

Mélodys® et la remédiation cognitivo-musicale :

pourquoi et comment l'apprentissage musical peut-il être utile à la rééducation des troubles dys ?

Michel Habib†‡, Céline Commeiras*, Alice Dormoy**

Mireille Besson‡

†Résodys, Marseille, *Centre Pluridisciplinaire CPA, Aix-en-Provence, **CNR de Nice,

‡Aix-Marseille Université et CNRS, Marseille

Introduction

Les troubles spécifiques d'apprentissage, volontiers appelés « troubles dys » en francophonie, représentent la forme la plus fréquente des troubles neurodéveloppementaux, dont le cadre a été redéfini dans le DSM-5¹, dernière édition du manuel statistique et diagnostique des troubles mentaux. A ce titre, ils relèvent d'une stratégie de soins qui a été précisée récemment en France par la Haute Autorité de Santé² qui définit le parcours de soins des différentes formes du trouble et préconise des prises en charge multidisciplinaires adaptées à chaque cas.

C'est précisément dans cet esprit de multidisciplinarité que nous avons initié, dans notre région, une collaboration entre divers professionnels : neurologues, rééducateurs et enseignants, et plus récemment psychomotriciens et éducateurs spécialisés, autour d'une forme originale de prise en charge de ces troubles, le projet Mélodys®, un concept théorique, pédagogique et rééducatif original reposant sur le principe de la remédiation cognitivo-musicale. Il s'agit d'utiliser des outils inspirés de la pratique musicale pour aider à la remédiation des troubles, outils basés sur les résultats les plus récents de la recherche en neurosciences.

Une base théorique forte

La riche littérature neuroscientifique de ces dernières années consacrée aux effets de la pratique musicale sur le cerveau incite à penser que certains ingrédients de cette activité puissent être utilisés comme outils de rééducation. Les arguments sont de trois ordres. En premier lieu, jouer ou écouter de la musique peut de fait convoquer différents aspects de la cognition (notamment les processus d'attention et de mémoire de travail), de la perception auditive voire spatiale, mais également des aspects moteurs et

¹ American Psychiatric Association. DSM-5®. Diagnostic and statistical manual of mental disorders (5th ed.). Washington, DC: Author, 2013.

² https://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_2824177/fr/troubles-dys-comment-mieux-organiser-le-parcours-de-sante

rythmiques. Pris individuellement, l'exercice de chacune de ces fonctions grâce à des activités musicales diverses revêt déjà un intérêt certain et possède un potentiel considérable en termes d'applications thérapeutiques sur les dysfonctionnements cognitifs de tous ordres, tout particulièrement ceux qui nous concernent ici, à savoir les troubles spécifiques d'apprentissage du langage oral et écrit. L'idée est dès lors de viser un *transfert d'apprentissage*, pour les fonctions perturbées, de tâches musicales vers des tâches non musicales. Mais au-delà de cet effet sur des modules fonctionnels distincts, base classique de la rééducation neuropsychologique et linguistique, il existe un ensemble d'arguments plus proprement neurocognitifs et neuroanatomiques laissant penser que l'apprentissage musical utilise et renforce des connexions entre des zones cérébrales distantes, et de ce fait même pourrait restaurer les circuits impliqués dans *l'intégration inter-modalitaire*. Or, une quantité croissante de données semblent à présent prouver que le fondement de beaucoup de troubles d'apprentissage pourrait précisément se situer au niveau d'une incapacité du cerveau à réaliser cette intégration.

Le cerveau du musicien, véritable modèle de plasticité cérébrale

Parmi les preuves de l'effet de l'apprentissage musical sur le cerveau, c'est essentiellement l'étude du cerveau de sujets adultes musiciens professionnels qui a focalisé l'intérêt des chercheurs en neuroscience. Par exemple, il a été montré³ que des joueurs d'instruments à cordes présentaient un plus fort développement de l'aire sensorimotrice des doigts de la main gauche (sur l'hémisphère droit) et que cet effet n'est pas présent chez les joueurs d'instruments à clavier, ni sur les violonistes ayant appris tardivement à jouer. Cela prouve que c'est bien l'exercice intensif de la motricité distale des doigts depuis la petite enfance qui a modifié la structure même de leur surface corticale. De la même manière, des travaux ont également montré que les aires auditives primaires et secondaires de l'hémisphère gauche de sujets musiciens, impliquées dans la perception auditive et dans l'affectation d'une signification musicale aux sons entendus, est plus développée chez les musiciens que chez les non musiciens⁴. Mais les modifications les plus spectaculaires sont celles observées sur la substance blanche des musiciens, en premier lieu au niveau du corps calleux⁵, cette masse de fibres blanche unissant les zones corticales symétriques de l'hémisphère droit et de l'hémisphère gauche, plus développée chez les musiciens sans doute par le biais d'un exercice intensif de la coordination bimanuelle impliquant un passage d'informations entre les deux hémisphères.

³ Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players, *Science*, 270 : 305-307.

⁴ Schlaug, G. (2001) The brain of musicians: a model for functional and structural adaptation. *Ann. NY Acad. Sci.*, 930, 281–299.

⁵ Schlaug G., Jäncke L., Huang Y., et al. (1995a). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia* 33: 1047-1054.

Un autre important faisceau semble être la cible d'un apprentissage musical : le faisceau arqué. Comme le montre la figure 1, un adulte ayant pratiqué un instrument durant toute sa vie a développé de manière bien plus conséquente ce faisceau qu'une personne de même âge et de même cursus mais non musicien.

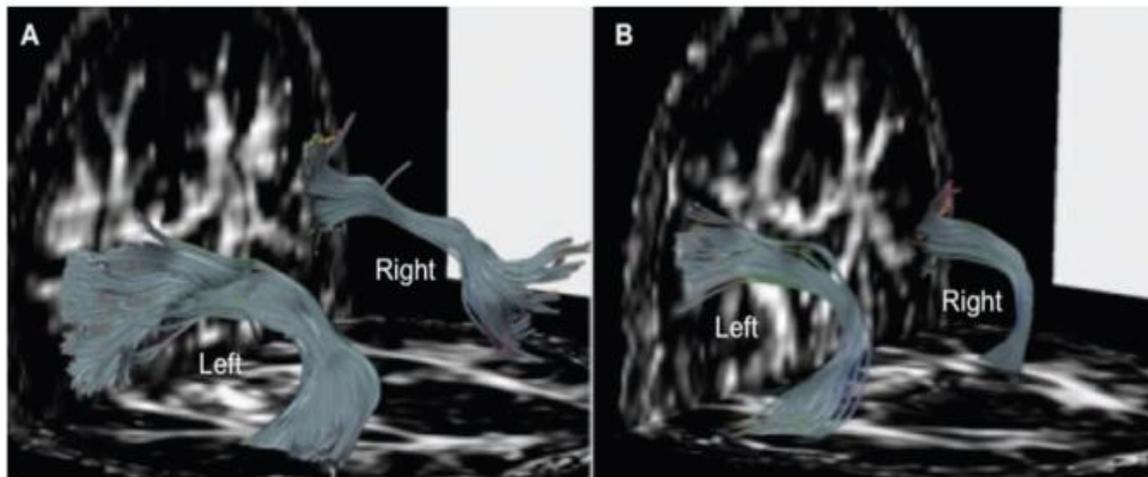


Figure 1 : comparaison de deux adultes âgés ayant l'un de nombreuses années de pratique d'un instrument de musique (à gauche), l'autre sans aucune expérience musicale. On voit nettement la différence de taille du faisceau arqué entre les deux (d'après⁶).

Cette constatation, qui a été répliquée dans plusieurs études, incite donc à penser qu'au delà de son effet sculptant sur les aires corticales motrices et auditives, la pratique musicale a également, et peut-être surtout, modifié considérablement l'anatomie des fibres unissant entre elles les régions de cortex concernées par l'usage d'un instrument ou la pratique professionnelle du chant.

Or, ce même faisceau arqué est également la région de la substance blanche cérébrale sur laquelle ont été régulièrement décrites des modifications structurales chez les enfants et adultes dyslexiques. Cette coïncidence a été la première raison qui nous a incités à réfléchir sur la possibilité d'utiliser la musique dans le traitement de la dyslexie.

Le cerveau du dyslexique : vers une explication unitaire des troubles dys

C'est ainsi que plusieurs équipes distinctes ont développé l'idée que le trouble pourrait se situer de manière plus générale au niveau de l'incapacité du cerveau du dyslexique à faire

⁶ Wan C.Y. and Schlaug G. (2010). Music Making as a Tool for Promoting Brain Plasticity across the Life Span. *Neuroscientist*. 2010 October ; 16(5): 566–577.

coïncider des stimuli de nature différente, comme par exemple l'image visuelle d'une lettre (graphème) et son correspondant sonore (phonème). L'une de ces études, émanant d'une équipe belge⁷, a précisément permis de mettre en évidence deux circuits dans l'hémisphère gauche qui sont incorrectement câblés sur le cerveau de dyslexiques : un circuit supérieur, empruntant le faisceau arqué et dont l'intégrité garantit l'efficacité de la voie phonologique de lecture, et l'autre inférieur, empruntant le faisceau occipito-frontal et dont l'intégrité prédirait l'efficacité en orthographe (*figure 2*). En outre, le caractère atypique de ces circuits serait déjà présent avant l'âge d'acquisition de la lecture chez des enfants de maternelle à risque de dyslexie, ce qui semble prouver que l'anomalie en question n'est pas la simple conséquence d'une trop faible familiarité avec le langage écrit⁸, même si des facteurs éducatifs peuvent également influencer l'anatomie des faisceaux en question ⁹.

