

Cognition musicale

Danièle Schön

Institut de Neurosciences Cognitives, INSERM
Université Aix-Marseille
Faculté de Médecine
27, boulevard Jean Moulin
13005 Marseille
E-mail : danièle.schon@incm.cnrs-mrs.fr

Barbara Tillmann

Centre de Recherche en Neurosciences de Lyon
Équipe Cognition auditive et psychoacoustique
Université de Lyon 1
50, avenue Tony Garnier
69366 Lyon CEDEX 07
E-mail : btillmann@olfac.univ-lyon1.fr

Résumé

Les recherches étudiant la perception et la production de musique se sont développées de façon considérable à travers les vingt dernières années. Ce nouveau domaine de recherche a contribué à notre compréhension des corrélats neuronaux et des fonctions cognitives sous-jacentes à la perception et la production musicales. Il a également permis de montrer des forts liens et des similarités avec le traitement du langage et de mieux comprendre le rôle de certaines aires cérébrales qui étaient considérées comme étant spécifiques au langage.



La cognition musicale se réfère à un domaine de recherche des sciences cognitives qui existe depuis environ 40 ans et qui a perçu dans les 15 dernières années un intérêt tout particulier des neurosciences. Les raisons d'étudier la cognition via la musique sont multiples :

- D'abord, le fait que la musique nécessite la mise en jeu d'un grand nombre de processus qui vont de la perception de la hauteur d'un son (La) jusqu'à la performance d'une œuvre par cœur.
- Ensuite, la pratique de la musique est une pratique très intensive et assez formelle qu'on ne retrouve pas chez tous les individus, ce qui permet de comparer les musiciens à des groupes de témoins non musiciens pour étudier l'effet de la pratique musicale sur les fonctions cognitives et cérébrales (cela ne serait pas possible avec le langage par exemple, car tout le monde a des bonnes voire très bonnes compétences linguistiques).
- *In fine*, la musique a de fortes ressemblances avec le langage, ce qui rend la comparaison particulièrement intéressante.

La thématique étant très vaste nous allons ici aborder seulement certains points qui pourraient, de près ou de loin, intéresser le public «acousticophile» !

Perception et mémoire de la hauteur et de la mélodie

La perception d'une mélodie caractérise un aspect de l'expérience musicale : l'expérience d'une séquence de sons faisant partie d'un tout. Cette définition souligne que la mélodie est perçue non pas en termes de ses éléments constitutants mais en tant qu'unité cohérente. La psychologie de la Gestalt (forme accomplie ou «bonne forme») a exposé un certain nombre de principes qui décrivent comment des éléments sont regroupés perceptivement ; bien que décrits par rapport à la vision, ils s'appliquent aussi bien à l'audition, et donc à la perception de la musique :

- **Le principe de proximité** explique comment une série de notes proches en hauteur est perçue comme une ligne mélodique plutôt que comme une série de notes non connexes.
- **Le principe de similarité** qui permet de suivre le jeu d'un instrument au sein d'un groupe d'instruments (cf. article sur l'analyse de scènes auditives de Grimault et Devergie, page 35).
- Le principe de fermeture qui oblige Roger Rabbit¹ à sortir de sa cachette et terminer la chanson.

1- En référence au film de Touchstone réalisé en 1988 par Roger Zemeckis : Qui veut la peau de Roger Rabbit ?.

En effet, la dernière note d'une mélodie est souvent la note tonique et donc la plus attendue, au point que si on la remplace par un bruit les auditeurs auront quand même l'impression de l'avoir entendu [1].

En ce qui concerne la mémoire des mélodies, un premier aspect intéressant est que la hauteur absolue n'a pas une importance fondamentale. Une mélodie peut en effet être reconnue facilement lorsqu'elle est transposée (jouée plus aiguë ou plus grave) grâce au codage par intervalles entre les notes. Ceci rend l'espace de la hauteur relatif, même si nous préférons une chanson lorsqu'elle est jouée dans sa tonalité d'origine [2]. Un aspect assez surprenant de la mémoire musicale est qu'on peut reconnaître une fausse note dans une mélodie même lorsqu'elle est assez proche en fréquence de la note correcte. De plus, si les notes qui précèdent ont créé une structure tonale, par exemple en Ré Majeur, la présence à la fin de la mélodie d'un Ré Dièse, pourtant très proche du Ré, sera détectée comme très incongrue par rapport à un La qui est pourtant bien plus éloigné en fréquence. Ceci montre que les notions de distance ne sont pas les mêmes en physique et en perception.

