



BU bibliothèque Lyon 1

<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>



Université Claude Bernard Lyon 1
Institut des Sciences et Techniques de Réadaptation
Département Orthophonie

N° de mémoire 1852

de Grade Master 2 en Orthophonie

présenté pour l'obtention du

Grade de Master 2 en Orthophonie

Par

ALTAR Yoan

**Effets d'un nouvel entraînement musical, rythmique ou
mélodique, sur les compétences langagières, attentionnelles et
musicales d'enfants dyslexiques**

Directrices de Mémoire

BEDOIN Nathalie

TILLMANN Barbara

Date de soutenance

24 mai 2018

Membres du jury

CARTIER Myriam

MAREC BRETON Nathalie

BEDOIN Nathalie

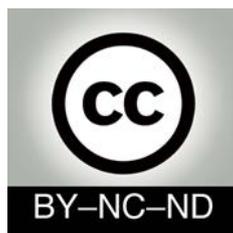
TILLMANN Barbara



BU bibliothèque Lyon 1

<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>



Président
FLEURY Frédéric

Vice-président CFVU
CHEVALIER Philippe

Vice-président CA
REVEL Didier

Vice-président CS
VALLEE Fabrice

Directeur Général des Services
MARCHAND Dominique

Secteur Santé

U.F.R. de Médecine Lyon Est
Directeur
Pr. RODE Gilles

U.F.R d'Odontologie
Directeur
Pr. BOURGEOIS Denis

U.F.R de Médecine Lyon-Sud
Charles Mérieux
Directrice
Pr BURILLON Carole

Institut des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
Directrice
Pr VINCIGUERRA Christine

Département de Formation et
Centre de Recherche en Biologie
Humaine
Directeur
Pr SCHOTT Anne-Marie

Institut des Sciences et Techniques de
Réadaptation
Directeur
Dr Xavier PERROT

Comité de Coordination des
Etudes Médicales (CEM)
Pr COCHAT Pierre

**Institut Sciences et Techniques de Réadaptation
Département ORTHOPHONIE**

Directeur ISTR
Xavier PERROT

Équipe de direction du département d'orthophonie :

Directeur de la formation
Agnès BO

Responsables des travaux de recherche
**Nina KLEINSZ
Agnès WITKO**

Responsables de l'enseignement clinique
**Johanne BOUQUAND
Ségolène CHOPARD
Claire GENTIL**

Chargées de l'évaluation des aptitudes aux études
en vue du certificat de capacité en orthophonie
**Solveig CHAPUIS
Céline GRENET**

Coordinateur de cycle 2
Solveig CHAPUIS

Responsable de la formation continue
Johanne BOUQUAND

Secrétariat de direction et de scolarité
**Auréliе CHATEAUNEUF
Véronique LEFEBVRE
Olivier VERON**

Résumé :

La musique et le langage requièrent certains mécanismes cognitifs communs, notamment l'attention temporelle qui permet la séquenciation du signal. C'est en effet la distribution cyclique de l'attention dans le temps ainsi que sa capacité à se synchroniser au rythme de l'information extérieure, qui guident les anticipations temporelles indispensables au traitement du rythme musical et à l'extraction d'unités d'informations linguistiques. L'objectif de cette étude pilote est de tester si un entraînement musical court améliore certains traitements linguistiques, en perception de la parole ou dans une autre modalité (lecture), et s'il est bénéfique à certaines compétences attentionnelles. Pour cela, un entraînement de six semaines a été élaboré avec 12 séances de 35 minutes : six séances d'atelier rythmique (R) et six séances d'atelier sur la hauteur des notes ou Pitch (P). Son impact a été évalué sur des compétences musicales, des compétences langagières impliquant particulièrement le découpage du signal, et quelques mécanismes attentionnels chez six enfants dyslexiques de 8 à 11 ans. Ils bénéficiaient des deux ateliers dans un ordre contrebalancé (*cross-over*) et passaient un bilan avant l'entraînement (T1), après le premier atelier (T2) et après le second (T3), afin de dissocier l'apport des deux ateliers. L'analyse des données montre davantage de progrès après l'atelier R qu'après l'atelier P, notamment dans les compétences langagières de discrimination phonologique, de segmentation syllabique de mots entendus et en lecture de textes non-signifiants et de stimuli dissyllabiques. De plus, exercer à traiter le rythme améliore certaines capacités attentionnelles : la concentration et le contrôle de la distractibilité. L'atelier P améliore de façon marginale la lecture. Bien que l'effet isolé de cet atelier soit moins évident, il reste intéressant, car les enfants progressent plus après les deux ateliers qu'après un seul. L'effet combiné des ateliers pourrait cependant ne correspondre qu'à un effet de répétition du bilan. Interprétés dans le cadre de la Théorie de l'Attention Dynamique, les résultats encouragent à poursuivre ce travail pour confirmer les effets sur davantage d'enfants, avant sa promotion en clinique orthophonique.

Mots clés :

Dyslexie, Musique, Rythme, Mélodie, Attention, Langage Écrit, Lecture, Enfants

Abstract

Music and language require some common cognitive mechanisms, including the temporal attention that allows the sequencing of the signal. It is indeed the cyclical distribution of attention over time as well as its ability to synchronize with the rhythm of external information, which guide the temporal anticipations essential to the processing of musical rhythm and the extraction of musical units. linguistic information. The objective of this pilot study is to test whether a short musical training improves certain linguistic treatments, in speech perception or in another modality (reading), and if it is beneficial to certain attentional skills. For this, a six-week training was developed with 12 sessions of 35 minutes: six sessions of rhythm workshop (R) and six sessions of Pitch workshop (P). Its impact was evaluated on musical skills, language skills particularly involving the cutting of the signal, and some attentional mechanisms for six dyslexic children aged 8 to 11 years. They benefited from the two workshops thanks to a counter-balanced order (cross-over) and passed an assessment before the training (T1), after the first workshop (T2) and after the second (T3), in order to dissociate the contribution of the two workshops. The analysis of the data shows more progress after the R workshop than after the P workshop, particularly in the language skills of phonological discrimination, syllabic segmentation of heard words and reading of non-significant texts and dissyllabic stimuli. In addition, exercising rhythm processing improves some attentional abilities: concentration and control of distractibility. Workshop P marginally improves reading. Although the isolated effect of this workshop is less obvious, it remains interesting because children progress more after the two workshops than after one. The combined effect of the workshops could, however, only correspond to a repeating assessments effect. Interpreted as part of the Dynamic Attention Theory, the results encourage continuing this work to confirm the effects on more children, before its promotion in speech therapy clinic.

Key words :

Dyslexia, Music, Rhythm, Pitch, Attention, Written Language, Reading, Children

Remerciements

Je tiens à remercier tout d'abord mes maîtres de mémoire Nathalie Bedoin et Barbara Tillmann de m'avoir accompagné et soutenu tout au long de ce projet dans les différentes situations rencontrées au cours de cette année.

Merci également à Héloïse et Ynès qui m'ont apporté une aide précieuse pour mener cette étude à bien.

Merci à Florian et Gouled qui ont repris en main le projet et qui vont permettre à l'étude d'être approfondie.

Un grand merci à l'association Dys/10 et à Marie-Claire Thiollier qui nous a accueilli pour les ateliers musicaux et qui a assisté indirectement à l'ensemble des séances.

Merci aux participants et à leurs parents pour leur implication et leur investissement tout au long des douze séances d'entraînement et des trois passations de bilan.

Merci enfin à ma famille de m'avoir soutenu autant que nécessaire.

Sommaire

I.	Partie théorique.....	1
	Introduction.....	1
	1. Traitements cognitifs de la musique et du langage.....	1
	1.1. Dimensions du signal auditif en musique et en parole.....	1
	1.2. Variations de la hauteur.....	1
	1.3. Variations d'intensité et de timbre.....	2
	1.4. Régularités temporelles : rythme musical et rythme langagier.....	2
	2. Particularités du rythme de la parole.....	3
	2.1. Organisation temporelle pseudo-régulière.....	3
	2.2. Théorie de l'Attention Dynamique de Jones (1976) (DAT).....	3
	2.3. Théorie des oscillations cérébrales.....	4
	3. Dyslexie développementale et déficit de l'attention temporelle.....	5
	3.1. Définitions de la dyslexie développementale.....	5
	3.2. La dyslexie comme déficit de l'attention temporelle et de la synchronisation cérébrale (Temporal Sampling Framework de Goswami).....	6
	4. Utiliser les liens musique-langage en réhabilitation cognitive et linguistique.....	7
	4.1. Amorçage musical : effets à court terme d'une stimulation temporaire.....	7
	4.2. Entraînements musicaux : effets à long terme.....	8
	5. Problématique et hypothèses.....	10
II.	Méthode.....	11
	1. Participants.....	11
	2. Matériel.....	11
	2.1. Entraînement.....	11
	2.2. Bilans.....	12
	3. Procédure de l'étude.....	13
III.	Résultats.....	14
	1. Épreuves langagières.....	14
	1.1. Lecture de DeltaTexte, sans signification et syntaxiquement correct.....	14

1.2.	Test de lecture de textes avec signification et syntaxiquement correct (M. Petit et Le Géant Égoïste).....	15
1.3.	Lecture de mots et pseudo-mots présentés à l'écran (Sonoread)	15
1.4.	Test de discrimination de logatomes (ELDP).	16
1.5.	Découpage syllabique (Syllacut)	17
1.7.	Jugement grammatical (Grammajuge)	18
2.	Épreuves attentionnelles.....	19
2.1.	Épreuve de barrage (d2)	19
2.2.	Test d'attention soutenue (KITAP).....	21
2.3.	Test de distractibilité (KITAP)	21
3.	Épreuves musicales.....	22
3.1.	Perception (BAASTA)	22
3.2.	Production (BAASTA).....	23
IV.	Discussion.....	24
1.	Épreuves langagières	24
3.	Épreuves musicales.....	29
4.	Limites et perspectives	29
5.	Conclusion	30
	Références.....	31
	Annexes	I

I. Partie théorique

Introduction

Ce travail est réalisé dans l'optique de préciser dans quelle mesure la musique, et plus particulièrement le travail rythmique, peuvent être utilisés en remédiation de la dyslexie chez des enfants. Cette démarche s'inscrit dans une réflexion née en stage, en présence de patients dyslexiques mis face à leurs difficultés et pour qui les rééducations traditionnelles mènent parfois à une certaine lassitude. L'état de l'art des recherches liant les troubles langagiers et la musique a grandement influencé la structure de ce mémoire. Cette étude pilote s'inscrit dans leur lignée. Il s'agissait de mettre au point et de commencer à tester l'impact d'ateliers musicaux ludiques visant l'amélioration de compétences importantes en lecture.

Après avoir défini les liens entre les messages musicaux et linguistiques, ainsi que ce qu'il y a de commun dans leur traitement, il s'agira de présenter la dyslexie et les entraînements musicaux existant, qui ont inspiré notre étude.

1. Traitements cognitifs de la musique et du langage

1.1. Dimensions du signal auditif en musique et en parole

Le son est une onde dont la propagation multidirectionnelle donne lieu au signal sonore. Ses dimensions fondamentales sont traitées par le cerveau. Le signal sonore mobilise donc la cognition auditive ou audition de haut niveau.

1.2. Variations de la hauteur

La hauteur – *pitch* – qualifie la perception subjective aiguë ou grave que nous avons de la fréquence fondamentale d'un son, mesurée en Hertz (Hz). Cette représentation mentale résulte d'un traitement cérébral permettant d'ordonner les sons sur une échelle musicale. Le son est perçu comme d'autant plus aigu que la fréquence est grande (20 Hz est perçu comme grave, 3000 Hz comme aigu). Sur le plan spectral, la hauteur est liée à la fréquence fondamentale (F0), surmontée d'harmoniques en musique (dans la parole, ce sont des formants). La partie antéro-latérale du gyrus de Heschl contribue à l'élaboration du percept de pitch (Bendor & Wang, 2005).

En musique, l'alternance de montées et de descentes constitue l'aspect mélodique. Pour la musique comme pour la parole, les variations de la hauteur contribuent à l'expression des émotions. Elles remplissent aussi une fonction linguistique en guidant la segmentation à partir de ce qui est perçu comme des changements d'intonation et

d'accentuation. Le pitch est donc pertinent tant pour les traitements musicaux que linguistiques (Besson, Schön, Moreno, Santos, & Magne, 2007).

1.3. Variations d'intensité et de timbre

L'intensité du son se mesure en décibels (dB). Le seuil d'audibilité pour l'Homme est de 20 dB. Les variations d'intensité du signal permettent au musicien ou au locuteur de créer une atmosphère. Dans le signal de parole, l'amplitude, ou intensité, de la voix correspond aux variations de pression de l'onde.

Le timbre permet quant à lui de discriminer deux instruments à intensité et hauteur de notes égales, car au-delà d'une même fréquence fondamentale (F_0), les harmoniques sont plus ou moins présentes selon l'instrument. Le timbre, perçu comme la qualité de l'émission laryngée, dépend du rapport entre la quantité d'harmoniques et le bruit dans le signal, ainsi que de la stabilité et des modalités d'attaque et d'extinction du son. L'analyse du timbre se fait sur un spectrogramme à bandes larges révélant l'enveloppe spectrale du signal et la richesse harmonique.

1.4. Régularités temporelles : rythme musical et rythme langagier

Une particularité du signal musical parmi les autres signaux sonores concerne sa régularité. La régularité musicale est définie par la pulsation. Celle-ci est l'élément régulier qui encadre les temps plus ou moins rapidement, et qui fait émerger des groupes de temps, les mesures, dont l'organisation temporelle est stable. Pour cela, un événement saillant (note intense ou longue), appelé « temps fort », peut indiquer le début d'une mesure comportant plusieurs autres temps, plus faibles. En musique, percevoir la pulsation revient à identifier ces temps forts et à s'appuyer sur la régularité de leur récurrence pour anticiper les prochains. Toutefois, il arrive que la pulsation ne soit pas marquée par un temps fort. Dans ce cas, il est possible de la déceler à partir d'autres indices et la forte attente de régularité de la part de l'auditeur y participe. L'organisation interne de la mesure (i.e., métrique) est stable à travers les répétitions : le nombre de temps demeure, ainsi que la succession des temps faibles et forts dans la mesure. Cela permet notamment de suivre la musique en ne sélectionnant que certaines unités.

La parole a, elle aussi, un rythme. Des groupes rythmiques sont en effet perçus : ce sont des syllabes ou des ensembles de syllabes formant une unité syntaxique et/ou sémantique dont la dernière syllabe est accentuée en français. La récurrence de l'accentuation permet de repérer ces unités et d'anticiper les suivantes. Comme celui de la musique, le rythme de la parole est organisé hiérarchiquement, avec des

éléments emboîtés. Les groupes de mots contiennent des syllabes, elles-mêmes analysables en phonèmes puis en indices acoustiques. Une certaine régularité est donc présente simultanément à plusieurs échelles dans l'organisation temporelle de la parole, qui a toutefois des spécificités.

2. Particularités du rythme de la parole

2.1. Organisation temporelle pseudo-régulière

Dans le langage, une des caractéristiques récurrentes est la concordance entre le groupe rythmique et la respiration. Le groupe rythmique est donc précédé et suivi d'une pause, soulignant la rythmicité langagière. Ces indices sont moins présents si le débit de parole est rapide, car pauses et accents sont alors négligés.

Le rythme de la parole se démarque aussi par sa moindre régularité, qui rend sa perception moins facile car la prochaine unité est temporellement moins prédictible. Or, ce qui est peu anticipé est traité plus difficilement, car l'attention n'est pas préparée à approfondir l'analyse au bon moment. La Théorie de l'Attention Dynamique de Jones (1989) offre un cadre théorique pour expliquer l'intérêt de la prédictibilité. Ce cadre présente aussi l'avantage d'être cohérent avec les recherches actuelles en neurosciences sur les rythmes cérébraux.