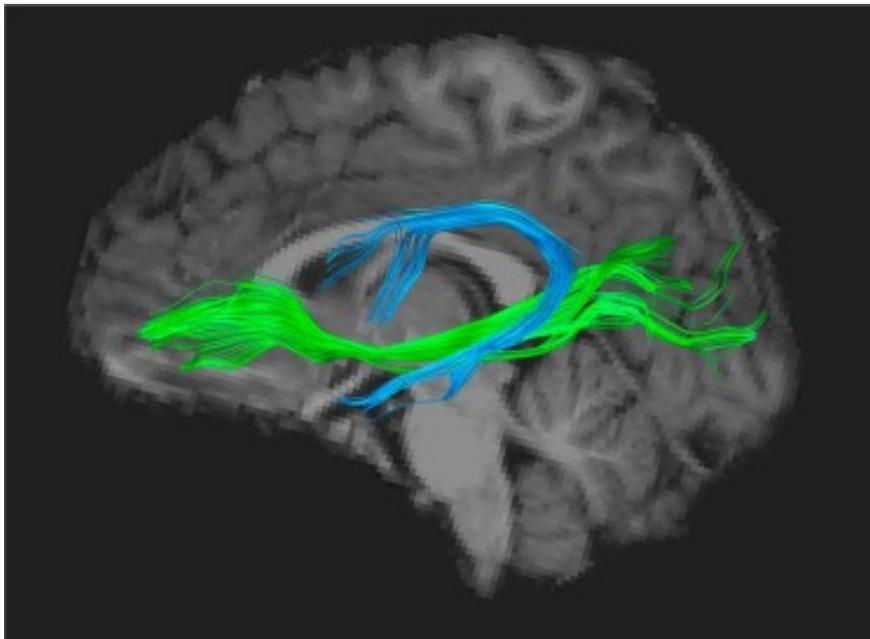


Figure 2 : Les deux principaux faisceaux de substance blanche régulièrement rapportés comme anormalement structurés chez les enfants dyslexiques : faisceau arqué (en bleu), faisceau occipito-frontal inférieur (en vert). D'après Vandermosten et al., 2012, 2017

⁷ Vandermosten, M., Boets, B., Poelmans, H., Sunaert, S., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2012). A tractography study in dyslexia: Neuroanatomic correlates of orthographic, phonological and speech processing. *Brain*, 135(3), 935–948.

⁸ Langer N, Peysakhovich B, Zuk J, Drottar M, Sliva DD, Smith S, Becker BL, Grant PE, Gaab N. White Matter Alterations in Infants at Risk for Developmental Dyslexia. *Cereb Cortex*. 2017 Feb 1;27(2):1027-1036. doi: 10.1093/cercor/bhv281.

⁹ Vandermosten M, Cuynen L, Vanderauwera J, Wouters J, Ghesquière P. White matter pathways mediate parental effects on children's reading precursors. *Brain Lang*. 2017 Oct;173:10-19. doi: 10.1016/j.bandl.2017.05.002. Epub 2017 May 27.

Finally, a study using magneto-encephalography¹⁰ to analyze the phase coherence between different regions of the brain in dyslexia showed that among all the connections that can be made in an inadequate way in the dyslexic, the one between the auditory cortex of the right temporal lobe and Broca's area on the left could be directly involved in the genesis of the phonological disorder, in particular by a lack of phase coherence between the low-frequency auditory stimulus (1 to 5 Hz) and the corresponding oscillatory activity of the cerebral areas (oscillations in the Delta band).

In definitive, everything passes as if the deficit, in the dyslexic, was the manifestation of a dysconnectivity between different cortical regions associated with (or in causal relation with) a lack of synchronization of the oscillatory activity of groups of neurons in response to low-frequency auditory stimuli.

It is therefore from these different theoretical elements, and based on data from various fields of research, that we have undertaken to build a musical tool with a remedial aim that includes the main ingredients that, in musical practice, are susceptible to act on the brain in the most effective way possible, by the presence of two ingredients in each of the proposed exercises :

- a motor component, as closely as possible linked with a rhythmic activity, whether it is perception of a regular rhythm with adjustment to the tempo, or generation of one's own rhythm, centered on the notion of pulsation

- a visual component, more centered on the correspondence between written notes and the different qualities of sounds (pitch, duration, timbre, intensity...).