Pour finir, beaucoup d'aspects de la mémoire musicale reposent sur une mémoire implicite, dont on n'a pas conscience. Les phénomènes d'amorçage sont un bel exemple qu'on retrouve en langage et en musique lorsque la reconnaissance d'un mot ou d'un accord peut être influencée par le contexte qui précède [3]. D'une façon surprenante, il existe aussi à ce niveau des passerelles entre musique et langage qui font que la présentation d'un son ou d'un bref extrait musical va influencer la reconnaissance d'un mot, et vice-versa [4,5].

Perception du temps

L'étude de la psychologie de la musique donne un accès privilégié à l'étude de la perception du temps et de l'information temporelle. On va prendre ici l'exemple de la chanson «*Sur le pont d'Avignon*». Le début de la chanson comporte deux notes courtes (*sur - le*) et une note longue (*pont*). Bien qu'on pourrait dire que les deux premières notes ont la même durée, leur durée physique n'est pas la même. On s'aperçoit alors que cette entité qu'on appelle «durée» n'est plus vraiment une propriété des objets, mais une propriété psychologique, influencée par nos connaissances. On parle de catégorisation, un phénomène que l'on peut observer au niveau de toutes les entrées sensorielles. De plus, le rapport entre durées est aussi catégorisé, avec une forte préférence pour des rapports simples (par exemple, la troisième note de la chanson sera perçue comme ayant deux fois la durée de la note précédente) et rarement des rapports plus complexes (comme 1 à 5), au moins dans ce répertoire musical.

La catégorisation des rapports de durée permet la perception de patrons temporels plus ou moins réguliers, dit rythmes. Les principes perceptifs de la psychologie de la Gestalt qui s'appliquent à la perception de la hauteur (voir ci-dessus) s'appliquent aussi à la perception des informations temporelles : certains de ces principes perceptifs permettent de prédire quels éléments seront perçus pour former un patron rythmique, en fonction d'un contexte donné.

À partir de ces régularités, une pulsation peut émerger (le tempo ou *beat*) et permettre aux auditeurs de synchroniser leurs mouvements (taper dans les mains, danser et faire de la musique ensemble). Enfin, les pulsations aussi sont regroupées, souvent par deux ou trois et cela fait émerger une structure hiérarchique qui regroupe les événements dans une unité plus large, la mesure : il s'agit de la métrique, qui nous permet de distinguer une valse d'une marche (se basant sur des regroupements de trois et deux respectivement).

À ce sujet, il est intéressant de citer la théorie de l'attention dynamique (DAT, cf. aussi l'article de Grimault et Devergie, page 35) qui explique que l'attribution de ressources attentionnelles dépend de la synchronisation entre des oscillateurs internes (populations neuronales) et une structure temporelle externe qui a une certaine régularité (par exemple, la métrique en musique). La musique entraîne donc les oscillateurs internes, ce qui résulte périodiquement dans une modulation attentionnelle à travers le temps [6]. Ceci se manifeste, par exemple, par une discrimination accrue pour des stimuli qui ont lieu sur les temps forts de la structure métrique (en comparaison avec ceux qui apparaissent sur les temps dits faibles).

Anatomie du cerveau musical

La chaîne de traitement qui nous permet d'écouter, de comprendre, voire de faire de la musique est assez longue et complexe. Le son, après avoir été transformé en impulsion électrique par les cellules ciliées de la cochlée, est relayé vers un nombre important de *nuclei* sous-corticaux où ses caractéristiques spectrales sont analysées et sa représentation transformée peu à peu. Après les relais sous-corticaux, l'information atteint le cortex auditif primaire, situé au niveau du gyrus de Heschl (ou gyrus temporal transverse).

