Théorie de l'attention Dynamique (Jones & Boltz, 1989), la prévisibilité permet d'allouer les ressources attentionnelles de manière adaptée, sans doute ici pour un traitement plus fin des indices morphosyntaxiques.

Notons que les épreuves langagières qui ont suscité la plus grande amélioration sont des tâches de répétition. Il se peut donc que l'entraînement rythmique ait amélioré la mémoire auditivo-verbale à court terme, généralement faible en cas de TDL (Maillart, 2018), facilitant alors l'encodage des phonèmes et une répétition exacte des stimuli, même non lexicaux.

Enfin, de légères améliorations sont survenues en **lecture** de texte signifiant, de T1 à T4, mais l'effet reste de petite taille pour ce transfert vers une tâche non seulement verbale mais aussi visuelle. En lecture de texte non signifiant, seul l'entraînement dynamique tendait à améliorer la précision et cela ne suffisait pas à produire un effet entre T1 et T4. L'hypothèse d'un transfert de compétence vers la lecture a donc peu d'arguments en sa faveur.

Toujours dans une tâche visuelle, l'**attention** (test du d2) a été très sensible à l'entraînement, avec une amélioration significative de la concentration. Les exercices sur les vidéos demandent une attention soutenue, pendant 6 à 10 minutes, ce qui a pu renforcer cette composante attentionnelle. Par ailleurs, le test d2 est aussi une épreuve de barrage qui requiert particulièrement le contrôle précis de l'attention temporelle telle que décrite dans le modèle OPERA (Tierne & Kraus, 2014). Pour réussir, il convient d'examiner chaque caractère séquentiellement et le faire en s'appuyant sur un rythme généré de façon interne est une bonne méthode. L'amélioration des performances pourrait être due au renforcement de cette capacité de génération et de maintien d'un rythme, grâce à l'entraînement.

Enfin, la réussite à l'**épreuve contrôle (reproduction de la localisation de jetons)** s'est améliorée entre T1 et T4. Cependant, cette variation ne peut être attribuée à l'entraînement rythmique, puisqu'un plus grand progrès a eu lieu entre T2 et T3 (période sans entraînement). Au contraire, les mesures relatives au traitement rythmique, au langage oral ou écrit et à l'attention n'ont pas évolué entre T2 et T3. Cela est favorable aux hypothèses car les effets semblent spécifiques à des mécanismes partagés avec l'entraînement suivi.

## 2.2 Effets de l'entraînement selon la condition (dynamique ou statique)

La **deuxième hypothèse** suggérait que l'entraînement engendrerait plus de progrès en condition dynamique qu'en condition statique. Celle-ci est confortée par quelques résultats,

car jamais l'entraînement en condition statique ne produisait un effet de taille aussi grande qu'en condition dynamique. Par exemple, en **répétition de pseudo-mots**, la condition dynamique a eu un effet bénéfique légèrement supérieur à la condition statique. Il en était de même pour le nombre d'éléments morphosyntaxiques répétés en **répétition de phrases** et pour la **conscience phonologique** (suppression de phonème). En modalité visuelle, la **lecture** de texte signifiant, et surtout non signifiant, tendait à gagner en précision seulement après l'entraînement dynamique. De même, la **concentration** dans le test d'attention visuelle impliquant le contrôle de l'attention temporelle (d2) augmentait seulement si l'entraînement avait été accompagné de mouvements synchronisés. Cet ensemble d'éléments est en faveur de l'hypothèse d'une augmentation de l'effet bénéfique de la perception d'un rythme audio-visuel s'il est accompagné de mouvements synchronisés de la part du patient. Le système sensori-moteur est alors vraisemblablement plus sollicité et son rôle déterminant pour le traitement de la musique et du langage, souligné par le modèle PRISM (Fiveash et al., 2021), devient peut-être plus systématique pour les traitements linguistiques.

L'effet souvent de plus grande taille de l'entraînement en condition dynamique est cohérent avec les résultats d'autres expériences (Gavanon et al, 2017). La perception d'un battement activerait des aires du système cérébral moteur, même en l'absence de mouvement (Patel & Iversen, 2014). Toutefois, comme les enfants ayant un TDL présentent un déficit de la synchronisation motrice à un rythme (Corriveau & Goswami, 2009), l'implication du système moteur a sans doute besoin d'un autre support pour s'affirmer. La condition dynamique l'offre en engageant directement les mouvements de l'enfant et en exigeant un contrôle temporel précis des gestes. Selon le modèle *Action Simulation for Auditory Prediction* (ASAP, Patel & Iversen, 2014), faire un mouvement en rythme et activer ainsi le système moteur faciliterait la prédiction de la pulsation à venir. Les éléments visuels se déplaçant en rythme à l'écran ont aussi pu constituer un support complémentaire, et des amorces rythmiques audio-visuelles se sont montrées parfois plus efficaces que des amorces auditives (Su, 2014). Chez le bébé, par exemple, le rythme est mieux perçu s'il est présenté à plusieurs canaux sensoriels (Provasi, 2015). Pour ces différentes raisons, l'utilisation de mouvements ajustés peut être encouragée au cours d'exercices rythmiques, dans le but d'améliorer les traitements auditifs temporels.

### 3. Limites et perspectives

L'expérience menée présente plusieurs limites relatives aux participants, au protocole d'évaluation et au programme d'entraînement.

**Un échantillon à améliorer.** L'échantillon testé était de petite taille (8 à 9 enfants), correspondant au nombre minimum nécessaire pour utiliser le test de Wilcoxon sur les données. Il s'agit donc ici d'une étude pilote pour laquelle l'acquisition de données

complémentaires s'impose avant de tirer des conclusions fiables. Par ailleurs, l'échantillon était hétérogène sur le plan des troubles associés. Les difficultés de recrutement et les désistements en cours d'étude (4) ont en effet conduit à assouplir les critères. Cette hétérogénéité est sans doute assez représentative des enfants atteints de TDL rencontrés en orthophonie. Cependant, sur le plan scientifique, un échantillon plus homogène excluant davantage les comorbidités et contrôlant des paramètres comme le niveau socio-culturel et la sévérité du TDL permettrait de conclure plus directement au sujet du TDL. L'échantillon comportait aussi plus de filles que de garçons, ce qui est l'inverse de la prévalence du TDL. La poursuite de l'étude pourrait veiller à constituer un groupe respectant le ratio de 8 garçons pour 6 filles (Tomblin et al., 1997) pour mieux représenter cette pathologie.

**Manque de disponibilité de tests adaptés aux âges des participants.** La conception de l'étude s'est aussi heurtée au manque de tests destinés aux plus jeunes ou aux plus âgés de notre groupe de participants, pour évaluer certaines compétences. La poursuite de l'étude pourrait restreindre la tranche d'âge à celui pour lequel des normes sont disponibles pour les tests. Parfois, il n'y avait pas d'étalonnage pour les plus jeunes. Par exemple, le test du d2 n'est étalonné qu'à partir de 9 ans. Le test de lecture de texte signifiant et le test de suppression du phonème final de la BALE, ne sont quant à eux étalonnés que jusqu'au CM2 (environ 11 ans). Toutefois, dans les données de l'expérience, il n'y a eu ni effet plafond ni effet plancher, ce qui est rassurant concernant le choix des épreuves en termes d'adaptation au niveau de nos participants. De plus, l'utilisation de l'épreuve DeltaText, dont les normes sont étendues, était destinée à dépasser cette limite pour la lecture. Les épreuves de lecture se sont aussi avérées adaptées, malgré le problème des normes, car elles étaient difficiles même pour les plus âgés, ce qui rendait pertinente la comparaison des données des patients de plus de 11 ans au tableau de scores de CM2. Cette limite liée aux normes est aussi à relativiser, car ici il s'agissait surtout de comparer les patients à eux-mêmes avant et après l'entraînement.

**Limites liées à l'effet de répétition des tests.** L'effet test-retest est un autre biais qui a pu avoir une influence sur les résultats de cette expérience. Les passations des tests étaient rapprochées dans le temps (3 semaines d'écart pour les tests pré- et post-entraînement et 2 semaines d'écart avant et après la période de wash-out) et un effet d'apprentissage a pu se produire. À l'inverse, il est aussi possible que la répétition rapprochée des tests ait induit une baisse de motivation des enfants et une diminution de leurs performances. Cet aspect a été partiellement contrôlé : aucune évolution n'a été mesurée entre T2 et T3, témoignant de l'absence de progrès entre 2 passations consécutives de même test sans entraînement entre les deux : cela a été considéré comme une indication sur l'effet test-retest. Notons toutefois qu'il ne s'agit que d'une indication, et non d'une mesure indiscutable. Une absence de différence entre les performances à T2 et T3 pouvait en partie s'expliquer par le maintien d'un

bénéfice apporté par l'entraînement réalisé entre T1 et T2. Pour limiter le problème de répétition des tests, un critère de choix des épreuves était leur faible sensibilité à la répétition : c'est le cas du test d2 et de DeltaText où 4 textes différents sont utilisés. Un plus long délai de wash-out serait une solution partielle au problème de répétition des tests.

**Limites liées à la durée de l'expérience.** La courte durée de l'entraînement proposé est une autre limite. La totalité de l'entraînement s'effectuait sur deux périodes de trois semaines, soit un mois et demi au total et chaque séance durait 6 à 10 mn. Proposer un entraînement bref faisait partie des défis à relever. Bien que ce programme paraisse bref aux yeux d'un adulte, les parents ont indiqué qu'il leur paraissait important de ne pas allonger la durée des séances, car maintenir l'attention de leur enfant au-delà de 10 mn était difficile. Il est possible qu'un entraînement plus long, sur plusieurs mois, tel que l'ont proposé Flaugnacco et al. (2015, entraînement de 7 mois), Degé & Schwarzer (2011, entraînement de 5 mois) ou Bonacina et al. (2015, entraînement de plus de 2 mois) permette une amélioration plus intense et un plus large transfert de compétences. Ces interventions rythmiques plus longues ont produit des effets significatifs sur le langage écrit ou oral. S'il comportait plus d'exercices pour être conduit quelques semaines de plus, l'entraînement aurait peut-être été plus efficace. Il s'agit d'une piste à explorer car des effets sur le jugement grammatical et la compréhension de phrases sont attendus et ne se sont pas produits dans l'expérience.

Il se peut aussi qu'une période de wash-out plus longue donne lieu à des résultats plus spécifiques à chaque condition d'entraînement. Une autre configuration possible du protocole serait de proposer un entraînement d'environ la même durée, mais qui serait plus intensif (e.g., 5 fois par semaine, voire tous les jours). Cela semble difficile à mettre en pratique par les familles, du fait de leur emploi du temps souvent chargé et des multiples préoccupations au quotidien, mais pourrait être suggérée en milieu scolaire. En effet, 3 enfants de l'école Cérène ont participé grâce aux enseignants et aux surveillants, qui ont aménagé l'entraînement sur le temps scolaire, et les retours de leur part ont été très positifs. Ainsi, plutôt que d'être une charge supplémentaire pour les parents, l'entraînement est inclus dans la journée de l'enfant, sans entraver ses cours. Cet aménagement serait d'autant plus pertinent que les enfants TDL ont généralement moins de temps extra-scolaire que les enfants sans pathologie, à cause des rendez-vous destinés à la remédiation du trouble (soutien scolaire, orthophonie).