- a social component aimed at exercising the cerebral modules involved in interpersonal interaction, taking up the concept of mirror neurons, in the form of adult/adult or child/child dyads. Thus, the three groups of data that, in recent neuroscientific literature, seem the most relevant to the expected effect of music on the brain: the intermodal connectivity, the oscillatory nature of cerebral functioning and the interpersonal synchrony, are addressed by the system of mirror neurons.

Thus, the remedial work proposed for dyslexic children will have a real restructuring effect on the mechanisms that are currently considered as the best candidates for the cause of the disorder. For this reason, this work does not substitute itself for a remedial work of a more academic nature, such as that carried out classically in orthophonics, which aims to restore, for example, the precursors

¹⁰ Molinaro, N., Lizarazu, M., Lallier, M., Bourguignon, M., and Carreiras, M. (2016). Out-of-synchrony speech entrainment in developmental dyslexia. *Hum. Brain Mapp.* 37, 2767–2783.

phonologiques ou visuo-attentionnels de la lecture. Il apparaît davantage comme un outil complémentaire qui vient enrichir la pratique tout en lui conférant une dimension artistique et motivante. Aucune expertise musicale n'est nécessaire pour entamer ce travail, ni de la part du patient qui sera progressivement guidé par des exercices progressifs, ni de la part du rééducateur qui va pouvoir utiliser un matériel dédié. De plus, l'équipement nécessaire est adapté à une pratique en cabinet d'orthophonie. Il convient de se munir essentiellement d'un clavier et d'un instrument à percussion pour pouvoir effectuer l'ensemble des exercices proposés dans la méthode. Reste la question de la pratique rééducative de groupe, que nous considérons comme cruciale pour assurer l'efficacité de la rééducation, pratique qui n'est pas encore courante dans les milieux orthophoniques, en tout cas au sein de l'hexagone. Cette évolution souhaitée des modalités d'exercice de la profession doit passer par une prise de conscience collective de la profession de la nécessité de pratiques basées sur les preuves scientifiques¹¹.

Remédiation cognitivo-musicale : les preuves d'efficacité

Comme pour toute proposition de nouvelle méthode rééducative, et tout spécialement peut-être dans ce domaine si fortement médiatisé et banalisé que constitue le vaste champ de la musicothérapie, il nous est apparu important, à vrai dire indispensable, d'apporter les preuves les mieux construites possibles que l'effet observé n'est ni marginal, ni anodin. Pour ce faire, nous avons mené plusieurs études étalées sur plusieurs années, dont nous rapportons ci-après les principaux résultats.

Dans une première étude¹², nous avons recruté un groupe de 12 enfants de 8,2 à 11,7 ans (moyenne 10 ans 7 mois), ayant en commun un diagnostic de dyslexie sévère ayant débouché sur leur inclusion dans des classes spécialisées et un SESSAD pour enfants dyslexiques (ce qui sous-entend qu'ils étaient déjà traités de manière intensive par des méthodes rééducatives classiques). L'entraînement dans son ensemble a duré 3 jours, 6 heures par jour, soit un total de 18 heures.

Parmi les variables cognitives analysées, la plus pertinente fut une épreuve de perception catégorielle construite de façon à mesurer la capacité des enfants dyslexiques et d'un nombre similaire de témoins appariés à catégoriser deux phonèmes, inclus dans les syllabes [pa] ou [ba] en leur demandant d'identifier lequel des deux phonèmes ils entendaient. A leur insu, le matériel propos était constitué de 10 intermédiaires acoustiques entre les deux phonèmes, distribuées de manière acoustiquement continue, mais perçus par l'oreille de sujets ordinaires non comme un

¹¹ Casalis S, Leloup G, Bois Parriaud F. Prise en charge des troubles du langage écrit chez l'enfant. Issy les Moulineaux : Elsevier Masson. 2013.

¹² Habib M. (2014) Bases neuroscientifiques de l'utilisation de la musique dans la prise en charge des enfants dyslexiques. A.N.A.E., 128 : 37-46.

continuum mais sous la forme de deux catégories . Comme attendu, les dyslexiques catégorisaient moins bien les deux phonèmes que les témoins (figure 3), mais amélioreraient significativement leur performance après les 18 heures d'entraînement non phonologique.