2.2. Théorie de l'Attention Dynamique de Jones (1976) (DAT)

Selon la Théorie de l'Attention Dynamique (Drake, Jones, & Baruch, 2000; Jones & Boltz, 1989), l'attention n'est pas distribuée de façon continue mais par cycles : elle serait essentiellement rythmique. Ces cycles seraient si rapides qu'il serait impossible de prendre conscience de l'alternance entre les instants où nos ressources de traitement sont libérées pour optimiser l'analyse, et ceux où leur absence limite la qualité de l'analyse. L'attention aurait un atout : le rythme de sa distribution serait très plastique. Il se modifierait rapidement grâce à une tendance à se synchroniser à l'information entrante. L'attention suivrait donc un rythme endogène qui s'adapterait à celui de l'information. La synchronisation entre la diffusion de l'attention et le début d'unités importantes optimiserait le traitement. Pour l'information auditive, les cycles attentionnels se synchroniseraient avec celui du signal sonore, permettant d'extraire des données acoustiques et de bien les traiter.

L'attention est ce qui permet l'analyse de l'information, son découpage (séquenciation) et l'extraction des unités saillantes. Il faut que cette séquenciation corresponde à l'organisation temporelle de l'information pour la traiter facilement.

2.3. Théorie des oscillations cérébrales

Sur le plan neuronal, la DAT est cohérente avec la notion d'oscillations cérébrales. Celles-ci correspondent au rythme produit par des groupes de neurones qui se sont synchronisés. Ils émettent des signaux électromagnétiques d'origine neurophysiologique. L'électro-encéphalogramme les traduit sous forme d'ondes, et leur analyse fait ressortir les bandes de fréquences renforcées, semblables aux formants d'une voyelle. Ces analyses mettent en image les variations d'excitabilité neuronale qui déterminent les potentiels d'action, décharges d'énergie correspondant à un état neuronal optimal permettant de prendre en compte l'information. Des pics d'excitabilité se produisent ainsi de façon rythmique et sont supposés correspondre à des pics attentionnels : ils guideraient l'attention.

Les oscillations cérébrales sont multiples et réparties différemment selon l'hémisphère et les aires cérébrales. Ainsi, dans les aires temporeles supérieures traitant l'information auditive, les oscillations sont plus rapides dans l'hémisphère droit que dans l'hémisphère gauche. Ces rythmes internes seraient par ailleurs emboîtés et hiérarchisés (Ghitza, Giraud, & Poeppel, 2013), comme le sont les rythmes de la parole et de la musique, ce qui offrirait des fenêtres d'analyse complémentaires et combinables. Poeppel, Idsardi et van Wassenhove (2008) ont développé le *Multi-Time Resolution Model* pour expliquer comment cette complémentarité permet le traitement simultané des différentes unités dans le signal de parole (phonèmes, syllabes, petits groupes de mots). Ces traitements fonctionnent de concert grâce à des oscillations cérébrales à différents endroits dans le cerveau, mais avec des phases compatibles (Gross et al., 2013).

En plus de leur coordination entre elles, les oscillations cérébrales tentent de s'ajuster (*entrainment*) au rythme de l'information jusqu'à un état de synchronisation (*phase-locking*) (Keitel, Thut, & Gross, 2017). Le rythme du signal musical ou verbal stimulerait ainsi ces oscillations, modulant l'attention temporelle et ajustant sa distribution. La moindre régularité du signal de la parole imposerait de fréquents ajustements des rythmes cérébraux. Ces synchronisations réalisées quasiment *on-line* permettraient au système cognitif d'anticiper la survenue des informations importantes, tels que le début d'une mesure en musique ou le début d'une nouvelle unité dans la parole. Combiner la DAT et les travaux sur les oscillations cérébrales permet donc de concevoir l'attention comme un système d'anticipation.

C'est pourquoi, tout ce qui pourrait faciliter l'ajustement des rythmes cérébraux et attentionnels au rythme des informations à extraire, est susceptible d'améliorer l'analyse du langage. Il est alors possible d'imaginer que le pré-ajustement de l'attention temporelle par l'écoute d'amorces musicales au rythme régulier et saillant puisse améliorer le traitement ultérieur du langage. C'est l'hypothèse que suivent les recherches actuelles sur l'amorçage rythmique. Une autre approche, suivie dans cette recherche, consiste à exercer de manière plus durable la détection de rythme pour inciter le système attentionnel à suivre celui-ci et à tenter de s'y ajuster plus systématiquement. Avant de synthétiser ces deux approches, interrogeons-nous sur leur intérêt pour les personnes souffrant de difficultés linguistiques.

3. Dyslexie développementale et déficit de l'attention temporelle

3.1. Définitions de la dyslexie développementale

La dyslexie développementale est un trouble durable et significatif de l'acquisition du langage écrit portant spécifiquement sur les mécanismes d'identification des mots écrits et sous-tendu par un déficit cognitif objectivable. Ce trouble survient en dehors d'une déficience intellectuelle, d'un trouble neurologique, sensoriel ou d'une carence éducative. La réalité clinique révèle cependant de nombreuses comorbidités et la notion de trouble spécifique est à relativiser.

Les troubles cognitifs sous-jacents peuvent être phonologiques (Bates et al., 2007; Snowling & Melby-Lervåg, 2016), correspondant pour certains chercheurs à un trouble spécifiquement linguistique (Rosen, 2003) et pour d'autres à des déficits en audition centrale perturbant notamment le traitement de sons brefs (Tallal, 1980). Ils peuvent aussi concerner les compétences visuo-attentionnelles (Bedoin, 2015 ; Bosse, Tainturier, & Valdois, 2007 ; Bosse & Valdois, 2003 ; Dispaldro et al., 2013 ; Facoetti, Lorusso, Cattaneo, Galli, & Molteni, 2005 ; Franceschini, Bertoni, Ganesini, Gori, & Facoetti, 2017 ; Valdois, Lassus-Sangosse, & Lobier, 2012 ; Zoubrinetzky, Bielle, & Valdois, 2014). Cette disparité reflète l'existence de différentes sortes de dyslexie selon la voie de lecture particulièrement atteinte. Si le déchiffrage par assemblage est particulièrement perturbé, la dyslexie est dite phonologique. Si la procédure de lecture par adressage automatique est principalement déficitaire, la dyslexie est dite de surface. La majorité des personnes dyslexiques présente une altération des deux procédures, et les profils sont aujourd'hui souvent définis comme relatifs (Castles & Coltheart, 1993) avec une dominance phonologique ou de surface.

La prévalence de la dyslexie développementale est estimée à 7 % de la population française (Perdrix, 2016). Ceci explique la demande de prise en soin de troubles du langage écrit, majoritaire en orthophonie. En effet, avec l'avancée de la recherche et la reconnaissance du travail orthophonique dans ce domaine, le nombre de personnes dyslexiques diagnostiquées et suivies a augmenté.

3.2. La dyslexie comme déficit de l'attention temporelle et de la synchronisation cérébrale (Temporal Sampling Framework de Goswami)

De nombreuses recherches ont confirmé l'intuition clinique selon laquelle la musique peut favoriser l'apprentissage de la lecture (Goswami, 2011 ; Overy, 2003 ; Gaab et al., 2005 ; Tallal & Gaab, 2006). Par exemple, l'expérience d'Anvari, Trainor, Woodside, & Levy (2002) montre une corrélation entre les habiletés musicales et la conscience phonologique, qui est un prédicteur de la lecture, chez les enfants de 4 et 5 ans. Foxton et al. (2003) ont quant à eux révélé des liens entre la capacité musicale à discriminer la hauteur des sons et les habiletés en phonologie et en lecture. Ce lien se confirme avec les difficultés des personnes dyslexiques en discrimination du *pitch* dans la parole (Besson et al., 2007). Ces difficultés de discrimination des signaux linguistiques et musicaux en cas de dyslexie suggèrent un trouble de la perception auditive de haut niveau, empêchant la constitution d'un système phonologique suffisamment adapté pour apprendre à lire. Les difficultés rencontrées pour traiter la rythmicité du langage pourraient aussi contribuer à la dyslexie, conformément à l'hypothèse d'un déficit d'attention temporelle dans cette pathologie.

En 2011, Goswami (2011) a publié ses hypothèses sur le rôle de déficits d'attention temporelle, plus profondément imputables à des anomalies des oscillations cérébrales, dans la dyslexie. De ses hypothèses découle le *Temporal Sampling Framework* (TSF). Cette théorie souligne la nécessité de découper le signal de parole en unités temporelles. Cette séquenciation mobilise un mécanisme relevant de la cognition auditive et de l'attention temporelle. Elle résulterait de la distribution cyclique de l'attention, distribution elle-même dépendante des oscillations cérébrales et de l'*entrainment*. Ainsi, dans les troubles développementaux du langage, Goswami fait l'hypothèse d'un déficit des oscillations cérébrales impliquées dans le traitement de la parole. Elles pourraient par exemple avoir un rythme inapproprié, être difficiles à déclencher, ou lentes à se synchroniser au rythme externe.

De telles anomalies chez les enfants dyslexiques pourraient entraîner des difficultés d'extraction des unités langagières dont le début est normalement repérable par la

perception et l'anticipation du *rise time* (augmentation brusque de l'amplitude du signal de parole au début d'une unité). Cela se manifeste par un échec dans des tâches orales telles que le comptage de syllabes ou la manipulation de phonèmes (Lehongre, Morillon, Giraud, & Ramus, 2013). Ces anomalies seraient liées aux oscillations cérébrales supposées intervenir dans l'analyse temporelle du signal auditif, notamment dans les lobes temporaux supérieurs. La TSF lie donc la dyslexie à un déficit neuronal fonctionnel et fait l'hypothèse d'une perturbation forte des ondes cérébrales de basse fréquence. Ce déficit perceptif entraînerait des difficultés à développer le système phonologique. Cette théorie conduit Goswami à inciter les chercheurs à utiliser la musique comme outil pour rétablir une attention temporelle efficace, un traitement correct du langage oral et une lecture adaptée. La musique est en effet temporellement plus régulière et donc plus facile à analyser.

4. Utiliser les liens musique-langage en réhabilitation cognitive et linguistique

4.1. Amorçage musical : effets à court terme d'une stimulation temporaire

Utiliser des amorces musicales au rythme très régulier et saillant avant la présentation d'un signal de parole à traiter permettrait donc, selon Goswami, de rétablir une attention temporelle efficace. Des amorces rythmiquement régulières pourraient pré-ajuster les oscillations cérébrales et l'attention temporelle, permettant ainsi une meilleure analyse de la parole. Cela pourrait compenser un *entrainement* lent ou imprécis, tel qu'il pourrait l'être chez des personnes dysphasiques ou dyslexiques (Goswami, 2011). Les résultats d'expériences d'amorçage rythmique étayent cette hypothèse, en montrant une amélioration du traitement phonémique après l'écoute d'une amorce musicale dont le rythme est ajusté à celui des syllabes (Cason, Astésano, & Schön, 2015). L'analyse morphosyntaxique a été ainsi positivement influencée chez des dyslexiques, des dysphasiques ou des normo-lecteurs de tous âges (Bedoin, 2016; Przybylski et al., 2013) mais aussi chez des personnes atteintes de la maladie de Parkinson, d'une lésion des ganglions de la base (Nozaradan, Schwartze, Obermeier, & Kotz, 2017) ou d'épilepsie de l'enfance (Gavanon et al., 2017).

Plus indirectement, des données montrent qu'un programme d'entraînement à l'analyse grammaticale améliore les traitements dans ce domaine chez des enfants sourds implantés cochléaires, seulement si les exercices sont précédés de l'écoute d'une musique rythmique à 2 Hz, rythme apparemment propice à l'extraction d'unités

pour l'analyse morphosyntaxique (N. Bedoin et al., 2017; Nathalie Bedoin, Brisseau, Molinier, Roch, & Tillmann, 2016). Des questions se posent alors sur l'effet de la musique chez les enfants dyslexiques qui, certes, ne présentent pas de déficits de grammaire conséquents, mais qui restent peu performants dans les épreuves impliquant la morphosyntaxe à l'oral si le test est d'assez haut niveau (Przybylski et al., 2013; Tillmann, Canette, & Bedoin, 2017).

4.2. Entraînements musicaux : effets à long terme

4.2.1. Entraînement musical : différence entre musiciens et non musiciens

De nombreuses études ont exposé des différences sur les plans développemental et cognitif entre les personnes ayant suivi un entraînement musical, celles qui ont participé à un entraînement dans une autre discipline ou celles n'ayant pratiqué aucun entraînement. Dans le premier cas, les plus représentatifs sont les musiciens. Habib & Besson (2008) évoquent des recherches montrant que le volume de substance grise de ces derniers est plus important dans l'aire auditive primaire (Schneider et al., 2002). Des différences anatomiques existent aussi dans les aires motrices (Hyde et al., 2009) et dans le planum temporale avec une asymétrie induisant une meilleure intégration des stimuli auditifs. Ces différences permettent une analyse du signal acoustique de meilleure qualité. Ainsi, en réception, la pratique musicale permet une augmentation des potentiels évoqués acoustiques (Bosnyak, Eaton, & Roberts, 2004), des réactions plus fortes en cas de traitement de plus haut niveau (phonologique) avec une Mismatch Negativity (MMN) plus ample en écoute passive d'un déviant phonémique chez le musicien (Lappe, Herholz, Trainor, & Pantev, 2008). La MMN est une onde qui croît lorsque le cerveau détecte une déviance phonologique. Les musiciens sont également plus performants dans les tâches attentionnelles (Marie, Magne, & Besson, 2011). Ils ont aussi de meilleures performances mnésiques, associées à une plus grande densité de la matière blanche dans l'hippocampe (Groussard et al., 2010). De plus, ils utilisent un réseau neuronal plus étendu lors d'une tâche sémantique musicale. L'entraînement musical permettrait donc une modification des stratégies mnésiques plutôt qu'une modification de la mémoire elle-même (Herdener et al., 2010).

4.2.2. Programmes de remédiation du langage par la musique

L'aide apportée par la musique au langage peut-elle profiter à des personnes dyslexiques ? Si oui, comment ? Ces questions ne sont pas anodines car ces personnes sont également sujettes à des difficultés dans les tâches musicales. Les

premières études auprès d'enfants dyslexiques ont été réalisées par Overy (2003). Elle proposait un programme de jeux musicaux avec une difficulté croissante, centrés sur le rythme, durant quinze semaines. Les traitements phonologiques et l'orthographe se sont améliorés chez ces enfants. Plus récemment, Habib, Lardy, Desiles, Commeiras, Chobert et Besson (2016) ont mis au point une méthode d'entraînement musical (CMT - *Cognitive-Musical-Training*) sur trois jours, pour enfants dyslexiques de 7 à 11 ans. La CMT est basée sur des données théoriques et cliniques. Elle utilise des outils mélodiques et rythmiques non scolaires. Des effets positifs sont survenus pour divers traitements langagiers : la perception catégorielle, la perception d'éléments temporels de la parole, l'attention auditive, la conscience phonologique, les compétences en lecture et la répétition de pseudo-mots (Habib et al., 2016). L'entraînement a été réitéré sur une période plus longue (six semaines) sans obtenir d'effets plus forts. Une courte durée d'entraînement n'empêche donc pas son efficacité. De plus, les progrès ont persisté six semaines après l'entraînement. Bien que portant sur la mélodie et le rythme de la musique, ces entraînements privilégient tout de même le travail rythmique.