**Limites liées à la forme des exercices du programme.** Des critiques sont aussi possibles concernant l'aspect des exercices présentés en vidéo et les modalités sensorielles sollicitées pendant l'entraînement, car ils ont pu avoir un effet sur les données recueillies. Tout d'abord, le programme avait été conçu pour être utilisé par de jeunes enfants (4 à 7 ans) qui bégayaient (Raillard, 2022). La présente expérience auprès d'enfants atteints de TDL et plus âgés que le

public visé au départ permet de préciser les adaptations possibles aux sujets plus âgés (eg. un thème plus attractif, des consignes moins infantilisantes).

Ensuite, l'entraînement se faisait par le visionnage de vidéos. De ce fait, il était multimodal (visuel et auditif) et non consacré purement au traitement auditif. Il était envisagé que les connexions sensori-motrices, stimulées de manière plurielles, renforcent les compétences de traitement rythmique partagées par la perception de la musique et du langage. Les vidéos comportaient de nombreux indices visuels, rythmiquement ajustés au son de la musique, ce qui différencie cet entraînement de la plupart des interventions rythmiques publiées dans la littérature. Les rares expériences présentant une amorce rythmique visuelle ou audio-visuelle ont débouché sur des résultats non concordants. Une amorce musicale accompagnée d'un personnage animé s'accroupissant et se relevant en synchronie avec la pulsation a accru l'effet bénéfique de l'amorce musicale rythmique avant une tâche de jugement de rythmes musicaux (Su, 2014). Un personnage dansant de manière plus fluide et réaliste en rythme avec une amorce musicale a par contre détérioré le jugement grammatical par rapport à une amorce strictement musicale chez des enfants et des adultes (Fiveash et al., 2022). Toutefois, d'autres données suggèrent un effet possible de la part d'amorces rythmiques visuelles : le dévoilement progressif d'une image à un rythme régulier, en silence, améliore le jugement grammatical chez des enfants sans pathologie (Chabat, 2018) s'il est régulier dans le temps et l'espace (i.e. permet des anticipations spatio-temporelles), mais le détériore chez des enfants atteints d'épilepsie (Gavanon et al., 2017). Des données obtenues avec le présent programme, auprès de 5 enfants qui bégaiement montrent aussi un effet positif de l'entraînement rythmique audio-visuel sans mouvement (condition statique) de la part de l'enfant (Ramos, 2023). Les recherches conduites actuellement dans l'équipe au sein de laquelle ce projet a été conduit pourraient bientôt permettre d'en savoir plus sur la manière efficace d'utiliser la modalité visuelle pour stimuler les traitements rythmiques. L'aide apportée par la condition statique pourrait s'expliquer par le fait que les indices visuels étaient prédictibles sur les plans temporel et spatial, stimulant donc doublement les anticipations et la synchronisation du système sensori-moteur. Cette aide paraît plus nette en cas de bégaiement que de TDL. L'obtention d'un effet plus bénéfique de l'entraînement s'il impliquait la synchronisation gestuelle des enfants TDL, ou des enfants qui bégaiement (Ramos, 2023) encouragent à penser que l'ajout de mouvements de la part du spectateur est utile pour renforcer l'entraînement rythmique audio-visuel. Il renforce sans doute les habitudes d'anticipation et de synchronisation, et engage davantage les composantes motrices des réseaux cérébraux impliqués dans les traitements temporels. Approfondir cette piste serait pertinent aussi du fait que les enfants TDL semblent utiliser l'étayage de la « prosodie visuelle » pour s'aider dans le traitement de la parole (Cumming et al., 2015). Ainsi, le rythme audio-visuel constitue une

perspective intéressante pour de futurs entraînements rythmiques. Il existe d'ailleurs des activités en groupe où le rythme est véhiculé par des déplacements et des éléments visuels, comme la chorale (e.g. mouvements articulatoires) ou les percussions. Elles pourraient être conseillées en complément des prises en charge classiques.

***Comment envisager l'usage clinique d'un tel programme ?*** Le programme a été suivi en autonomie par les enfants, accompagnés de leurs parents ou d'un surveillant. Bien que nous ayons mis en place un journal de bord pour assurer un certain suivi et encourager à l'assiduité, il est difficile de s'assurer de la fiabilité des informations indiquées. L'autonomie laissée pour cet entraînement est pourtant un levier intéressant car il pourrait favoriser l'alliance thérapeutique avec l'enfant et sa famille, en les rendant partenaires responsables du soin. Les entraînements rythmiques, comme celui testé ici, pourraient être utilisés en complément des rééducations orthophoniques centrées sur le langage. Réaliser des tâches rythmiques en autonomie, sans l'aspect anxiogène du langage, pourrait renforcer des compétences cognitives sous-jacentes à la parole et à la lecture, telles que l'attention temporelle, la concentration ou la mémoire auditive. Les remédiations non-verbales peuvent être une perspective alternative intéressante, notamment pour les enfants très peu sûrs d'eux en langage. Promouvoir le recours aux exercices de rythme entre les séances de rééducation pourrait aussi favoriser la motivation et l'intérêt de l'enfant pour son soin.

## **V. Conclusion**

Dans la continuité des recherches existantes, cette étude avait pour objectif de mettre en lumière les probables effets bénéfiques du rythme musical sur le traitement langagier d'enfants TDL. Les signaux de parole et de musique sont comparables à différents niveaux, notamment pour leur rythme, et provoquent des activations neuronales dans certaines aires cérébrales communes. Le rythme musical se distingue cependant de celui de la parole par sa régularité saillante, repérable à l'« oreille nue » et la grande finesse d'analyse qu'il exige du système auditif. Cette particularité en fait un outil attractif comme support de remédiation en orthophonie.

L'étude présentée ici apporte quelques éléments encourageant en ce sens, pour des enfants atteints de TDL. Le programme d'entraînement rythmique non-verbal et audio-visuel élaboré par Alix Raillard (2022) a été utilisé et s'est avéré bénéfique au traitement du rythme musical, mais aussi dans des domaines non entraînés, mais engageant des mécanismes d'attention temporelle. La portée des résultats est faible car l'échantillon est petit et la taille des effets souvent modeste, mais ils vont dans le sens d'un intérêt à mobiliser les mouvements synchronisés des enfants lors d'entraînements rythmiques, surtout s'ils sont destinés à les aider dans le domaine du langage ou de l'attention.

## Références

- Ahufinger, N., Berglund-Barraza, A., Cruz-Santos, A., Ferinu, L., Andreu, L., Sanz-Torrent, M., & Evans, J. L. (2021). Consistency of a Nonword Repetition Task to Discriminate Children with and without Developmental Language Disorder in Catalan–Spanish and European Portuguese Speaking Children. *Children*, 8(2), 85. <https://doi.org/10.3390/children8020085>
- Allan, L., Siegel, S., & Tangen, J. (2005). A signal detection analysis of contingency data. *Learning & behavior*, 33, 250-263. <https://doi.org/10.3758/BF03196067>
- Alt, M., & Plante, E. (2006). Factors that influence lexical and semantic fast mapping of young children with specific language impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 49(5), 941-954. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2006/068\)](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2006/068))
- American Psychiatric Association (APA). (2003). *DSM-IV-TR Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (4e éd). Elsevier Masson.
- American Psychiatric Association (APA). (2015). *DSM-V Manuel diagnostique et statistique des troubles mentaux* (5e éd). Elsevier Masson.
- Bedoin, N., Brisseau, L., Molinier, P., Roch, D., & Tillmann, B. (2016). Temporally Regular Musical Primes Facilitate Subsequent Syntax Processing in Children with Specific Language Impairment. *Frontiers in Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00245>
- Bedoin, N., Besombes, A.-M., Escande, E., Dumont, A., Lalitte, P., & Tillmann, B. (2017). Boosting syntax training with temporally regular musical primes in children with cochlear implants. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61(6), 365-371. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.03.004>
- Bengtsson, S. L., Ullén, F., Henrik Ehrsson, H., Hashimoto, T., Kito, T., Naito, E., Forsberg, H., & Sadato, N. (2009). Listening to rhythms activates motor and premotor cortices. *Cortex*, 45(1), 62-71. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2008.07.002>
- Bidelman, G. M., Weiss, M. W., Moreno, S., & Alain, C. (2014). Coordinated plasticity in brainstem and auditory cortex contributes to enhanced categorical speech perception in musicians. *The European Journal of Neuroscience*, 40(4), 2662-2673. <https://doi.org/10.1111/ejn.12627>
- Bishop, D. V. M., Snowling, M. J., Thompson, P. A., Greenhalgh, T., & the CATALISE-2 consortium. (2017). Phase 2 of CATALISE: A multinational and multidisciplinary

Delphi consensus study of problems with language development: Terminology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 58(10), 1068-1080. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12721>

Bonacina, S., Cancer, A., Lanzi, P. L., Lorusso, M. L., & Antonietti, A. (2015). Improving reading skills in students with dyslexia : The efficacy of a sublexical training with rhythmic background. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01510>

Bourdin, B., Ibernou, L., Le Driant, B., Levrez, C., & Vandromme, L. (2016). Troubles morphosyntaxiques chez l'enfant sourd et chez l'enfant dysphasique : Similarités et spécificités. *Revue de neuropsychologie*, 8(3), 161-172. <https://doi.org/10.3917/rne.083.0161>

Bourque, J., Blais, J.-G., & Larose, F. (2009). L'interprétation des tests d'hypothèses : P, la taille de l'effet et la puissance. *Revue des sciences de l'éducation*, 35, 211-226. <https://doi.org/10.7202/029931ar>

Caccia, M., & Lorusso, M. L. (2021). The processing of rhythmic structures in music and prosody by children with developmental dyslexia and developmental language disorder. *Developmental Science*, 24(1), e12981. <https://doi.org/10.1111/desc.12981>

Cantiani, C., Riva, V., Piazza, C., Bettoni, R., Molteni, M., Choudhury, N., Marino, C., & Benasich, A. A. (2016). Auditory discrimination predicts linguistic outcome in Italian infants with and without familial risk for language learning impairment. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 20, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2016.03.002>

Cantiani, C., Ortiz-Mantilla, S., Riva, V., Piazza, C., Bettoni, R., Musacchia, G., Molteni, M., Marino, C., & Benasich, A. A. (2019). Reduced left-lateralized pattern of event-related EEG oscillations in infants at familial risk for language and learning impairment. *NeuroImage : Clinical*, 22, 101778. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2019.101778>

Cason, N., Hidalgo, C., Isoard, F., Roman, S., & Schön, D. (2015). Rhythmic priming enhances speech production abilities : Evidence from prelingually deaf children. *Neuropsychology*, 29(1), 102-107. <https://doi.org/10.1037/neu0000115>

Chabat, C. (2018, dir. N. Bedoin). *Amorçage visuel rythmique avec anticipations temporelle et spatiale sur le traitement grammatical de phrases parlées chez les étudiants*

*dyslexiques*. Mémoire de Master 2 de Psychologie de l'Éducation et de la Formation. Université Lyon 2.

