

Article publié en:

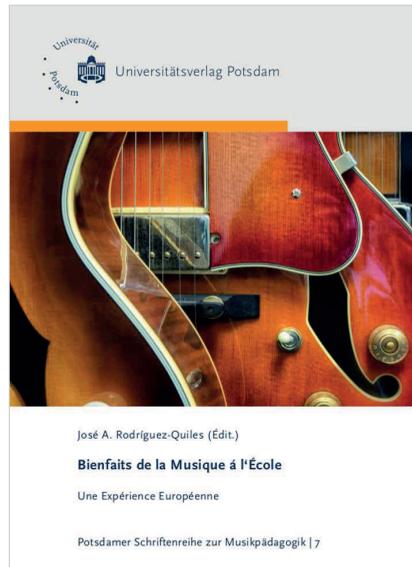
José A. Rodríguez-Quiles (édit.)

Bienfaits de la musique á l'école une expérience européenne

2019 – 166 p.

ISBN 978-3-86956-466-1

DOI <https://doi.org/10.25932/publishup-42862>



Citation proposée:

Habib, Michel: La musique á l'école : son impact neurologique, In: Rodríguez-Quiles, José A. (édit.). *Bienfaits de la musique á l'école. Une expérience européenne*, Potsdam, Universitätsverlag Potsdam, 2019, p. 31-51.

DOI <https://doi.org/10.25932/publishup-43381>

Le droit d'auteur allemand s'applique.

La musique à l'école : son impact neurologique

Michel Habib

1. Introduction

La musique est à la fois une discipline artistique, dont la première vertu est de développer chez l'enfant qui l'apprend le sens de l'esthétique et un certain aspect de la culture, mais aussi un outil formidable de développement du cerveau, à travers un concept qui commence à être de plus en plus utilisé en pédagogie, celui de plasticité cérébrale.

Le cerveau du musicien adulte présente en effet des caractéristiques qui en font un véritable modèle de plasticité et son étude a permis de mieux comprendre à la fois l'effet de la musique sur le cerveau, mais aussi, plus généralement, le bénéfice que peut tirer notre cerveau d'un entraînement musical.

Un aspect fondamental qui s'avère sous-jacent à cet effet, est la notion d'apprentissage intermodalitaire, plus précisément qu'apprendre la musique partage avec d'autres apprentissages la nécessité de faire appel simultanément et de manière réciproque aux connexions qui unissent les différentes aires cérébrales et d'intégrer l'information que chacune d'elles abrite. C'est en cela que l'apprentissage d'un instrument de musique peut faciliter d'autres apprentissages et améliorer de nombreuses fonctions cognitives. Un autre champ émergent dans la littérature neuroscientifique est l'importance de l'activité rythmique dans la structuration neuro-fonctionnelle de diverses fonctions cognitives et des apprentissages en général. Une des applications de ces données et de ces concepts est l'utilisation de la musique pour aider les enfants souffrant de troubles d'apprentissage, un domaine qui commence à prendre de plus en plus d'ampleur parmi les attitudes rééducatives mais aussi pédagogiques.

Le présent chapitre se donne pour objectif de fournir aux enseignants les connaissances de base sur la façon dont notre cerveau fonctionne et de

démontrer qu'apprendre la musique est un ingrédient incontournable, indispensable de l'apprentissage en général.

Il s'adresse bien entendu aux enseignants de musique, non seulement ceux qui ont parmi leurs élèves des enfants qui peinent dans certains domaines des apprentissages et qui veulent mieux comprendre pourquoi, mais également tous ceux qui s'intéressent au fonctionnement du cerveau et s'interrogent sur les mécanismes complexes de l'apprentissage. Il s'adresse aussi à tous les autres enseignants, depuis la maternelle jusqu'au Lycée, tant il est vrai que, pour le cerveau, apprendre la musique, est un véritable modèle explicatif de l'apprentissage en général, et sans doute un moteur formidable pour développer les compétences qui y sont nécessaires. C'est du reste pour cette raison que tant de neuroscientifiques se sont intéressés au cerveau des musiciens professionnels et en ont dérivé des informations précieuses sur l'apprentissage et ses bases cérébrales.

Nous commencerons donc par définir ce qu'il est convenu d'appeler la « plasticité cérébrale » et rapporterons les principaux travaux qui ont décrit cette plasticité chez les musiciens.

Puis nous aborderons de manière succincte la vaste littérature sur l'effet de la musique sur le système cognitif humain, en insistant en particulier sur les données démontrant la transférabilité de la plasticité induite par la musique à d'autres apprentissages et donc le bénéfice que peut retirer l'élève apprenant de l'entraînement musical.

Enfin, nous évoquerons ce que la neurologie nous apprend des raisons pour lesquelles certains enfants rencontrent des difficultés spécifiques dans certains apprentissages et la place de l'apprentissage de la musique chez eux, du double point de vue du bénéfice tout particulier qu'ils peuvent en retirer et de la façon dont le pédagogue doit considérer leur cerveau pour mieux adapter sa pédagogie.

2. Plasticité, apprentissage et musique

Le cerveau humain est un organe fascinant, et la façon dont il interagit avec la musique commence à être comprise avec précision.

En premier lieu, il faut rappeler que le cerveau est une structure extrêmement dynamique, organisée, qui change et s'adapte à la suite d'activités et de demandes imposées par l'environnement. L'activité musi-

cale s'est révélée être un puissant stimulus pour ce type d'adaptation du cerveau que l'on dénomme classiquement « plasticité cérébrale » (Wan et Schlaug, 2010). Bien qu'ils aient été en premier lieu étudiés chez les musiciens professionnels experts, les effets de la plasticité se manifestent également chez les enfants qui apprennent à jouer d'un instrument de musique (Hyde et al., 2009) et chez les musiciens amateurs adultes (Bangert et Altenmuller, 2003), bien que dans une moindre mesure.