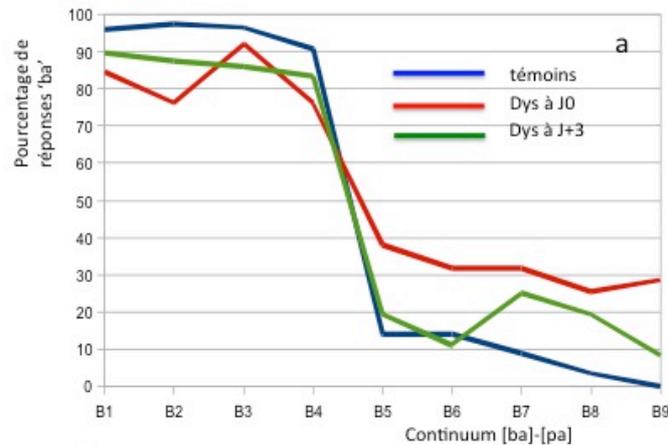


Figure 3 : Test de perception catégorielle [ba]-[pa]. Le matériel consiste en un continuum acoustique constitué de 9 pas entre les phonèmes 'b' et 'p..' : par rapport à des témoins normo-lecteurs (en bleu), les enfants dyslexiques avant traitement (en rouge) catégorisent imparfaitement en intra-catégoriel avec une frontière intercatégorielle moins abrupte. Ces deux particularités s'estompent après traitement (en vert), avec en particulier moins de perception allophonique. ANOVA à mesures répétées : $F(1,21)=2,8$; $p=0.0051$.

La deuxième étude a porté sur 12 enfants de 7 à 12 ans, scolarisés dans une classe spécialisée pour enfants "multi-dys", et a consisté à proposer les mêmes exercices durant une durée totale identique à l'étude précédente (18 heures) mais répartis sur 5 semaines, à raison de 2 séances par semaine. Les 12 enfants étaient testés 4 fois, une fois avant l'entraînement (T2), une fois juste après T3), une fois 6 semaines avant le début (T1), et une dernière fois 6 semaines après la fin de l'entraînement (T4). Trois variables qui n'avaient pas été étudiées dans l'étude précédente : la lecture, la conscience phonémique et l'attention auditive, se sont avérées améliorées par ce protocole (figure 4). Les améliorations attendues ont été observées durant la période d'entraînement pour les trois variables (soit entre T2 et T3), mais pas entre T1 et T2, ni entre T3 et T4, confirmant le fait que tant la conscience phonologique, que la lecture de mots et l'attention auditive ont été spécifiquement sensibles à l'entraînement musical.