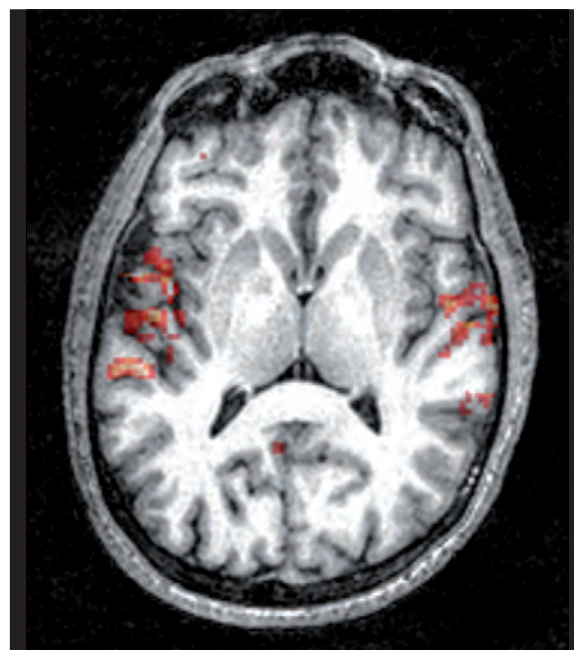


Fig. 1: Activation dans le cortex auditif primaire et associatif pendant l'écoute de sons

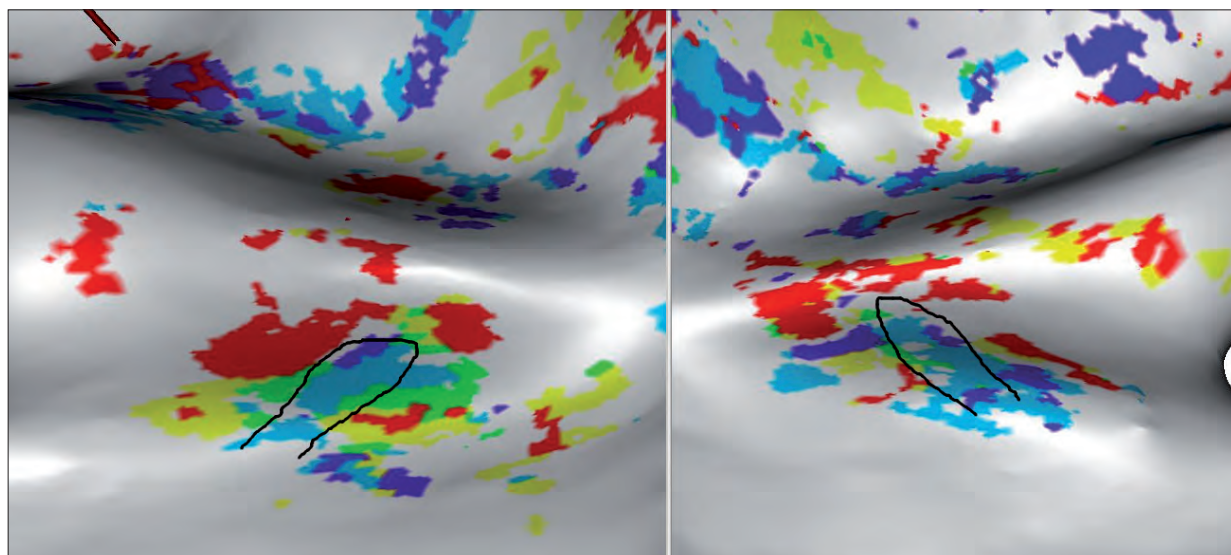


Fig. 2 : Projection surfacique de la structuration tonotopique du cortex auditif autour du gyrus de Heschl (en noir)

L'organisation de cette région est tonotopique (comme la cochlée), c'est-à-dire avec un gradient de sensibilité aux différentes fréquences (de hauteur) : certains neurones du cortex primaire sont plus facilement « excités » par des sons aigus alors que d'autres sont plus facilement excités par des sons graves et le tout avec une organisation topologique qui est encore débattue actuellement [7]. Une aire, très importante pour la perception de la hauteur, mais aussi du timbre d'un son est le planum temporale, qui se trouve juste à l'arrière du gyrus de Heschl. Cette région est plus développée (plus large) chez les musiciens ; et elle présente aussi une asymétrie particulière chez ceux qui ont l'oreille absolue [8].

