

**Auteurs:** L. Véron-Delor, J.-L. Velay, I. Braibant et J. Danna

**Premier Auteur :** [lauriane.veron-delor@univ-amu.fr](mailto:lauriane.veron-delor@univ-amu.fr)

Aix Marseille Université, LNC UMR 7291, 13331, Marseille, France

Laboratoire de Neurosciences Cognitives, Case C, 3 Place Victor Hugo,13331

Marseille cedex 03, France

**Auteur correspondant:** Jérémy Danna, [jeremy.danna@univ-amu.fr](mailto:jeremy.danna@univ-amu.fr)

Aix Marseille Université, LNC UMR 7291, 13331, Marseille, France

Laboratoire de Neurosciences Cognitives, Case C, 3 Place Victor Hugo,13331

Marseille cedex 03, France

**Titre:** Qu'apporte la musique à l'apprentissage de l'écriture ? Etude de cas auprès d'un enfant en grande difficulté d'écriture.

## **Qu'apporte la musique à l'apprentissage de l'écriture ? Etude de cas auprès d'un enfant en grande difficulté d'écriture.**

L. Véron-Delor, J.-L. Velay, I. Braibant et J. Danna

### **Résumé**

La musique peut-elle faciliter l'apprentissage de l'écriture ? Pendant 12 séances, dont 6 avec une musique de fond, nous avons proposé des exercices graphomoteurs à un enfant de 6 ans en grande difficulté d'écriture. A l'issue des séances avec musique, nous avons observé une amélioration significative de la durée, la vitesse et la fluidité du mouvement d'écriture. Ces résultats confortent le potentiel d'un entraînement musical pour l'apprentissage ou la rééducation de l'écriture.

**Mots-clés :** Ecriture, Fond musical, Mouvement, Apprentissage

Can music facilitate learning to write? During 12 sessions, including 6 with a background music, a 6-year-old child with a poor handwriting was trained to write between two tests. Results revealed that handwriting velocity and movement fluency were higher after training with music. This study confirms the potential of training with music for handwriting rehabilitation or learning.

**Key words:** Handwriting, Music, Movement, Learning

¿Puede la música facilitar el aprendizaje de la escritura? Durante 12 sesiones, incluyendo 6 con música de fondo, un niño de 6 años de edad con importantes dificultades de aprendizaje de la escritura se ha entrenado a escribir entre dos fases de prueba. Los resultados mostraron una mayor mejoría de la velocidad y la fluidez de los movimientos de su escritura después de las sesiones con música. Estos resultados apoyan el potencial de una sesión de ejercicios con música para el aprendizaje o la remediación de la escritura.

**Palabras clave :** Escritura, Música, Movimientos, Aprendizaje

## **1. Introduction**

La problématique des troubles de l'apprentissage occupe une place importante dans le monde de l'éducation. Alors que les savoirs fondamentaux s'articulent autour du triptyque "Lire, Ecrire, Compter", l'attention se porte en réalité très majoritairement sur les difficultés d'accès aux représentations orthographiques, à la lecture et/ou aux problèmes arithmétiques. Les troubles de l'écriture tiennent une place plus marginale, surtout lorsqu'il s'agit de troubles graphomoteurs, c'est-à-dire dans le processus de formation de la trace écrite. Pourtant, l'attention portée sur le contrôle du mouvement d'écriture impacte inévitablement les autres processus cognitifs mis en jeu dans la production écrite (Jones et Christensen, 1999). Le trouble du langage écrit qui affecte la motricité de l'écriture est appelé « dysgraphie » (Hamstra-Bletz et Blote, 1993). La dysgraphie développementale se manifeste chez des enfants d'intelligence moyenne, sans déficit neurologique ou troubles sensorimoteurs. Elle représente une part non négligeable des difficultés rencontrées à l'école, 10 % des enfants seraient concernés, selon Olivaux (2005). L'objectif ici est de tester comment permettre à un élève ayant des difficultés d'écriture (susceptible d'avoir une dysgraphie) de mieux contrôler son mouvement en proposant d'effectuer des exercices graphomoteurs en musique.

A notre connaissance, aucune étude scientifique n'a porté sur l'effet direct d'une musique de fond pour améliorer l'écriture chez l'enfant dysgraphique alors que cette méthode est préconisée par les professionnels de rééducation de l'écriture (Thoulon-Page, 2009). Une seule étude est consacrée à l'effet d'une musique de fond dans la production et l'apprentissage de gestes graphiques chez l'adulte (seconde expérience de l'étude d'Andersen et Zhai, 2010). Cependant, les auteurs n'ont pas analysé finement l'impact de la musique sur les performances de tracés et la seule analyse menée n'a pas montré d'effet de la musique sur la performance des apprenants.

### **1.1. Musique & Motricité**

Pourquoi une musique de fond pendant l'écriture pourrait-elle aider à mieux contrôler le geste graphique ? A priori, ajouter un fond sonore pendant l'écriture ne gêne pas puisqu'on n'écoute pas vraiment son écriture. L'audition est donc une modalité sensorielle non exploitée et disponible pendant l'écriture. De récents travaux ont démontré l'avantage d'ajouter des informations sonores dans la rééducation de la dysgraphie et l'apprentissage de l'écriture (Danna et al., 2014 ; 2015a ; 2015b). Par

exemple, traduire en informations sonores certaines caractéristiques du mouvement d'écriture, méthode dite de *sonification*, permet de différencier « à l'oreille » une écriture dysgraphique d'une belle écriture (Danna et al., 2015a). Lorsque le scripteur entend son écriture « sonifiée », cela lui permet de mieux contrôler son geste et donc de mieux écrire (Danna et al., 2015b). La méthode de sonification a conduit à des résultats encourageants pour la rééducation de la dysgraphie (Danna et al., 2014), notamment en termes de vitesse et de fluidité du geste graphique. Au plan cérébral, les effets positifs de la sonification de l'écriture pourraient reposer sur l'existence d'une relation étroite entre mouvements et sons, impliquant des réseaux neuronaux complexes et non encore totalement identifiés. Les connections fonctionnelles décrites entre les cortex moteur et auditif pourraient servir de base à cette relation auditivo-motrice (Bangert et al., 2001; Haueisen et Knösche, 2001; Zatorre, Chen et Penhume, 2007).