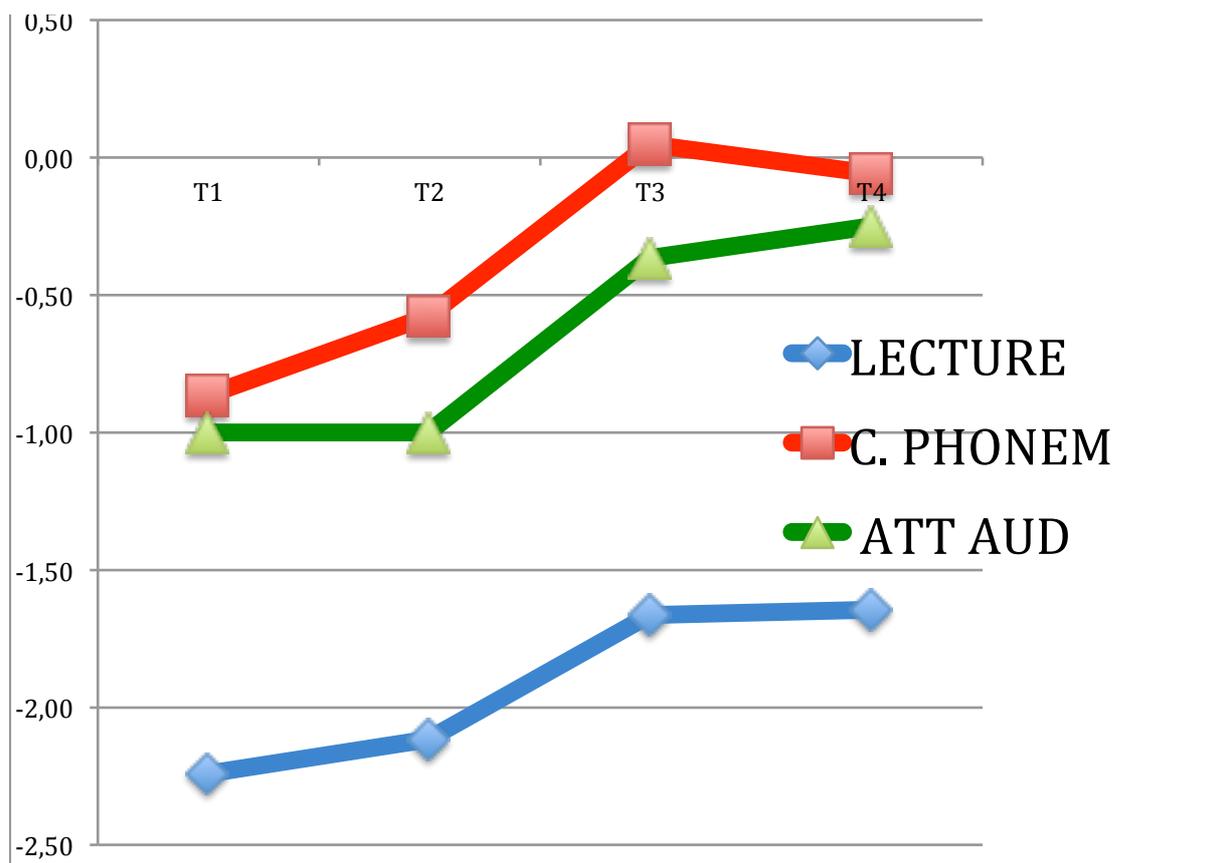


Figure 4 : représentation schématique du déroulement dans le temps du protocole expérimental : 3 périodes successives de 6 semaines entre lesquelles les 12 enfants ont été testés 4 fois (T1 à T4). Les ateliers ont pris place entre les mesures T2 et T3. Les trois variables étudiées se sont améliorées significativement entre T2 et T3, soit la période entraînée mais non durant les deux périodes non entraînées.

Une troisième étude a porté sur des enfants de grande section de maternelle, scolarisés dans un secteur socialement défavorisé, et ayant reçu deux formes différentes d'entraînement l'un avec Mélodys, l'autre avec une quantité identique d'activités d'arts visuels (2 séances de 30 minutes par semaine durant 6 semaines). Les deux groupes ont été testés trois fois, une fois avant et après l'entraînement (Mélodys ou art visuels) et une fois 6 semaines plus tard¹³. Comme on le voit sur la figure 5, seul le groupe Mélodys s'est amélioré significativement à la fin de la période d'entraînement sur deux tâches de conscience phonologique (comptage syllabique et suppression syllabique) mais les deux se sont améliorés significativement sur une tâche de mémoire de travail (empan envers).

¹³ Millet M., Barthe S., Commeiras C., Besson M., Habib M. Effet cognitif d'un entraînement musical multimodal chez des enfants prélecteurs socio-économiquement à risque. Journée Scientifique de la SOFTAL, Lyon, 9 juin 2015.