- Chandrasekaran, C., Trubanova, A., Stillitano, S., Caplier, A., & Ghazanfar, A. A. (2009). The Natural Statistics of Audiovisual Speech. *PLoS Computational Biology*, 5(7), e1000436. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1000436>
- Choudhury, N., Leppanen, P. H. T., Leevers, H. J., & Benasich, A. A. (2007). Infant information processing and family history of specific language impairment: Converging evidence for RAP deficits from two paradigms. *Developmental Science*, 10(2), 213-236. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2007.00546.x>
- Coady, J. A., & Evans, J. L. (2008). Uses and interpretations of non-word repetition tasks in children with and without specific language impairments (SLI). *International Journal of Language & Communication Disorders*, 43(1), 1-40. <https://doi.org/10.1080/13682820601116485>
- Corriveau, K., Pasquini, E., & Goswami, U. (2007). Basic Auditory Processing Skills and Specific Language Impairment: A New Look at an Old Hypothesis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 50(3), 647-666. [https://doi.org/10.1044/1092-4388\(2007\)046](https://doi.org/10.1044/1092-4388(2007)046)
- Corriveau, K., & Goswami, U. (2009). Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: Tapping to the beat. *Cortex*, 45(1), 119-130. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2007.09.008>
- Cumming, R., Wilson, A., & Goswami, U. (2015a). Basic auditory processing and sensitivity to prosodic structure in children with specific language impairments: A new look at a perceptual hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00972>
- Cumming, R., Wilson, A., Leong, V., Colling, L. J., & Goswami, U. (2015b). Awareness of Rhythm Patterns in Speech and Music in Children with Specific Language Impairments. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00672>
- Degé, F., & Schwarzer, G. (2011). The Effect of a Music Program on Phonological Awareness in Preschoolers. *Frontiers in Psychology*, 2. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00124>
- Dilley, L. C., Mattys, S. L., & Vinke, L. (2010). Potent prosody: Comparing the effects of distal prosody, proximal prosody, and semantic context on word segmentation. *Journal of*

*Memory and Language*, 63(3), 274-294. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2010.06.003>

- Eadie, P., Conway, L., Hallenstein, B., Mensah, F., McKean, C., & Reilly, S. (2018). Quality of life in children with developmental language disorder : Quality of life in children with DLD. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 53(4), 799-810. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12385>
- Fiveash, A., Bedoin, N., Gordon, R. L., & Tillmann, B. (2021). Processing rhythm in speech and music : Shared mechanisms and implications for developmental speech and language disorders. *Neuropsychology*, 35(8), 771-791. <https://doi.org/10.1037/neu0000766>
- Fiveash, A., Burger, B., Canette, L-H., Bedoin, N., & Tillmann, B. (2022). When visual cues do not help the beat: Evidence for a detrimental effect of moving point-light figures on rhythmic priming. 13:807987 *Frontiers in Psychology*. <https://doi:10.3389/fpsyg.2022.807987>
- Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Montico, M., Zoia, S., & Schön, D. (2015). Music Training Increases Phonological Awareness and Reading Skills in Developmental Dyslexia : A Randomized Control Trial. *PLOS ONE*, 10(9), e0138715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0138715>
- François, C., Chobert, J., Besson, M., & Schon, D. (2013). Music Training for the Development of Speech Segmentation. *Cerebral Cortex*, 23(9), 2038-2043. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs180>
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Large, E. W., & Ross, B. (2012). Internalized Timing of Isochronous Sounds Is Represented in Neuromagnetic Beta Oscillations. *Journal of Neuroscience*, 32(5), 1791-1802. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4107-11.2012>
- Gathercole, S. & Baddeley, A. (1990). Phonological memory deficits in language disordered children: Is there a causal connection? *Journal of Memory and Language*, 29(3), 336-360. [https://doi.org/10.1016/0749-596X\(90\)90004-J](https://doi.org/10.1016/0749-596X(90)90004-J)
- Gavanon, M., Abadie, R., Ilski Lecoanet, F., Florin, C., Tillmann, B., B., Panagiotakaki, E., De Bellescize, J., Keo-Kosal, P., Ostrowsky-Coste, K., Montavont, A., Arzimanoglou, A., Bedoin, N. (2017). Effects of regular auditory or auditory-visual rhythmic primes on syntax processing in childhood idiopathic epilepsy. *European Journal of Paediatric Neurology*, 2017, 21: 106
- Good, A., Gordon, K. A., Papsin, B. C., Nespoli, G., Hopyan, T., Peretz, I., & Russo, F. A.

- (2017). Benefits of Music Training for Perception of Emotional Speech Prosody in Deaf Children With Cochlear Implants. *Ear and Hearing*, 38(4), 455-464. <https://doi.org/10.1097/AUD.0000000000000402>
- Gordon, R. L., Jacobs, M. S., Schuele, C. M., & McAuley, J. D. (2015). Perspectives on the rhythm-grammar link and its implications for typical and atypical language development: Rhythm, grammar, and language development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 16-25. <https://doi.org/10.1111/nyas.12683>
- Goswami, U. (2011a). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, 15(1), 3-10. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.10.001>
- Goswami, U., Wang, H.-L. S., Cruz, A., Fosker, T., Mead, N., & Huss, M. (2011b). Language-universal Sensory Deficits in Developmental Dyslexia: English, Spanish, and Chinese. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(2), 325-337. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21453>
- Gourévitch, B. (2020). Comment le cerveau décode-t-il la musique ? *Cahiers de l'audition*, 6. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03435698>
- Grahn, J. A., & McAuley, J. D. (2010). Neural bases of individual differences in beat perception. *NeuroImage*, 47(4), 1894-1903. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.04.039>
- Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2013). Finding and Feeling the Musical Beat: Striatal Dissociations between Detection and Prediction of Regularity. *Cerebral Cortex*, 23(4), 913-921. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs083>
- Grube, M., Cooper, F. E., Chinnery, P. F., & Griffiths, T. D. (2010). Dissociation of duration-based and beat-based auditory timing in cerebellar degeneration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(25), 11597-11601. <https://doi.org/10.1073/pnas.0910473107>
- Guiraud, H. (2017). *Symphonie des oscillations cérébrales lors de la perception de la parole : Études comportementale et en magnétoencéphalographie chez les enfants neurotypiques et dysphasiques* [Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2]. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01887759/document>
- Heim, S., Friedman, J. T., Keil, A., & Benasich, A. A. (2011). Reduced Sensory Oscillatory Activity during Rapid Auditory Processing as a Correlate of Language-Learning Impairment. *Journal of neurolinguistics*, 24(5), 539-555. <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2010.09.006>

- Hill, E. L. (2001). Non-specific nature of specific language impairment: A review of the literature with regard to concomitant motor impairments. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 36(2), 149-171. <https://doi.org/10.1080/13682820010019874>
- Huss, M., Verney, J. P., Fosker, T., Mead, N., & Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 47(6), 674-689. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2010.07.010>
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96(3), 459-491. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.96.3.459>
- Kan, P. F., & Windsor, J. (2010). Word learning in children with primary language impairment: A meta-analysis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 53(3), 739-756.
- Koch, G., Oliveri, M., & Caltagirone, C. (2009). Neural networks engaged in milliseconds and seconds time processing: Evidence from transcranial magnetic stimulation and patients with cortical or subcortical dysfunction. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1907-1918. <https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0018>
- Ladányi, E., Lukács, Á., & Gervain, J. (2021). Does rhythmic priming improve grammatical processing in Hungarian-speaking children with and without developmental language disorder? *Developmental Science*, 24(6). <https://doi.org/10.1111/desc.13112>
- Large, E. W., & Snyder, J. S. (2009). Pulse and Meter as Neural Resonance. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 46-57. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04550.x>
- Leong V, Goswami U (2015) Acoustic Emergent Phonology in the Amplitude Envelope of Child-Directed Speech. *PLoS ONE* 10(12), e0144411. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144411>
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. S. (1996). *A Generative Theory of Tonal Music, reissue, with a new preface*. MIT Press.
- Levy, H., & Friedmann, N. (2009). Treatment of syntactic movement in syntactic SLI: A case study. *First Language*, 29(1), 15-49. <https://doi.org/10.1177/0142723708097815>

- Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003). Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement : Evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 250-255. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(03\)00036-9](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(03)00036-9)
- Magne, C., Astesano, C., Aramaki, M., Ystad, S., Kronland-Martinet, R., & Besson, M. (2007). Influence of Syllabic Lengthening on Semantic Processing in Spoken French : Behavioral and Electrophysiological Evidence. *Cerebral Cortex*, 17(11), 2659-2668. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhl174>
- Maillart, C. (2018). *Chapitre 4. L'apprentissage du langage chez les enfants présentant un trouble développemental du langage (TDL)*. De Boeck Supérieur. <https://www.cairn.info/neuropsychologie-de-l-enfant--9782807320895-page-68.html>
- Maillart, C., & Schelstraete, M.-A. (2005). Grammaticality judgment in French-speaking children with specific language impairment. *Journal of Multilingual Communication Disorders*, 3. <https://doi.org/10.1080/14769670500066479>
- Marshall, C. R., Harcourt-Brown, S., Ramus, F., & van der Lely, H. K. J. (2009). The link between prosody and language skills in children with specific language impairment (SLI) and/or dyslexia. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 44(4), 466-488. <https://doi.org/10.1080/13682820802591643>
- McGregor, K., Oleson, J., Bahnsen, A., Duff, D. (2013). Children with Developmental Language Impairment Have Vocabulary Deficits Characterized by Limited Breadth and Depth. *International Journal of Language and Communication Disorders*, 48(3), 307–319. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12008>.
- Merchant, H., Zarco, W., Pérez, O., Prado, L., & Bartolo, R. (2011). Measuring time with different neural chronometers during a synchronization-continuation task. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19784-19789. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112933108>
- Michon, J. A. (1985). The Complete Time Experiencer. In J. A. Michon & J. L. Jackson (Éds.), *Time, Mind, and Behavior* (p. 20-52). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-70491-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-642-70491-8_2)
- Miller, C. A., Leonard, L. B., & Finneran, D. (2008). Grammaticality judgments in adolescents with and without language impairment. *International journal of language & communication disorders / Royal College of Speech & Language Therapists*, 43(3), 346-360. <https://doi.org/10.1080/13682820701546813>