La musique contient une composante supplémentaire par rapport à la sonification du mouvement : le rythme. Ben-Pazi, Kukke et Sanger (2007) ont étudié la relation entre production rythmique dans une tâche de 'tapping' et écriture chez l'enfant. Ces auteurs ont montré une corrélation significative entre les performances rythmiques et la qualité de l'écriture. Il est donc raisonnable de penser qu'utiliser des stimulations auditives rythmiques peut améliorer l'écriture de l'enfant. De manière générale, le rythme musical sert d'indice externe qui guide le mouvement, grâce à la tendance naturelle et spontanée à s'y synchroniser. L'utilisation du rythme a été décrite comme une « entrée de service » pour agir sur le système moteur (Chen, Penhume & Zatorre, 2008), et permettre ainsi de réduire le geste (Schaefer et al., 2014; Thaut, 2005). De nombreux travaux ont mis en évidence des effets remarquables de la perception du rythme dans la motricité chez des patients atteints de troubles neurologiques consécutifs à des lésions cérébrales (e.g. Benoit et al., 2014; Forsblom et al., 2009; Mainka 2015; Nombela, 2013; Van Vugt, 2014). Notamment, des résultats encourageants sur l'usage de la musique dans la rééducation de la motricité manuelle ont été obtenus (Van Vugt, 2014). L'étude montre des effets importants de la musique durant l'entraînement sur une tâche de tapping avec les doigts chez des patients post-AVC. La musique semble aussi profitable à l'augmentation de la coordination motrice digitale et manuelle. « Ouros » par exemple est une méthode préventive et rééducative des troubles de la coordination qui s'appuie sur des exercices en musique pour appréhender les notions de schéma corporel et toutes les formes de motricité. Cette méthode, élaborée par Théa Bugnet

dans les années 1930 sous le nom de « Le Bon Départ », a fait l'objet d'une validation expérimentale dans diverses activités motrices (Leemrijse, 2000). Les résultats montrent une amélioration significative des habilités de perception et de production rythmiques grâce à cette méthode. La musique permettrait de faciliter la coordination oculo-manuelle, qui est également requise dans l'écriture. Ainsi, si l'effet de la musique est démontré pour différents comportements moteurs, nous pouvons légitimement penser que l'écriture pourrait en profiter également.

## **1.2. Musique & Langage**

Ecrire est une activité motrice au service du langage, un « langage par la main » pour reprendre Berninger et collaborateurs (2002). Existe-t-il une influence de la musique sur d'autres aspects en rapport avec le langage ? En fait, la musique trouve également son utilité dans la prise en charge de certains troubles du langage oral. On sait que le chant permet de solliciter des structures cérébrales différentes de celles associées à la production de la parole (Clements-Cortès, 2012). La musicothérapie est très fréquemment utilisée dans la prise en charge de certaines formes de bégaiements par exemple (Krutulienè, 2012). Sur un air connu, la personne bègue est amenée à parler en s'adaptant au rythme de la musique et cet exercice semble profiter à la fluence de l'élocution. D'autre part, la musique peut être un bon outil pour la rééducation de la dysarthrie dans la maladie de Parkinson (Atkinson-Clément, 2015).

En ce qui concerne plus directement le langage écrit, il a été démontré que des enfants souffrant de dyslexie présentent des difficultés spécifiques dans la perception du rythme de la musique (Overy et al., 2003) et que des cours de musique peuvent conduire à l'amélioration des difficultés de lecture des dyslexiques. Par exemple, Tallal et Gaab (2006) ont proposé que certains éléments de l'entraînement musical sont susceptibles de compenser le déficit du traitement temporel à l'origine de certaines formes de dyslexie. Très récemment, une étude a été conduite sur les effets d'un entraînement cognitivo-musical dans le traitement de la dyslexie (Habib et al., 2016). Différents exercices musicaux étaient combinés à divers stimuli sensoriels. Des progrès sont observés sur l'attention auditive, la conscience phonologique, les capacités en lecture et la répétition de pseudo-mots. Ces progrès persistent après les six semaines d'entraînement.

### **1.3. Musique & Emotion**

Au-delà des caractéristiques informationnelles, la musique a un potentiel motivationnel extrêmement fort. L'étude précédemment citée de Van Vugt (2014), concernant l'amélioration de la motricité fine chez des sujets avec lésions post-AVC, souligne l'impact de la musique sur la motivation des patients : les auteurs témoignent d'une diminution de l'état dépressif et de la fatigue de ces personnes. En outre, la musique accroît les aptitudes de réapprentissage. L'étude déjà abordée de Andersen et Zhai (2010) a également porté sur la comparaison entre l'ajout de feedbacks auditifs et la musique et leur effet motivant lors d'exercices graphomoteurs. Même s'ils soulignent que le fait d'écrire en musique ne semble pas rendre la tâche plus agréable que de la réaliser dans le silence, les auteurs montrent que le fait d'apprécier ou non la musique va modifier la performance des participants.

L'ensemble des travaux rapportés ici permet de conclure que la musique trouve son utilité dans la remédiation de nombreux troubles moteurs et langagiers. Nous pouvons donc légitimement faire l'hypothèse que la musique peut faciliter la rééducation de la dysgraphie et l'apprentissage de l'écriture. Pour valider cette hypothèse, nous avons effectué une étude de cas auprès d'un élève de CP ayant de grandes difficultés à écrire. Nous lui avons proposé un protocole d'entraînement en musique durant trois mois.