D'autres études ont proposé des entraînements uniquement rythmiques. Entraîner à détecter le rythme de l'information extérieure sensibiliserait le système attentionnel à le suivre plus systématiquement et à tenter de s'ajuster. Il peut s'agir, sur le plan neuronal, d'exercer l'*entrainment* des oscillations cérébrales en multipliant les conditions favorisant de telles synchronisations, par exemple en demandant de porter attention à des séquences musicales très régulières (Du & Zatorre, 2017; François, Chobert, Besson, & Schön, 2013; Tierney & Kraus, 2013). Cela peut passer par l'apprentissage de la musique, mais aussi par un entraînement plus court sensibilisant au rythme. Ce type d'aide relève de la catégorie des activités brèves, et est adapté aux enfants avec difficultés langagières. Flaugnacco et al. (2015) ont mis en place un tel programme pour des enfants dyslexiques de 8 à 11 ans, en se fondant sur la pédagogie Kodaly et Orff (Houlahan & Tacka, 2015) en utilisant des instruments à percussion, des syllabes (« ta, ti-ti ») et du rythme corporel (*tapping*). Initialement, cette méthode n'était pas destinée à des enfants en difficulté. L'entraînement durait 30 semaines pour les groupes contrôle (activité peinture) et expérimental (activité musique). Seul ce dernier groupe a progressé en lecture de texte et de logatomes, vitesse de lecture et compétences phonologiques. Ce type d'entraînement aurait aussi des retentissements sur le plan cérébral. Strait & Kraus (2011) ont en effet montré un

changement de l'activité préfrontale après un entraînement rythmique. La formation musicale permettrait ainsi de développer l'audition de haut niveau mais aussi des fonctions exécutives telles que la mémoire de travail et l'attention.

5. Problématique et hypothèses

Dans la lignée des études précédentes, notre recherche s'est consacrée à l'élaboration d'un nouvel entraînement musical court. Ce dernier est composé de deux parties : un atelier rythmique et un atelier mélodique (*pitch*). L'évaluation objective des effets du programme était basée sur la comparaison des performances dans un bilan réalisé avant et après chaque atelier permettant ainsi de connaître les effets dudit entraînement.

Dans quelle mesure cet entraînement musical influence-t-il les capacités linguistiques, attentionnelles et musicales des enfants volontaires pour cette étude ? Nous nous attendons à des progrès dans ces trois compétences après l'entraînement rythmique. De plus, nous pensons que le travail sur le pitch permet d'affiner le traitement des unités linguistiques brèves et est donc globalement profitable à tout traitement linguistique.

II. Méthode

1. Participants

Les participants étaient six enfants, trois garçons et trois filles (âge médian au début de l'étude de 9 ans 6 mois). Cinq avaient été diagnostiqués dyslexiques par une orthophoniste. Des tests neuropsychologiques avaient écarté le trouble cognitif. Le diagnostic pour un enfant (S2) n'était pas encore confirmé, mais ses difficultés en langage écrit persistaient malgré une rééducation orthophonique depuis deux ans. Tous étaient francophones, sans trouble associé qui aurait constitué un biais pour l'étude (déficience sensorielle, trouble de l'attention important, trouble praxique majeur). Ils n'avaient jamais suivi de cours de musique en dehors de l'école.

Tableau I : Données démographiques des participants.

	Age (années, mois)	Sexe	Type dyslexie	Troubles associés	Latéralité manuelle	Bilinguisme
S1	9 ans 10 mois	F	Phonologique	∅	D	Arabe
S2	8 ans 8 mois	F	Diagnostic en attente	∅	D	Arabe
S3	8 ans 9 mois	M	Phonologique	∅	D	Italien
S4	10 ans 3 mois	M	Mixte	Trouble attentionnel modéré	D	Italien
S5	9 ans 6 mois	M	Mixte	Dyspraxie légère	G	∅
S6	11 ans 2 mois	F	Phonologique	∅	D	Arabe

F = féminin ; M = masculin ; D = droitier à au moins 80% selon test d'Edinburgh ; G = gaucher.

2. Matériel

2.1 Entraînement

L'entraînement a été conçu à partir d'échanges avec K. Overy et E. Moore (*University of Edinburgh*) en s'inspirant du livre de Storms (1999). Les ateliers s'adressaient à de petits groupes de trois enfants. L'objectif était de comparer l'influence de deux types d'entraînements musicaux sur des habiletés langagières, attentionnelles et musicales : les ateliers rythmiques (R) et les ateliers sur la hauteur ou Pitch (P). Les séances, détaillées dans les Annexe A et B, étaient ludiques, de difficulté croissante et adaptées au niveau de chacun. Les sessions R et P ont été réalisées en parallèle, permettant une dynamique semblable dans les deux ateliers.

Un rituel a été mis en place en début de séance pour créer un esprit de groupe et pour mobiliser l'attention des enfants. Chaque séance continuait par un rappel des activités qui s'étaient montrées difficiles auparavant, puis venait un jeu nouveau pour stimuler la motivation. Le rappel permettait aux enfants de favoriser l'apprentissage par la

réussite et permettait de vérifier la compréhension des notions travaillées. Nous nous efforcions de mobiliser le maximum de canaux, l'écoute, la production avec le corps, avec la bouche, pour que chacun intègre pleinement les notions proposées.

2.2 Bilans

Les bilans étaient réalisés par une psychologue-neuropsychologue et moi avant le 1^{er} entraînement (T1), après celui-ci (T2) et après le 2^{ème} entraînement (T3). Ils duraient 2h30 et évaluaient des compétences en traitement du langage oral et écrit impliquant la séquenciation (tableau résumé en Annexe C), certaines compétences attentionnelles et des habiletés musicales. Les épreuves expérimentales reprenaient des expériences de B. Tillmann, N. Bedoin, de leurs étudiants et collaborateurs.

Le **langage écrit** était évalué avec 1) un test de lecture de texte (étalonnage en cours, N. Bedoin) de 3 minutes, constitué de mots réguliers et dont le contenu ne permettait pas de deviner les mots ; ce test permet d'utiliser des textes différents mais de difficulté équilibrée à T1, T2 et T3 (Thollon, 2013), 2) le test de lecture de textes signifiants de la BALE (Jacquier-ROUX, Lequette, Pouget, Valdois, & Zorman, 2010), 3) une épreuve expérimentale de lecture à haute voix de mots et pseudo-mots avec des frontières syllabiques faciles ou difficiles à situer appelée Sonoread (Tillmann & Bedoin, 2015) ce qui requérait les habiletés de séquenciation.

Les **habiletés phonologiques** ont été évaluée par trois tests : 1) une épreuve expérimentale de segmentation syllabique appelée Syllacut (Bedoin, N., & Canette, L.-H., 2018) où l'enfant entendait une série de 64 mots et pseudo-mots dissyllabiques dont il devait répéter la première syllabe dans une phase du test. Dans une autre phase, il entendait la même série mais répétait la deuxième syllabe (Jacquier-Roux et al., 2010), 2). Une épreuve de suppression de phonème initial (10 mots) ou final (10 mots), 3).une épreuve de fusion des phonèmes initiaux de deux mots pour produire une syllabe (10 couples de mots) (Jacquier-ROUX et al., 2010).

La **perception de phonèmes**, qu'il était souhaitable d'évaluer car l'entraînement Pitch était potentiellement efficace pour cela, était évaluée en discrimination avec l'Épreuve Lilloise de Discrimination Phonologique, ELDP (Macchi et al., 2012). L'enfant entendait dans le casque deux logatomes et jugeait si c'était deux fois le même ou pas, les logatomes étant à débit normal (36 items) ou rapide (36 items).

La **grammaire** était évaluée à l'oral grâce à une épreuve expérimentale (Grammajuge) utilisant la liste de l'expérience de Przybylski et al. (2013) et de Bedoin et al. (2016). L'enfant entendait chaque phrase (48 en tout) dans le casque et jugeait le plus vite

possible si elle était grammaticalement correcte (24 phrases) ou non (24). Trois listes différentes, une par bilan, évitaient les effets de test-retest.

L'**attention** était évaluée 1) dans une situation impliquant l'analyse séquentielle d'informations visuelles, avec maintien des ressources attentionnelles de façon soutenue avec le test de barrage d2, (Brickenkamp, 1969) durant laquelle l'enfant devait barrer rapidement les lettres « d » associées à deux apostrophes parmi des distracteurs, 2) avec le test d'attention soutenue de la KITAP (Zimmermann, Gondan, & Fimm, 1994) où l'enfant voyait 300 dessins de fantômes se succéder à l'écran et devait appuyer sur une touche si deux fantômes de la même couleur se succédaient (25% des items), 3) avec le test de distractibilité de la KITAP, où l'enfant devait appuyer sur la touche si le dessin du fantôme souriait, pour une série de 80 fantômes, alors que des distracteurs (créatures de contes) apparaissaient autour du fantôme dans la moitié des cas. Il s'agissait d'évaluer un éventuel transfert de l'entraînement vers des compétences attentionnelles proches de celles entraînées surtout dans l'atelier R.

Des **compétences musicales** étaient évaluées en production et réception avec la BAASTA (Dalla Bella et al., 2017) adaptée ici aux enfants, en lien avec les aspects travaillés en ateliers, avec 1) une épreuve de jugement rythmique où un battement se superposait en synchronie avec une musique (16 items), ou avec un décalage de période (16) ou de phase (16), 2) une épreuve où l'enfant tapait une pulsation durant une minute sans musique (tapping spontané), avec un métronome (tâche de synchronisation), puis sur une musique (tâche de synchronisation complexe).

3. Procédure de l'étude

Les ateliers se déroulaient dans les locaux du Réseau Dys/10 deux fois par semaine et les bilans se passaient au domicile de l'enfant, le tout pendant 9 semaines. Le plan de la procédure d'évaluation de l'impact de l'entraînement était en *cross-over*. Les enfants avaient été affectés aléatoirement au Groupe A (ateliers Rythme (R) puis ateliers Pitch (P)) ou au Groupe B (ateliers Pitch (P) puis ateliers Rythme (R)) : les séances étaient les mêmes mais en ordre inverse (voir Annexe D). Les deux phases d'entraînement étaient ainsi proposées à chaque enfant. L'ordre des ateliers étant contrebalancé, l'impact de chaque type d'atelier était mesuré sur les six enfants, de manière intra-individuelle, les temps T1, T2 et T3 étaient réservés aux bilans.

III. Résultats

L'échantillon étant de petite taille, le test non-paramétrique (Wilcoxon) a permis de comparer les performances aux étapes T1, T2 et T3, ainsi qu'avant et après l'atelier R, et avant et après l'atelier P. Le plan en *cross-over* le permettait car l'ordre des ateliers était contrebalancé. Le seuil de significativité est à $p \leq .05$.

1. Épreuves langagières

1.1. Lecture de DeltaTexte, sans signification et syntaxiquement correct

Le score obtenu correspond au nombre de mots lus moins les erreurs. En 1 minute 30, le seul progrès observé était une tendance à commettre moins d'erreurs après l'atelier P ($V = 15$, $p = .0568$), tendance moins systématique après l'atelier R ($V = 13$, $p = .1756$). Pour le score combinant vitesse et exactitude (nombre de mots lus moins les erreurs), les progrès ne s'exprimaient qu'en 3min, et l'amélioration était significative après l'atelier R ($V = 0$, $p = .0340$), mais pas après l'atelier P ($V = 9$, $p = .8438$) (Figure 1). L'observation de la Figure 2 confirme l'amélioration après l'atelier R (mais pas l'atelier P), que ce soit en première ou deuxième étape du programme, mais l'effectif est trop faible (trois données par point) pour une analyse statistique. Le texte était différent à chaque bilan, mais le score augmentait pourtant régulièrement, trop faiblement cependant pour que ce soit significatif ($V = 2$, $p = .0926$). La Figure en Annexe E illustre les performances pathologiques en lecture pour chaque enfant : en-dessous de l'Intervalle de Confiance à 99% (enfants de l'étalonnage en cours : 8 ans ($n=46$), 9 ans ($n=59$), 10 ans ($n=21$) et 11 ans ($n=43$) et confirme leurs grandes difficultés en lecture.

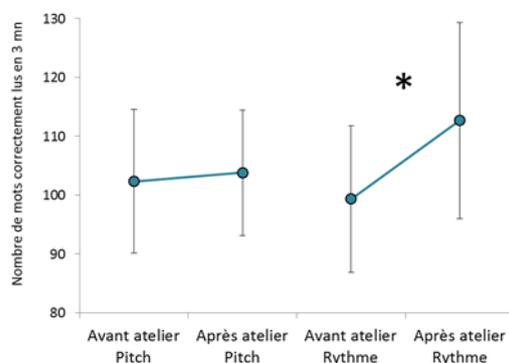


Figure 1. Score moyen de lecture selon l'étape et l'atelier. Barres d'erreur = erreur-type.

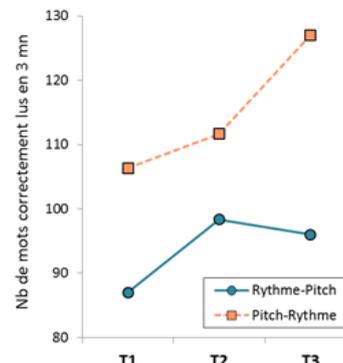


Figure 2. Score moyen de lecture selon l'étape (T1, T2, T3) et l'ordre des ateliers (Rythme→Pitch, ou l'inverse).

1.2. Test de lecture de textes avec signification et syntaxiquement correct (M. Petit et Le Géant Égoïste).

L'écart-type à la norme n'évoluait pas entre T1, T2 et T3 s'il est pris en compte l'ensemble des participants. La Figure en Annexe F, à gauche, suggère un rapprochement de la norme après l'atelier R, mais il n'était pas significatif ($V = 4$, $p = .2188$). La Figure en Annexe F, à droite, confirme une légère amélioration après l'atelier R (non observable pour l'atelier P) dans les 1^{ère} et 2^{ème} parties du programme.

1.3. Lecture de mots et pseudo-mots présentés à l'écran (Sonoread)

L'analyse des pourcentages d'erreurs n'a fait ressortir que deux différences marginalement significatives. Les erreurs tendaient fortement à diminuer après l'atelier R pour les stimuli (mots et pseudomots) avec frontière syllabique difficile (S-) ($V = 15$, $p = .0591$) (Figure 3). En ne considérant que les erreurs affectant la frontière (Figure 4), le seul progrès proche du seuil intervenait après l'atelier R pour les S- ($V = 19$, $p = .0938$).

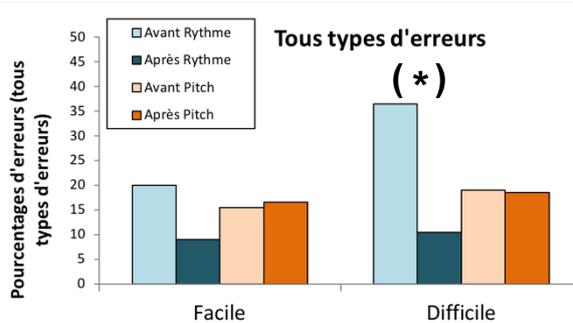


Figure 3. Pourcentages d'erreurs tous types confondus selon le type de frontière syllabique (facile, difficile à situer).

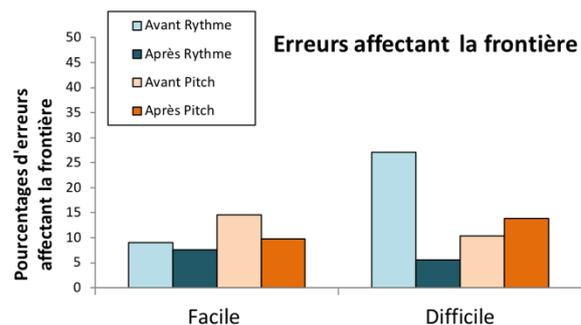


Figure 4. Pourcentages d'erreurs affectant la frontière selon le type de frontière syllabique (facile, difficile à situer).

La Figure 5 montre une modification des proportions des types d'erreurs affectant la frontière après l'atelier R. Dans les stimuli $C_1VC_2.C_3V$, la proportion d'erreurs par oubli de la coda de la première syllabe (C_2) diminuait au profit d'une augmentation de la proportion de transformations de C_2 . De même, la proportion d'oublis de C_3 diminuait au profit d'erreurs transformant C_3 . Enfin, la proportion d'insertion de voyelle entre C_2 et C_3 (préservant les deux consonnes) augmentait après l'atelier R.