La musique étant aussi rythme, et le rythme étant mouvement, il n'est pas surprenant que les aires dévolues au contrôle moteur soient impliquées non seulement dans la production musicale, mais aussi dans la perception de la musique. Ce réseau implique le cortex prémoteur, mais aussi les ganglions de la base et le cervelet. Ensuite, afin que le système auditif et le système moteur puissent communiquer, notamment pour pouvoir adapter la production d'un son en fonction du retour sensoriel (ceci est vrai aussi pour la parole), il existe une voie de communication entre les aires temporelles et les aires motrices, dite la voie dorsale. La liste des structures cérébrales impliquées dans la perception et la production musicales est plus longue, et on citera pour finir les réseaux émotionnels comme l'insula et l'amygdale, très reliés aux structures mnésiques hippocampiques, ainsi que l'aire de Broca, longtemps crue spécifique au langage, importante pour l'intégration de structures syntaxiques/harmoniques complexes.

Une croyance assez répandue est que la musique repose uniquement sur le cerveau droit. Cette hypothèse, basée essentiellement sur des observations de quelques patients ayant des lésions cérébrales n'a pas été confirmée par les nombreuses études de neuroimagerie dans le domaine.

En effet, si l'on regarde le fonctionnement du cerveau normal, on s'aperçoit que l'écoute ou la pratique musicale repose en grande partie sur les structures décrites ci-dessus, mais d'une manière bilatérale. Ensuite, il est vrai qu'il existe un débat sur une spécialisation de certaines des structures citées. Par exemple, certains chercheurs défendent l'idée que le cortex droit serait plus spécialisé dans l'analyse de la fréquence/hauteur des sons qui changent lentement, alors que le cortex auditif gauche serait plus sensible aux changements rapides, comme ceux qu'on retrouve dans les consonnes (e.g. transitoires d'attaque, [9]).

D'une manière générale, la possibilité d'une latéralisation et d'une spécialisation des fonctions musicales reste encore à préciser. Pour l'heure, la plus grande partie des données de neurosciences de la musique soutiennent l'hypothèse des ressources neuronales partagées entre la musique et d'autres fonctions cognitives, comme le langage ou l'attention [10]. Elle contraste ainsi avec l'hypothèse de modularité, c'est-à-dire d'indépendance des fonctions musicales (et langagières), qui était principalement basée sur des études de patients montrant des cas de double dissociation entre les troubles du langage et les troubles de la musique [11]. Par ailleurs, la sélectivité de troubles d'origine génétique qui toucheraient uniquement la musique ou le langage, comme l'amusie congénitale, la dysphasie ou la dyslexie, est de plus en plus remise en question [12].

Musique et plasticité cérébrale

La notion de plasticité cérébrale fait référence à la capacité des neurones à se réorganiser, via de nouvelles connexions (les synapses). Ce phénomène est très marqué pendant l'enfance, mais continue tout le long de la vie, en ce moment même : vous êtes en train de lire notre article et nous espérons que vous allez garder quelques notions sur « *Musique et Cerveau* ».

Pour cela, ces informations seront préservées par une nouvelle «circuiterie» cérébrale. La plasticité est la base de ce qu'en sciences humaines on appelle l'apprentissage.

D'une manière générale, le cerveau semble être assez bien prédisposé à l'apprentissage musical. En effet, tout le monde a des compétences musicales, qu'on pourrait appeler implicites, c'est-à-dire apprises sans en être forcément conscient [13]. Sauf quelques rares exceptions, tout le monde sait chanter une chanson, taper des mains à un concert, apprécier un bon musicien, reconnaître une mélodie, discerner une fausse note, etc. En d'autres termes, sans avoir eu une pratique musicale active, nous avons appris énormément des connaissances sur le système musical propre à notre culture, juste par simple exposition à cette musique. Cela nous permet d'en comprendre la structure, d'en apprécier les émotions et de les partager avec d'autres individus.

Chez les musiciens, ces changements peuvent prendre une telle ampleur qu'ils peuvent, dans certaines conditions, être observés via des techniques d'imagerie cérébrale. Nous avons déjà cité le cas du planum temporale, mais les structures qui montrent des modifications induites par la musique sont nombreuses. Le corps calleux, par exemple, structure clef dans la communication interhémisphérique, est particulièrement développé chez les musiciens, probablement à cause de la demande importante en coordination motrice. D'autres faisceaux de matière blanche sont plus développés chez les musiciens, comme le fascicule arqué, qui connecte les régions temporales aux régions frontales. Le cortex moteur, et plus particulièrement les aires de la main, est tellement développé que l'on peut presque distinguer à l'œil nu le cerveau d'un musicien du cerveau d'un non musicien (en regardant les images IRM anatomiques de leurs cerveaux).