## **2. Méthode**

### **2.1. Participant**

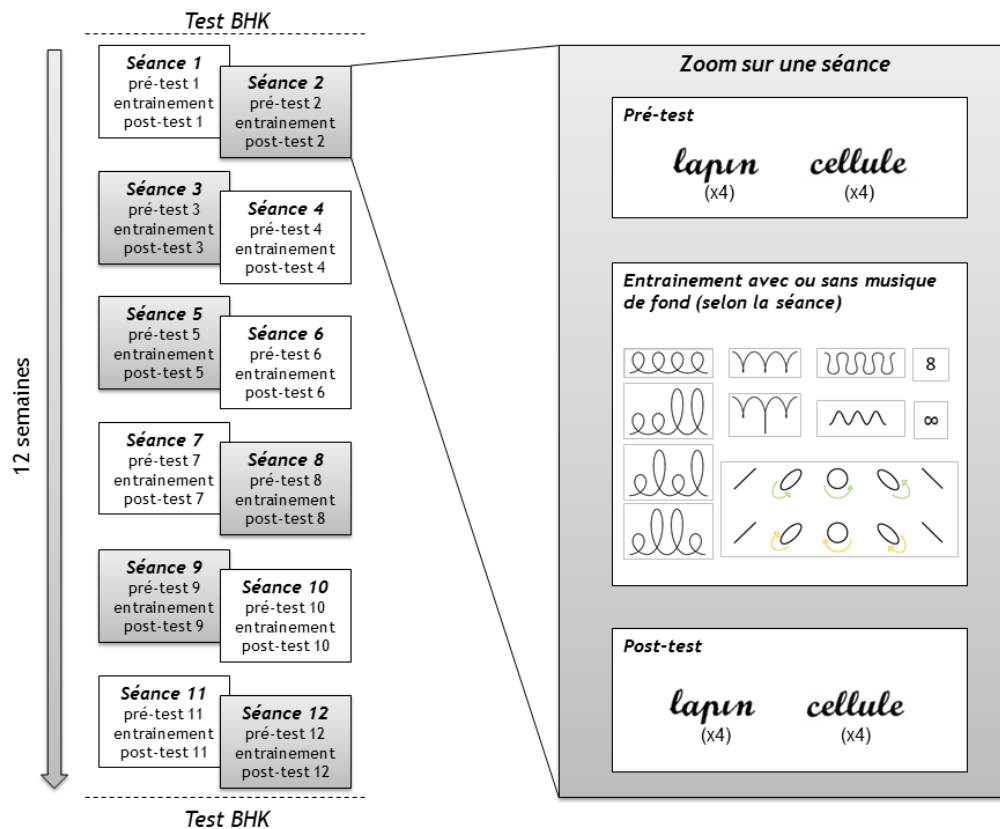
KL est un enfant de six ans, en grande difficulté d'écriture. Nous l'avons suivi à la demande de ses parents et de son institutrice, au sein de son école, dans le cadre d'une rééducation périscolaire (en Belgique). Il est scolarisé en première année d'école primaire et ne présente aucun retard scolaire. Son développement langagier est tout à fait normal, à l'instar de son développement moteur. Son institutrice le présente comme un élève d'une grande curiosité et perspicace, néanmoins fort handicapé lors des tâches d'écriture. Ses troubles semblent donc limités à la graphie. KL est droitier et présente des difficultés aussi bien dans le tracé que dans la tenue du crayon et de la position assise. Ecrire est une tâche douloureuse et très déplaisante pour lui. Ses difficultés à écrire ont été objectivées à l'aide de la batterie d'analyse de l'écriture BHK (Charles, Soppelsa & Albaret, 2003) en décembre, à la fin du premier trimestre. La performance

est cotée selon 13 critères de lisibilité et un critère de vitesse d'écriture, basé sur le nombre de lettres écrites en cinq minutes. La performance de KL était majoritairement déficitaire (score de lisibilité =  $-4.7 \sigma$  par rapport à la norme de son âge). Les lettres étaient détachées les unes des autres et les espaces entre les mots étaient omis (voir figure 3). Le tracé était très appuyé, KL s'est énormément crispé sur son crayon et a écrit la plupart du temps debout, penché sur la table, les deux coudes appuyés sur la feuille. Cela a fortement limité ses mouvements et la fluidité de son écriture. La copie était lente (vitesse =  $-1.19 \sigma$  par rapport à la norme d'âge) et hésitante.

Un consentement éclairé pour la participation de KL à cette étude et un accord écrit concernant la communication des données recueillies à des fins scientifiques ont été signés par ses deux parents.

## **2.2. Procédure**

Nous avons suivi KL, à la rentrée du mois de janvier jusqu'aux congés de printemps, pendant douze séances hebdomadaires de 30 minutes de rééducation, six avec une musique de fond et six effectuées sans musique. Avant la première séance et après la dernière séance, son écriture a été évaluée à l'aide du test BHK. Le protocole a été développé pour respecter les contraintes expérimentales d'une étude de cas : des paires de séances strictement identiques ont été construites, à l'exception de la musique présente dans une des deux séances. Chaque séance comprenait un pré-test (sans musique), une phase d'entraînements (avec ou sans musique), et un post-test (sans musique). Chaque paire de séances (avec et sans musique) était contrebalancée afin de pallier un éventuel effet d'ordre (voir figure 1).



**Figure 1.** Déroulement global de l'étude (gauche), avec description d'une séance type (droite). Seules les séances grisées étaient effectuées avec une musique de fond pendant la phase d'entraînement.

Au cours des phases de test (pré-test et post-test), l'enfant devait écrire quatre fois les mots « lapin » et « cellule » en écriture cursive. Ces mots ont été sélectionnés car le mot « lapin » est connu des jeunes enfants et présente peu de difficultés orthographiques et le mot « cellule » est facile à écrire en lettres cursives car il ne requiert aucun lever ni aucun changement de sens de rotation du crayon. Pour copier les mots demandés, une feuille de papier était fixée sur une tablette graphique (wacom Intuos II, A5). L'enfant recopiait le modèle de chaque mot qui était présenté sur la feuille à l'aide d'un stylo adapté, permettant de recueillir les informations cinématiques et dynamiques de l'écriture (à partir du recueil de la position de la mine et de la pression axiale exercée par le stylo sur la feuille) tout en laissant la trace sur la feuille. Le stylo permet d'écrire dans les conditions habituelles d'écriture en offrant à l'enfant la possibilité d'exercer un contrôle visuel sur sa performance. Le pré-test et le post-test étaient effectués sans fond musical.



Au cours des entraînements, l'enfant copiait des items à partir d'un modèle qui restait visible pendant la production (voir des exemples en figure 1). Les items reprenaient des éléments graphomoteurs classiques. Etant donnée le rapport plutôt conflictuel entre KL et l'écriture, ce type d'item permettait de relativiser la tâche, surtout pour un enfant en début d'apprentissage de l'écriture. De manière générale, nous savons que laisser le choix sur certains paramètres dans une tâche d'apprentissage permet d'augmenter l'implication de l'apprenant (e.g. Andrieux, Danna & Thon, 2011). Dans cette étude, nous avons donc laissé l'enfant choisir douze chansons parmi ses préférées<sup>1</sup>, profitant ainsi à sa motivation. L'association musique/item était arbitraire. Les items à copier étaient les mêmes pour chaque paire de séances (avec et sans musique). La consigne donnée à l'enfant était de les copier au rythme de la musique. La phase d'entraînement durait entre 15 et 20 minutes.