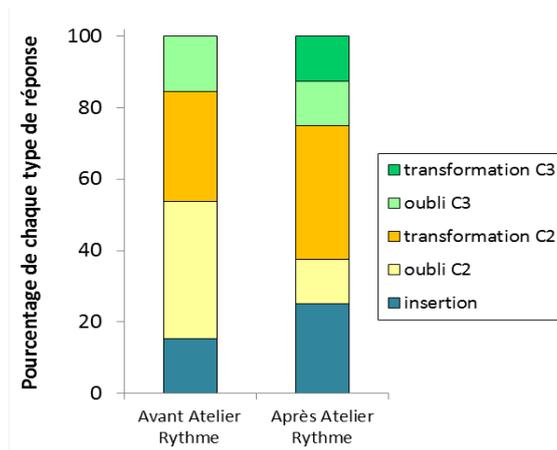


Figure 5. Proportions des types d'erreurs avant et après l'atelier Rythme.

1.4. Test de discrimination de logatomes (ELDP).

Si la parole était à débit normal, l'ET à la norme des patients était trop faible pour être pathologique (Figures 6 et 7). Il n'y avait pas de différence significative entre les étapes, ni avant et après l'un ou l'autre atelier.

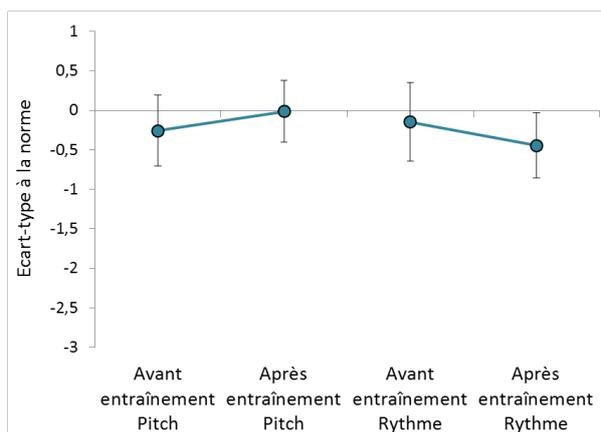


Figure 6. Score moyen de discrimination à débit normal selon l'étape et l'atelier. Barre d'erreur = erreur-type.

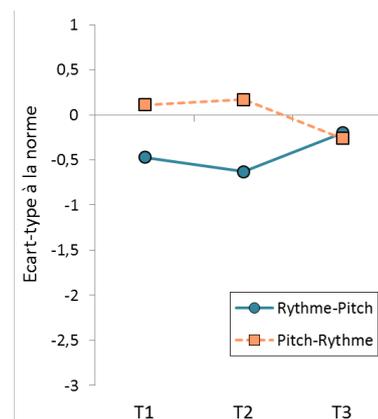


Figure 7. Score moyen de discrimination à débit normal selon l'étape et l'ordre des ateliers.

A débit de parole rapide, un progrès semblait suivre l'atelier R (Figure 8) mais il n'était pas significatif ($V = 3$, $p = .1563$). Il n'y avait pas de progrès après l'atelier P ($V = 7$, $p = .5625$). La Figure 9 montre des performances pathologiques pour le groupe Pitch-Rythme à T1, qui n'étaient plus pathologiques après l'atelier P à T2. Les participants progressaient encore énormément après l'atelier R. D'après le test unilatéral de Mellenbergh et van den Brink (1998) (valeur critique à 1.96), un des patients de ce groupe (Patient 1) progressait significativement après l'atelier R ($z = 3.06$), seul progrès significatif entre deux étapes dans ce test.

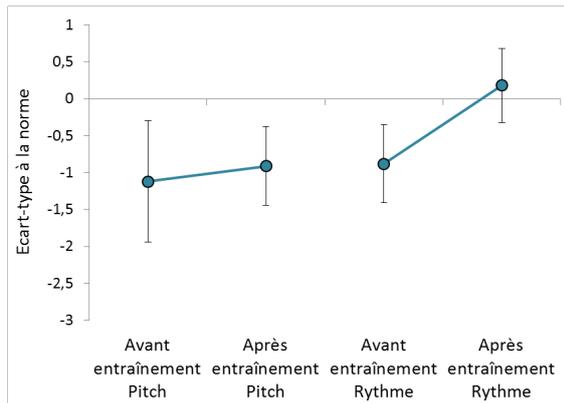


Figure 8. Score de discrimination moyen à débit rapide selon l'étape et l'atelier. Barre d'erreur = erreur-type.

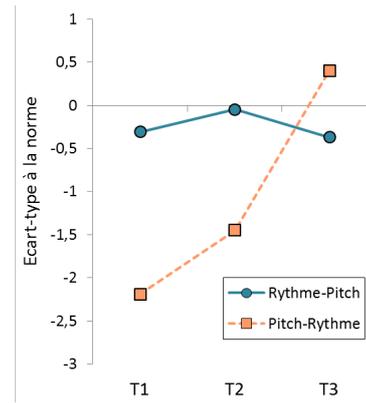


Figure 9. Score moyen de discrimination à débit rapide selon l'étape et l'ordre des ateliers.

1.5. Découpage syllabique (Syllacut)

Les enfants ont commis significativement moins d'erreurs à T2 qu'à T1, que l'on considère toutes les erreurs ou seulement celles affectant la frontière syllabique ($V = 21, p < .0313$). Ce meilleur niveau de performances se stabilisait à T3. Pour les erreurs affectant la frontière, il n'y avait pas de progrès au fil des bilans pour les frontières faciles, alors qu'entre T1 et T2 un progrès tendait à survenir pour les frontières S+ ($V = 15, p < .0580$) et était significatif pour les S- ($V = 21, p < .0356$). Les performances ne se prêtaient pourtant pas plus à un effet plancher pour les stimuli faciles que pour les S+ (Figure 10). Par ailleurs, le progrès était significatif pour les stimuli S- après l'atelier R ($V = 21, p < .0313$) et non après l'atelier P ($V = 18.5, p < .1148$) pour l'ensemble des erreurs (Figure 12), comme pour les erreurs à la frontière (Figure 11) (respectivement $V = 21, p < .0356$ et $V = 17, p = .2072$).

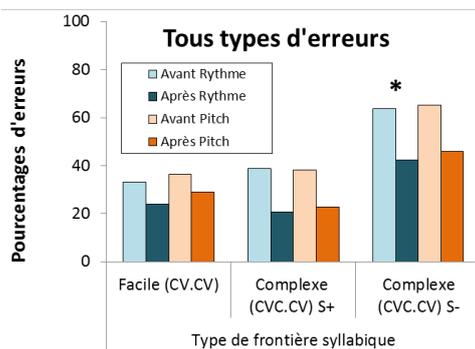


Figure 10. Pourcentages d'erreurs, tous types confondus, selon le type de stimulus.

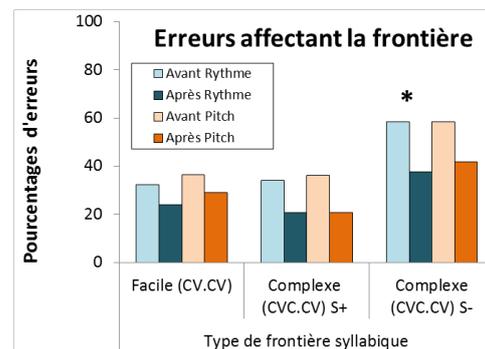


Figure 11. Pourcentages d'erreurs affectant la frontière, selon le type de stimulus.

La Figure 12 montre que le type d'erreurs changeait très peu après l'entraînement R. Toutefois, les oublis et transformations de C_3 disparaissaient totalement, les

proportions d'erreurs par transformation de C₂ et par mauvaise position de la frontière diminuaient au profit de l'oubli de C₂ mais surtout de réponses ambisyllabiques. Les différences n'étaient pas les mêmes après l'Atelier P (Figure 13) : l'ambisyllabité augmentait peu, la proportion de mauvaises positions de frontières augmentait, et seules les transformations et oublis de C₂ diminuaient.

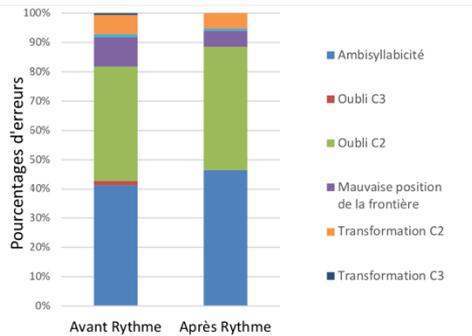


Figure 12. Proportion des types d'erreurs avant et après l'atelier R.

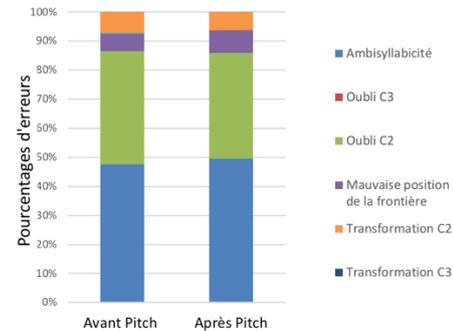


Figure 13. Proportion des types d'erreurs avant et après l'atelier P.

1.6. Capacités métaphonologiques.

La suppression de phonème initial s'améliorait entre T1 et T3 ($V = 0, p < .0545$), mais aucun atelier n'améliorait significativement les performances à lui seul (Figure 14, gauche). La suppression de phonème final s'améliorait aussi entre T1 et T3 ($V = 0, p < .036$), avec une très forte tendance au progrès après l'atelier R ($V = 1, p < .0578$) mais pas après l'atelier P ($V = 5, p = .5862$) (Figure 14, centre). En fusion de phonèmes initiaux, un progrès était enregistré entre T1 et T2 ($V = 0, p < .0351$) et se maintenait entre T1 et T3 ($V = 0, p < .0352$). Après l'un ou l'autre atelier, les performances devenaient quasiment parfaites (Figure 14, à droite), le progrès étant marginal après l'atelier R ($V = 0, p < .0975$) et non après l'atelier P ($V = 0, p = .1814$).

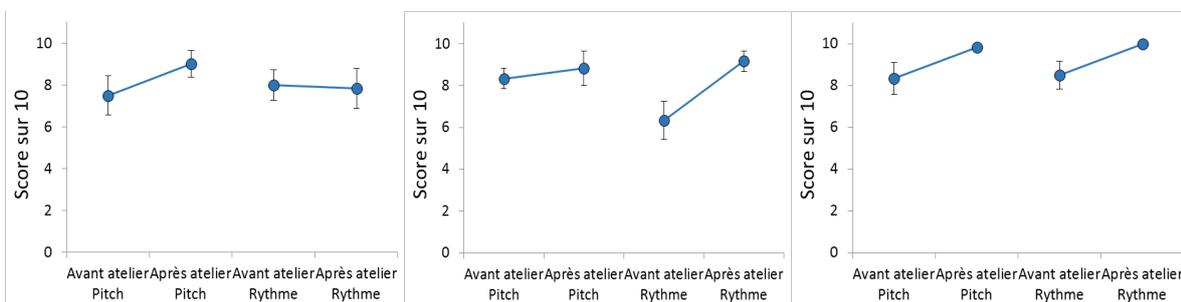


Figure 14. Score sur 10 aux épreuves métaphonologiques : gauche = suppression 1er phonème ; centre = suppression dernier phonème ; droite = fusion phonèmes. Barres d'erreur = erreur-type.

1.7. Jugement grammatical (Grammajuge)

L'indice de sensibilité d' correspond au z des détections correctes d'erreurs de grammaire moins le z des fausses alarmes (FA). D' semblait augmenter au fil de

l'entraînement (Figure 15, gauche), mais de façon non significative (T1-T3, $V = 3$, $p = .16$). Aucun atelier considéré séparément n'améliorait significativement le d' . La diminution des FA était significative entre T1 et T2 ($V = 21$, $p < .0313$) et se maintenait entre T1 et T3 ($V = 21$, $p < .0326$) (Figure 15, centre). Aucun atelier considéré n'apportait de résultat significatif. Les oublis de faute de grammaire diminuaient entre T2 et T3 (Figure 15, droite) mais non-significativement ($V = 14$, $p = .10$) et pas plus après l'un des ateliers. La Figure 16 révèle une accélération marginale du temps de réponse (TR) entre T1 et T3 pour les phrases agrammaticales ($V = 20$, $p = .0625$). D'après la Figure 17, les phrases agrammaticales étaient traitées plus vite après l'atelier R mais de manière non-significative ($V = 4$, $p = .21$). Cinq enfants sur six détectaient plus vite les erreurs dans les phrases agrammaticales après l'atelier R, alors que c'était le cas pour seulement trois enfants sur six après l'atelier P.

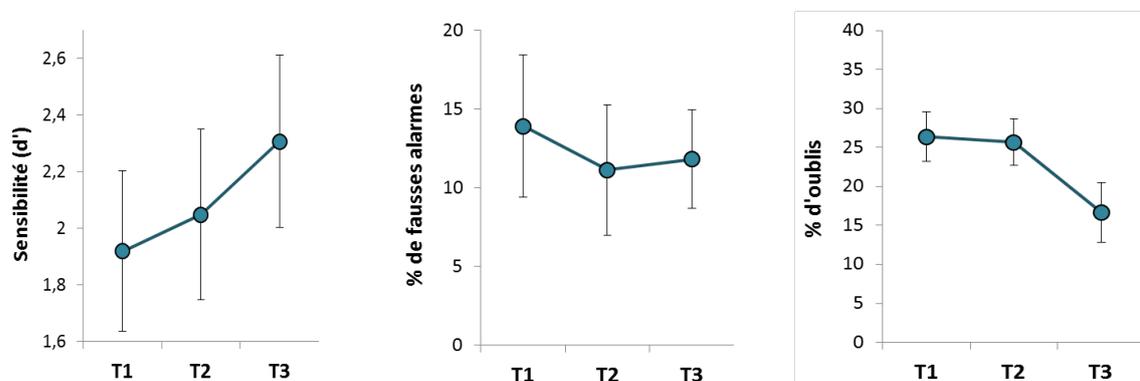


Figure 15. Gauche : Sensibilité en grammaire ; Centre : % de FA ; Droite : % d'oublis, selon l'étape du programme. Barres d'erreur = erreur-type.

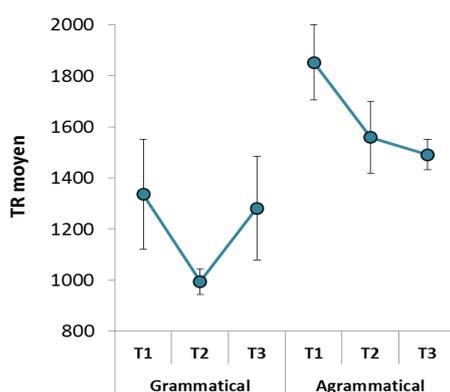


Figure 16. Vitesse pour juger les phrases correctes ou non, selon l'étape. Barres d'erreur = erreur-type.

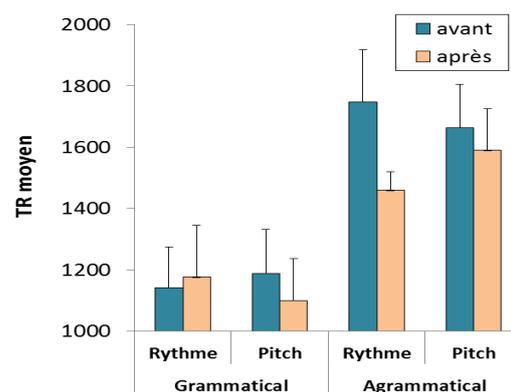


Figure 17. Vitesse pour juger les phrases selon la phase de chaque atelier. Barres d'erreur = erreur-type.

2. Épreuves attentionnelles

2.1. Épreuve de barrage (d2)

L'analyse portait sur des notes standards pour la Capacité de Concentration (CC), le nombre de Caractères Cibles Traités (CCT), et l'indice d'exactitude. Entre T1 et T3, la CC s'améliorait ($V = 0, p = .03$) et le CCT augmentait ($V = 0, p = .057$). Après l'atelier R, la CC s'améliorait ($V = 0, p = .03$), et l'indice d'exactitude ($V = 1, p = .06$) ainsi que le nombre de CCT ($V = 1, p = .062$) tendaient à augmenter (Figure 18). La Figure en Annexe G, le confirme quel que soit l'ordre de cet atelier. Après P, aucune amélioration n'apparaissait.