2.1 Particularités morphologiques du cerveau des musiciens

Les premières démonstrations d'une plasticité sur le cerveau des musiciens

Les musiciens professionnels sont doublement intéressants pour le neuroscientifique : en premier lieu, tous les musiciens exercent et ont exercé de manière intensive et prolongée les mécanismes moteurs requis par l'exercice de leur instrument, mécanismes parfois spécifiques à une main, voire à certains doigts de la main.

Dès les années 90, c'est-à-dire dès l'apparition des premières méthodes d'imagerie précise du cerveau, les chercheurs se sont penchés sur la présence de différences visibles sur le cerveau de musiciens par rapport à des non musiciens, dans la perspective d'y déceler une manifestation nouvelle et flagrante de la plasticité cérébrale. C'est précisément ce qu'ils y ont trouvé en démontrant, de manière répétée et convergente, qu'effectivement apprendre la musique modifie significativement le fonctionnement et la forme même de notre cerveau, et ce dans les deux directions où ces modifications étaient attendues : les zones cérébrales de la motricité et celles de l'audition. La figure 1 schématise l'une de ces premières démonstrations sur le cerveau des musiciens, ici chez des joueurs d'instruments à corde dont la représentation sensori-motrice des deux doigts de la main gauche, donc sur la surface de l'hémisphère droit, est significativement plus développée que celle de l'hémisphère gauche, mais aussi que celle de sujets non musiciens (Elbert et al., 1995). Une précision importante apportée par ces travaux a été de montrer que la différence observée, que ce soit entre les aires des mains droite et gauche ou entre musiciens et non musiciens, est inversement proportionnelle à l'âge où l'individu a débu-

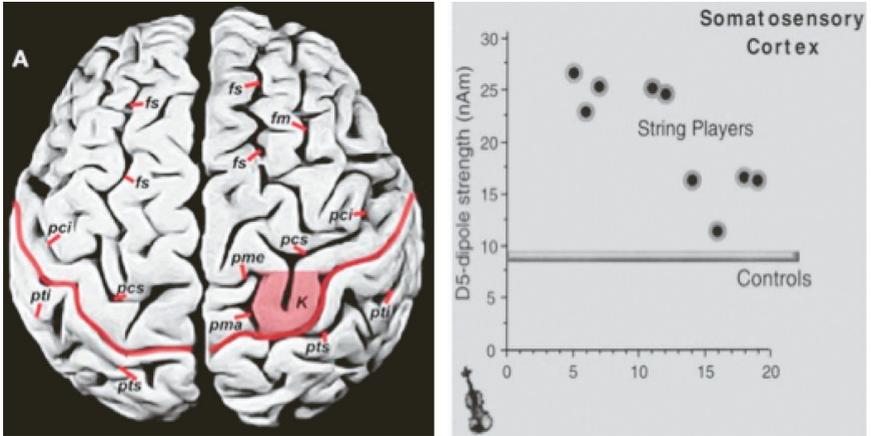


Figure 1 À gauche : la région corticale des doigts est plus développée sur l'hémisphère droit des joueurs de violon (zone marquée <K> pour <knob> qui est le terme anatomique consacré en anglais, que l'on appelle en français <signe de l'Oméga>). À droite : le cortex du 5eme doigt de la main gauche est d'autant plus vaste que la personne a commencé le violon tôt dans l'enfance (échelle de 0 à 20 ans).

té son apprentissage de l'instrument, ce qui suggère fortement une explication en termes d'effet de l'exercice sur le développement du cerveau et non l'inverse.

Il a également été démontré que le cerveau des musiciens possède des zones significativement plus vastes dans d'autres structures impliquées dans la motricité (comme le corps calleux ou le cervelet) ou impliquées dans l'audition (comme le cortex temporal latéral qui abrite la représentation des sons de la parole et de la musique).

Une découverte fondamentale a été ensuite de démontrer que ces modifications ont lieu dans les quelques semaines du début de l'apprentissage, puisque une équipe a pu montrer qu'après 15 mois seulement d'apprentissage instrumental, un enfant voyait ses structures motrices (aire frontale) et auditive (aire temporale) se modifier significativement (Hyde et al., 2009).

Ainsi, les arguments sont nombreux pour affirmer que le cerveau de l'enfant apprenant la musique se modifie et, une fois arrivé à l'âge adulte, s'est modifié de manière suffisamment significative pour être visible à l'échelle d'un individu, s'il l'on prend les instruments adéquats et que ces

modifications sont directement liées à l'exercice répété des principales régions sensorielles et motrices impliquées dans la pratique de cet instrument. Mais que se passe-t-il réellement dans leur cerveau ?

Les mécanismes intimes de la plasticité cérébrale

Comme on le sait, le cerveau est fait de substance grise et de substance blanche : la substance grise est essentiellement représentée à la périphérie de l'organe, le cortex cérébral, cette vaste couche de quelques millimètres qui contient, enfouis dans des circonvolutions aux parcours complexe, les neurones, c'est-à-dire les cellules nerveuses, et une partie de leurs prolongements (les axones) qui se continuent pour certains d'entre eux en dessous de la surface vers la profondeur du cerveau, formant les grands faisceaux de substance blanche par lesquelles les différentes régions du cortex communiquent entre elles sous la forme de points de jonction sophistiqués qu'on appelle synapses.

Parmi ces grands faisceaux, deux ont été étudiés particulièrement et ont été démontrés nettement plus développés chez les musiciens : le corps calleux, et le faisceau arqué.