- Moritz, C., Yampolsky, S., Papadelis, D., Thomson, J., Wolf, M. (2013). Links between early rhythm skills, musical training and phonological awareness. *Reading and writing*, 26, 739-769. <https://doi.org/10.1007/s11145-012-9389-0>
- Nation, K. (2014). Lexical learning and lexical processing in children with developmental language impairments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1634), 20120387. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0387>
- Nayak, S., Coleman, P. L., Ladányi, E., Nitin, R., Gustavson, D. E., Fisher, S., Magne, C. L., & Gordon, R. L. (2021). *The Musical Abilities, Pleiotropy, Language, and Environment (MAPLE) Framework for Understanding Musicality-Language Links Across the Lifespan* [Preprint]. PsyArXiv. <https://doi.org/10.31234/osf.io/nrge6>
- Norbury, C. F., Gooch, D., Baird, G., Charman, T., Simonoff, E., & Pickles, A. (2016). Younger children experience lower levels of language competence and academic progress in the first year of school: Evidence from a population study. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 57(1), 65-73. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12431>
- Novogrodsky, R., & Friedmann, N. (2009). The production of relative clauses in syntactic SLI : A window to the nature of the impairment. *International Journal of Speech-Language Pathology*, 8, 364-375. <https://doi.org/10.1080/14417040600919496>
- Overy, K., Fawcett, A., Clarke, E., & Nicolson, R. (2003). Dyslexia and Music : Measuring Musical Timing Skills. *Annals of the New York Academy of Sciences*. <https://nyaspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1196/annals.1284.060>
- Parisse, C., & Maillart, C. (2004). Le développement morphosyntaxique des enfants présentant des troubles de développement du langage : Données francophones. *Enfance*, 56(1), 20-35. Cairn.info. <https://doi.org/10.3917/enf.561.0020>
- Parisse, C., & Maillart, C. (2013). Les troubles du developpement de la morphosyntaxe : Deficit linguistique ou consequence de troubles non specifique du langage? *Peeters Publishers*, 138, 4-8.
- Patel, A. D. (2003). Rhythm in language and music. Parallels and differences. Dans Avanzini, G., Faienza, C., Minciocchi, D., Lopez, L. & Majno, M. (Dir.), *The neurosciences and music* (pp. 140–143). New York Academy of Sciences.
- Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech ? The OPERA hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 2(142), 14.
- Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2014). The evolutionary neuroscience of musical beat

- perception: The Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8(57). <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00057>
- Penhune, V. B. (1998). *The neural basis of human auditory rhythm perception and production*. [Thèse de doctorat, McGill University]. <https://escholarship.mcgill.ca/concern/theses/gq67js931>
- Provasi, J. (2015). Comment le rythme vient aux bébés ? *Spirale*, 76(4), 50-63. <https://doi.org/10.3917/spi.076.0050>
- Przybylski, L., Bedoin, N., Krifi-Papoz, S., Herbillon, V., Roch, D., Léculier, L., Kotz, S. A., & Tillmann, B. (2013). Rhythmic auditory stimulation influences syntactic processing in children with developmental language disorders. *Neuropsychology*, 27(1), 121-131. <https://doi.org/10.1037/a0031277>
- Raillard, A. (2022). *Création d'un outil numérique d'entraînement des capacités rythmiques à destination d'enfants qui bégaiant âgés de 4 à 6 ans 11 mois*. [Mémoire d'orthophonie, Université Claude Bernard Lyon 1].
- Ramos, A. (2023). *Effets d'un programme d'entraînement au rythme musical sur la fluidité de parole de jeunes enfants qui bégaiant*. [Mémoire d'orthophonie, Université Claude Bernard Lyon 1]
- Ramus, F. (1999). *Rythme des langues et acquisition du langage* [Thèse de doctorat, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales]. *Neurons and Cognition*.
- Reuterskiold, C., Sahlen, B., & Nyman, A. (2006). Non-word repetition and non-word discrimination in Swedish preschool children. *Clinical linguistics & phonetics*, 19, 681-699. <https://doi.org/10.1080/02699200400000343>
- Rice, M. L., & Bode, J. V. (1993). GAPS in the verb lexicons of children with specific language impairment. *First Language*, 13, 113-131. <https://doi.org/10.1177/014272379301303707>
- Rice, M. L., Oetting, J. B., Marquis, J., Bode, J., & Pae, S. (1994). Frequency of Input Effects on Word Comprehension of Children With Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 37(1), 106-122. <https://doi.org/10.1044/jshr.3701.106>
- Richards, S., & Goswami, U. (2019). Impaired Recognition of Metrical and Syntactic Boundaries in Children with Developmental Language Disorders. *Brain Sciences*, 9(2), 33. <https://doi.org/10.3390/brainsci9020033>

- Rogalsky, C., Rong, F., Saberi, K., & Hickok, G. (2011). Functional Anatomy of Language and Music Perception: Temporal and Structural Factors Investigated Using Functional Magnetic Resonance Imaging. *Journal of Neuroscience*, 31(10), 3843-3852. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4515-10.2011>
- Schön, D., & Tillmann, B. (2015). Short- and long-term rhythmic interventions : Perspectives for language rehabilitation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1337(1), 32-39. <https://doi.org/10.1111/nyas.12635>
- Soderstrom, M., Seidl, A., Kemler Nelson, D.G., Jusczyk, P.W. (2003). The prosodic bootstrapping of phrases: Evidence from prelinguistic infants. *Journal of Memory and Language*, 49(2), 249-267. [https://doi.org/10.1016/S0749-596X\(03\)00024-X](https://doi.org/10.1016/S0749-596X(03)00024-X)
- Sullivan, G. M., & Feinn, R. (2012). Using Effect Size—Or Why the P Value Is Not Enough. *Journal of Graduate Medical Education*, 4(3), 279-282. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-12-00156.1>
- Su, Y.-H. (2014). Visual enhancement of auditory beat perception across auditory interference levels. *Brain and Cognition*, 90(Suppl. C), 19–31. doi: 10.1016/j.bandc.2014.05.003
- Sylvestre, A., Brisson, J., Lepage, C., Nadeau, L., & Deaudelin, I. (2016). Social participation of children age 8–12 with SLI. *Disability and Rehabilitation*, 38(12), 1146-1156. <https://doi.org/10.3109/09638288.2015.1074730>
- Tan, E. Y. P., & Shoemark, H. (2015). Case Study : The Feasibility of Using Song to Cue Expressive Language in Children with Specific Language Impairment. *Music Therapy Perspectives*, miv039. <https://doi.org/10.1093/mtp/miv039>
- Teki, S. (2014). Beta drives brain beats. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 8, 155. <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00155>
- Thaut, M. H., McIntosh, K. W., McIntosh, G. C., & Hoemberg, V. (2001). Auditory rhythmicity enhances movement and speech motor control in patients with Parkinson's disease. *Functional Neurology*, 16(2), 163-172.
- Thollon, M. (2013). Orientation spatiale et groupement perceptif : développement atypique chez des enfants dyslexiques [Mémoire de Master 2 en Neuropsychologie, dir. N. Bedoin, Université de Reims]
- Tierney, A., & Kraus, N. (2014). Auditory-motor entrainment and phonological skills : Precise auditory timing hypothesis (PATH). *Frontiers in Human Neuroscience*, 8.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00949>

- Tillmann, B. (2012). Music and Language Perception : Expectations, Structural Integration, and Cognitive Sequencing. *Topics in Cognitive Science*, 4(4), 568-584. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01209.x>
- Tomblin, J. B., Records, N. L., Buckwalter, P., Zhang, X., Smith, E., & O'Brien, M. (1997). Prevalence of Specific Language Impairment in Kindergarten Children. *Journal of speech, language, and hearing research : JSLHR*, 40(6), 1245-1260.
- Tuller, L., Henry, C., Sizaret, E., & Barthez, M.-A. (2012). Specific language impairment at adolescence : Avoiding complexity. *Applied Psycholinguistics*, 33(1), 161-184. <https://doi.org/10.1017/S0142716411000312>
- Ullmann, M. & Van der Lely, H. (2001). Past tense morphology in specifically language impaired and normally developing children. *Language, Cognition and Neuroscience*, 2(16), 177-217. <https://doi.org/10.1080/01690960042000076>
- Ullman, M. T., & Pierpont, E. I. (2005). Specific Language Impairment is not Specific to Language : The Procedural Deficit Hypothesis. *Cortex*, 41(3), 399-433. [https://doi.org/10.1016/S0010-9452\(08\)70276-4](https://doi.org/10.1016/S0010-9452(08)70276-4)
- Vargha, A., & Delaney, H. D. (2000). A critique and improvement of the CL common language effect size statistics of McGraw and Wong. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 25(2), 101-132.
- Weber, C., Hahne, A., Friedrich, M., & Friederici, A. D. (2005). Reduced stress pattern discrimination in 5-month-olds as a marker of risk for later language impairment : Neurophysiological evidence. *Cognitive Brain Research*, 25(1), 180-187. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.05.007>
- Weinert, S. (1992). Deficits in acquiring language structure : The importance of using prosodic cues. *Applied Cognitive Psychology*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/acp.2350060607>
- Wong, P. C. M., Skoe, E., Russo, N. M., Dees, T., & Kraus, N. (2007). Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature neuroscience*, 10(4), 420-422. <https://doi.org/10.1038/nn1872>
- Zendel, B. R., Tremblay, C.-D., Belleville, S., & Peretz, I. (2015). The impact of musicianship on the cortical mechanisms related to separating speech from background noise. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 27(5), 1044-1059.

[https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00758](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00758)

Zion Golumbic, E. M., Poeppel, D., & Schroeder, C. E. (2012). Temporal Context in Speech Processing and Attentional Stream Selection : A Behavioral and Neural perspective. *Brain and language*, 122(3), 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.12.010>

## Sommaire des annexes

<b>Annexe A.</b> Plaquette d'information distribuée aux familles et orthophonistes lors de la phase de recrutement de participants .....	1
<b>Annexe B.</b> Validation du projet d'étude par le comité d'Éthique de la ComUE .....	2
<b>Annexe C.</b> Notice d'information destinée aux parents d'enfants participants à l'entraînement.....	3
<b>Annexe D.</b> Formulaire de consentement aux enregistrements audio et vidéo pouvant être réalisés durant l'étude .....	6
<b>Annexe E.</b> Notice explicative de l'expérience destinée aux enfant .....	8
<b>Annexe F.</b> Organigramme des phases du protocole et le nombre de participants à chacune d'elles.....	10
<b>Annexe G.</b> Epreuves de langage oral utilisées en phase de tests .....	11
<b>Annexe H.</b> Autres épreuves utilisées aux phases de tests .....	13
<b>Annexe I.</b> Liens des vidéos de l'entraînement.....	16
<b>Annexe J.</b> Musicogramme proposé à l'entraînement en condition dynamique .....	20
<b>Annexe K.</b> Journal de bord tenu par chaque participant et ses parents .....	21
<b>Annexe L.</b> Tableau présentant les épreuves proposées à chaque étape de test .....	22
<b>Annexe M.</b> Graphiques 1 présentant les résultats à l'épreuve de répétition de phrases et Graphique 2 résumant les tailles d'effet des étapes du protocole sur 5 mesures.....	23

**Annexe A.** Plaquette d'information distribuée aux familles et orthophonistes lors de la phase de recrutement de participants

## Entraînement rythmique pour des enfants ayant un Trouble du Langage Oral

En collaboration avec le laboratoire CRNL  
Sous la direction de l'enseignante-chercheuse Nathalie BEDOIN

Dans le cadre d'un mémoire d'orthophonie, nous sommes à la recherche de participants pour notre programme d'entraînement rythmique à destination d'enfants ayant un TDL.