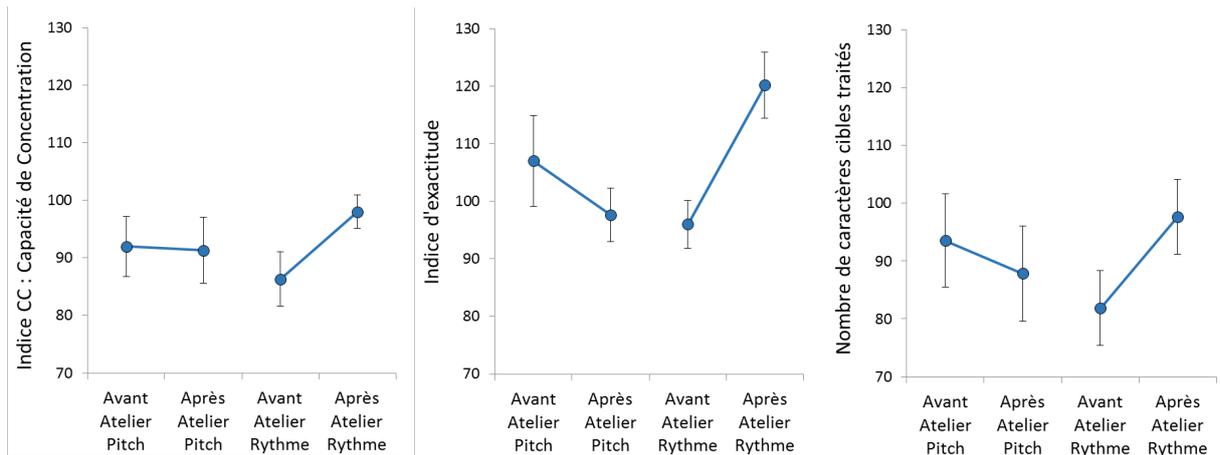


Figure 18. Moyennes des indices (gauche : concentration ; centre : exactitude ; droite : cibles détectées) selon l'atelier. Barres d'erreur = erreur-type.

L'analyse des résultats ne montre pas de progrès significatif au fil des étapes ni après l'un ou l'autre atelier, dans les 5 premières minutes, les 5 dernières, ou sur tout le test. L'analyse détaillée (Figure 19) montrait que l'ordre des ateliers importait. Le d' augmentait au fil des étapes seulement si l'atelier R suivait l'atelier P. Seul cet ordre permettait à l'atelier R de réduire les FA et les oublis. C'était aussi seulement alors que 3 enfants sur 3 amélioraient leur d' et réduisaient les oublis après l'atelier R.

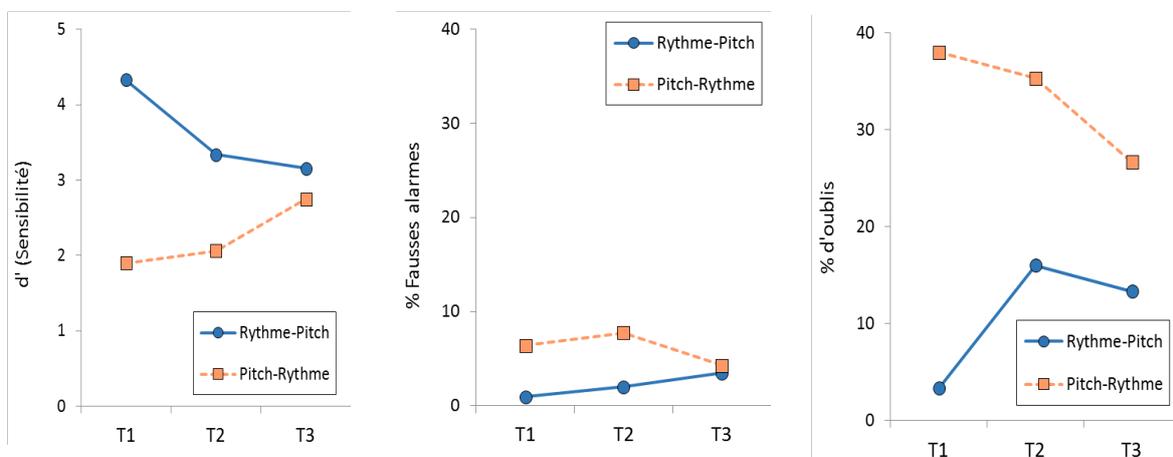


Figure 19. Sensibilité, taux de fausses alarmes et taux d'oublis selon l'étape et l'ordre des ateliers (Rythme→Pitch, ou l'inverse).

2.2. Test d'attention soutenue (KITAP)

Il n'y avait pas de progrès significatif au fil des étapes ni après l'un ou l'autre atelier, dans les 5 premières minutes, les 5 dernières, ou sur tout le test. L'analyse détaillée des données (Figure 20) montrait que l'ordre dans lequel les ateliers étaient proposés importait. Chaque point étant la moyenne de trois enfants, il n'y avait pas d'analyse statistique de groupe. Le d' augmentait au fil des étapes seulement pour la combinaison Ateliers P puis R. Seul cet ordre permettait à l'atelier R de réduire les FA et les oublis. C'est aussi seulement après l'atelier R proposé après l'atelier P que 3 enfants sur 3 s'amélioraient pour le d' et les oublis.

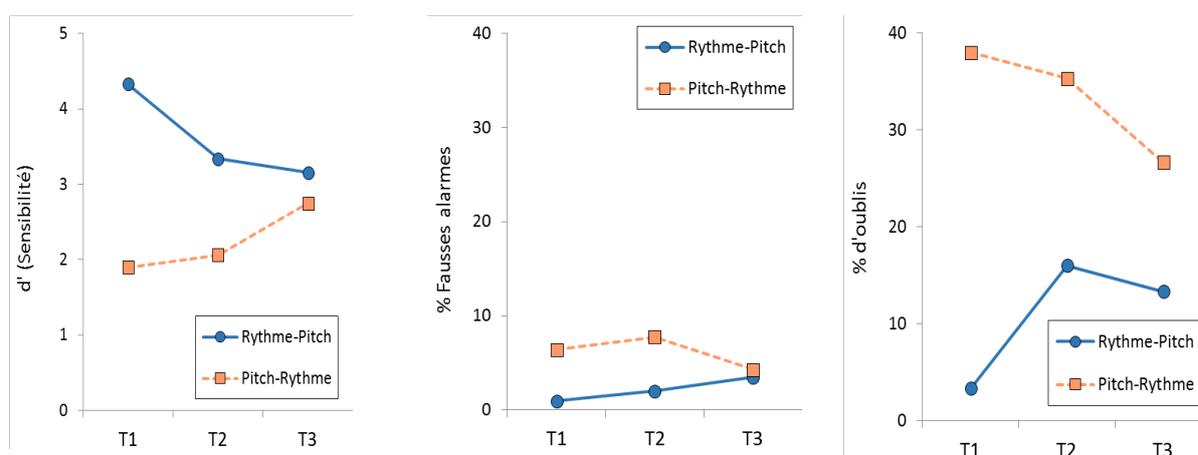


Figure 20 : Sensibilité, fausses alarmes (reflet de l'impulsivité), oublis (reflet d'un faible maintien de l'attention) selon l'étape et l'ordre des ateliers (Rythme/Pitch ou l'inverse).

2.3. Test de distractibilité (KITAP)

En présence de distracteurs, le d' augmentait seulement après l'atelier R ($V = 0$, $p = .0313$) (Figure 22). Il en est de même en l'absence de distracteurs mais non-significativement ($V = 4$, $p = .22$). La configuration des résultats était la même pour les FA et les oublis (Figures en Annexe H). La seule différence très proche du seuil était la réduction des FA après l'atelier R, en présence de distracteurs ($V = 15$, $p = .0579$) mais non en leur absence ($V = 9$, $p = .20$).

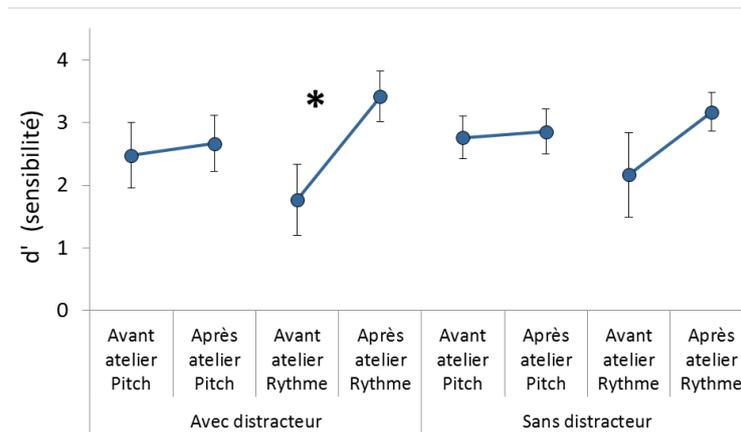


Figure 22. Sensibilité (d') dans la tâche de détection avec et sans distracteurs, selon l'étape et le type d'atelier. Barres d'erreurs = erreur-type.

3. Épreuves musicales

3.1. Perception (BAASTA)

Dans cette épreuve, les repérages d'erreurs de période et d'erreurs de phase étaient pris en compte séparément, mais il n'y a pas eu d'amélioration significative. Pour le repérage des erreurs de phase, une tendance à l'amélioration se dessine en Figure 23 après l'atelier R ($V = 3, p = .18$) davantage qu'après l'atelier P ($V = 6, p = .43$), alors que la sensibilité aux erreurs de période varie peu (Figure 24).

Cette tendance se retrouve dans l'évolution des compétences au fil des étapes.

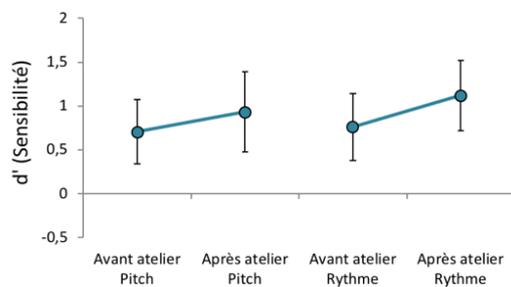


Figure 23. Sensibilité aux décalages de phase selon l'atelier.

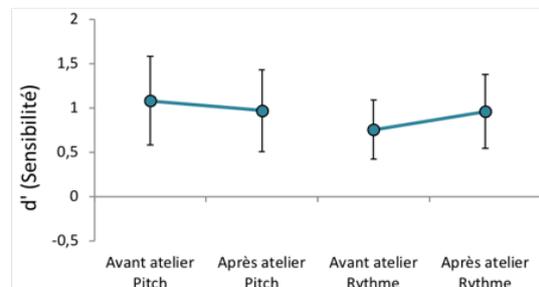


Figure 24. Sensibilité au décalage de période selon l'atelier.

Ainsi, il y a très peu de progrès en repérage d'erreur de période ($V = 12, p = .84$) (Figure 25) : seuls 50% des enfants s'améliorent entre T1 et T3. Le repérage des erreurs de phase s'améliore plus, malgré une grande variabilité interindividuelle (Figure 26) : entre T1 et T3, cinq des six enfants progressent ($V = 2, p = .09$).

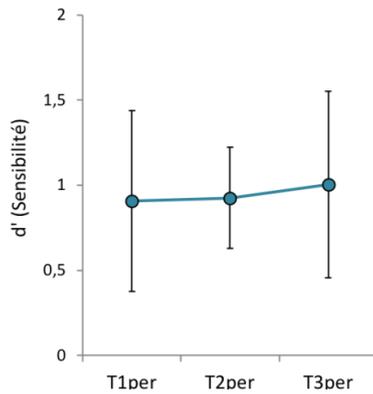


Figure 25. Évolution de la capacité à repérer des erreurs de période tout au long de l'entraînement.

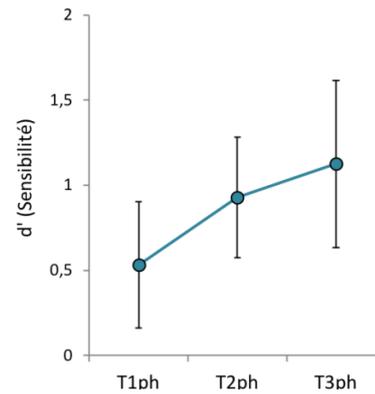


Figure 26. Évolution de la capacité à repérer des erreurs de phases tout au long de l'entraînement.

3.2. Production (BAASTA)

Pour ces tâches, un ensemble d'indicateurs en statistiques linéaires et circulaires ont été calculés, mais très peu de résultats étaient significatifs après les ateliers. Les statistiques circulaires s'appuient sur l'indice R, un indicateur de performance allant de 0 (moins bonne performance) à 1 (performance parfaite). A T1, les enfants étaient à $R = .7$ en synchronisation, et à $R = .4$ pour la tâche avec musique. Il n'y avait pas de différence significative entre T1 et T3.

L'atelier P a permis une amélioration dans la tâche de tapping spontané, permettant un ralentissement de cette pulsation ($p = .08$). Dans la tâche de tapping avec un métronome (tâche de synchronisation), les temps d'asynchronie, correspondant à la distance temporelle entre la frappe de la pulsation et l'apparition du son du métronome, s'agrandissaient après cet atelier, passant de 11% d'asynchronie à 17% ($p = .047$). D'après les résultats des statistiques circulaires (i.e., la direction du vecteur), les participants anticipaient plus fortement après cet atelier.

L'atelier R tendait, quant à lui, à améliorer les performances dans la tâche de tapping spontané. Notamment, les enfants ont tapé de façon plus stable après l'atelier R qu'avant : la moyenne du coefficient de variation (mesure de variabilité) a décré, passant de .29 à .11 ($p = .098$). De plus, après cet atelier, la moyenne d'asynchronie est passée de 14 ms à 18 ms pour le tapping avec musique ($p = .07$).

IV. Discussion

Cette étude visait à évaluer les effets d'un entraînement musical en dissociant l'influence d'un travail du rythme ou de la mélodie (hauteur des notes), sur des compétences langagières, attentionnelles et musicales. Un programme a pour cela été conçu puis conduit auprès de six enfants dyslexiques. Chacun bénéficiait successivement de six séances d'atelier rythmique (R) et de six séances d'atelier centré sur les hauteurs de notes, ou Pitch (P). Trois suivaient l'atelier R puis l'atelier P, les autres faisant l'inverse, selon un principe de *cross-over* permettant d'évaluer l'effet des deux ateliers de façon intra-individuelle. Une progression particulièrement importante des compétences était attendue à la suite de l'atelier R pour les tâches linguistiques, mais aussi pour les tâches attentionnelles puisque cet atelier mobilisait beaucoup l'attention temporelle. Après l'atelier P, de meilleures performances étaient surtout attendues pour le traitement d'unités brèves : les phonèmes.

Un résultat marquant de cette recherche est d'avoir montré davantage d'indices de progrès après l'atelier R qu'après l'atelier P, notamment en lecture de mots et de pseudo-mots, en découpage syllabique, mais aussi en suppression du phonème final et, objectif d'une telle prise en charge, en lecture de textes dont le sens ne peut être deviné. A la suite de cet atelier, des progrès attentionnels sont aussi apparus en concentration et en contrôle de la distractibilité. Considéré seul, l'atelier P a eu moins d'impact, mais la combinaison des deux ateliers a permis des progrès dans d'autres domaines. Bien que l'effectif soit faible, les données permettent de discuter les effets de cet entraînement sur les compétences langagières, attentionnelles et musicales.