### 2.3. Analyse des données

Dans un premier temps, l'effet du protocole longitudinal a été testé à l'aide de la comparaison des tests BHK effectués avant et après l'ensemble des séances.

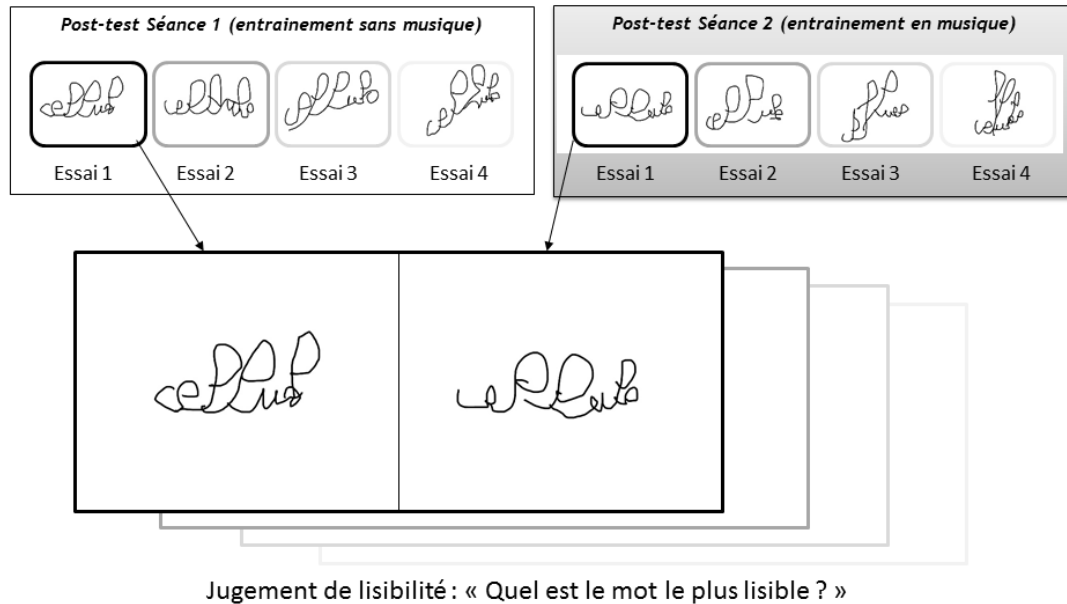
Dans un deuxième temps, les performances de KL durant les post-tests des séances avec et sans musique ont été comparées afin de déterminer un effet global de la musique. Rappelons que KL a écrit quatre fois les deux mots (cellule et lapin) en fin de chaque séance. Nous avons donc testé si la performance moyenne des mots écrits en fin de séances avec musique différait statistiquement de ceux écrits en fin de séances sans musique. La performance d'écriture a été quantifiée de deux façons : A) avec une analyse de la lisibilité des mots écrits et B) avec une analyse de plusieurs variables cinématiques et dynamiques du mouvement effectué par le stylo dans la génération de la trace écrite.

A) L'effet de la musique sur la lisibilité des mots écrits a été étudié de la manière suivante. Nous avons demandé à 12 adultes naïfs (âgés entre 21 et 62 ans, sept femmes) de comparer des paires de mots issus des séances avec et sans musique et de choisir le mot qu'ils trouvaient le plus lisible. Pour construire les paires de mots, nous avons

---

<sup>1</sup> Kendji Girac: *Andalouse, Mi Amor, Color Gitano* ; Fréro Delavega: *Sur la route, Même si c'est très loin, Sweet Darling, Que toi* ; Stromae: *Alors on danse; Papaoutai, Formidable, Te quiero, Ave Cesaria*

associé chaque mot des séances avec et sans musique (la première production du mot *cellule* de la séance 1 avec celle de la séance 2, etc., voir figure 2).



**Figure 2.** Illustration du processus d'appariement des mots cellule des deux premières séances.

Au total, cela constituait 48 paires de mots (8 mots par séance x 6 paires de séances). Les évaluateurs avaient le droit de modifier leur réponse à tout moment mais avaient l'obligation de choisir un des deux mots. Nous avons ensuite comptabilisé le nombre de mots choisis comme étant les plus lisibles pour chaque sujet et pour chaque séance en musique et sans musique. Cela nous a permis de déterminer un score total de mots considérés comme étant les plus lisibles issus des séances en musique et ceux issus des séances sans musique pour chaque participant. Ces scores totaux pour les séances avec et sans musique ont été comparés à l'aide d'un test non paramétrique pour échantillons appariés (test de Wilcoxon).

B) A partir du recueil de la position et de la pression axiale du stylo, nous avons segmenté les mots pour distinguer les parties tracées et les levers. Comme ils n'étaient pas toujours présents, les points sur les i des mots lapin ont été supprimés. Ensuite, nous avons analysé neuf variables sur chaque mot écrit :

- la vitesse d'écriture (millimètres/seconde)
- la durée des tracés (secondes)
- la longueur du tracé (millimètres)

- la dysfluence du mouvement (nombre de pics de vitesse anormaux, voir Danna, Paz-Villagrán & Velay, 2013 pour le calcul de cette variable nommée « SNvpd »)
- le nombre et la durée cumulée des levers de stylo (en millisecondes)
- le nombre et la durée cumulée des arrêts du stylo (en millisecondes, voir Paz-Villagrán, Danna et Velay, 2014 pour le calcul de cette variable)
- la pression du stylo (unité arbitraire comprise entre 0 et 1023)

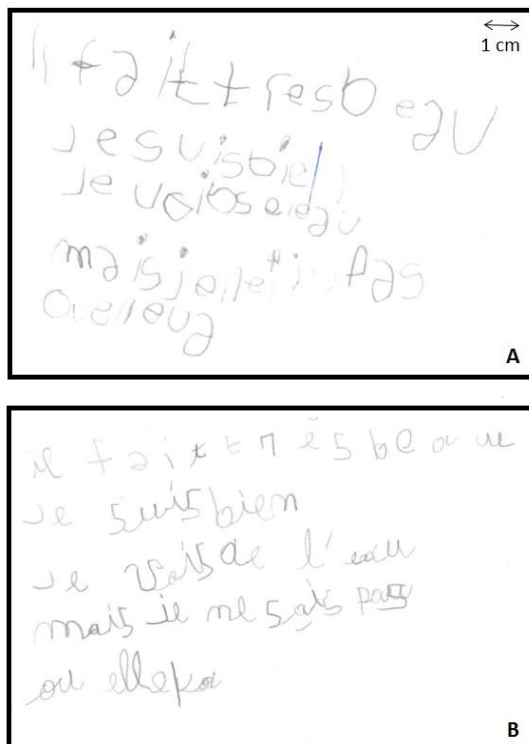
Cela nous a amené à comparer les performances moyennes des mots écrits à l'issue des séances en musique et celles des mots écrits à l'issue des séances sans musique. Cette comparaison a été effectuée à l'aide d'un test non paramétrique pour échantillons appariés (test de Wilcoxon).