### Quelques éléments de contexte :



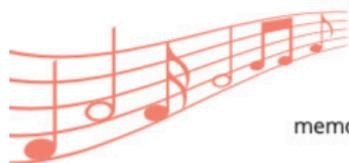
- Des études ont montré l'existence de liens entre le traitement du rythme et de la parole par le cerveau.
- Les enfants présentant un TDL présentent aussi une perception déficitaire du rythme et ont des performances plus faibles que la norme dans des exercices de reproduction rythmique.
- Il est très probable que l'entraînement des capacités rythmiques soit bénéfique pour le traitement de la parole et améliore ainsi la compréhension/production du langage par les enfants.

**Objectif de notre étude :** mesurer les effets d'un entraînement des capacités rythmiques sur les compétences langagières (l'hypothèse étant que les enfants auraient de meilleurs résultats aux tests de langage après avoir suivi l'entraînement rythmique).

### Profil recherché :



- Enfant entre **6 et 12 ans**
- TDL (Trouble Développementale du Langage Oral)** diagnostiqué depuis au moins 2 mois par un(e) orthophoniste
- Enfant habitant Lyon ou ses alentours
- Enfant **n'ayant pas pratiqué de musique** pendant plus d'1 an



**Contactez-moi !**  
Eloïse Brittain  
memoire.rythme.tdl@gmail.com



### Le programme d'entraînement :

#### QUOI ?

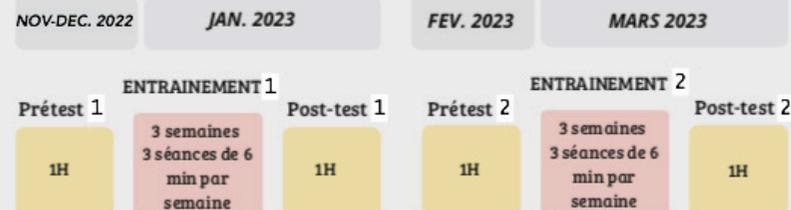


- 2 phases d'entraînement :** des exercices rythmiques à réaliser sur plusieurs séances de 6 minutes grâce à un support vidéo
- 4 tests** composés de tâches de langage et de rythme

#### OÙ ?

- Entraînements **à la maison**
- tests au **CRNL** (Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon)

#### QUAND ?



**Contactez-moi !**  
Eloïse Brittain  
memoire.rythme.tdl@gmail.com



## Annexe B. Validation du projet d'étude par le comité d'Éthique de la ComUE



Lyon, le jeudi 13 octobre 2022

Université de Lyon  
92, rue Pasteur  
CS 30122  
69361 Lyon Cedex 07  
France  
T +33 (0)4 37 37 26 70  
F +33 (0)4 37 37 26 71  
[Univ-lyon.fr](http://univ-lyon.fr)

Humbert de Fréminville,  
Président  
Comité d'éthique de la recherche de la ComUE Université de Lyon

à

À l'attention de Nathalie Bedoin  
Maîtresse de conférences  
Université Lyon 2

Dossier suivi par :  
Humbert de Fréminville  
Président  
[Cer-udl@univ-lyon.fr](mailto:Cer-udl@univ-lyon.fr)

Objet : avis Comité CER-UdL n° 2022-09-15-003

Titre du projet : Autorisation de captation et de traitement de la voix et de l'image dans l'étude intitulée : « Améliorer la fluence de la parole et les compétences grammaticales chez des enfants qui bégaièrent ou atteints de Trouble Développementale du Langage par une sensibilisation au rythme »

Chère Collègue,

Le CER-UdL a procédé à l'examen complémentaire de votre protocole de recherche.

La décision suivante a été rendue : **Avis favorable avec les observations ci-dessous.**

- Annexe A – Notice d'information parents non-opposition : au lieu de la formulation « Vous-même, ainsi que votre enfant, êtes libres de refuser à n'importe quel moment, sans encourir aucun préjudice de poursuivre l'étude. **Le fait de participer à cette étude vaut consentement** », il semble préférable d'écrire : « Le fait de participer à cette étude vaut consentement. Toutefois, vous-même, ainsi que votre enfant, êtes libre de refuser de poursuivre l'étude à n'importe quel moment, sans encourir aucun préjudice »
- Annexe A – Notice d'information parents non-opposition (2) : même remarque que précédemment.
- Annexe B – Notice d'information enfant de 9 à 11 ans :
  - o il est écrit « tu vas devenir très fort en musique », il conviendrait d'être plus prudent dans la formulation d'autant qu'il est indiqué « ensuite nous mesurerons si ces jeux te font faire des progrès » ;

- o « utile pour les enfants de ton âge » pourquoi ne pas mettre clairement « utiles pour les enfants de ton âge qui peuvent avoir des troubles de [...] puisque cela figure dans le titre de l'étude et que les enfants sont en âge de comprendre qu'ils ont des troubles et qu'on cherche à les améliorer ?
- Annexe B – Notice d'information enfant de 4 à 8 ans :
  - o le « bonjour » semble cacher le texte ;
  - o peut-être pourriez-vous être plus explicites sur le fait que l'étude pourrait améliorer leurs troubles.

Le CER-UdL vous souhaite une bonne recherche.

En vous priant de croire à toute notre considération, je vous prie de recevoir, Chère Collègue, mes sincères salutations.

Pour le Comité,

Humbert de Fréminville  
Président de CER-UdL

1



## NOTICE D'INFORMATION

**Etude :** Améliorer la fluence de la parole et les compétences grammaticales chez des enfants qui bégaièrent ou atteints de Trouble Développementale du Langage par une sensibilisation au rythme

*Vous devez conserver ce document. N'hésitez pas à poser des questions si vous ne comprenez pas certains éléments*

Version 2 du 29/10/2022

Chers Parents,

Nous vous contactons dans le cadre de l'étude « *Améliorer la fluence de la parole et les compétences grammaticales chez des enfants qui bégaièrent ou atteints de Trouble Développementale du Langage par une sensibilisation au rythme* » (**FluG-Ryth**) conduite par **l'investigateur principal, BEDOIN, Nathalie** (Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon, Inserm U1028 – CNRS/UMR5292 – UCBL1 ; équipe : TRAJECTOIRES).

Avant de décider si vous souhaitez cette participation et de vous assurer que votre enfant en a envie, il est important que vous lisiez attentivement cette notice.

### Objectif

Cette étude a pour objectif d'aider les enfants atteints d'un Trouble Développementale du Langage (TDL, ou dysphasie), en améliorant leurs capacités en grammaire à l'oral et en lecture, en vue de favoriser leur réussite scolaire et de les aider, plus largement, sur le plan de la communication. Pour cela, nous avons mis au point des séances d'entraînement très courtes visant à les sensibiliser au rythme. De nombreuses recherches montrent en effet que le traitement grammatical et la lecture nécessitent de bonnes compétences rythmiques. Comme il est plus facile d'exercer ces compétences à travers la musique, les exercices portent sur l'écoute et la synchronisation à des rythmes musicaux. Notre équipe de recherche a déjà montré que certains exercices musicaux sont bénéfiques au langage, chez des enfants avec ou sans trouble du langage.

### Déroulement de la recherche

La durée totale de participation sera ainsi de 8 semaines. Il y aura deux sessions d'entraînement réalisées à domicile, d'une durée de 3 semaines entrecoupées de 2 semaines de vacances. Ces sessions d'entraînement seront encadrées, avant et après, par des sessions d'évaluation qui seront réalisées au CRNL (Bâtiment IDEE).

### Les séances d'entraînement à domicile

Les séances d'entraînement (de 10 min, installation comprise) se dérouleront en votre présence et se feront sous forme d'une vidéo « *Le voyage du Cerf et de ses amis* ». Vous recevrez celle-ci soit sur une clé USB envoyée à votre domicile, soit sous la forme de fichiers que vous récupérerez sur la chaîne YouTube dédiée.

Vous choisirez le moment le plus approprié pour que votre enfant soit disposé à faire les exercices et le plus concentré possible.

Dans les exercices, l'enfant entendra de la musique et répondra à des questions (par exemple, après deux courts extraits musicaux, « *étaient-ils pareils ou pas pareil ?* »). Des images animées accompagneront les exercices pour les rendre attrayants, et un scénario guidera l'enfant d'une séance à l'autre en stimulant sa motivation : chaque jour d'exercice réalisé lui permettra d'aider un petit personnage (un cerf) à faire un voyage pour rejoindre d'autres animaux en vacances. Le niveau de difficulté sera croissant pour le motiver. Aucune connaissance particulière n'est requise, il s'agit de le sensibiliser à la dimension rythmique tout en s'amusant.

### Les séances d'évaluation au laboratoire

Pour évaluer les éventuels progrès de votre enfant, il réalisera 4 séances d'évaluation d'une durée d'1h15 (pauses comprises) chacune. Il s'agira de tests de langage, d'attention, et de sensibilité au rythme. Pour certains de ces tests, un enregistrement audio de votre enfant sera réalisé.

Votre enfant pourra participer s'il a reçu un diagnostic de TDL (ou dysphasie) par un.e orthophoniste et s'il répond aux autres critères suivants: avoir entre **6 ans et 12 ans**, être de **langue maternelle française** (il peut aussi être bilingue), ne pas présenter de **déficit auditif connu**, de **trouble psychiatrique ou neurologique**, de **déficience intellectuelle**, de **Trouble Déficit de l'Attention avec/sans Hyperactivité (TDA-H)**, ni de **trouble développemental de la coordination**, ne **pas pratiquer ou avoir pratiqué la musique ou la danse** pendant 1 an ou plus.

### Participation volontaire

**Le fait de participer à cette étude vaut consentement.** Toutefois, vous-même, ainsi que votre enfant, êtes libres de refuser de poursuivre l'étude à n'importe quel moment, sans encourir aucun préjudice.

### Confidentialité et utilisation des données personnelles

La finalité de cette étude répond à une mission d'intérêt public, les données personnelles de vous-même et de votre enfant seront traitées et analysées au regard de l'objectif qui vous a été présenté et de manière confidentielle, conformément à la Loi Informatique et Liberté du 6 janvier 1978, modifiée par la loi du 6 août 2004 et conformément au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD). Les données recueillies seront pseudonymisées, c'est-à-dire associées à un code alphanumérique (comportant des lettres et des chiffres) pour ne pas permettre l'identification de votre enfant ou de sa famille.

Le responsable du traitement de vos données et de celles de votre enfant est Mr Olivier Bertrand, Directeur du Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon (CRNL).

### Durée de conservation des données

Vos données à caractère personnel identifiantes ainsi que celles de votre enfant seront conservées 4 ans, soit la durée de l'étude, puis archivées de manière pseudonyme au laboratoire avant destruction.