1. Épreuves langagières

La mise en place de cet entraînement avait pour but d'améliorer les compétences en lecture des enfants dyslexiques. Néanmoins, pour les textes non-signifiants (DeltaTexte), lorsque les résultats en 1min30 étaient considérés, le seul progrès était une réduction des erreurs après l'atelier P. Cet atelier visait à affiner le traitement d'unités sonores brèves et aurait permis aux enfants d'être plus efficaces dans l'application des règles graphème-phonème, surtout en début de lecture de texte. Cette interprétation est cohérente avec le fait que ces textes ne contenaient que des mots réguliers, décodables par de telles règles. L'absence d'effet du programme en lecture de textes signifiants met en valeur l'effet observé dans DeltaTexte.

En 3min de lecture de DeltaTexte, l'apport du programme est d'une autre nature car seul l'atelier R est suivi d'une amélioration. Malgré un petit échantillon, le caractère systématique de cet effet est présent, que l'atelier R soit avant ou après P. L'atelier R apprenait à détecter une pulsation, à focaliser l'attention sur des unités sonores assez durables, et à ajuster ses mouvements à ce rythme. Il a ainsi sans doute exercé la précision de l'attention temporelle et encouragé à réaliser des anticipations en lecture sur des unités assez longues, pertinentes pour l'analyse syntaxique. Il est compréhensible qu'un tel effet n'apparaisse pas en 1min30 dans DeltaTexte, car il faut plus de temps pour s'apercevoir que le texte est syntaxiquement correct malgré l'absence de cohérence sémantique. L'atelier R était aussi censé renforcer l'*entrainement*, guidant l'attention temporelle et la séquenciation. Les progrès suggèrent que de telles capacités peuvent s'améliorer chez les enfants dyslexiques, malgré leurs difficultés de traitement du rythme (Besson et al., 2007) à partir d'activités musicales. L'implication de compétences rythmiques semble donc bien un point commun au traitement du langage et de la musique (Patel, 2010).

Le transfert de compétences musicales vers la lecture peut paraître surprenant, car l'écrit ne procure pas de stimuli auditifs auxquels s'ajuster. Deux explications peuvent être proposées. Les exercices rythmiques apprendraient à mieux *contrôler* la distribution de l'attention temporelle. Par ailleurs, en lecture à voix haute, le retour auditif peut servir de base à la stimulation d'oscillations cérébrales, alors renforcées et mieux à même de guider l'analyse du signal, même écrit.

L'aide pourrait porter sur plusieurs niveaux d'analyse. Selon le *Multi-Time Resolution Model* de Poeppel et al. (2008), les unités linguistiques hiérarchisées peuvent être traitées simultanément, car les rythmes internes dus aux oscillations cérébrales sont eux aussi emboîtés. Lors de l'*entrainement* à partir d'unités syllabiques ou prosodiques longues, la capacité des ondes cérébrales lentes à se synchroniser avec le rythme de l'information extérieure permettrait aussi à ces oscillations de se synchroniser à des oscillations cérébrales plus rapides, qu'elles renforceraient, et qui découperaient plus correctement le signal à des niveaux plus fins, celui des phonèmes par exemple. Dans le cadre de ce modèle, l'interprétation serait que l'atelier R améliore l'*entrainement*, pas simplement immédiatement après l'exercice comme dans les expériences d'amorçage (Bedoin et al., 2016 ; Przybylski et al., 2013) mais à plus long terme. Ainsi, à l'instar du *Cognitive Musical Training* (Habib et al., 2016), nous avons provoqué des progrès en lecture suite à un entraînement bref. Cet effet est cohérent avec les progrès

observés par Flaugnacco et al. (2015). Pour poursuivre avec le traitement de l'écrit, une épreuve expérimentale de lecture (Sonoread) imposait une tâche difficile sur le plan de la segmentation en syllabes. Les mots et pseudo-mots isolés étaient dissyllabiques et la difficulté à situer leur frontière syllabique variait. Lorsque cette tâche était particulièrement difficile avec l'absence d'indication en termes de sonorité pour situer la frontière, les erreurs de lecture diminuaient après l'atelier R mais pas après l'atelier P. Le fait que cet effet ne se produise qu'en cas de frontière floue en termes de sonorité confirme la sensibilité des dyslexiques à cette variable phonologique (François et al., 2013). Cela confirme aussi que l'atelier R a amélioré une compétence en séquenciation, conformément à notre hypothèse. Notons toutefois que pour les stimuli avec frontière difficile, les résultats étaient moins bons avant l'atelier R qu'avant l'atelier P, ce qui limite les comparaisons. Tout en restant prudent sur la généralisation, soulignons que la nature des erreurs change après l'atelier R. Ces erreurs qui, d'omissions deviennent des substitutions, ne modifient pas, quant à elles, la structure du mot ou du pseudo-mot. Elles témoignent d'un traitement de l'information et d'une activation des connaissances graphème-phonème plus précis. Pour ce qui est du traitement syllabique, à l'oral cette fois, l'analyse des réponses dans l'épreuve Syllacut montre encore un progrès significatif seulement après l'atelier R et en cas de frontière syllabique particulièrement difficile à situer. Les changements de proportions de types d'erreurs sont infimes par rapport à ceux observés en lecture, mais restent positifs après l'atelier R. Ainsi, la proportion d'erreurs avec position incorrecte de la frontière décroît, l'ambisyllabité (qui traduit une instabilité de la segmentation syllabique, mais pas de difficultés à associer les graphèmes aux phonèmes) augmente, et les attaques de syllabes sont mieux préservées, ce dernier point étant conforme à une tendance connue chez les normo-lecteurs (Dumay et al., 2002). Ce n'est pas le cas après l'atelier P, car la proportion d'erreurs avec mauvaise position de frontière augmente et ce sont les codas qui deviennent mieux préservées. Après l'atelier P, moins de progrès sont notés, ce qui s'oppose aux effets bénéfiques d'entraînements focalisés sur la hauteur (Besson et al. 2007 ; Santos et al., 2007). Cet atelier centré sur la hauteur des notes aurait pu améliorer les compétences dans les tâches ciblant les phonèmes (discrimination de logatomes différents très légèrement et tâches méta-phonémiques). Il semble que l'ordre de présentation des ateliers ait une forte importance pour que l'atelier P apporte une aide. Il n'est pas possible de généraliser mais il serait intéressant de tester ultérieurement l'hypothèse d'une

amélioration de la discrimination phonologique en fin de programme si les enfants dyslexiques suivent l'atelier P puis l'atelier R. Quant aux traitements de phonèmes en métaphonologie, des performances faibles sont notées en suppression du phonème initial contrairement à la suppression du phonème final chez les enfants dyslexiques testés. Cela pourrait être lié au déficit d'attention temporelle massif dont parle Goswami (2011) en cas de dyslexie, avec une difficulté à déceler le *rise time* utile à l'analyse du début de l'unité langagière traitée. Cette difficulté perturberait massivement les compétences phonologiques et métaphonologiques (Lehongre et al., 2013). L'atelier P n'a pas eu d'effet en métaphonologie, il a cependant sans doute joué un rôle dans sa combinaison avec l'atelier R, puisque des progrès significatifs se sont produits en suppression de phonème initial ou final et en fusion de phonèmes entre T1 et T3. Il est possible qu'il s'agisse en partie d'un effet test-retest mais des progrès seraient alors survenus dans davantage de tests. Cela plaide donc en faveur de l'intérêt de proposer un entraînement musical avec des séances dévolues au rythme, mais aussi au *pitch*. Comme le soulignent Besson et al. (2007), la complémentarité du travail du *pitch* permettrait de mieux traiter les informations linguistiques.

L'amélioration des performances au fil des séances dans l'épreuve de jugement grammatical à l'oral, sans qu'un des ateliers aide davantage que l'autre, va aussi dans le sens de l'intérêt de leur complémentarité. Les fausses alarmes diminuent en effet entre T1 et T2, les oublis d'erreurs diminuent entre T2 et T3, et les réponses s'accélèrent entre T1 et T3 pour détecter les phrases agrammaticales. Avec ce matériel, l'effet bénéfique d'un amorçage par une séquence musicale avec pulsation particulièrement saillante et régulière avait auparavant été montré (Bedoin et al., 2016 ; Przybylski et al., 2013). Il s'agissait d'effets à court terme. Même si cinq enfants sur six gagnent en rapidité après l'atelier R et seulement trois sur six après l'atelier P, la différence n'est pas significative dans notre étude où les effets de la musique étaient évalués à plus long terme. Dans ce dernier cas, les effets les plus bénéfiques sur le traitement grammatical semblent venir de la combinaison d'une stimulation des compétences en traitement du rythme et du pitch. L'effet du programme, envisagé sous cet angle, est encourageant pour le travail grammatical.

2. Épreuves attentionnelles

La capacité de concentration (CC) progresse entre T1 et T3 de manière significative dans le test du d2. L'évaluation des qualités de ce test ayant montré sa grande fidélité,

c'est sans doute la combinaison des ateliers (plutôt qu'un effet test-retest) qui a permis un progrès de cette compétence attentionnelle. Ce constat rejoint la littérature, car le travail musical en général induit une amélioration des capacités attentionnelles (Marie et al., 2011). Néanmoins, ici, c'est surtout le travail du rythme qui a amélioré la CC. Ce point est important car beaucoup de difficultés scolaires s'expliquent par des troubles de la concentration, et l'aspect rythmique de la musique serait une dimension à travailler en priorité pour y remédier. L'amélioration de la CC peut être due à la facilité de la tâche après l'atelier R. Ces séances visaient à exercer une compétence centrale pour ce test : la séquenciation, ou gestion précise de la distribution temporelle de l'attention. Cette distribution attentionnelle se doit d'être rapide et régulière pour réussir le test d2. L'atelier R avait pour but d'exercer l'*entraînement*, capital pour la séquenciation de l'information (Thaut et al., 2005). Cela pourrait expliquer la tendance à commettre moins d'erreurs et à effectuer la tâche plus vite après cet atelier tout en restant concentré dans la tâche qui paraît plus accessible. Ainsi, ces résultats sont en lien avec les observations de Tierney et al. (2013) indiquant que l'amélioration de l'attention aide à un *entraînement* plus efficace. Par ailleurs, ces progrès après l'atelier R peuvent aussi être dus à une plus grande vitesse de traitement de l'information. Cette idée rejoint Moussard et al. (2012) qui indiquent qu'un progrès dans les capacités attentionnelles, du fait de la structure temporelle de la musique, entraînerait une plus grande vitesse de traitement.

Un résultat marquant est l'effet positif de l'atelier R sur le contrôle de la distractibilité dans le test de la KITAP. Dans la condition où des distracteurs interfèrent avec la tâche centrale, la sensibilité aux cibles s'est améliorée uniquement après l'atelier R. Là encore, la concentration a progressé, de même que la capacité de suppression des distracteurs. Une autre compétence attentionnelle – l'impulsivité – évaluée à travers les fausses alarmes, s'est aussi améliorée exclusivement après l'atelier R. Contre toute attente, l'atelier P n'a entraîné aucun effet notable sur la focalisation attentionnelle. Ainsi, le travail du rythme, mobilisant l'attention dynamique, a permis d'améliorer la séquenciation et de diminuer la distractibilité grâce à un meilleur maintien attentionnel et une baisse de l'impulsivité.

Toutefois, nous ne remarquons pas d'amélioration significative de l'attention soutenue. Il est probable que cela soit dû à la structure des sessions. En effet, celles-ci duraient de 30 à 45 mn et faisaient alterner entre 3 à 4 jeux, sans oublier les temps de transition au début de la séance et entre les jeux. La multiplicité des changements d'activité, qui

évitait la lassitude des enfants, a minimisé la sollicitation de cette compétence. Néanmoins, l'ordre des ateliers semble avoir eu une incidence sur cette capacité. En effet, lorsque l'atelier R était précédé de P, l'atelier R entraînait une baisse des fausses alarmes et des oublis chez les trois enfants concernés.

3. Épreuves musicales

L'absence de retentissement direct de l'entraînement sur les capacités de jugement rythmique pour un matériel musical est inattendue. En effet, c'est un domaine proche de ceux entraînés durant l'atelier R. Les effets de cet atelier sont donc moins convaincants sur les compétences musicales elles-mêmes que sur l'attention et la lecture. Notons que cette tâche de perception est complexe et implique des aspects rythmiques, la pulsation, et une mélodie sur laquelle doit se synchroniser la pulsation, ce qui nécessite des compétences exercées par les deux types d'atelier. Cela expliquerait l'amélioration des résultats entre T1 et T3. Ce progrès pourrait également être dû à la répétition de la tâche. Cependant, si tel était le cas, les améliorations seraient présentes aussi pour le repérage d'erreurs de phase et de période.

La progression est plus marquée dans les tâches évaluant la production de pulsation. Nous avons prévu qu'elle serait très difficile pour les enfants, car les dyslexiques ont des difficultés dans ce type d'épreuve (Flaugnacco et al., 2014). En effet, elle demande des compétences d'anticipation et de stabilité qui sont souvent déficitaires chez les personnes dyslexiques. Ainsi l'amélioration après l'atelier P, assez inattendue pour cette tâche, suggère que l'attente permanente du deuxième son durant cet atelier, pour déterminer s'il sera plus aigu ou plus grave, a permis de travailler et d'améliorer cette anticipation. Le test correspondait aussi aux compétences travaillées durant l'atelier R, ce qui expliquerait l'amélioration de la stabilité de la pulsation et de la capacité à taper la pulsation sur une musique.

4. Limites et perspectives

Ce travail est une étude pilote, ce qui peut expliquer les quelques difficultés rencontrées. Tout d'abord, le nombre de participants n'a pas permis d'utiliser des tests statistiques paramétriques. Il aurait été préférable de ne faire qu'un seul entraînement par semaine, permettant à d'autres familles possiblement intéressées d'être davantage disponibles. Nous avons décidé de faire deux sessions par semaine pour réduire le temps de l'entraînement et pouvoir ainsi profiter des deux types d'atelier. En

outre, le temps alloué à ce travail, permis à partir de novembre, fut très court pour ce type de recherche. La préparation des différents intervenants aurait pu être meilleure avec un peu plus de temps. De plus, la répétition des bilans, due à la procédure en *cross-over*, a pu entraîner un effet de test–retest. Néanmoins, des résultats assez spécifiques permettent de démentir que cet effet explique tout.

Par ailleurs, même si à l'origine cette étude se voulait au plus proche de la pratique orthophonique, il a été décidé, afin de favoriser une ambiance ludique et dynamique, de faire des entraînements en groupe. En effet, le partage et l'émulation durant les entraînements ont rendu les enfants dyslexiques, âgés de 8 à 11 ans, acteurs de leurs compétences nouvellement acquises. Il serait intéressant de connaître les effets de cet entraînement sur des enfants entraînés seuls.

Aujourd'hui, deux étudiants en neuropsychologie poursuivent l'étude en prenant en compte les limites susnommées. Par exemple, les bilans ont été rassemblés sur un minimum de supports pour faciliter la passation des tests.

Si les résultats, après l'approfondissement de cette étude, confirment l'apport de cet entraînement, il serait intéressant d'en faire la promotion pour la rééducation orthophonique du langage écrit. En effet, la musique, outil ludique et dynamique, permettrait aux personnes dyslexiques de compenser leurs difficultés cognitives par cette activité motivante. L'approche est particulièrement intéressante pour les patients qui peuvent cumuler difficultés et situations d'échec dans une rééducation orthophonique traditionnelle. A plus long terme, il serait pertinent pour ces patients de disposer d'un outil à portée de main, de type application mobile, pour travailler quand bon leur semble, en toute autonomie, les notions musicales, rythmiques en particulier.

5. Conclusion

In fine, cet entraînement s'est surtout révélé bénéfique par le travail rythmique. Néanmoins, sa combinaison avec l'atelier de discrimination des hauteurs reste une bonne piste d'approfondissement, car elle élargit les possibilités des effets de l'entraînement. Toutefois, le faible nombre de participants est à prendre en compte dans l'analyse des résultats. C'est pour cela que celle-ci est actuellement poursuivie par d'autres étudiants. Quoi qu'il en soit, le niveau des enfants s'est amélioré au cours de l'entraînement, notamment dans les domaines langagiers et attentionnels. Il serait donc intéressant d'analyser l'ampleur de l'impact des progrès attentionnels sur ces progrès langagiers.