D'autres structures pourraient être listées ici, et certainement d'autres différences de structures restent encore à découvrir [14]. Il existe aussi de nombreuses données qui montrent des différences de fonctions (et non de structures) entre les musiciens et les non musiciens. Par exemple, le colliculus inférieur des musiciens montre une représentation des sons bien plus fidèle que celui des non musiciens. De plus, alors que la représentation des sons au niveau du colliculus est assez fortement détériorée par des bruits ambiants, cette perturbation est quasiment absente chez les musiciens [15], qui semblent pouvoir mieux sélectionner l'information sonore pertinente (cf. article sur le streaming de Grimault & Devergie, page 35) dès les premières étapes de traitement (sous cortical). Des modifications fonctionnelles ont aussi été montrées dans le cortex auditif, de sorte que, chez un violoniste, l'activité corticale engendrée par le son du violon est bien supérieure à celle déclenchée par le son d'une trompette (et vice-versa chez le trompettiste). Au niveau du gyrus de Heschl, on trouve aussi une asymétrie du volume de la matière grise liée à la stratégie d'écoute des musiciens selon qu'ils prêtent plus d'attention à la justesse ou bien au timbre. Le fait qu'une caractéristique anatomique du système auditif dépende de la stratégie adoptée par les musiciens pour traiter les sons illustre parfaitement la plasticité du système et l'étroite relation qui lie la structure et la fonction [16].

Transfert de compétences et réhabilitation

L'aspect que nous trouvons le plus fascinant dans l'étude de la plasticité induite par la pratique et l'écoute musicales est la possibilité que ces modifications de structures et de fonctions aient un impact sur des compétences qui ne sont pas strictement musicales. Cette hypothèse se base sur les points suivants :

- D'une part, la musique requiert une grande efficacité dans différentes fonctions cognitives qui vont de l'analyse du son jusqu'à son intégration dans une structure temporelle et sa mémorisation. Ces opérations sont aussi nécessaires pour la perception et la production du langage.
- D'autre part, la musique nécessite le déploiement des ressources neuronales qui ne sont pas confinées à une région spécifique, mais qui impliquent les cortex temporaux, frontaux et pariétaux, ainsi que les structures plus archaïques reliées aux émotions et nombreuses structures sous-corticales.

In fine, la pratique musicale conduit à des changements d'au moins une partie (peut-être toutes, on ne sait pas encore!) de ces structures ; changements qui peuvent être de l'ordre de la structure (morphométrie, tractographie) ou de la fonction (amplitude ou latence de la réponse).

Alors que l'idée propulsée par le célèbre «effet Mozart»² n'était rien d'autre qu'un artefact du dessin expérimental (comme suggéré par d'autres études qui ont suivi), de nombreuses études ont confirmé le fait que la pratique musicale améliore les compétences visuo-spatiales, mais aussi certaines compétences verbales ainsi que les fonctions exécutives (fonctions de contrôle) qui sont également demandées dans la réalisation des tests d'intelligence [17].

Conclusion

La comparaison entre le traitement de la musique et du langage, reste une approche privilégiée car les deux matériaux partagent des caractéristiques qui demandent des traitements sensoriels et cognitifs similaires. Tandis que quelques recherches neuroscientifiques étudient le traitement de ces caractéristiques en parallèle pour le langage et la musique, d'autres se sont intéressés à étudier si un entraînement musical pourrait avoir des effets bénéfiques sur le traitement du langage (au niveau sensoriel et cognitif). La comparaison des participants musiciens et non musiciens permet ainsi d'obtenir des informations sur des ressources neuronales partagées (générales aux deux domaines) et/ou des possibilités du transfert de compétences entre les domaines (musique, langage). La comparaison entre les deux populations de participants vise à étudier l'influence d'un entraînement musical intense sur les processus cognitifs. Par contre, car il est possible que les différences entre les populations existassent déjà avant l'apprentissage musical, des études longitudinales (plus coûteuses à réaliser) ont proposé des entraînements musicaux à plus court terme dans le cadre de l'expérimentation :

2- L'écoute de la musique de Mozart rend plus intelligent (effet mesuré par le test d'intelligence).

des enfants non musiciens sont partagés dans deux groupes et suivent soit un entraînement musical soit un autre type d'entraînement (peinture, art dramatique) durant plusieurs mois. La comparaison des performances des enfants a) avant et après l'entraînement, et b) entre les deux groupes après l'entraînement, permet ainsi de mieux mettre en évidence les effets bénéfiques (ou non) d'un entraînement musical sur les corrélats neuronaux (anatomiques et fonctionnels) ainsi que des processus sensoriels et cognitifs impliqués dans le traitement de la musique et dans le traitement du langage. Ce genre d'étude a montré un effet de la pratique musicale sur le traitement des phonèmes, de la prosodie de la parole, de la segmentation de mots dans des contextes d'apprentissage et dans l'apprentissage de règles grammaticales (eg. [18]).