### Vos droits et ceux de votre enfant

Conformément aux dispositions de la loi relative à l'informatique, aux fichiers et aux libertés (loi du 6 janvier 1978 modifiée) et au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD, Règlement (UE) 2016/679), vous disposez d'un droit d'accès, de rectification,

d'effacement et de limitation de vos données personnelles ainsi que celles de votre enfant auprès de **Nathalie Bedoin, investigatrice** de cette étude par voie électronique : [nathalie.bedoin@univ-lyon2.fr](mailto:nathalie.bedoin@univ-lyon2.fr).

L'exercice de vos droits n'aura pas d'incidence sur les activités menées par votre enfant. Les données antérieurement collectées pourront être conservées et utilisées dans le cadre de la présente recherche.

En cas de difficulté pour exercer vos droits, vous pouvez également contacter le Délégué à la Protection des Données (**DPO**) du CNRS, **Mme Gaëlle Bujan** par mail : [dpd.demandes@cnrs.fr](mailto:dpd.demandes@cnrs.fr).

Vous disposez également du droit d'introduire une réclamation auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés – CNIL (autorité française de contrôle des données personnelles) en ligne : <https://www.cnil.fr/>

#### Droit d'être informé des résultats globaux

Vous avez le droit d'être informé(e) des résultats globaux de la recherche à l'issue de celle-ci, auprès de l'investigateur ou de son représentant désigné. Les résultats de cette recherche peuvent être présentés à des congrès ou dans des publications scientifiques.

#### Aspects légaux et réglementaires

Le comité d'éthique de la recherche de la ComUE Université de Lyon a étudié ce projet le 13/10/2022 et a émis un avis favorable à sa réalisation.

Une inscription au registre pour le traitement des données recueillies sera effectuée par le service DPD selon la réglementation de la CNIL et l'article 30 de la RGPD.

#### Procédures sanitaires Covid 19

Pendant la réalisation de l'étude au sein du bâtiment IDEE du CRNL, les expérimentateurs s'engagent à respecter les mesures barrières en vigueur suite à la crise sanitaire liée à la covid 19.

Restant à votre disposition pour toute demande d'information complémentaire, vous remerciant par avance, nous vous prions d'agréer l'expression de nos salutations les meilleures.

J'affirme avoir pris connaissance de cette notion d'information le \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_

Nom et signature du parent ou responsable légal :

**Annexe D.** Formulaire de consentement aux enregistrements audio et vidéo pouvant être réalisés durant l'étude



Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon

Directeur : Olivier Bertrand

Directeur adjoint : Laurent Bezin

**Autorisation de captation et de traitement de la voix et de l'image dans l'étude intitulée : « Améliorer la fluence de la parole et les compétences grammaticales chez des enfants qui bégaièrent ou atteints de Trouble Développemental du Langage par une sensibilisation au rythme » Titre abrégé : FluG-Ryth**

---

Nous, soussignons

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

Nom : \_\_\_\_\_ Prénom : \_\_\_\_\_

agissant en tant que parents ou représentant légal de l'enfant

Nom de l'enfant : \_\_\_\_\_ Prénom de l'enfant : \_\_\_\_\_

reconnaissons consentir à la captation, à l'enregistrement et au traitement de la voix et de l'image (audio et vidéo) de notre / mon enfant pour les besoins et dans le cadre de sa participation volontaire à la recherche intitulée « Améliorer la fluence de la parole et les compétences grammaticales chez des enfants qui bégaièrent ou atteints de Trouble Développemental du Langage par une sensibilisation au rythme » mise en œuvre au Centre de Recherches en Neurosciences de Lyon (CRNL) sous la responsabilité scientifique de Nathalie Bedoin, (enseignante-chercheuse), investigatrice principale de cette étude. Les enregistrements pseudonymisés audio et vidéo seront conservés sur un serveur sécurisé au sein du CRNL pour une durée de 4 ans (correspondant à la durée de l'étude).

Les vidéos ne seront réalisées que pour certains tests, au laboratoire, et seront centrées sur le bas du visage, la partie haute sera floutée après l'enregistrement, puisqu'il s'agit d'enregistrer seulement les accros en production de parole chez les enfants qui bégaièrent. En cas de diffusion lors d'un colloque ou d'une formation, le haut du visage qui pourrait parfois apparaître, sera flouté.

Par ailleurs,

en cochant cette case, nous (j') autorisons(e) la diffusion des enregistrements audio et vidéo (haut du visage flouté) de notre (mon) enfant au cours de colloques et de formations sans mise à disposition à un public.

en cochant cette case, nous (j') autorisons (e) la mise à disposition des enregistrements audio et vidéo (haut du visage flouté) de notre (mon) enfant à la communauté scientifique pour mener d'autres recherches.

Toute reproduction ou utilisation de ces informations ne devra pas, y compris par leur légende ou leur contexte de présentation, porter atteinte à la réputation, à l'honneur ou à la dignité de mon enfant.

Conformément au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD), je dispose d'un droit d'accès, d'information, de rectification et de suppression des données concernant mon enfant. Nous pouvons/Je peux exercer nos/mes droits et ceux de mon enfant auprès de Nathalie Bedoin, adresse mail : [nathalie.bedoin@univ-lyon2.fr](mailto:nathalie.bedoin@univ-lyon2.fr)

.....

Fait en deux exemplaires à \_\_\_\_\_, le \_\_\_\_\_

Signature du père

ou Signature du représentant légal

Signature de la mère

*Un exemplaire de ce document vous est remis, un autre exemplaire est conservé et archivé sous la responsabilité du responsable scientifique.*



## Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon

Directeur : Olivier Bertrand

Directeur adjoint : Laurent Bezin

### NOTICE D'INFORMATION ENFANT

**Titre de l'étude :** Améliorer la fluence de la parole et les compétences grammaticales chez des enfants qui bégaièrent ou atteints de Trouble Développementale du Langage par une sensibilisation au rythme (FluG-Ryth)



Bonjour,

Est-ce que tu aimes la musique ? Nous te proposons de faire des petits jeux musicaux ensemble. Ce n'est pas noté, ce n'est pas pour l'école.

Les petits jeux seront sur l'ordinateur de tes parents, et l'un de tes parents sera à côté de toi pendant les jeux.

Ce jeu s'appelle « *Le voyage du cerf et de ses amis* » : il te permet de gagner des points pour aider le cerf à rejoindre ses amis en vacances, en l'accompagnant dans son voyage. Les jeux te feront écouter de la musique et tu répondras à des questions sur ces musiques, ou bien tu accompagneras la musique avec des mouvements. Cela durera 6 minutes par jour, 3 jours de la semaine, pendant quelques semaines. Ce n'est pas très long. Tu devrais bien t'amuser !



Les petits exercices sont des jeux sérieux qui te permettront de t'entraîner à comprendre ce qu'est le rythme dans la musique. Tu vas progresser en musique !

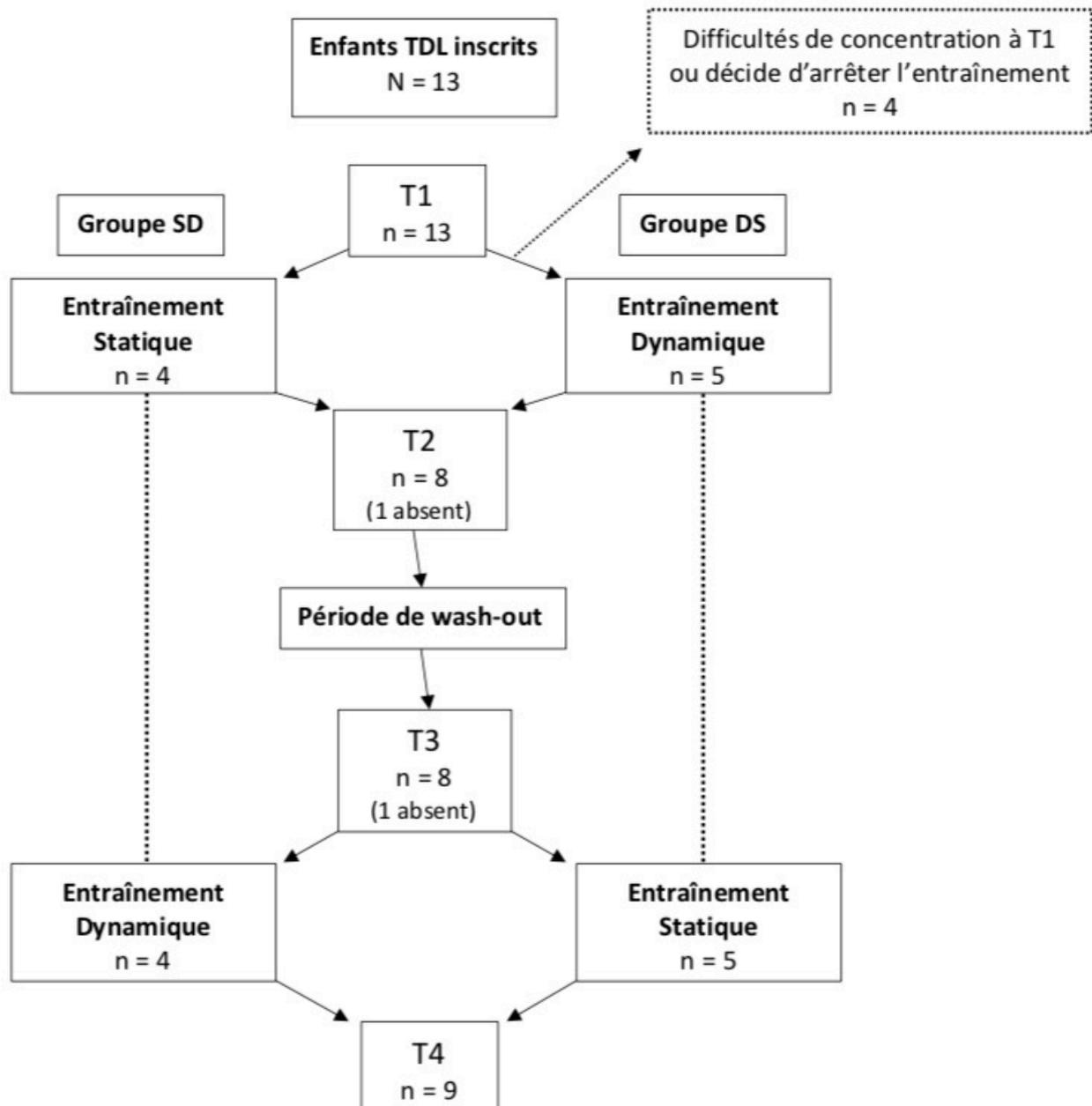


Ensuite, nous mesurerons si ces jeux te font faire des progrès en musique et en langage. Pour cela, tu viendras quelques fois avec tes parents pour nous voir dans notre laboratoire et faire d'autres jeux.

Si tu acceptes de participer, cela nous permettra de savoir si ces jeux sont utiles pour les enfants de ton âge, en particulier s'ils rencontrent des difficultés en musique ou en langage. Est-ce que tu peux en parler avec tes parents pour nous dire si tu es d'accord de participer ? Si à un moment tu veux arrêter, il suffit que tu nous le dises, cela ne changera rien pour toi.