Ces deux faisceaux ont un rôle majeur dans le langage en général, dans la mesure où ils participent le premier à l'établissement de la latéralisation du langage à l'hémisphère gauche, caractéristique majeure du cerveau humain, et l'autre à la mise en relation des zones sensorielles de l'arrière du cerveau aux zones motrices de l'avant du cerveau, en particulier pour ces dernières une zone dont l'importance est connue de longue date, l'aire de Broca, impliquée dans la production du langage oral et dans les mécanismes phonologiques de la lecture.

Microscopiquement, l'un des effets les plus prononcés d'un apprentissage intensif comme celui d'un instrument est la prolifération de certaines cellules dites gliales, les oligodendrocytes, qui participent à la construction d'une gaine grasseuse qui entoure les axones, la gaine de myéline (figure 2), et dont la présence assure le déplacement efficace de l'influx nerveux d'un bout à l'autre de la fibre, donc la transmission de l'information entre des régions distinctes du cerveau.

Pour aller plus loin dans la compréhension de ces mécanismes, les chercheurs se sont penchés, à l'aide de méthodes d'électroencéphalogramme ou de magnétoencéphalographie sur les modifications observables chez

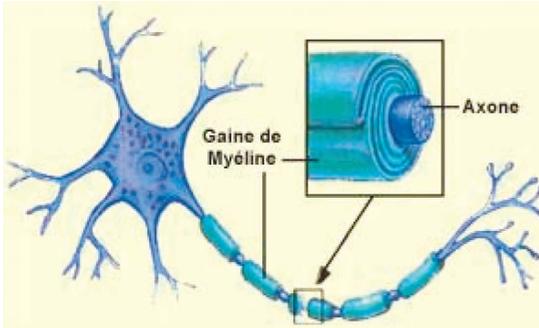


Figure 2 La présence de gaine de myéline tout autour et tout au long du trajet de l'axone est responsable de la vitesse de transmission de l'influx donc de la qualité du transfert d'information d'un endroit à l'autre du cerveau. Un des effets d'un apprentissage moteur intensif serait de renforcer en quelques semaines la qualité de cette transmission axonale.

les musiciens en fonction de leur expérience musicale. Par exemple, il a été montré que la surface de la représentation des tons musicaux sur le cortex auditif est plus développée chez des musiciens, et que cette représentation est plus robuste pour les timbres correspondant à l'instrument pratiqué (Pantev et al., 2001).

2.2 L'intégration intermodale : le mécanisme clé de l'effet de la musique

Chaque région cérébrale abrite en son sein des mécanismes spécifiques : l'audition pour le cortex temporal, la vision, dans le cortex occipital, les mécanismes moteurs et phonologiques dans le cortex frontal. Diverses études ont récemment convergé pour montrer que c'est en facilitant l'intégration d'informations traitées dans des régions différentes du cerveau que la musique est capable de changer notre cerveau. Par exemple, Lahav et al., 2007 ont fait apprendre à des non-musiciens à jouer une mélodie familière au piano sur une durée de cinq jours et mesuré leur activité corticale en IRM fonctionnelle alors qu'ils écoutent soit les mélodies familières, soit des mélodies inconnues. Il a été retrouvé une augmentation d'activité dans un réseau sensorimoteur incluant des aires pariétales et le cortex prémoteur ventral gauche (aire de Broca) lors de l'écoute des mélodies connues et non des mélodies inconnues. En d'autres termes, le fait d'avoir pratiqué un apprentissage moteur de la musique a permis de développer des liens entre le système auditif et le réseau chargé de l'exécution motrice. De même, on a enregistré l'activité cérébrale avant et après

un apprentissage d'une mélodie qui avait été apprise soit en la jouant sur un clavier, soit seulement en l'écoutant et regardant d'autres la jouer. Seule la première condition a modifié significativement les mécanismes abrités dans le cortex auditif lors de l'écoute de la mélodie apprise (Lappe et al., 2008). En d'autres termes, ce n'est que lorsque l'apprentissage associe le geste et le son que le système auditif se modifie significativement.

2.3 Multimodalité et intégration lors de l'apprentissage musical

Pris conjointement, les travaux cités jusqu'ici laissent suspecter, sans pouvoir toutefois l'affirmer, que le caractère multimodal de l'apprentissage musical est un élément crucial de l'effet de cet apprentissage sur le cerveau et que l'entraînement de plusieurs modalités simultanément est plus efficace à cet égard que ce que serait un entraînement séparé de ces modalités (Zatorre et al., 2007). Lorsqu'un musicien apprend à jouer de son instrument (figure 3), il apprend à associer de manière synchrone le mouvement avec la perception et/ou la représentation du son correspondant, ce qui lui permet de vérifier que le son émis correspond bien à celui qui était programmé. Des signaux émis par le cortex préfrontal sont capables d'activer le cortex auditif, même en l'absence de son correspondant. À l'inverse, des représentations motrices seraient actives, même en l'absence de production du mouvement correspondant, ce qui permettrait l'anticipation indispensable à la pratique experte d'un instrument. Il a été montré qu'un entraînement à jouer au clavier augmente les coactivations auditivo-motrices après seulement 20 minutes de pratique. Lorsque cet apprentissage aboutit à une connaissance de liens univoques entre un son et une position du doigt, des modifications au niveau du cortex frontal sont observables.