Références

- Anvari, S. H., Trainor, L. J., Woodside, J., & Levy, B. A. (2002). Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 83(2), 111-130.
- Bates, T. C., Luciano, M., Castles, A., Coltheart, M., Wright, M. J., & Martin, N. G. (2007). Replication of reported linkages for dyslexia and spelling and suggestive evidence for novel regions on chromosomes 4 and 17. *European Journal of Human Genetics: EJHG*, 15(2), 194-203. <https://doi.org/10.1038/sj.ejhg.5201739>
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.03.004>
- Bedoin, Nathalie. (2015). Troubles visuo-attentionnels, troubles de l'orientation spatiale et de l'attention temporelle dans les dyslexies développementales (p. 27-53).
- Bedoin, Nathalie. (2016). Apport de la neuropsychologie dans les troubles spécifiques du langage écrit. Dans J.-M. Kremer, E. Lederlé, & C. Maeder, *Intervention dans les troubles du langage écrit et raisonnement* (Lavoisier, Vol. 3). Paris.
- Bedoin, Nathalie, 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, 245. <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00245>
- Bendor, D., & Wang, X. (2005). The neuronal representation of pitch in primate auditory cortex. *Nature*, 436(7054), 1161-1165. <https://doi.org/10.1038/nature03867>
- Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A., & Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25(3-4), 399-410.
- Bosnyak, D. J., Eaton, R. A., & Roberts, L. E. (2004). Distributed auditory cortical representations are modified when non-musicians are trained at pitch discrimination with 40 Hz amplitude modulated tones. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, 14(10), 1088-1099. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhh068>

- Bosse, M.-L., Tainturier, M. J., & Valdois, S. (2007). Developmental dyslexia: the visual attention span deficit hypothesis. *Cognition*, 104(2), 198-230. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2006.05.009>
- Bosse, M.-L., & Valdois, S. (2003). Patterns of developmental dyslexia according to a multi-trace memory model of reading. *Current Psychology Letters. Behaviour, Brain & Cognition*, (10, Vol. 1, 2003). Consulté à l'adresse <http://journals.openedition.org/cpl/92>
- Brickenkamp, R. (1969). *Manuel du test d2*.
- Cason, N., Astésano, C., & Schön, D. (2015). Bridging music and speech rhythm: rhythmic priming and audio-motor training affect speech perception. *Acta Psychologica*, 155, 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2014.12.002>
- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47(2), 149-180.
- Dalla Bella, S., Farrugia, N., Benoit, C.-E., Begel, V., Verga, L., Harding, E., & Kotz, S. A. (2017). BAASTA: Battery for the Assessment of Auditory Sensorimotor and Timing Abilities. *Behavior Research Methods*, 49(3), 1128-1145. <https://doi.org/10.3758/s13428-016-0773-6>
- Dispaldro, M., Leonard, L. B., Corradi, N., Ruffino, M., Bronte, T., & Facoetti, A. (2013). Visual Attentional Engagement Deficits in Children with Specific Language Impairment and Their Role in Real-Time Language Processing. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 49(8), 2126-2139. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.09.012>
- Drake, C., Jones, M. R., & Baruch, C. (2000). The development of rhythmic attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending. *Cognition*, 77(3), 251-288.
- Du, Y., & Zatorre, R. (2017). Musical training sharpens and bonds ears and tongue to hear speech better. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114. <https://doi.org/10.1073/pnas.1712223114>
- Dumay, N., Frauenfelder, U. H., & Content, A. (2002). The role of the syllable in lexical segmentation in French: word-spotting data. *Brain and Language*, 81(1-3), 144-161.

- Facoetti, A., Lorusso, M. L., Cattaneo, C., Galli, R., & Molteni, M. (2005). Visual and auditory attentional capture are both sluggish in children with developmental dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, *65*(1), 61-72.
- 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>
- Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribili, C., Zoia, S., Buda, S., Tilli, S., ... Schön, D. (2014). Rhythm perception and production predict reading abilities in developmental dyslexia. *Frontiers in Human Neuroscience*, *8*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00392>
- Foxton, J. M., Talcott, J. B., Witton, C., Brace, H., McIntyre, F., & Griffiths, T. D. (2003). Reading skills are related to global, but not local, acoustic pattern perception. *Nature Neuroscience*, *6*(4), 343-344. <https://doi.org/10.1038/nn1035>
- Franceschini, S., Bertoni, S., Giancesini, T., Gori, S., & Facoetti, A. (2017). A different vision of dyslexia: Local precedence on global perception. *Scientific Reports*, *7*(1), 17462. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-17626-1>
- François, C., Chobert, J., Besson, M., & Schön, D. (2013). Music training for the development of speech segmentation. *Cerebral Cortex (New York, N.Y.: 1991)*, *23*(9), 2038-2043. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs180>
- Gaab, N., Tallal, P., Kim, H., Lakshminarayanan, K., Archie, J. J., Glover, G. H., & Gabrieli, J. D. E. (2005). Neural correlates of rapid spectrotemporal processing in musicians and nonmusicians. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 82-88. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.040>
- Gavanon, M., Abadie, R., Lecoanet, F. I., Tiillmann, B., Panagiotakaki, E., Bellescize, J. D., ... Bedoin, N. (2017). Effects of regular auditory or auditory-visual prime sequence on the syntax treatment in childhood absence epilepsy. *European Journal of Paediatric Neurology*, *21*, e106. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2017.04.762>
- Ghitza, O., Giraud, A.-L., & Poeppel, D. (2013). Neuronal oscillations and speech perception: critical-band temporal envelopes are the essence. *Frontiers in Human Neuroscience*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00340>

- Goswami, U. (2011). 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>
- Gross, J., Hoogenboom, N., Thut, G., Schyns, P., Panzeri, S., Belin, P., & Garrod, S. (2013). Speech rhythms and multiplexed oscillatory sensory coding in the human brain. *PLoS Biology*, 11(12), e1001752. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001752>
- Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., ... Platel, H. (2010). When music and long-term memory interact: effects of musical expertise on functional and structural plasticity in the hippocampus. *PloS One*, 5(10). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013225>
- Habib, M., & Besson, M. (2008). Langage, musique et plasticité cérébrale: Perspectives pour la rééducation. *Revue de neuropsychologie*, 18(1), 103–126.
- Habib, M., Lardy, C., Desiles, T., Commeiras, C., Chobert, J., & Besson, M. (2016). Music and Dyslexia: A New Musical Training Method to Improve Reading and Related Disorders. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00026>
- Herdener, M., Esposito, F., di Salle, F., Boller, C., Hilti, C. C., Habermeyer, B., ... Cattapan-Ludewig, K. (2010). Musical training induces functional plasticity in human hippocampus. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 30(4), 1377-1384. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4513-09.2010>
- Houlahan, M., & Tacka, P. (2015). *Kodály in the First Grade Classroom: Developing the Creative Brain in the 21st Century* (Oxford University Press). Etats-Unis: OUP USA.
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). Musical Training Shapes Structural Brain Development. *The Journal of neuroscience: the official journal of the Society for Neuroscience*, 29(10), 3019-3025. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5118-08.2009>
- Jacquier-ROUX, M., Lequette, C., Pouget, G., Valdois, S., & Zorman, M. (2010). *Batterie Analytique du Langage Ecrit*. Grenoble: Groupe Cogni-sciences, Laboratoire des Sciences de l'Éducation, Laboratoire de Psychologie et NeuroCognition, UPMF - Grenoble. Consulté à l'adresse <http://www.cognisciences.com/accueil/outils/article/bale>

- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 96(3), 459-491.
- Keitel, C., Thut, G., & Gross, J. (2017). Visual cortex responses reflect temporal structure of continuous quasi-rhythmic sensory stimulation - ScienceDirect. *NeuroImage*, 146, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.11.043>
- Lappe, C., Herholz, S. C., Trainor, L. J., & Pantev, C. (2008). Cortical plasticity induced by short-term unimodal and multimodal musical training. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 28(39), 9632-9639. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2254-08.2008>
- Lehongre, K., Morillon, B., Giraud, A.-L., & Ramus, F. (2013). Impaired auditory sampling in dyslexia: further evidence from combined fMRI and EEG. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 454. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00454>
- Macchi, Descours, Girard, Guitton, Morel, Timmermans, & Boidein. (2012). *Epreuve Lilloise de Discrimination Phonologique [Test auditif]*. Lille: Institut d'Orthophonie Gabriel Decroix de Lille 2, dirigé par.
- Marie, C., Magne, C., & Besson, M. (2011). Musicians and the metric structure of words. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23(2), 294-305. <https://doi.org/10.1162/jocn.2010.21413>
- Moussard, A., Rochette, F., & Bigand, E. (2012). *La musique comme outil de stimulation cognitive* (Vol. 112).
- Nozaradan, S., Schwartze, M., Obermeier, C., & Kotz, S. A. (2017). Specific contributions of basal ganglia and cerebellum to the neural tracking of rhythm. *Cortex; a Journal Devoted to the Study of the Nervous System and Behavior*, 95, 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.08.015>
- Overy, K. (2003). Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 497-505.
- Patel, A. D. (2010). Music, biological evolution, and the brain. *Emerging disciplines*, 91-144.
- Perdrix, R. (2016). Dyslexie développementale : méthodologie diagnostique, clinique orthophonique. Dans J.-M. Kremer, E. Lederlé, & C. Maeder, *Guide de l'orthophoniste* (Lavoisier, Vol. 3). Paris.
- Poeppel, D., Idsardi, W. J., & van Wassenhove, V. (2008). Speech perception at the interface of neurobiology and linguistics. *Philosophical Transactions of the*

- Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 363(1493), 1071-1086.
<https://doi.org/10.1098/rstb.2007.2160>
- Przybylski, L., Bedoin, N., Krifi-Papoz, S., Herbillon, V., Roch, D., Léculier, L., ... 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>
- Rosen, S. (2003). Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *Journal of Phonetics*, 31(3), 509-527. [https://doi.org/10.1016/S0095-4470\(03\)00046-9](https://doi.org/10.1016/S0095-4470(03)00046-9)
- Santos, A., Joly-Pottuz, B., Moreno, S., Habib, M., & Besson, M. (2007). Behavioural and event-related potentials evidence for pitch discrimination deficits in dyslexic children: improvement after intensive phonic intervention. *Neuropsychologia*, 45(5), 1080-1090. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.09.010>
- Sares, A. G., Foster, N. E. V., Allen, K., & Hyde, K. L. (2018). Pitch and Time Processing in Speech and Tones: The Effects of Musical Training and Attention. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research: JSLHR*, 61(3), 496-509. https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-S-17-0207
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H. G., Specht, H. J., Gutschalk, A., & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5(7), 688-694. <https://doi.org/10.1038/nn871>
- Snowling, M. J., & Melby-Lervåg, M. (2016). Oral Language Deficits in Familial Dyslexia: A Meta-Analysis and Review. *Psychological Bulletin*, 142(5), 498-545. <https://doi.org/10.1037/bul0000037>
- Storms, G. (1999). *101 Music Games for Children: Fun and Learning With Rhythm and Song*. Hunter House Inc.
- Strait, D. L., & Kraus, N. (2011). Can you hear me now? Musical training shapes functional brain networks for selective auditory attention and hearing speech in noise. *Frontiers in Psychology*, 2, 113. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00113>
- Tallal, P. (1980). Language Disabilities in Children: A Perceptual or Linguistic Deficit? *Journal of Pediatric Psychology*, 5(2), 127-140. <https://doi.org/10.1093/jpepsy/5.2.127>

- Tallal, P., & Gaab, N. (2006). Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences*, 29(7), 382-390. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2006.06.003>
- Thaut, M. H., Peterson, D. A., & McIntosh, G. C. (2005). Temporal entrainment of cognitive functions: musical mnemonics induce brain plasticity and oscillatory synchrony in neural networks underlying memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 243-254. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.017>
- Thollon, M. (2013). *Orientation spatiale et groupement perceptif : Développement atypique chez des enfants dyslexiques* (Mémoire de Master 2 Professionnalisant Neuropsychologie, dirigé par N. Bedoin). Université de Reims.
- Tierney, A., & Kraus, N. (2013). Music training for the development of reading skills. *Progress in Brain Research*, 207, 209-241. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63327-9.00008-4>
- Tillmann, B., Canette, L.-H., & Bedoin, N. (2017). *Temporal processing deficits and benefits of rhythmic auditory stimulation on syntax processing in developmental language disorders*. Strasbourg, France.
- Valdois, S., Lassus-Sangosse, D., & Lobier, M. (2012). Impaired letter-string processing in developmental dyslexia: what visual-to-phonology code mapping disorder? *Dyslexia (Chichester, England)*, 18(2), 77-93. <https://doi.org/10.1002/dys.1437>
- Willems, E. (1968). *L'éducation musicale nouvelle* (2^e éd.). Bienne, Suisse: Editions Pro Musica.
- Zimmermann, P., Gondan, M., & Fimm, B. (1994). *KiTAP - Tests d'Evaluation de l'Attention*. Psytest.
- Zoubrinetzky, R., Bielle, F., & Valdois, S. (2014). New Insights on Developmental Dyslexia Subtypes: Heterogeneity of Mixed Reading Profiles. *PLoS ONE*, 9(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099337>

Annexes

Annexe A : Programmes des entraînements

Séances Rythme	Séances Pitch
<p>Rituel en début de chaque séance : <i>Name Game</i></p> <p>Séance 1 : Découvrir la pulsation</p> <ul style="list-style-type: none"> Faire réaliser aux enfants que le rythme et la pulsation se retrouvent dans le corps et dans les mouvements (Ressenti des battements de cœur, applaudissements qui se synchronisent d'eux-mêmes...). Production de la pulsation au rythme d'un métronome puis d'une musique rythmique avec des temps forts marqués puis avec une mélodie, toujours avec des temps forts marqués. <p>Séance 2 : Jouer le rythme et le discriminer.</p> <ul style="list-style-type: none"> Les enfants deviennent acteurs en analysant les sons produits (<i>spot the difference</i>). Mise en lien entre le rythme et le langage en synchronisant la parole avec la motricité (<i>Pass the beater</i>). <p>Séance 3 : Produire des rythmes</p> <ul style="list-style-type: none"> Création de rythmes grâce à différentes modalités. Travail de <i>beatbox</i> et de rythmiques corporels. Dans chaque modalité, travail autour de la segmentation : métrique (phrase au complet), les syllabes et les temps (taper sur les temps forts). <p>Séance 4 : S'adapter au rythme et le contrôler</p> <ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la difficulté des tâches rythmiques par des exercices d'adaptation et d'anticipation. Exemple : Les enfants tapent la pulsation d'une musique qui change de pulsation brusquement. Ils s'adaptent le plus vite possible, d'abord tous ensemble, puis chacun son tour. <p>Séance 5 et 6 : Rythme et Création</p> <ul style="list-style-type: none"> Production d'un morceau rythmique appliquant toutes les notions vues durant les séances précédentes. Sollicitation de tout ce qui a été travaillé (utilisation de rythmes différents, de tapping, d'instruments, et du <i>beatbox</i>) en verbalisant. 	<p>Rituel en début et fin de chaque séance : l'enfant remet dans l'ordre du plus grave au plus aigu du matériel musical</p> <p>Séance 1 : Découvrir le grave et l'aigu</p> <ul style="list-style-type: none"> Faire correspondre des représentations concrètes aux différences de hauteur dans les sons (représentations visuelles ou par le mouvement). Déterminer sans support visuel lorsque le son devient plus aiguë ou plus grave après écoute de deux notes. <p>Séance 2 : Sélectionner et discriminer la mélodie.</p> <ul style="list-style-type: none"> Écoute de deux petites phrases mélodiques et déterminer si elles sont semblables ou non. Déterminer un seuil au-delà duquel la différence n'est plus remarquée afin de pouvoir détecter une amélioration au cours des sessions. <p>Séance 3 : Produire des mélodies et des mouvements corporels</p> <ul style="list-style-type: none"> Jeux inspirés de la <i>méthode Wilhem</i>, pédagogie musicale non-traditionnelle, au cours desquels les enfants deviennent acteurs en produisant des sons et en mettant ces sons en mouvement. Musique à la chaîne Human Xylophone <p>Séance 4 : Comprendre les différences de hauteurs</p> <ul style="list-style-type: none"> Augmenter la difficulté dans la discrimination des hauteurs en modifiant les timbres des sons entendus et en affinant les différences de hauteurs (possible jusqu'au 100^{ème} de ton selon le niveau des enfants). Reconstruction d'un xylophone <i>Square of sound</i> <p>Séance 5 et 6 : Mélodie et Création</p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Square of Sound</i> Production d'un morceau appliquant les différentes notions vues pendant les séances précédentes afin d'avoir un rendu final de l'entraînement (travail avec les instruments et la voix sans paroles).