Es-tu d'accord pour faire ces petits exercices avec nous ?

**Annexe F.** Organigramme des phases du protocole et le nombre de participants à chacune d'elles.



**Annexe G.** Epreuves de langage oral utilisées en phase de tests

Domaine	MS (Réception)		MS (Expression)	Phonologie		Méta-phonologie	
Épreuve	Jugement de grammaticalité	Compréhension de phrases	Répétition de phrases	Répétition de PM	Discrimination phonologique	Suppression du phonème initial	Suppression du phonème final
Batterie	EVALEO						BALE
Âge	CP-3 <sup>e</sup>	CP-3 <sup>e</sup>	CP-3 <sup>e</sup>	CP-3 <sup>e</sup>	CP-3 <sup>e</sup>	CP-3 <sup>e</sup>	CP-CM2
Items	16 phrases (grammaticalement correctes ou incorrectes) présentées oralement	CP-CE2 : 17 phrases CM1-3 <sup>ème</sup> : 14 phrases	16 phrases présentées oralement	20 pseudo-mots (PM) présentés oralement	28 paires PM	20 syllabes ou PM : 5 simples VC/CV, 5 complexes CVC, 5 complexes CCV, 5 très complexes avec des clusters	10 mots
Exemples d'item	Correct : La vache est suivie par le mouton. Incorrect : Les garçons vient de l'école.	CP-CE2 : Il prend son journal après avoir pris sa valise CM1-3 <sup>ème</sup> : 1) Elle regarde le chien qui mange 2) Elle regarde le chien manger 3) Le chien la regarde manger	Le campeur part de la montagne.	aérupère siche-longe spicetre cavourcle	obrouniz / obrouliz	anp lo bup tra outla	oranger charme canon

<b>Mesures et cotation</b>	<p>Nombre de jugements corrects</p> <p>Nombre de corrections justes</p>	<p>Nombre de phrases comprises</p>	<p>Nombre d'erreurs MS (1 point par erreur sur un élément MS en gras dans la phrase)</p> <p>Nombre de phrases correctement répétées</p> <p>Empan de mots répétés (On coche les phrases pour lesquelles tous les mots sont répétés, quels que soit leur ordre : le nombre de mots de la phrase la plus longue correspond à l'empan)</p>	<p>Nombre de PM correctement répétées</p>	<p>Nombre de jugements corrects</p>	<p>Nombre de suppressions correctes</p>	<p>Nombre de suppressions correctes</p>
<b>Description</b>	<p>Une phrase est énoncée oralement par une voix enregistrée dans le logiciel. On demande à l'enfant si elle est « correcte » ou « pas correcte ». Pour les phrases qu'il juge « pas correctes », on lui demande de</p>	<p>CP-CE2 : une phrase est énoncée oralement. L'enfant doit représenter les actions exprimées par la phrase à l'aide des objets et figurines qui lui sont données.</p> <p>CM1-3<sup>ème</sup> : une puis 2 autres phrases sont</p>	<p>Une phrase est présentée oralement. L'enfant doit essayer de la répéter à l'identique (inclure tous les mots et dans le même ordre).</p>	<p>Des PM sont énoncés et l'enfant doit les répéter à l'identique.</p>	<p>28 paires minimales de PM sont présentées oralement. On demande à l'enfant, pour chaque paire, si les PM sont « pareils » ou « pas pareils ».</p>	<p>Pour chaque suite de phonèmes, on demande à l'enfant de supprimer le premier mentalement, pour ne donner oralement que la partie restante.</p>	<p>Pour chaque mot, on demande à l'enfant de supprimer le dernier phonème mentalement, pour ne donner oralement que la partie restante du mot.</p>

	fournir une correction : « Comment est-ce qu'il faut dire ? »	énoncées oralement. L'enfant doit sélectionner parmi les 2 dernières celles qui ont le même sens que la 1 <sup>ère</sup> (aucune, une des 2 ou les 2).					
--	--	---	--	--	--	--	--

#### Annexe H. Autres épreuves utilisées aux phases de tests

Domaine	Lecture		Rythme		Attention et concentration	MCT	Attention et hyperactivité	Capacités visuo-spatiales d'induction et déduction
Epreuves	<b>M.Petit et Géant Egoïste</b>	<b>Texte 1, 2, 3 et 4</b>	<b>Discrimination de séquences rythmiques</b>	<b>Jugement de synchronisation rythmique</b>	<b>Barrage de cible visuelle</b>	<b>Reproduction de localisation de jetons (épreuve contrôle)</b>	<b>Questionnaire destiné aux parents</b>	<b>Complétion d'une image avec le motif manquant</b>
Batterie	BALE	Deltatext	MBEMA	BAASTA	D2	EVALEO	Questionnaire de Connors	Matrices progressives colorées de Raven
Âge	CP-CM2				9-55+	CP-3 <sup>ème</sup>		4-11 ans
Items	Un texte signifiant	Un texte non signifiant	Deux courtes séquences musicales	Le son d'une cymbale superposé à	14 lignes avec des « p » et « d »	5 grilles	48 énoncés regroupés dans 5 facteurs : les difficultés de	36 images à compléter

			suivies d'un 'bip'.	une séquence musicale.	entourés d'1, 2, 3 ou 4 traits		comportement, d'apprentissage, la somatisation, l'impulsivité/hyperactivité et l'anxiété.	
			11 paires de séquences identiques 11 paires de séquences différentes	8 séquences isochroniques 8 séquences avec décalage de phase 8 séquences avec décalage de période				
<b>Mesures et cotation</b>	Nombre de mots correctement lus en 1 min	Nombre de mots correctement lus en 3 min	Temps de réaction Jugement pareil/pas pareil	Temps de réaction pour les jugements corrects d'isochronie ou anisochronie.  Taux de réussite pour chaque type de séquence.	Nombre d'items correctement barrés. Nombre d'items oubliés. Nombre d'items incorrectement barrés (fausses alertes).  Indice de concentration  Vitesse de traitement	Nombre de jetons correctement placés  Nombre de grilles correctement reproduites	Cotation de 0 à 3 pour chaque item : 0 (pas du tout), 1 (un peu), 2 (beaucoup) ou 3 (énormément).  Score pour chaque facteur et percentile correspondant	Nombre de choix corrects

<b>Description</b>	On demande à l'enfant de lire le texte du mieux qu'il peut, en prévenant qu'il ne pourra pas le lire en entier, car nous allons l'arrêter à 1 minute de lecture.	On demande à l'enfant de lire le texte du mieux qu'il peut, en prévenant que c'est un texte 'bizarre', qui ne veut rien dire.	L'enfant doit appuyer sur « v » s'il pense que les séquences sont identiques et sur « n » s'il pense qu'elles sont différentes.	L'enfant doit appuyer sur « v » s'il pense que la cymbale n'est pas en rythme avec la séquence et sur « n » s'il pense que la cymbale est en rythme.	L'enfant doit seulement barrer tous les « d » entourés de 2 traits.  On demande à l'enfant de passer à la ligne suivant toutes les 20 secondes.	Une grille avec des images de jetons placés dans quelques cases est présentée à l'enfant pendant 5 secondes. Nous cachons ensuite ce modèle et l'enfant doit le reproduire à l'identique. Pour cela on lui donne une grille vide et des jetons.	On demande au parent de remplir le questionnaire en cotant chaque item selon ce qu'il pense du comportement de son enfant.  On lui explique que cela nous permet d'avoir une idée du niveau attentionnel et de l'hyperactivité de l'enfant.	On présente à l'enfant une page comprenant une grande image avec une partie incomplète et 6 petites images en propositions  L'enfant doit désigner à chaque page la bonne proposition pour compléter la grande image.
--------------------	--	---	---	--	---	---	---	---

Annexe I. Liens des vidéos de l'entraînement

## Programme d'entraînement rythmique

Outil numérique d'entraînement des capacités rythmiques à destination d'enfants  
entre 6 et 12 ans ayant un TD  
(Créé par Alix Raillard, orthophoniste diplômée en 2022)

Semaine & Session dans la semaine	Introduction	Tâche	Fin
<b>Condition Action Sensorimotrice</b>			
<b>Semaine 1 Session 1</b>	<a href="https://youtu.be/hfBZwG9wKq">https://youtu.be/hfBZwG9wKq</a>  <a href="https://youtu.be/pMe9G-vsz0E">https://youtu.be/pMe9G-vsz0E</a>  (2 liens pour celle-ci)	<a href="https://youtu.be/GllhalC85LQ">https://youtu.be/GllhalC85LQ</a>	<a href="https://youtu.be/6kGEmhHZ2CE">https://youtu.be/6kGEmhHZ2CE</a>
<b>Semaine 1 Session 2</b>	<a href="https://youtu.be/VcXvcUREINI">https://youtu.be/VcXvcUREINI</a>	<a href="https://youtu.be/lRagenTKwC">https://youtu.be/lRagenTKwC</a>	<a href="https://youtu.be/YNGeNqgFR-0">https://youtu.be/YNGeNqgFR-0</a>
<b>Semaine 1 Session 3</b>	<a href="https://youtu.be/zvhAAhgEUvo">https://youtu.be/zvhAAhgEUvo</a>	<a href="https://youtu.be/hfbuHfK3y_0">https://youtu.be/hfbuHfK3y_0</a>	<a href="https://youtu.be/iCMGg3F-D1o">https://youtu.be/iCMGg3F-D1o</a>
<b>Semaine 2 Session 1</b>	<a href="https://youtu.be/eIUQlBLDIEU">https://youtu.be/eIUQlBLDIEU</a>	<a href="https://youtu.be/cTiVVPSWNkA">https://youtu.be/cTiVVPSWNkA</a>	<a href="https://youtu.be/n5XQj7Y6300">https://youtu.be/n5XQj7Y6300</a>

<b>Semaine 2 Session 2</b>	<a href="https://youtu.be/P4SqWAGc45M">https://youtu.be/P4SqWAGc45M</a>	<a href="https://youtu.be/rsrBcQhNuA0">https://youtu.be/rsrBcQhNuA0</a>	<a href="https://youtu.be/wngmmtK0fZo">https://youtu.be/wngmmtK0fZo</a>
<b>Semaine 2 Session 3</b>	<a href="https://youtu.be/rC10zVlp3Po">https://youtu.be/rC10zVlp3Po</a>	<a href="https://youtu.be/aS4gS3ld4jo">https://youtu.be/aS4gS3ld4jo</a>	PAS DE VIDEO DE FIN
<b>Semaine 3 Session 1</b>	<a href="https://youtu.be/EvIVnRKFgnl">https://youtu.be/EvIVnRKFgnl</a>	<a href="https://youtu.be/DfTlgYmFyCA">https://youtu.be/DfTlgYmFyCA</a>	<a href="https://youtu.be/GPUGsVkmAlq">https://youtu.be/GPUGsVkmAlq</a>
<b>Semaine 3 Session 2</b>	<a href="https://youtu.be/8EtkDhF31Rs">https://youtu.be/8EtkDhF31Rs</a>	<a href="https://youtu.be/n-5VqcjAp6A">https://youtu.be/n-5VqcjAp6A</a>	<a href="https://youtu.be/_yPdop965lc">https://youtu.be/_yPdop965lc</a>
<b>Semaine 3 Session 3</b>	<a href="https://youtu.be/odrk5z-IKIM">https://youtu.be/odrk5z-IKIM</a>	<a href="https://youtu.be/kazsXDbj7bs">https://youtu.be/kazsXDbj7bs</a>	<a href="https://youtu.be/7KRpOWS4kGE">https://youtu.be/7KRpOWS4kGE</a>
<b>Condition Jugement</b>			
Consigne jugement isochronie à garder disponible : <a href="https://youtu.be/o558XKPMoag">https://youtu.be/o558XKPMoag</a>			
<b>Semaine 4 Session 1</b>	<a href="https://youtu.be/qykhEJGY4-4">https://youtu.be/qykhEJGY4-4</a>	<a href="https://youtu.be/xHmylAhfYZ4">https://youtu.be/xHmylAhfYZ4</a>	PAS DE VIDEO DE FIN