D'un point de vue neurofonctionnel, la multimodalité se manifeste de deux manières pertinentes pour notre propos : d'une part entre les deux modalités sensorielles que sont la vision et l'audition, tout laissant penser que l'association répétée entre des sons et leur correspondant visuel (que ce soit du reste une portée ou tout autre représentation écrite, ou encore la simple succession des notes représentée spatialement sur une corde ou un clavier), est capable de modeler les connexions entre les aires auditives et visuelles ; d'autre part entre les régions motrices et auditives, soit la région

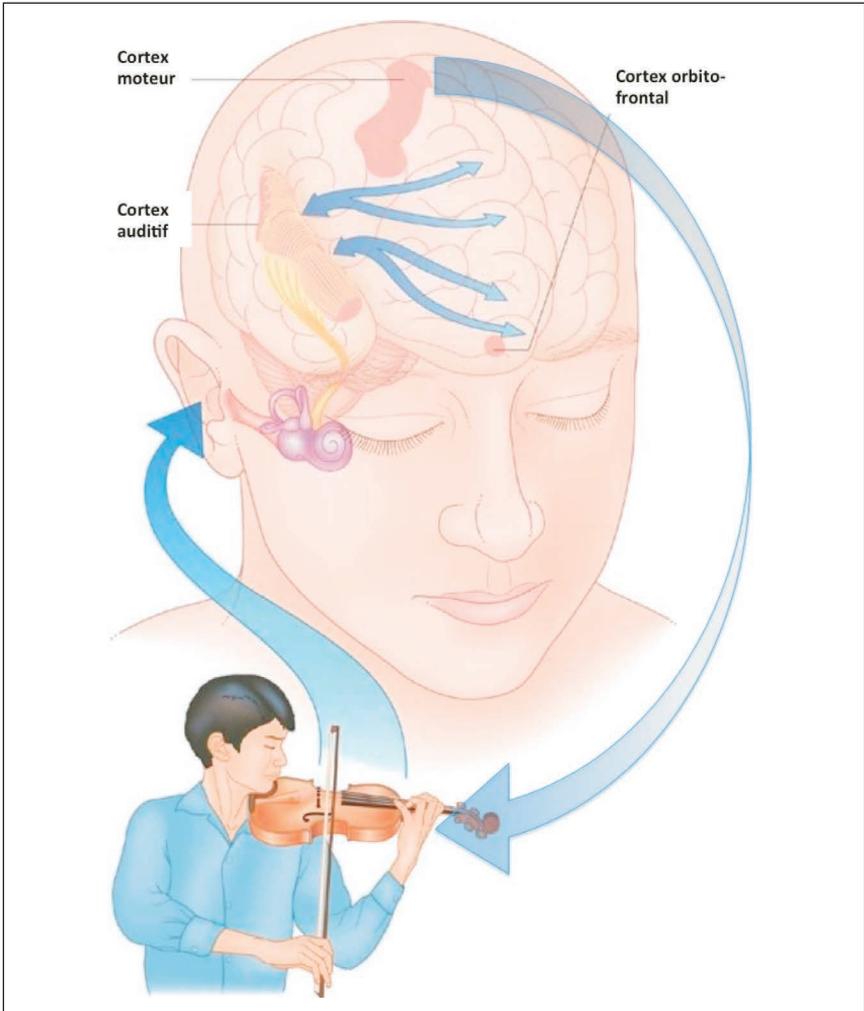


Figure 3 Après avoir été converties en impulsions neurales par l'oreille interne, les informations musicales sonores transitent par plusieurs stations de cheminement dans le tronc cérébral et le cerveau moyen pour atteindre le cortex auditif. Le cortex auditif contient des sous-régions distinctes qui sont importantes pour le décodage et la représentation des divers aspects du son complexe. À leur tour, les informations du cortex auditif interagissent avec de nombreuses autres zones du cerveau, en particulier le lobe frontal, pour la formation et l'interprétation de la mémoire musicale. En retour, le cortex moteur, dans la région frontale postérieure, produit des impulsions qui vont contrôler les mouvements de la main. La représentation des sons dans le cortex auditif est activée avant même qu'ils soient produits, tout comme le cortex moteur peut être activée par la seule audition des sons correspondants (modifié d'après Zatorre et McGill, 2005).

Littéracie (Anvari et al., 2002 ; Moreno & Besson, 2007)
Mémoire verbale (Chan et al., 1998 ; Ho et al., 2003)
Vocabulaire raisonnement non-verbal (Forgeard et al., 2008)
Traitement visuo-spatial (Costa-Giomi, 1999)
Mathématiques (Cheek et Smith, 1999)
Quotient intellectuel (Schellenberg, 2004 ; 2011)
Apprentissage d'une langue seconde (White et al., 2013 ; Yang et al., 2014)
Fonctions exécutives et activité frontale durant le task-switching (Zuk et al., 2014)

Tableau 1 Les principaux domaines pour lesquels un effet positif de la musique sur les fonctions cognitives a été décrit.

frontale inférieure (aire de Broca) et la région temporale (droite et gauche). Cette dernière éventualité est particulièrement importante pour tout le domaine, qui sera envisagé au paragraphe suivant, de l'apprentissage du langage oral et écrit. En effet, il existe une superposition très forte entre les systèmes traitant la musique (et donc impliqués dans son apprentissage) et ceux traitant le langage et la lecture. Ainsi, on peut fort bien concevoir qu'une activité musicale qui soit structurante des connexions entre les régions antérieures et postérieures du cerveau contribue au développement et au perfectionnement des mêmes circuits qui sont impliqués dans l'apprentissage du langage oral et écrit, tout particulièrement un mécanisme particulièrement bien connu parmi ceux-ci, le système phonologique (voir ci-dessous).

3. Effets de la musique sur les fonctions cognitives

Le tableau I résume les domaines ayant fait l'objet d'études démontrant un effet de positif de la musique sur le développement des fonctions cognitives chez l'enfant. Comme on le voit les domaines sont variés et multi-

ples, et les effets obtenus paraissent tellement vastes qu'on pourrait croire qu'ils recouvrent des fait expérimentaux de valeur inégale.