Dans un troisième temps, en vue de déterminer un effet de la musique « intra-séance » sur les variables pour lesquelles nous avons préalablement observé un effet global de la musique, nous avons comparé la différence de performances entre le pré-test et le post-test pour chaque paire de séances appariées (avec et sans musique). Ces analyses n'ont donc porté que sur la vitesse, la durée et la dysfluence du mouvement d'écriture.

### **3. Résultats**

#### **3.1 Comparaison de l'écriture aux tests BHK effectués avant et après les 12 séances de rééducation**

L'évolution de l'écriture au test BHK suite aux 12 semaines de rééducation est massive. Côté vitesse, alors que seulement 23 lettres avaient été écrites en 5 minutes au cours du premier BHK (-1,19 écart-type par rapport à la norme des enfants de son âge), 58 lettres ont été écrites dans ce même laps de temps au cours du second BHK (+0,5 écart-type par rapport à la même norme). Côté lisibilité, comme nous pouvons le constater sur la figure 3, le score total passe de 52/67 (-4,7 écart-types par rapport à la norme) à 32/67 (-1,7 écart-type par rapport à la même norme), ce qui confirme une amélioration de la qualité de l'écriture de l'enfant par rapport au premier BHK effectué, à la fois en termes de vitesse et de lisibilité.



**Figure 3.** BHK de KL avant (A) et après (B) la rééducation.

La fidélité par test-retest du BHK est inconnue à ce jour. Il est clair qu'une part de l'amélioration globale aux scores de vitesse et de précision de l'écriture de KL s'explique par cet effet de répétition du test. De plus, le temps passé entre les deux BHK (15 semaines) peut donner lieu à un certain développement moteur dont l'évolution peut être assez rapide à cet âge-là. Il est donc difficile d'établir le réel impact de la rééducation de KL, même s'il nous semble malgré tout très positif. Quoiqu'il en soit, la part de cette amélioration attribuable à la musique doit être déterminée.

### **3.2. Comparaison de l'écriture de mots en fin de séances avec et sans musique : effet global de la musique**

#### **3.2.1. Lisibilité des mots écrits**

A l'issue de l'expérience de comparaison de la lisibilité des mots écrits en fin de séances, 22,9 ( $\pm$  2.9) mots issus des séances en musique ont été considérés comme mieux écrits contre 25,1 ( $\pm$  2.9) mots issus des séances sans musique (sur 48 comparaisons). L'analyse statistique n'a pas révélé de différence significative entre ces deux valeurs (N actifs = 11, Z = 1.15, NS).

### 3.2.2. Analyse du mouvement d'écriture

Sur les 9 variables étudiées, les analyses statistiques ont révélé un effet en faveur de la musique pour 3 variables : la vitesse, la durée de tracé, et la dysfluence du mouvement d'écriture (voir figure 4A).

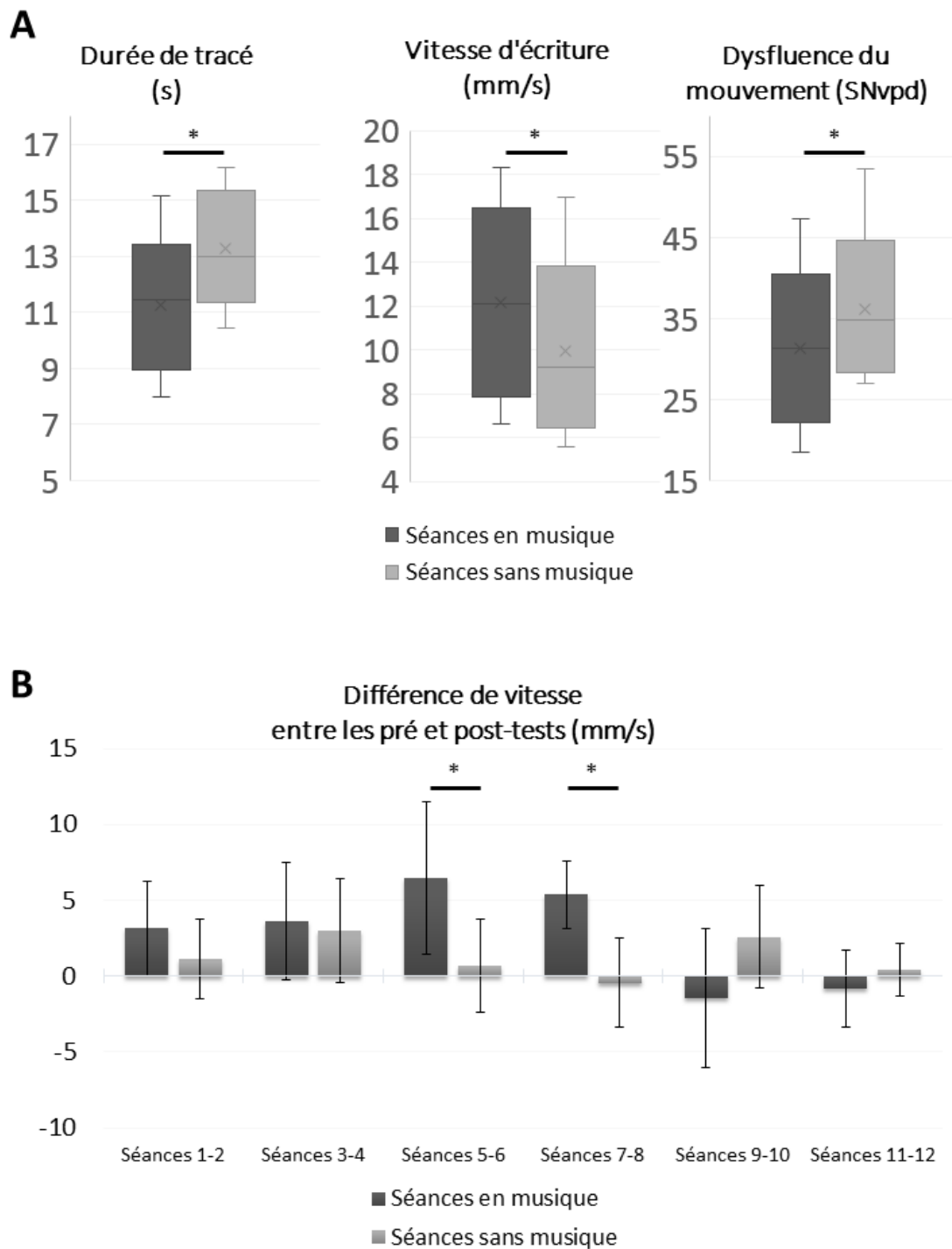
L'analyse a révélé un effet significatif en faveur de la musique sur la vitesse d'écriture ( $N = 12$ ,  $Z = 2.43$ ,  $p < 0.05$ ). Les mots écrits en fin de séances avec musique étaient globalement écrits à une vitesse plus élevée que les mots écrits en fin de séances sans musique ( $12,15 \pm 3.79$  mm/s contre  $9.95 \pm 3.63$  mm/s, respectivement). Classiquement, augmenter la vitesse d'écriture va de pair avec une diminution la durée d'écriture, sauf dans le cas d'une augmentation de la taille de tracé. Il est donc intéressant de connaître l'évolution de la durée et de longueur de tracé pour mieux observer l'effet réel de la musique.