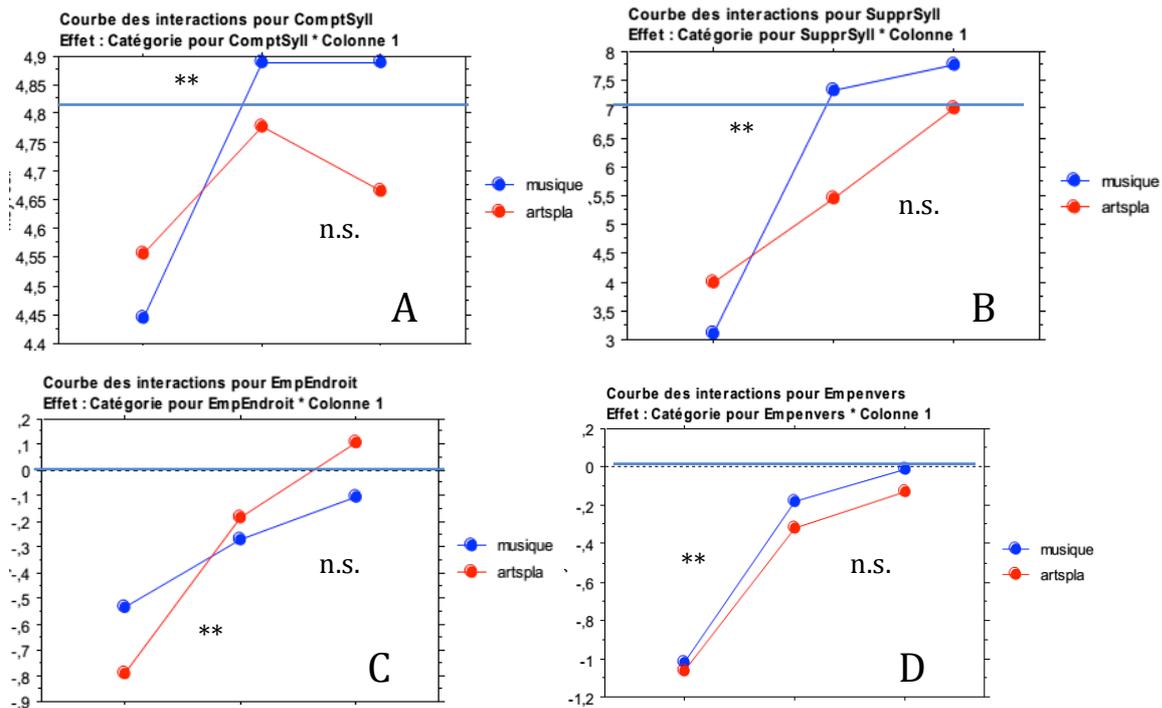


Figure 5 : performance moyenne de 18 enfants de grande section de maternelle dont la moitié a bénéficié d'un entraînement musical, l'autre d'un entraînement d'arts plastiques, testés trois fois avant, juste après et 6 semaines après la fin de l'entraînement à l'aide de 4 épreuves du BSEDS.. A: épreuve de comptage syllabique (note /8); B: épreuve de suppression syllabique (note/10); C : épreuve d'empan de chiffres; D: empan envers.=significatif à 0.01; n.s.= non significatif. Ligne bleue : moyenne des témoins de même âge.**

On notera en outre que les performances moyennes pour chacun des domaines explorés se situe au départ à plus d'un écart-type en-dessous de la moyenne attendue pour l'âge, ce qui reflète l'effet délétère du milieu socio-économique défavorisé sur les précurseurs linguistiques et cognitifs de la lecture. Cela incite à penser que l'entraînement, en particulier musical, a eu pour effet de restituer un niveau normal aux systèmes cognitifs dont l'intégrité est réputée indispensable aux apprentissages fondamentaux. Ces résultats vont dans le même sens que ceux rapportés par l'équipe américaine de Nina Kraus sur la cohorte d'élèves issus de milieux défavorisés de la banlieue de Los Angeles, inclus dans le projet « Harmony¹⁴ ». Dans cette étude¹⁵, 42 enfants de 6-8 ans étaient soit inclus dans une liste d'attente où ils ne recevaient qu'une instruction musicale indirecte, soit inclus dans un protocole d'apprentissage actif d'un instrument et de

¹⁴ <https://www.harmonyprojectofamerica.org/>

¹⁵ Slater J, Strait DL, Skoe E, O'Connell S, Thompson E, **Kraus N**. Longitudinal effects of group music instruction on literacy skills in low-income children. PLoS One. 2014 Nov 19;9(11):e113383

pratique musicale d'orchestre. Les mesures d'un test standardisé de lecture et d'un test de dénomination rapide sont reproduites sur la figure 6, qui montre qu'alors que les enfants en liste d'attente durant 1 an n'améliorent pas leurs performances, voire s'éloignent de celle attendue pour l'âge un an plus tard, les enfants inclus dans le protocole musical soit ne se dégradent pas, soient améliorent leur performance. Ici encore, il apparaît donc qu'un entraînement musical actif de groupe a été capable de contrer les effets d'un milieu défavorable sur le développement cognitif, réalisant une véritable thérapie préventive d'une dégradation cognitive qui, sans cela, serait considérée comme inéluctable.

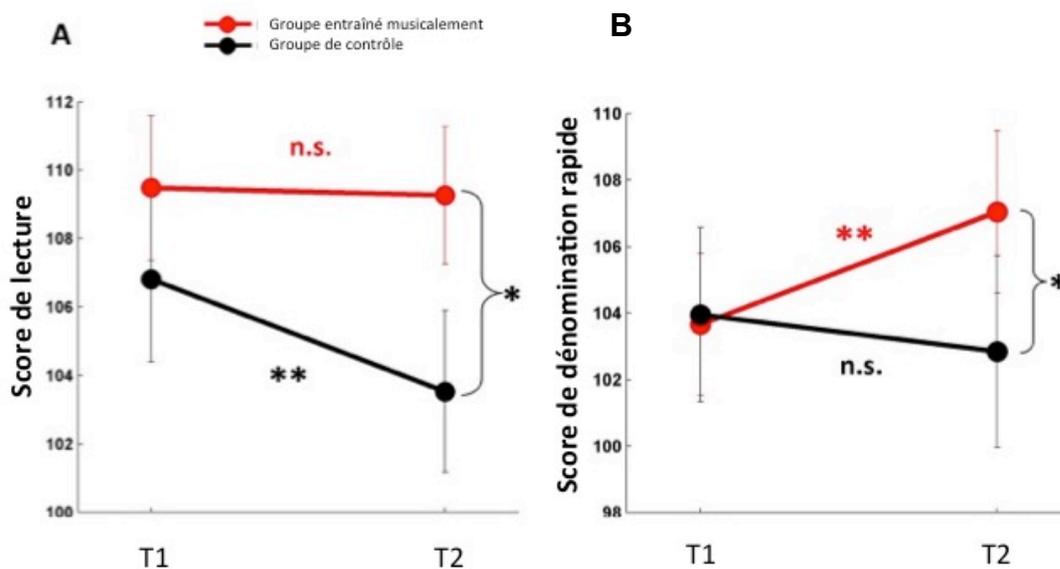


Figure 6 : évolution en un an des scores de lecture (A) et de dénomination rapide (B) dans les deux groupes : enfants entraînés musicalement de manière active et avec une pratique d'orchestre (trait rouge) et enfants placés sur la liste d'attente (trait noir). D'après Slater et al., 2014.