C'est effectivement le cas pour l'un des domaines les plus étudiés parmi eux : celui de l'acquisition de la lecture. Il a été montré à de nombreuses reprises que les musiciens sont supérieurs aux non-musiciens dans de nombreuses tâches linguistiques et de lecture. Par exemple, il a été retrouvé (Foxton et al., 2003) de fortes corrélations chez des adultes non musiciens entre, d'une part, la capacité à discriminer le contour global de la hauteur de séquences sonores et, d'autre part, les aptitudes en phonologie et en lecture. En outre, dans une étude à large échelle conduite auprès d'enfants de 4 et 5 ans (Anvari et al., 2002) les habiletés de perception musicale ont été retrouvées prédictrices des habiletés en lecture. D'un autre côté, des études en IRM fonctionnelle ont rapporté une activation de l'aire de Broca durant des tâches de perception musicale (Koelsch et al., 2002), durant des tâches actives telles que le chant (Ozdemir et al., 2006) ou même lorsque les participants imaginaient jouer d'un instrument (Baumann et al., 2007).

L'une des démonstrations les plus spectaculaires a été la mise en évidence d'une différence de taille du faisceau arqué gauche, un faisceau de substance blanche qui court dans la profondeur de l'hémisphère gauche, entre des musiciens, qu'ils soient instrumentistes ou chanteurs et des non musiciens, différence qui peut aller jusqu'à une augmentation de taille d'une fois et demi son volume de base.

Cette constatation est particulièrement frappante quand on sait par ailleurs que de nombreux spécialistes considèrent cette structure comme cruciale pour l'apprentissage de la parole chez le petit enfant, mais aussi l'apprentissage de la lecture chez l'enfant plus grand (figure 4). Ainsi, l'effet majeur de la musique sur le cerveau concerne précisément une des structures qui aurait la plus forte importance dans le développement du langage oral et écrit.

L'inconvénient de la plupart de ces études est qu'elles sont transversales, c'est-à-dire qu'elles s'adressent à une population à un moment donné, et non longitudinales, c'est-à-dire réalisant un suivi des mêmes personnes dans le temps.

Tierney et Kraus (2013) ont revu la totalité des études longitudinales disponibles. Sur 22 études recensées, les auteurs remarquent que peu d'entre elles répondent à un critère qui leur paraît pourtant capital : que les sujets aient été affectés strictement au hasard, de manière randomi-

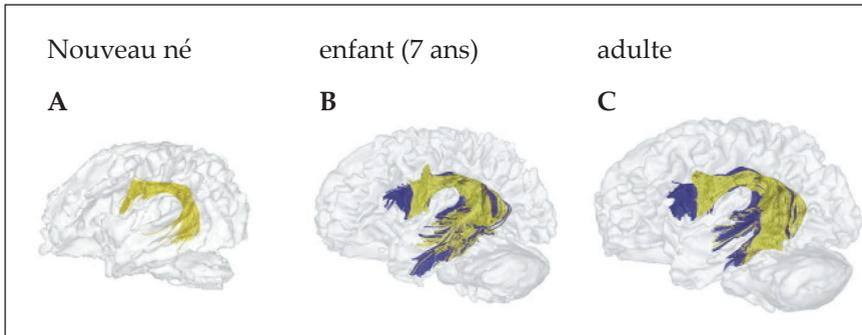


Figure 4 Développement du faisceau arqué dans l'hémisphère gauche de la langue. Le faisceau arqué, qui connecte les aires de Broca et de Wernicke est constitué de deux contingents : l'un ventral (en vert), présent dès la naissance, qui serait responsable du développement linguistique initial (fonctionnerait comme un extracteur de règles d'invariance dans la phonologie et la syntaxe). L'autre dorsal, n'apparaissant que vers 7 ans, responsable de fonctions linguistiques plus complexes (sous l'influence, entre autre, de la lecture).

sée. En e et, si ce n'est pas le cas, il est toujours possible que des traits non contrôlés par les études puissent expliquer à la fois le choix de se retrouver dans le groupe musique et le fait d'améliorer la lecture ou le langage.

L'une des études les mieux contrôlées à cet égard est certainement celle de l'équipe de M. Besson (Moreno et al., 2009). Ces auteurs ont testé l'influence d'un apprentissage musical chez des enfants de 8 ans en s'assurant qu'il n'y avait pas de différences entre les groupes d'enfants avant apprentissage et que l'apprentissage dispensé dans chacun des deux groupes étaient aussi motivant et stimulant l'un que l'autre (musique et peinture). Les résultats ont montré que six mois d'apprentissage musical, mais pas de peinture, augmentent les capacités de discrimination des variations de hauteur dans le langage ainsi que la lecture de mots phonologiquement complexes. Ces résultats sont donc en accord avec les résultats montrant une corrélation positive entre capacités musicales et phonologiques et ils établissent un lien de causalité entre l'apprentissage de la musique et l'amélioration de la perception du langage et de la lecture. En outre, les potentiels évoqués, c'est-à-dire l'enregistrement de l'électroencéphalogramme durant la présentation d'une tâche de discrimination auditive de mots, montrent que seuls les enfants ayant fait de la musique, et non ceux ayant fait du dessin, s'améliorent dans la tâche.

Les mêmes auteurs (Moreno et al., 2011) ont utilisé une méthodologie similaire pour démontrer que les enfants à qui on fait faire de la musique améliorent significativement leurs fonctions exécutives, une constatation particulièrement importante quand on sait le rôle majeur que jouent ces fonctions dans de nombreux apprentissages, en particulier l'apprentissage des mathématiques. En l'occurrence, il s'agissait d'une épreuve dite go-no-go, c'est-à-dire une tâche où il faut répondre répétitivement à tous les stimuli (des figures sur un écran) lorsqu'elles sont mauves et ne pas appuyer lorsqu'elles sont blanches. Dans de telles tâches, les enfants musiciens se sont révélés significativement meilleurs, et leurs potentiels évoqués enregistrés alors qu'ils réalisaient la tâche go-no-go, significativement plus amples, traduisant un meilleur fonctionnement du mécanisme neurocognitif sous-jacent.