L'analyse a confirmé une durée des tracés significativement plus faible pour les mots écrits en fin de séances avec musique (durée moyenne de  $11,06 \pm 1.97$ s) par rapport à ceux écrits en fin de séances sans musique (durée moyenne de  $13,18 \pm 1.80$ s ;  $N = 12$ ,  $Z = 2.43$ ,  $p < 0.05$ ). Par contre, elle n'a pas révélé de différence significative de longueur de tracé selon la présence ou l'absence de musique ( $130 \pm 46$  mm contre  $123 \pm 40$  mm, respectivement ;  $N = 12$ ,  $Z = 0.86$ , NS). KL écrivait donc à la même taille, mais plus vite après les entraînements en musique.

Concernant la dysfluence du mouvement d'écriture, l'analyse statistique a révélé que les mots écrits en fin de séance avec musique étaient effectués avec un moins grand nombre de pics de vitesse anormaux (SNvpd) que ceux écrits suite aux entraînements sans musique ( $31.0 \pm 8.0$  contre  $36.0 \pm 8.5$ , respectivement ;  $N = 12$ ,  $Z = 2.04$ ,  $p < 0.05$ ). Ce résultat confirme donc un effet en faveur de la musique, à la fois sur la vitesse et sur la fluidité de l'écriture de KL.

Concernant les autres variables, l'analyse n'a pas révélé de différence significative sur les performances des post-tests en fonction de la présence ou de l'absence de musique, que ce soit pour le nombre ou la durée cumulée des arrêts ( $N = 12$ ,  $Z = 0.98$ , NS et  $N = 12$ ,  $Z = 1.57$ , NS, respectivement), pour le nombre ou la durée cumulée des levers de stylo ( $N = 12$ ,  $Z = 0.76$ , NS et  $N = 12$ ,  $Z = 0.09$ , NS, respectivement), ou pour la pression

exercée par le stylo sur la feuille ( $896 \pm 63$  contre  $879 \pm 109$ , respectivement ;  $N = 12$ ,  $Z = 0.00$ , NS).



**Figure 4A.** Performances d'écriture en termes de vitesse, de durée, et de dysflueur du mouvement d'écriture lors des post-tests effectués en fin de séances avec musique (gris foncé) et sans musique (gris clair).

**Figure 4B.** Différence de vitesse d'écriture entre le pré- et le post-test de chaque paire de séances (post-test – pré-test) selon la présence ou l'absence de musique au cours des entraînements.

### **3.3. Comparaison des différences de vitesse, de durée, et de dysfluence entre le début et la fin de chaque séance avec et sans musique**

Afin de connaître plus en détail l'effet de la musique au cours de chaque séance, nous avons calculé la différence de performance entre les post-tests et les pré-tests pour chaque paire de séances (avec et sans musique). Nous avons ensuite effectué un test non paramétrique de comparaison de 2 échantillons appariés (test de Wilcoxon) pour chaque paire de séance.

Comme nous pouvons le voir sur la figure 4B, l'analyse statistique a révélé une différence de vitesse d'écriture entre le pré-test et le post-test plus importante en faveur de la musique pour les paires de séances 5-6 et 7-8 ( $p < 0.05$  pour les deux paires de séances).

Pour les deux autres variables analysées (durée d'écriture et dysfluence du mouvement), les analyses n'ont pas révélé d'effet direct selon la présence ou l'absence de la musique sur la différence de performance entre le pré- et le post-test à l'intérieur de chaque paire de séances

## **4. Discussion**

Cette étude cherchait à vérifier si l'ajout d'une musique de fond en cours de pratique pouvait aider à améliorer le geste graphique. Nous avons suivi un élève de CP, KL, présentant des difficultés importantes dans l'écriture, sur 12 séances hebdomadaires de rééducation de l'écriture, dont six en musique (pendant la phase d'entraînement).

Dans un premier temps, l'enfant a été testé au début et à la fin de l'étude, à 15 semaines d'intervalle, à l'aide du test BHK. La comparaison des deux BHK montre une progression importante au niveau de la vitesse et de la lisibilité de l'écriture. Nous pouvons donc conclure à un effet positif du protocole expérimental proposé. Les entraînements graphomoteurs ont facilité la rééducation de l'écriture de KL. En revanche, nous savons que l'expérimentation n'a pas été la seule source d'apprentissage durant ces quinze semaines puisque l'enfant suivait une scolarisation normale en première année de primaire. Il bénéficiait donc de pratiques en dehors de notre protocole qui ont forcément participé aux progrès de l'enfant.