<b>Semaine 4 Session 2</b>	<a href="https://youtu.be/wkA1i2tO1Js">https://youtu.be/wkA1i2tO1Js</a>	<a href="https://youtu.be/w9tk6gyI9hl">https://youtu.be/w9tk6gyI9hl</a>	<a href="https://youtu.be/Tb_wvmP0UKY">https://youtu.be/Tb_wvmP0UKY</a>
<b>Semaine 4 Session 3</b>	<a href="https://youtu.be/1TvT3NxZOSg">https://youtu.be/1TvT3NxZOSg</a>	<a href="https://youtu.be/-6Lij1IVBtQ">https://youtu.be/-6Lij1IVBtQ</a>	
<b>Semaine 5 Session 1</b>	<a href="https://youtu.be/B9Xr8SpCC88">https://youtu.be/B9Xr8SpCC88</a>	<a href="https://youtu.be/UDTQ3KYb8_o">https://youtu.be/UDTQ3KYb8_o</a>	<a href="https://youtu.be/b79emRc4AKs">https://youtu.be/b79emRc4AKs</a>
<b>Semaine 5 Session 2</b>	<a href="https://youtu.be/lqij8hOzuF0">https://youtu.be/lqij8hOzuF0</a>	<a href="https://youtu.be/hkYNINLNAjE">https://youtu.be/hkYNINLNAjE</a>	<a href="https://youtu.be/VCuxqxmIkJg">https://youtu.be/VCuxqxmIkJg</a>
<b>Semaine 5 Session 3</b>	<a href="https://youtu.be/ho4kAx0raUY">https://youtu.be/ho4kAx0raUY</a>	<a href="https://youtu.be/kuZFxXVAbgl">https://youtu.be/kuZFxXVAbgl</a>	<a href="https://youtu.be/FloBxME2wW0">https://youtu.be/FloBxME2wW0</a>
<b>Semaine 6 Session 1</b>	<a href="https://youtu.be/0vA4KwPEQ-k">https://youtu.be/0vA4KwPEQ-k</a>	<a href="https://youtu.be/hN504SnNzSA">https://youtu.be/hN504SnNzSA</a>	<a href="https://youtu.be/Slg59OnwyVY">https://youtu.be/Slg59OnwyVY</a>
<b>Semaine 6 Session 2</b>	<a href="https://youtu.be/9eJO-0e3Uxo">https://youtu.be/9eJO-0e3Uxo</a>	<a href="https://youtu.be/XiOATHfETNY">https://youtu.be/XiOATHfETNY</a>	PAS DE VIDEO DE FIN

<b>Semaine 6 Session 3</b>	<a href="https://youtu.be/ML_TEF_pDR-o">https://youtu.be/ML_TEF_pDR-o</a>	<a href="https://youtu.be/Zk2alKmQsWM">https://youtu.be/Zk2alKmQsWM</a>	<a href="https://youtu.be/JJL-6_pHMCK">https://youtu.be/JJL-6_pHMCK</a>

**Annexe J.** Musicogramme proposé à l'entraînement en condition dynamique

Il permet de suivre les lignes avec son doigt, au même rythme que les notes de la musique écoutée.

MUSICOGRAMME 1  



Ukrainian Carol - Arr. Orlia Amaral- Musicogramme : Alix Raillard

**Annexe K.** Journal de bord tenu par chaque participant et ses parents

Mon prénom : .....

Mon journal de bord



SEMAINE 1 /

	Date du jour	Aujourd'hui je me sens :	J'ai fait le jeu de musique :	Remarques éventuelles : <i>(à remplir par mes parents)</i>
Session 1			<input type="radio"/> le <u>matin</u> <input type="radio"/> l' <u>après-midi</u> <input type="radio"/> le <u>soir</u>	
Session 2			<input type="radio"/> le <u>matin</u> <input type="radio"/> l' <u>après-midi</u> <input type="radio"/> le <u>soir</u>	
Session 3			<input type="radio"/> le <u>matin</u> <input type="radio"/> l' <u>après-midi</u> <input type="radio"/> le <u>soir</u>	

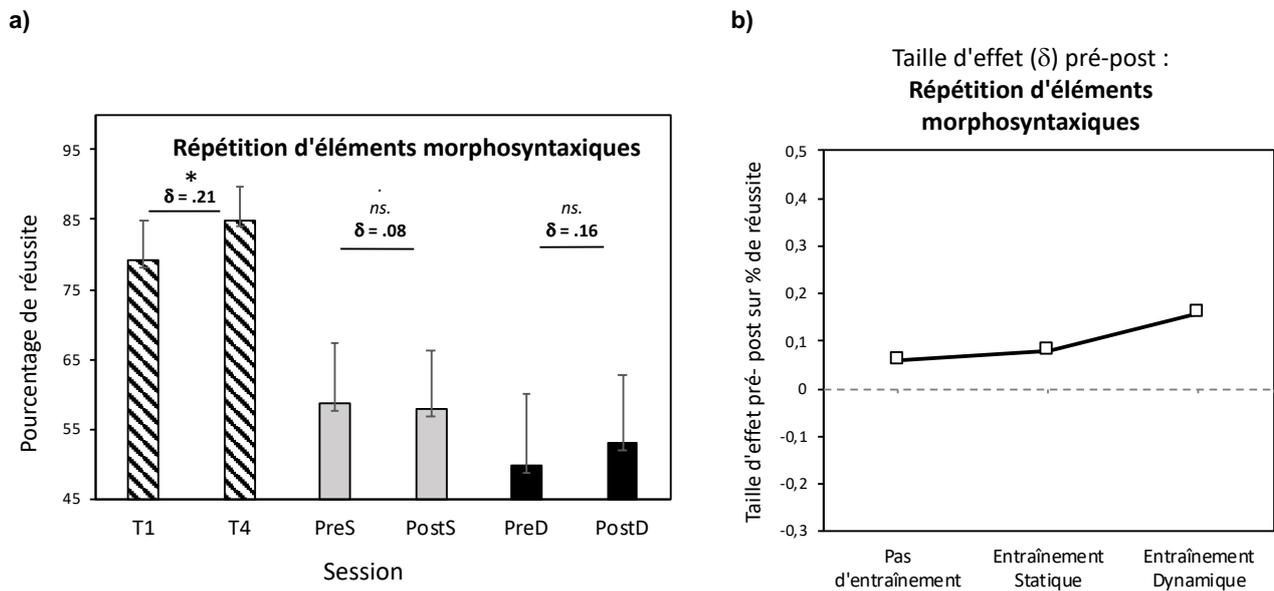
**Annexe L.** Tableau présentant les épreuves proposées à chaque étape de test

	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>
Durée totale	1h30	45 min	45 min	1h15
Jugement de grammaticalité				
Compréhension de phrases complexes				
Répétition de phrases complexes				
Répétition de PM				
Discrimination phonologique				
Suppression du phonème initial				
Suppression du phonème final				
M. Petit / Géant Égoïste				
Texte 1, 2, 3 et 4				
Discrimination de séquences rythmiques				
Jugement de synchronisation rythmique				
Barrage de cible visuelle				
Reproduction de localisation de jetons				
Questionnaire de Conners				
Complétion d'une image				

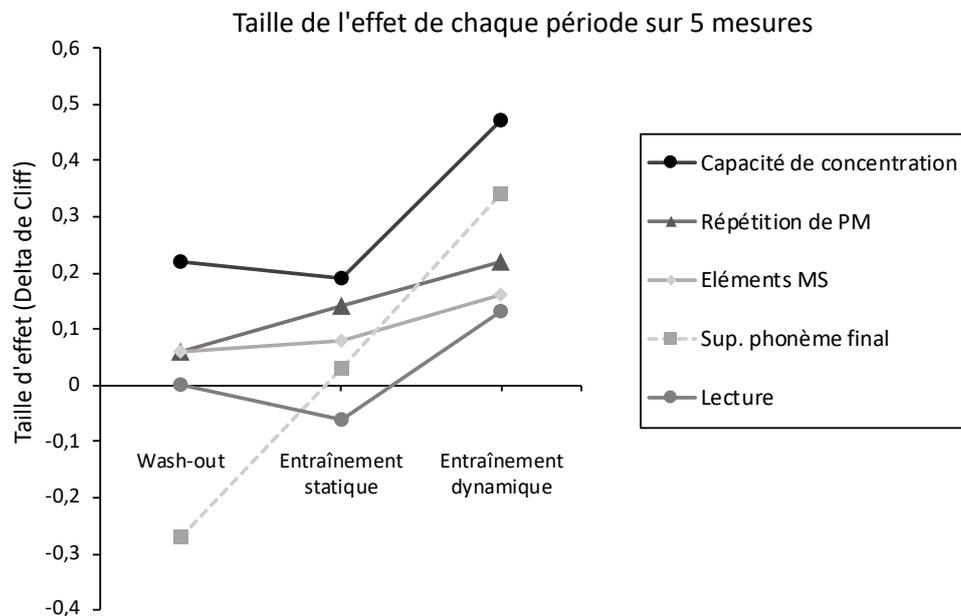
Légende :

	Épreuve passée à cette étape
	Épreuve non proposée à cette étape

**Annexe M.** *Figure 1* présentant les résultats à l'épreuve de répétition de phrases et *Figure 2* résumant les tailles d'effet des étapes du protocole sur 5 mesures



**Figure 1.** a) Le pourcentage de réussite moyens du nombre d'éléments morphosyntaxiques correctement répétés (épreuve de répétition de phrases), aux différentes étapes. L'erreur-type est en barre d'erreur. L'astérisque \* représente une différence significative. b) La taille d'effet des 3 conditions : pas d'entraînement (T2-T3), pré-post entraînement statique et pré-post entraînement dynamique.



**Figure 2.** Tailles d'effet (indice  $\delta$  de Cliff) induites par les différentes étapes (la période de wash-out (T2-T3), l'entraînement statique, l'entraînement dynamique) pour la capacité de concentration (test D2), la répétition de pseudo-mots, le nombre d'éléments morphosyntaxiques correctement répétés, la suppression du phonème final et la lecture.