Cette même problématique a été explorée à nouveau tout récemment par l'équipe d'Hanna Damasio aux USA, (Habibi et al., 2018) sur des enfants de 6 et 7 ans recrutés dans les milieux défavorisés de Los Angeles et parmi lesquels étaient désignés par tirage au sort trois groupes : ceux qui iraient faire 2 ans d'entraînement musical intensif instrumental (inspiré du programme El Sistema du Venezuela), ceux qui feraient un entraînement sportif de durée équivalente et au même rythme, et des témoins qui n'avaient bénéficié d'aucun des deux. L'entraînement musical s'est avéré nettement supérieur aux deux autres groupes en particulier sur deux des trois mesures réalisées : une mesure de la taille du corps calleux, en particulier le fibres unissant les parties sensorielles des deux hémisphères qui étaient plus développées chez les musiciens, la densité de substance grise dans les aires auditives, qui s'est réduite (normalement) chez tous les participants mais de manière asymétrique (plus à gauche qu'à droite) chez les musiciens ; et surtout un test évaluant les fonctions exécutives (test de Stroop) qui a entraîné des performances supérieures dans le groupe musicien, avec en IRM fonctionnelle une activation nettement plus forte des régions frontales internes connues pour réguler le contrôle exécutif (aire cingulaire antérieure). D'un point de vue neurologique, ce résultat est très impressionnant, car il montre, encore mieux qu'avec des tests cognitifs, les changements que peut exercer la musique sur les zones les plus complexes de notre cerveau (figure 5).

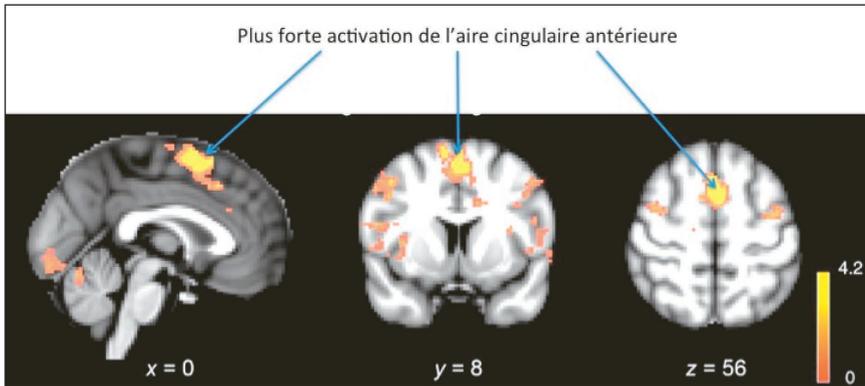


Figure 5 Comparaison de l'activation cérébrale lors d'une tâche d'inhibition chez 8 enfants de 5-6 ans ayant fait deux ans de musique des témoins ayant soit fait du sport soit aucun des deux activités (Habibi et al., 2018).

4. La musique chez les enfants souffrant de difficultés d'apprentissage

Les enseignants de musique en ont tous, ou en ont tous eu, parmi leurs élèves, même si ces derniers ne le leur avouent pas, par pudeur ou par méconnaissance. En effet, il est de mieux en mieux établi que faire faire de la musique à des enfants dyslexiques améliore de manière significative leur dyslexie. En retour, pour l'enseignant de musique, savoir qu'un enfant est dyslexique devrait être pour lui une incitation forte à mettre en place des stratégies pédagogiques particulières qui, certes, demandent une base de connaissance sur le sujet, mais à terme peuvent déboucher sur de tels succès qu'il serait bien sot de s'en priver !

En effet, tout le monde connaît des adultes tellement doués en musique, capables d'improviser et parfois d'une grande virtuosité qui nous avouent qu'ils ont ou qu'ils ont été dyslexiques. Leur dyslexie ne les a donc pas empêché d'être de bons musiciens. Or, beaucoup pourraient se trouver découragés au début devant une série d'obstacle qui se présentent devant eux, variables du reste selon le type de difficulté rencontrée.

4.1 Les trois grand profils

Il est aujourd'hui coutumier de présenter cette problématique de la façon suivante : parmi les enfants qui viennent consulter un centre pour enfants dyslexiques, on reconnaît toujours l'un des trois profils suivants :

- Le profil dit phonologique : un enfant qui a éventuellement (pas toujours) eu quelques difficultés de langage oral, comme une expression un peu lente à se mettre en place, ou un véritable trouble de parole ayant justifié une prise en charge orthophonique en maternelle, qui parvient cahin caha au CP et là, c'est la catastrophe ! Il ne peut rien intégrer des premiers apprentissages du lien entre les graphèmes (les lettres) et les phonèmes (les sons). Cette incapacité, qui contraste de manière frappante avec l'impression qu'il donne d'un enfant normalement intelligent, permet quasiment à l'enseigner de suspecter le diagnostic de dyslexie. Souvent l'examen orthophonique, tout en confirmant le problème, trouvera des difficultés dans le traitement phonologique des sons du langage (par exemple trouver si deux mots rimes ou donner le résultat d'un tâche de suppression du premier phonème). Il s'agit de la forme la plus classique, et sans doute la plus fréquente de dyslexie. Son mécanisme présumé est un défaut d'installation durant la petite enfance des processus permettant d'isoler les phonèmes de la langue, sans doute pense-t-on parce que ceux ci sont de faible qualité ou non accessibles.
- Le deuxième profil ressemble beaucoup, dans le résultat (incapacité à accéder à l'association entre les lettres et les sons), au précédent, à une différence près, c'est qu'il n'a jamais eu de problème de langage et surtout que l'orthophoniste ne décèle aucune difficulté d'ordre phonologique. En revanche, on notera souvent une attention un peu labile, et surtout une difficulté à traiter toutes les lettres du mot en un seul regard, comme s'il était obligé de faire attention aux lettres une à une : on parle de dyslexie visuo-attentionnelle. Souvent l'enfant est assez agité, impulsif, et le médecin pourra poser le diagnostic de TDAH (trouble déficitaire d'attention).
- Le dernier type est parfois méconnu, car il change volontiers de forme avec le temps, d'abord peu différent des deux autres (un enfant qui n'arrive pas à entrer dans l'écrit) mais très vite, parfois sous