Dans un second temps, nous avons comparé les performances d'écriture de l'enfant en fin de séance avec et sans musique pour connaître l'impact global de la musique. Les résultats ont révélé un impact léger mais significatif de la musique sur la vitesse, la durée de tracé, et la dysfluence du mouvement d'écriture, sans impacter directement sur la qualité de la trace écrite. L'absence d'effet direct de la musique sur la lisibilité de l'écriture est, somme toute, assez logique. Cependant, nous pouvons faire l'hypothèse que l'amélioration à court terme de la vitesse et de la fluidité peut participer, à plus long terme, à une écriture plus lisible, telle que retrouvée dans le BHK post-suivi. En effet, si KL est capable d'écrire plus vite tout en restant aussi lisible, nous pouvons alors penser qu'il pourra ensuite réduire la vitesse du mouvement mieux contrôlé afin d'écrire de manière plus lisible. Au-delà de cette hypothèse qui reste encore à valider, l'effet de la musique sur la vitesse et la fluidité du mouvement d'écriture est un résultat important, puisqu'une caractéristique reconnue de l'écriture dysgraphique est la dysfluence résultant d'un bruit « neuromoteur » plus important (Danna, Paz-Villagrán, Velay, 2013 ; van Galen et al., 1993). Ces résultats corroborent les travaux ayant observé un impact positif de la musique sur d'autre type de motricité telle que la marche (Mainka, 2015; Nombela et al., 2013), la coordination bimanuelle (Chang et al., 2014), ou la motricité fine de la main (Bernatzky et al., 2004; Leemrijse et al., 2000).

Dans un dernier temps, nous avons comparé la différence de performance entre le pré-test et le post-test des séances appariées. La probabilité d'obtenir des résultats significatifs dans ce cas était faible, à cause du nombre restreint d'essais réalisés sur un seul enfant. Nous avons malgré tout observé un gain lié à la musique sur la vitesse d'écriture pour deux paires de séances, 5-6 et 7-8. Comment expliquer ce gain de vitesse ? Il est délicat de comprendre pourquoi les progrès sont notables à ce moment-là. Une des raisons est que le temps d'entraînement variait de plus ou moins 5 minutes en fonction des difficultés d'exercices et de la fatigue que pouvait rencontrer KL. Or c'est au cours de ces deux paires de séances que la durée d'entraînement a été la plus longue (20 minutes). Nous pouvons émettre l'hypothèse qu'au cours des séances 5 et 7, KL a modifié la vitesse de son écriture pour en moduler le rythme afin de mieux se synchroniser avec la musique.

Au-delà de ces améliorations objectives, KL a rapporté un réel plaisir à écrire en musique. Déjà lors des séances, nous observions un élève plus motivé et plus enclin à



écrire lorsqu'il s'agissait des exercices en musique. A la fin du protocole, KL nous a confirmé avoir ressenti moins de crispation dans la main. Les exercices lui paraissent plus faciles lorsqu'il y avait la musique pour le soutenir. La musique augmenterait donc la motivation dans une tâche telle que l'écriture (Andersen et Zhai, 2010). Cet effet motivationnel de la musique est d'autant plus crucial qu'un enfant dysgraphique se trouve la plupart du temps dans un rapport conflictuel avec l'acte d'écrire. Si la musique lui permet de moins appréhender son trouble et d'accepter les exercices de remédiation, nous avons donc tout intérêt à l'utiliser. Nous l'avons observé assez aisément chez KL pour qui écrire est devenu plus plaisant et moins fatigant.

Cette étude nous permet de conclure qu'ajouter une musique de fond a participé à la rééducation du geste graphique, sans détériorer la qualité spatiale de la trace écrite. Les différences constatées sont relativement faibles mais positives au regard de la courte durée de l'expérimentation et des nombreuses contraintes expérimentales liées à l'étude de cas. Cette recherche est donc encourageante pour légitimer l'intérêt de la musique dans l'apprentissage de l'écriture mais elle reste préliminaire. En guise de perspectives, il serait intéressant d'étudier plus en profondeur le mouvement d'écriture effectué en temps réel (e.g., Caramiaux et *al.*, 2014) au regard du décours mélodique et rythmique de la musique. Cela permettrait de comprendre plus précisément dans quel mesure la musique influence le mouvement au niveau informationnel et émotionnel (e.g., Glowinski et *al.*, 2017). L'expérimentation devra également être conduite avec d'autres enfants, plus âgés pour vérifier l'effet de la musique dans la rééducation de la dysgraphie, et plus jeunes pour valider plus largement l'utilisation de la musique dans l'apprentissage de l'écriture manuscrite. Nous pouvons en effet penser qu'ajouter une musique de fond pendant la réalisation d'exercices graphomoteurs peut aider à appréhender les premiers apprentissages de l'écriture manuscrite. Cette méthode pourrait par exemple être proposée en maternelle afin d'éveiller l'enfant au mouvement graphique et au plaisir de l'activité, en proposant un cadre d'apprentissage original et ludique.

## **6. Remerciements**

Ce travail réalisé dans le cadre du Labex BLRI portant la référence ANR-11-LABX-0036 a bénéficié d'une aide de l'Etat gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au

titre du projet Investissements d’Avenir A\*MIDEX portant la référence n° ANR-11-IDEX-0001-02

## 7. Références

- Andersen, T. et Zhai, S. (2010). “Writing with Music:” Exploring the use of auditory feedback in pen gesture interfaces. *ACM Transactions on Applied Perception*, 7(3), 57-80.
- Andrieux, M., Danna, J. et Thon, B. (2011). Self-control of task difficulty during training enhances motor learning of a complex coincidence-anticipation task. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 83(1), 27-35.
- Atkinson-Clément, C., Sadat, J. et Pinto, S. (2015). Behavioral treatments for speech in Parkinson’s disease: meta-analyses and review of the literature. *Neurodegenerative Disease Management*, 5(3), 233-248.
- Bangert, M., Häusler, U. et Altenmüller, E. (2001). On practice: how the brain connects piano keys and piano sounds. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 425-428.
- Ben-Pazi, H., Kukke, S. et Sanger, T. D. (2007). Poor penmanship in children correlates with abnormal rhythmic tapping: a broad functional temporal impairment. *Journal of Child Neurology*, 22, 543-549.
- Benoit, C. E., Dalla Bella, S., Farrugia, N., Obrig, H., Mainka, S. et Kotz, S. A. (2014). Musically cued gait-training improves both perceptual and motor timing in Parkinson’s disease. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 1-11.
- Bernatzky, G., Bernatzky, P., Hesse, H. P., Staffen, W. et Ladurner, G. (2004). Stimulating music increases motor coordination in patients afflicted with Morbus Parkinson. *Neuroscience Letters*, 361(1-3), 4-8.
- Berninger, V. W., Abbott, R. D., Abott, S. P., Graham, S. et Richards, T. (2002). Writing and reading: Connections between language by hand and language by eye. *Journal of Learning Disabilities*, 35, 39-56.
- Caramiaux, B., Montecchio, N., Tanaka, A. et Bevilacqua, F. (2014). Adaptive gesture recognition with variation estimation for interactive systems. *ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems*, 4(4), 1– 34.