Conclusion

Au terme de ce chapitre, il apparaît maintenant possible d'une part d'affirmer que la pratique de la musique, et notamment certains aspects de cette pratique, ont la capacité de modeler la connectivité interne du cerveau et d'autre part que cette réorganisation des connexions possède de réelles propriétés thérapeutiques vis-à-vis des déficits cognitifs caractérisant les troubles neuro-développementaux. A cet égard, si la dyslexie est sans doute le cas de figure le plus étudié et celui sur lequel un tel effet de la musique est le plus clair, il est hautement envisageable que d'autres troubles, dans lesquels un mécanisme de dysconnectivité a aussi été envisagé, puissent également en bénéficier.

C'est en particulier le cas de la dyscalculie¹⁶ et de l'autisme¹⁷, deux conditions dans lesquelles il a été démontré que les connexions entre des régions distantes du cortex et du sous-cortex peuvent être défaillantes. Outre la justification de l'utilisation thérapeutique de la musique dans ces conditions, les données exposées dans les paragraphes précédents offrent des perspectives intéressantes sur la façon dont la musique pourrait être au mieux utilisée pour chaque situation. Par exemple, de même que l'intégration intermodale et le lien entre motricité et audition ont toutes chances d'être bénéfiques pour le trouble de la lecture, les troubles de la phonologie et de la syntaxe pourraient relever plus spécifiquement d'un traitement à prédominance rythmique, alors que les symptômes de type autistique et les cas de troubles d'apprentissage s'accompagnant de difficultés dans la cognition sociale pourraient être particulièrement sensibles à une activité de type action conjointe, en musique ou en danse. De même, des enfants dyspraxiques, ayant des difficultés de représentation spatiale des sons, pourraient tirer avantage d'un travail spécifique sur la représentation des hauteurs alors que ceux ayant des difficultés de coordination motrice auront tout à gagner dans des exercices de coordination bimanuelle au clavier, par exemple.

Pour autant, la fréquence des situations de comorbidité fait que toutes ces conditions vont avoir tendance à coexister les unes avec les autres, de sorte que l'apprentissage musical, quelle que soit la nature même du problème, ne pourra être que bénéfique. En outre, le caractère transversal de certains effets de l'entraînement musical, comme celui sur l'attention, ou la mémoire de travail, ou encore l'effet sur les systèmes de la récompense, ont toute chance de rajouter une source d'efficacité supplémentaire de sorte que l'outil musical dans son ensemble ne peut se réduire à la somme de ses composantes.

Reste la question, que nous n'avons volontairement pas envisagée ici, de l'aide apportée par toutes ces données non plus au thérapeute, mais au pédagogue, puisqu'il est évident qu'ici aussi, comprendre les mécanismes cérébraux de cet apprentissage peut apporter une aide précieuse à l'enseignant confronté à un élève en difficulté spécifique d'apprentissage. Notre conviction est que le travail des uns et des autres, rééducateurs et enseignants, est complémentaire et que chacun gagnerait grandement à établir des liens forts entre les pratiques, ne serait-ce qu'en partageant des outils ou encore des connaissances. En sillonnant la francophonie avec ce simple message de

¹⁶ Rykhlevskaia E, Uddin LQ, Kondos L, Menon V. Neuroanatomical correlates of developmental dyscalculia: combined evidence from morphometry and tractography. *Front Hum Neurosci.* 2009;3:51.

¹⁷ Bieleninik L, Geretsegger M, Mössler K, Assmus J, et al. Effects of Improvisational Music Therapy vs Enhanced Standard Care on Symptom Severity Among Children With Autism Spectrum Disorder: The TIME-A Randomized Clinical Trial. *JAMA.* 2017 Aug 8;318(6):525-535.

l'interdisciplinarité, nous sommes parvenus à construire dans plusieurs régions les bases d'un travail entre des spécialistes de formations différentes, mais partageant une même conviction, celle que les enfants dys non seulement ont, eux aussi, le droit d'accéder à une expertise musicale, mais méritent également de bénéficier des dernières avancées scientifiques pour mieux vivre avec leur difficulté, et pourquoi pas en faire un atout dans leur vie familiale, scolaire, sociale et professionnelle.