l'effet de quelques séances d'orthophonie, la lecture arrive à être au moins partiellement maîtrisée, mais c'est l'écriture qui prend le devant de la scène. Dans ce cas, on s'aperçoit vite que le trouble est à la fois d'ordre moteur, altérant la fluidité (coordination) du mouvement des doigts et associé à une difficulté d'ordre cognitif, en particulier dans le domaine du traitement spatial (par exemple copier une figure géométrique ou arranger une série de cube pour copier un modèle) et du traitement temporel (par exemple se situer dans le temps, comprendre les notions de mois, de semaines apprendre à lire l'heure sur un cadran...).

Dans ce dernier cas, le trouble n'est ni linguistique ni attentionnel, on dit qu'il est dyspraxique et souvent l'enfant s'en sortira bien grâce à la mise en place d'aides extérieures, en particulier l'usage de l'ordinateur qui est souvent salvateur.

4.2 Les difficultés d'accès à l'apprentissage musical

Ces trois types de dyslexiques peuvent rencontrer des difficultés dans l'apprentissage musical qui peuvent paraître similaires, mais qui ne le sont pas. D'où l'importance de ces quelques notions neurologiques de base pour permettre d'y voir plus clair. Le premier profil dont le trouble est linguistique, aura certainement des difficultés dans le traitement des sons, parfois de leur succession, rarement de leur hauteur, souvent de la comparaison de plusieurs sons et surtout de la mise en relation des sons avec les notes écrites ou jouées. C'est le second type qui risque d'avoir le plus de difficulté à acquérir la lecture des notes sur la portée, car il ne peut pas se faire une photo d'ensemble de plusieurs notes surtout si elles sont très proches les unes des autres, et son agitation, intérieure comme extérieur, peut lui jouer des tours. Il faudra souvent s'aider chez lui de repère colorés, et de portée agrandie.

Le dernier type aura bien entendu souvent surtout des difficultés dans l'exécution motrice du geste sur l'instrument, la coordination des deux mains, la fluidité du mouvement, comme celui de l'archet du violon. Mais très souvent c'est la composante spatiale qui lui fera le plus défaut pour apprendre la musique, par exemple la notion de gamme ascendante ou descendante, la comparaison d'une hauteur ou d'un intervalle avec sa re-

présentation écrite ou avec le geste approprié. Dans le cerveau, c'est le lobe pariétal droit qui permet tout cela, et chez lui, cette partie ne fonctionne pas de manière optimale.

4.3 Le rythme, le temps et l'apprenti musicien

Une composante dans la musique mérite, à la lumière des travaux qui s'accumulent depuis quelques années, être traitée dans un chapitre à part : la composante rythmique. Les chercheurs en neurosciences insistent beaucoup actuellement sur la similitude entre les caractéristiques temporelles de la parole et le caractère oscillatoire du fonctionnement du cortex cérébral, laissant penser que c'est précisément la mise en cohérence temporelle des deux événements qui caractérise le traitement du signal de la parole par le cerveau. En d'autres termes, il y aurait une correspondance étroite entre certains rythme cérébraux et certaines caractéristiques de la parole, comme le rythme thêta se rapprochant de la fréquence syllabique et le rythme gamma se rapprochant de la fréquence des phonèmes. Il a même été proposé que ce soit une altération de cette mise en cohérence de l'un et l'autre qui soit à l'origine de certaines pathologies comme les troubles du langage oral et écrit, par exemple les dyslexiques auraient des difficultés à aligner les fluctuations d'excitabilité neuronale endogènes dans les régions auditives, avec les pics d'amplitude de la parole entendue, ce qui pourrait être à l'origine de leur trouble phonologique (Power et al., 2013).

Un travail de l'équipe de Nina Kraus (Slatter et al., 2013) a porté sur l'effet d'un entraînement musical d'un an, incluant divers aspects depuis la perception de la hauteur et du rythme, l'utilisation de termes musicaux, jusqu'à l'improvisation, sur une tâche de *tapping* en synchronie avec un tempo donné. Des enfants de 8 ans considérés comme « à risque » de trouble d'apprentissage, ayant bénéficié de cet entraînement musical, se sont avérés très significativement supérieurs à des témoins appariés dans la tâche de *tapping*, suggérant pour les auteurs que cette population à risque pourrait, au vu de ces résultats, bénéficier grandement d'un enseignement musical systématique.