L'ensemble de ces résultats pose des bases solides pour l'utilisation de la musique afin de stimuler le traitement du langage et de développer ainsi des perspectives pour la réhabilitation. Dans ce but, plusieurs approches sont proposées : la stimulation musicale à court terme à l'intérieur d'une session expérimentale (via l'écoute musicale) ou l'entraînement musical à court terme (par exemple, par l'apprentissage d'un instrument). Les effets de ces stimulations et d'entraînement musicaux ont commencé à être étudiés pour des populations (enfants, adultes) à développement typique ou des populations de patients (eg. dyslexie, dysphasie, aphasie, surdité). Les résultats sont plutôt encourageants et prometteurs ; ils ouvrent ainsi à l'application clinique des résultats issus de la recherche fondamentale dans le domaine de la cognition musicale.

Références bibliographiques

- [1] DeWitt LA & Samuel AG «The role of knowledge-based expectations in music perception: Evidence from musical restoration.» *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, pp. 123-144, 1990.
- [2] Schellenberg EG, Trehub SE. «Good pitch memory is widespread.» *Psychol Sci.*, 14, pp. 262-266, 2003.
- [3] Tillmann B & Bigand E. «Global context effect in normal and scrambled musical sequences». *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, pp. 1185-1196, 2001.
- [4] Daltrozzo J, Schön D «Conceptual processing in music as revealed by N400 effects on words and musical targets». *J Cognitive Neuroscience*, 10, 1882-1892, 2009.
- [5] Schön D, Ystad S, Kronland-Martinet R & Besson M. «The evocative power of sounds: EEG study of conceptual priming between words and nonverbal sounds». *J Cognitive Neuroscience*, 4, pp. 1026-1035, 2010.
- [6] Large EW & Jones MR «The dynamics of attending: How we track time-varying events». *Psychological Review*, 106, pp. 119-159, 1999.
- [7] Baumann S, Petkov CI, Griffiths TD. «A unified framework for the organization of the primate auditory cortex.» *Front Syst Neurosci.*, 7:11, 2013.
- [8] Luders E, Gaser C, Jancke L, Schlaug G. «A voxel-based approach to gray matter asymmetries». *Neuroimage*, 22, pp. 656-664, 2004.
- [9] Zatorre, R.J., Belin, P. & Penhune, V.B. «Structure and function of auditory cortex: music and speech». *Trends in Cognitive Sciences*, 6, pp. 37-46, 2002.
- [10] Patel AD. «Why would Musical Training Benefit the Neural Encoding of Speech? The OPERA Hypothesis». *Front Psychol.* 2:142, 2011.
- [11] Peretz I, Coltheart M. «Modularity of music processing». *Nat Neurosci.*, 6, pp. 688-691, 2003.
- [12] Goswami U «A temporal sampling framework for developmental dyslexia». *Trends Cogn Sci* 15, pp. 3-10, 2011.
- [13] Bigand E & Poulin-Charronnat B. «Are we «experienced listeners»? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training.» *Cognition*, 100, pp. 100-130, 2006.

[14] Herholz SC & Zatorre RJ. Musical training as a framework for brain plasticity: Behavior, Function, and Structure. *Neuron*, 76, 486-502, 2012.

[15] Kraus N, Chandrasekaran B. «Music training for the development of auditory skills». *Nat Rev Neurosci.* 8, pp. 599-605, 2010.

[16] Jäncke L. «Music drives brain plasticity». *Biol Rep.* 1:78, 2009.

[17] Moreno S, Bialystok E, Barac R, Schellenberg EG, Cepeda NJ, Chau T. «Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function». *Psychol Sci.* 22, pp. 1425-1334, 2011.

[18] François C, Chobert J, Besson M, Schön D. «Music Training for the Development of Speech Segmentation». *Cereb Cortex.* [Epub ahead of print], 2012.