- Chang, X., Wang, P, Zhang, Q., Feng, X., Zhang, C. et Zhou, P. (2014). The effect of music training on unimanual and bimanual responses. *Musicae Scientiae*, 18(4), 464-472.
- Charles, M., Soppelsa, R. et Albaret, J.-M.(dir.) (2003). *BHK - Echelle d'évaluation rapide de l'écriture chez l'enfant*. Paris: Editions et Applications Psychologiques.
- Chen, J., Penhune, B. et Zatorre, R. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral Cortex*, 18, 2844-2854.
- Clements-Cortès, A. (2012). Can music be used to help a person who stutters? *Canadian Music Educator*, 45-48.
- Danna, J., Paz-Villagrán, V. et Velay, J.-L. (2013). Signal-to-Noise velocity peak difference: a new method for evaluating the handwriting movement fluency in children with dysgraphia. *Research in Developmental Disabilities*, 34, 4375-4384.
- Danna, J., Paz-Villagrán, V., Capel, A., Pétriz, C., Gondre, C., Pinto, S., Thoret, E., Aramaki, M., Ystad, S., Kronland-Martinet, R. et Velay, J.-L. (2014). Handwriting movement sonification for the diagnosis and the rehabilitation of graphomotor disorders. In M. Aramaki, O. Derrien, R. Kronland-Martinet et S. Ystad (dir.), *Sound, Music & Motion*. [LNCS 8905] (p. 246-255). Springer Berlin Heidelberg.
- Danna, J., Paz-Villagrán, V., Gondre, C., Aramaki, M., Kronland-Martinet, R., Ystad, S. et Velay, J.-L. (2015a). « Let me hear your handwriting! » Evaluating the movement quality from its sonification. *PloS One* 10(6): e0128388: doi:10.1371/journal.pone.0128388.
- Danna, J., Fontaine, M., Paz-Villagrán, V., Gondre, C., Thoret, E., Aramaki, M., Kronland-Martinet, R., Ystad, S. et Velay, J.-L. (2015b). The effect of real-time auditory feedback on learning new characters. *Human Movement Science*, 43, 216-228.
- Forsblom, A., Laitinen, S., Särkämö, T et Tervaniemi, M. (2009). Therapeutic role of music listening in stroke rehabilitation. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 426-430.
- Glowinski, D., Coll S, Sanchez M, Baron, N, Schaerlaeken S et Grandjean D. (2017). Body, space and emotion: A perceptual study. *Human Technology*, 13, 32–57.
- Habib, M., Lardy, C., Desiles, T., Commeiras, C., Chobert, J. et Besson, M. (2016). Music and dyslexia: A new musical training method to improve reading and related disorders. *Frontiers in Psychology* 7:26. doi: 10.3389/fpsyg.2016.00026

- Hamstra-Bletz, L. et Blote, A. W. (1993). A longitudinal study on dysgraphic handwriting in primary school. *Journal of Learning Disabilities*, 26, 689-699.
- Haueisen, J. et Knösche, T.R. (2001). Involuntary motor activity in pianists evoked by music perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13, 786-792.
- Jones, D. et Christensen, C. A. (1999). Relationship between automaticity in handwriting and students' ability to generate written text. *Journal of Educational Psychology*, 91(1), 44-49.
- Krutulienè, R. et Makauskienè, V. (2012). Elements of art therapy in stuttering intervention. *Special Education*, 1, 140-147.
- Leemrijse, C., Meijer, O. G., Vermeer, A., Adèr, H. J. et Diemel, S. (2000). The efficacy of Le Bon Départ and Sensory Integration treatment for children with developmental coordination disorder: a randomized study with six single cases. *Clinical Rehabilitation*, 14(3), 247-259.
- Mainka, S. (2015). Music stimulates muscles, mind, and feelings in one go. *Frontiers in Psychology*, 6:1547. doi: 10.3389/fpsyg.2015.01547
- Nombela, C., Hughes, L. E., Owen, A.M. et Grahn, J. A. (2013). Into the groove: Can rhythm influence Parkinson's disease? *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 37(10), 2564-2570.
- Olivaux, R. (dir.) (2005). *Pédagogie de l'écriture et graphothérapie*. Paris: L'Harmattan.
- Overy, K., Nicolson, R. I., Fawcett, A. J. et Clarke, E. F. (2003). Dyslexia and music: measuring musical timing skills. *Dyslexia*, 9(1), 18-36.
- Paz-Villagrán, V., Danna, J. et Velay, J.-L. (2014). Lifts and stops in proficient and dysgraphic handwriting. *Human Movement Science*, 33, 381-394.
- Schaefer, R. S., Morcom, A. M., Roberts, N. et Overy, K. (2014). Moving to music: effects of heard and imagined musical cues on movement-related brain activity. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8:74. doi: 10.3389/fnhum.2014.00774
- Tallal, P. et Gaab, N. (2006). Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences*, 29(7), 382-390.
- Thaut, M. H. (dir.) (2005). *Rhythm, Music, and the Brain: Scientific Foundations and Clinical Applications*. New York: Routledge.
- Thoulon-Page, C. (dir.) (2009). *La rééducation de l'écriture de l'enfant: Pratique de la graphothérapie*. Issy-les-Moulineaux: Elsevier Masson S.A.S.

Van Galen, G. P., Portier, S. J., Smits- Engelsman, B. C. M. et Shomaker, L. R. B. (1993). Neuromotor noise and poor handwriting in children. *Acta Psychologica*, 82, 161-178.

Van Vugt, F. T., Ritter, J., Rollnik, J. D. et Altenmüller, E. (2014). Music-supported motor training after stroke reveals no superiority of synchronization in group therapy. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8:315. doi:fnhum.2014.00315

Zatorre R. J., Chen, J.L. et Penhune, V.B. (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Review Neuroscience*, 8(7), 547-558.