Des applications quasi-thérapeutiques de ces observations ont déjà été réalisées avec succès comme un travail de l'équipe lyonnaise de Przybylski et al. (2013) qui a proposé à des enfants dyslexiques et dysphasiques

une tâche d'amorçage où ils devaient écouter une amorce rythmique (des notes jouées par un instrument), soit réalisant une succession régulière, soit irrégulière, et, juste après l'amorce, devaient résoudre un problème de congruité syntaxique comme dire si une phrase (par exemple « Laura ont oublié son violon ») est correcte ou non. Les résultats ont montré une nette supériorité de l'amorce régulière sur la performance des enfants dans la tâche syntaxique, ce qui, d'après les auteurs, procure un argument convaincant pour inclure la stimulation rythmique dans les protocoles de remédiation des enfants avec troubles développementaux du langage. Récemment, une équipe italo-française (Flaunacco et al., 2015) dans une étude méticuleuse de 83 enfants dyslexiques, ont comparé l'effet d'un entraînement rythmique systématique à une pratique d'arts visuels. Au cours de sessions de formation impliquant des groupes de 5-6 enfants, durant une heure, deux fois par semaine, les enfants se voyaient proposer soit un entraînement musical : mettre l'accent sur le rythme et le traitement temporel (utilisation par exemple des instruments à percussion, utilisation des syllabes rythmiques [ta, ti-ti,...], les mouvements du corps rythmiques accompagnant la musique, des jeux de synchronisation sensorimotrice) ; soit un entraînement à la peinture, selon un programme destiné à favoriser les compétences visuo-spatiales et la dextérité manuelle ainsi que la créativité. Les résultats ont été très nets, montrant un effet plus important de l'entraînement musical sur un test d'attention auditive et dans plusieurs capacités de perception et de production telles que testées par des tâches psychoacoustiques et musicales. Le résultat de la tâche de production de rythme s'est avéré être le meilleur prédicteur de la conscience phonologique telle que mesurée par les tâches de fusion de phonèmes et de segmentation phonémique.

Ainsi, tout laisse penser que travailler sur le rythme pourrait représenter en soi une véritable piste thérapeutique pour la prise en charge d'enfants présentant ce type de troubles. Au-delà de ces seules évidences, de nombreux travaux explorent d'autres pistes passionnantes autour de la question du rythme et de son traitement par le cerveau, montrant par exemple que le plaisir générée par l'écoute et la production de rythme passe par l'activation d'une petite région de notre cerveau appelée noyau accumbens et que cette région se trouve précisément être le centre cérébral de la motivation, là où s'inscrit la notion de plaisir, incluant celle du plaisir d'apprendre, pour la transformer en une envie, une action qui peut être précisément un apprentissage.

Il est tout-à-fait concevable que des travaux futurs, aidés des méthodes récentes d'imagerie cérébrale, viennent nous confirmer que c'est par son action sur ces systèmes, dont la complexité nous masque encore sans doute la réalité de leur importance, que la musique pourrait venir aider encore mieux qu'elle ne le fait déjà aux apprentissages scolaires, musicaux ou non musicaux, ordinaires ou pathologiques.

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, 111–30.
- Bangert, M., Altenmüller, E. O. (2003). Mapping perception to action in piano practice : a longitudinal DC-EEG study. *BMC Neurosci*, 4, 26.
- Baumann, S., Koeneke, S., Schmidt, C. F., Meyer, M., Lutz, K., Jancke, L. (2007). A network for audio-motor coordination in skilled pianists and non-musicians. *Brain Res.* 3 ; 1161, 65–78.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the le hand in string players. *Science*, 270, 305–307.
- 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).
- Foxton, J. M., Stewart, M. E., Barnard, L., Rodgers, J., Young, A. H., O'Brien, G., Griffiths, T. D. (2003). Absence of auditory « global interference » in autism. *Brain*, 126, 1–7.
- Habibi, A., Damasio, A., Ilari, B., Elliott Sachs, M., Damasio, H. (2018). Music training and child development : a review of recent findings from a longitudinal study. *Ann N Y Acad Sci*, 6, doi: 10.1111/nyas.13606. [Epub ahead of print].
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *J Neurosci*, 29, 3019–3025.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Cramon, D. Y., Zysset, S., Lohmann, G., Friederici, A. D. (2002). Bach speaks : a cortical « language-network » serves the processing of music. *Neuroimage*, 17, 956–966.

- Lahav, A., Saltzman, E., Schlaug, G. (2007). Action representation of sound : audiomotor recognition network while listening to newly acquired actions. *J Neurosci*, 27, 308–314.
- Lappe, C., Herholz, S. C., Trainor, L. J., Pantev, C. (2008). Cortical plasticity induced by short-term unimodal and multimodal musical training. *J Neurosci*, 28, 9632–9639.
- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., Chau, T. (2011) Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychol Sci* 22(11), 1425–1433.
- Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children : more evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, 19(3), 712–723.
- Ozdemir, E., Norton, A., Schlaug, G. (2006). Shared and distinct neural correlates of singing and speaking. *Neuroimage*, 33, 628–635.
- Pantev, C., Roberts, L. E., Schulz, M., Engelien, A., Ross, B. (2001). Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *Neuroreport*, 12, 169–174.
- Power, A. J., Mead, N., Barnes, L., Goswami, U. (2013). Neural entrainment to rhythmic speech in children with developmental dyslexia. *Front Hum Neurosci*, 7, 777.
- Przybylski, L., Bedoin, N., Kri-Papoz, S., Herbillon, V., Roch, D., Léculier, L., Kotz, S. A., Tillmann, B. (2013). Rhythmic auditory stimulation influences syntactic processing in children with developmental language disorders. *Neuropsychology*, 27(1), 121–131.
- Slater, J., Tierney, A., Kraus, N. (2013). At-risk elementary school children with one year of classroom music instruction are better at keeping a beat (2013). *PLoS One*, 8(10), e77250.
- Tierney, A., Kraus, N. (2013). Music training for the development of reading skills. *Progress in Brain Research*, 207, 209–241.
- Wan, C. Y., Schlaug, G. (2010). Music Making as a Tool for Promoting Brain Plasticity across the Life Span. *Neuroscientist*, 16(5), 566–577.

Zatorre, R., McGill, J. (2005). Music, the food of neuroscience ? *Nature*. 17, 434(7031), 312–315.

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