Annexe B : Explications des jeux utilisés durant les ateliers

Rythme :

Name Game : Le but du jeu est de se présenter en utilisant des rythmes. Chaque enfant utilise son nom et son prénom pour créer un rythme, (ex : Martin Dupont = quatre noires) qu'il pourra effectuer avec des instruments à sa disposition. Les enfants devront ensuite s'interpeller entre eux en prononçant leur propre nom et le rythme correspondant, puis ceux d'un autre enfant. Une fois l'exercice maîtrisé, on taira le prénom pour n'utiliser que les rythmes.

Travail sur la pulsation : Cette activité vise à faire prendre conscience aux enfants que le rythme est présent partout : on cherche à leur faire ressentir la présence de la pulsation dans le monde qui les entoure, de manière spontanée et en métacognition. Pour ce faire, nous effectuerons des expériences telles que la marche sur place (jusqu'à synchronisation des pas à la même cadence), l'écoute des battements de cœur, etc. Dans un second temps, il faudra retrouver des pulsations de musiques plus ou moins rapides. Ce travail sera approfondi plus tard dans les entraînements, en utilisant des musiques aux pulsations changeantes. Cela va perturber l'anticipation temporelle, qui est la base du rythme ; Ainsi, il est attendu une adaptation plus ou moins rapide de la part des enfants.

Spot the difference : L'atelier se déroule ainsi : les enfants sont assis en rond. On désigne un « leader » parmi eux. Celui-ci exécute un rythme copié tour à tour par les autres enfants. Une fois le rythme revenu au leader, son voisin prend son rôle et exécute un rythme de son choix, qui sera également répété par les autres. Lorsque le jeu est maîtrisé, on encourage les enfants à faire des erreurs volontaires pour tester l'acuité du « leader ». Outre la répétition et la production de rythme, cette activité permet de travailler sur le contrôle individuel du rythme, ainsi que sur l'inhibition : il ne faut pas dévoiler les erreurs éventuellement présentes dans les productions répétées.

Pass the beater : Le jeu consiste à chanter une petite chanson simple (« Passe le bâton passe le moi » x4). Les enfants doivent se faire passer le bâton en le posant exactement au bon moment devant le voisin, sur le mot « passe ». Il s'agit ici de

synchroniser les gestes et le mouvement en allant de plus en plus vite pour augmenter la difficulté et garder la motivation des enfants.

Beatbox : A partir de petites phrases à syllabes et sonorités saillantes (avec des consonnes occlusives et fricatives), il est possible de faire des rythmiques avec la bouche. C'est en partant de ces petites phrases que les enfants devront taper d'abord les syllabes, puis la pulsation puis seulement les temps forts. Dans un premier temps, deux groupes seront constitués : l'un fera le beatbox, l'autre marquera la syllabe/la pulsation/la métrique. Par la suite, ils devront faire les deux en même temps. Cette activité permettra de travailler sur la segmentation sur une séquence rythmique répétée et régulière.

L'exercice peut être approfondi en pratiquant le tapping sur ces mêmes phrases, permettant ainsi de travailler la flexibilité et la double tâche.

Pitch

Découverte de la hauteur : En utilisant le monde sonore environnant, il faudra déterminer si un son est plus grave ou plus aigu et comment le représenter. Ces observations seront mises en pratique en remettant dans l'ordre les lames d'un xylophone, sans support visuel, à l'échelle du ton ou du demi-ton selon le niveau des enfants.

Pareil ou différent : Après écoute de deux courtes séquences musicales, les enfants devront dire si les notes utilisées sont les mêmes ou non. Au début, nous commencerons avec 2 notes dont l'écart est important, en changeant la dernière puis la première. Par la suite, pour compliquer l'exercice, des notes seront rajoutées au fur et à mesure et les écarts entre elles seront réduits. Cet atelier sera proposé plusieurs fois sur les 6 entraînements. Cela permettra de déterminer l'évolution du seuil de détection d'erreurs tout au long des entraînements.

Trouver le trésor : On constitue deux équipes : l'une d'elles, les pirates, cachent le trésor, tandis que la seconde, les chasseurs de trésors, le cherchent. Ces derniers auront un temps limité pour arpenter la pièce à la recherche du dit trésor. Plus ils s'en rapprocheront, plus les pirates feront un son aigu (à l'aide d'instruments ou de leur

voix). Ce jeu permettra d'installer la conscience de « plus aigu/plus grave » que ce soit au niveau de la production ou au niveau de la perception.

Human Xylophone : Le premier enfant fait une note la plus basse possible. Les autres enfants doivent tenter de faire des notes de plus en plus aiguës, à la manière d'un xylophone humain. Par la suite, il sera possible de les mélanger et de recommencer, ou d'en déplacer un seul qui devra s'adapter selon les « notes » qui l'entoure. Cette activité permettra de travailler la flexibilité et une conscience accrue des différences de hauteur.

Musique à la chaîne : Ce jeu suit le principe d'un « téléphone arabe » : le premier enfant entend dans un casque un enchaînement de quatre notes aux hauteurs diverses. Cette courte mélodie sera passée d'enfant en enfant, jusqu'au dernier qui devra la chanter fort. On comparera ensuite cette dernière production avec l'enregistrement de départ pour savoir si la mélodie a été modifiée.

Square of sound : Les enfants choisiront des dessins associés à des sons (effectués avec la voix ou avec des instruments). Ces dessins serviront ensuite à constituer une « partition ». Une fois celle-ci terminée, les enfants devront faire la musique qu'ils ont eux-mêmes créée, avec les variations de hauteur dessinées. Ce sera donc un travail d'encodage graphique puis de décodage visuel et musical.

Annexe C : Tableau récapitulatif des épreuves de bilan utilisées

Tests (les épreuves expérimentales sont en bleu)

LECTURE

Lecture à haute voix d'un des 4 textes **DeltaTEXTE**, équilibrés et non signifiants (Bedoin, en cours d'étalonnage). 1 texte différent lu à chaque bilan.

Test de lecture à haute voix de textes signifiants (BALE)

Épreuve informatisée de lecture à haute voix de mots et pseudo-mots polysyllabiques plus ou moins complexes à segmenter (**Sonoread**)

ORAL

Syllacut : Segmentation en syllabes à l'oral

Test ELDP : discrimination de phonèmes (juger si 2 mots nouveaux entendus sont les mêmes, 36 non-détériorés, + 36 détériorés par débit rapide)

Tests métaphonologiques : suppression du phonème initial (10 items de la BALE) et de fusion des 1ers phonèmes de 2 mots entendus (10 items de la BALE)

GRAMMAIRE

Jugement grammatical à l'oral (phrases reprises d'expériences antérieures, mais cette fois sans amorces), 3 versions différentes pour les 3 phrases du bilan (**Grammajuge**)

ATTENTION

Test de barrage d2 (maintien de l'attention)

Test de vigilance (dit d'attention soutenue) de la KITAP (la danse des fantômes)

Test de distractibilité de la KITAP (fantômes joyeux et tristes + distracteurs visuels)

MUSIQUE

BASTAA (en réception et en production) avec une épreuve de jugement rythmique et des épreuves sur la pulsation sans accompagnement, avec un métronome, et avec une musique

Annexe D : Déroulement des phases de l'étude : bilans et prises en charge.

	T1	E1	T2	E2	T3
Groupe A (N=3)	Bilan	Entraînement Rythme (R)	Bilan	Entraînement Pitch (P)	Bilan
Groupe B (N=3)	évaluation 1	Entraînement Pitch (P)	évaluation 2	Entraînement Rythme (R)	évaluation 3



Annexe E : Performances pathologiques en lecture pour chaque enfant : en-dessous de l'Intervalle de Confiance à 99% (enfants de l'étalonnage en cours : 8 ans (n=46), 9 ans (n=59), 10 ans (n=21) et 11 ans (n=43)).

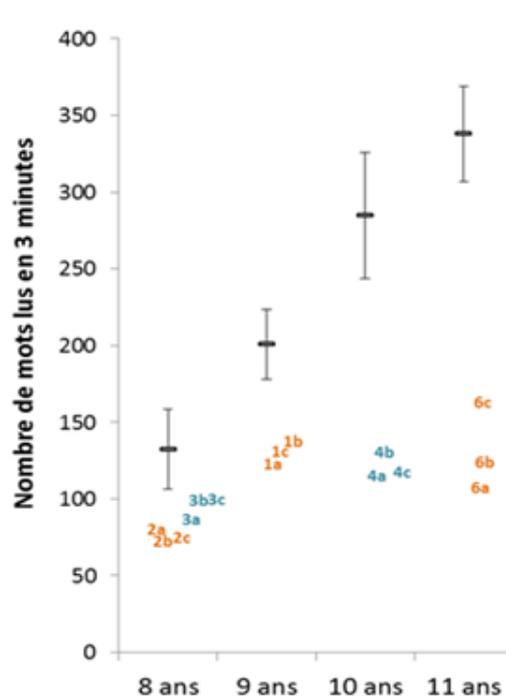


Figure 21 : Performances des enfants (1 à 6) aux 3 bilans (a,b,c) selon l'intervalle de confiance à 99% pour les groupes d'âges de l'étalonnage. Bleu : Atelier Rythme puis Pitch ; orange : inverse.

Annexe F : Scores moyens de lecture en écart-types à la norme selon l'étape, l'ordre et le type des ateliers en lecture de textes signifiants (BALE)

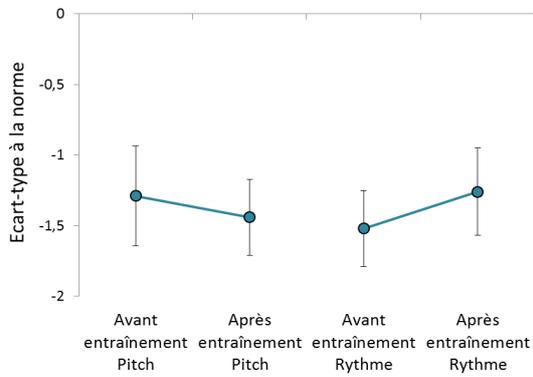


Figure 22 : Score moyen de lecture en ET à la norme selon l'étape et le type d'atelier. Barres d'erreur = erreur-type.

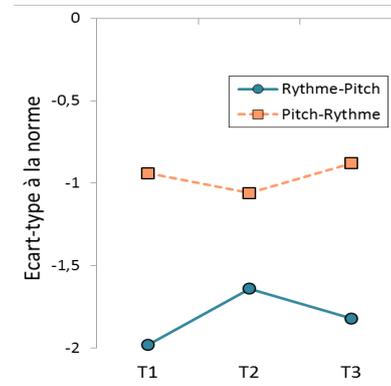


Figure 23 : Score de lecture en ET à la norme selon l'étape) et l'ordre des ateliers (Rythme→Pitch ou l'inverse).

Annexe G : Indices moyens de performances à l'épreuve du d2 selon l'étape et l'ordre des ateliers.

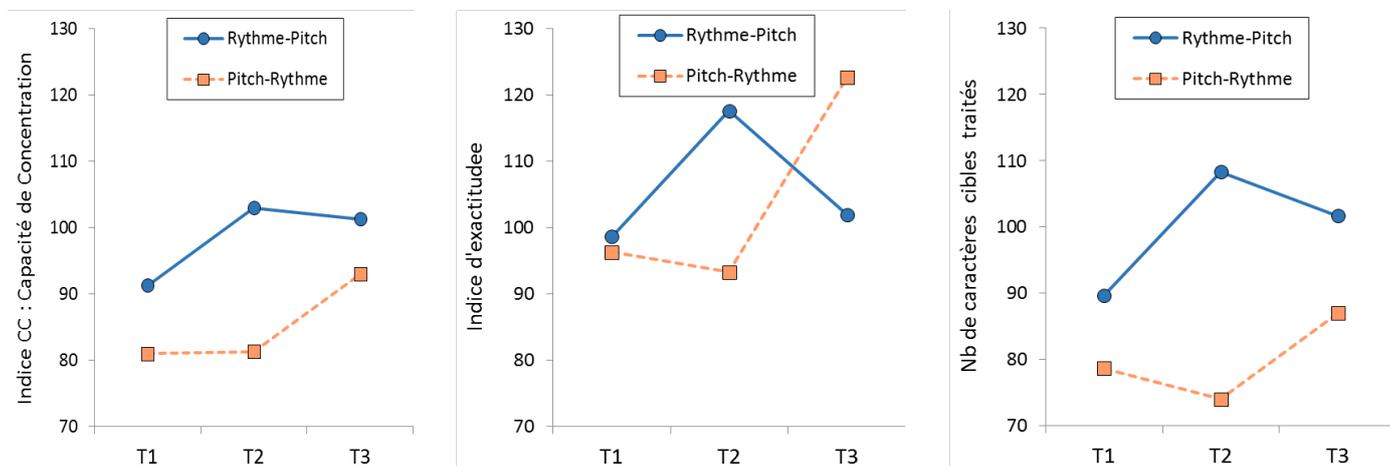


Figure 24. Indices moyens de performances (gauche : Concentration ; centre : exactitude ; droite : cibles détectées) selon l'étape et l'ordre des ateliers) moyens à l'épreuve du d2 selon l'étape et l'ordre des ateliers

Annexe H : Pourcentages de fausses alarmes et d'oublis dans la tâche attentionnelle de distractibilité.

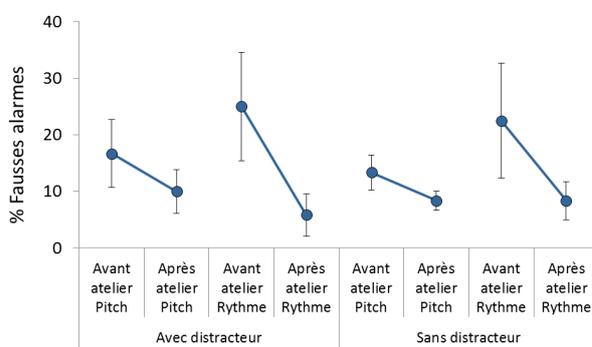


Figure 25 : Fausses alarmes (indice d'impulsivité) dans une tâche de détection avec et sans distracteurs, selon l'étape et le type d'atelier. Barres d'erreurs = erreur-type.

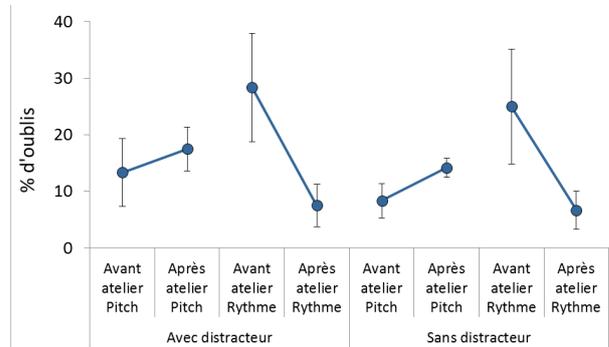


Figure 26 : Oublis (indice de distraction) dans une tâche de détection avec et sans distracteurs, selon l'étape et le type d'atelier. Barres d'erreurs = erreur-type.