

Une perspective biologique sur la nature de la musique

Isabelle Peretz¹ & Pascale Lidji^{1,2}

*(1) Laboratoire international de Recherche sur le Cerveau, la Musique et le Son (BRAMS),
Université de Montréal, Montréal, Québec, Canada. (2) Unité de Recherche en Neurosciences
Cognitives Université Libre de Bruxelles (U.L.B.), Bruxelles, Belgique*

Résumé

La musique, comme le langage, est un trait humain universel. À travers l'histoire et dans toutes les cultures, les humains ont produit et apprécié la musique. Malgré son omniprésence, la capacité musicale est rarement étudiée comme une fonction biologique. Au contraire, elle est typiquement considérée comme invention culturelle. Cet article passe en revue les arguments en faveur d'une perspective biologique de la capacité musicale. Les questions liées à cette idée, comme celle de la spécificité à un domaine, celle du caractère inné et celle de la localisation cérébrale, sont examinées afin d'offrir une base conceptuelle unifiée à l'étude du traitement de la musique. Cette approche devrait faciliter l'étude des bases biologiques de la musique en intégrant la génétique, la recherche développementale et comparative, les neurosciences et la musicologie.

Mots-clés: Aptitudes musicales; Cerveau; Langage; Culture; Amusie; Prédilection; Plasticité cérébrale; Emotions

Key-words : Musical capacity; Brain; Language; Culture; Amusia; Brain plasticity; Predispositions; Emotions .

1. INTRODUCTION

La musique est généralement considérée comme une forme d'art, un produit raffiné de la culture humaine. Une telle perspective a conduit de nombreux chercheurs en sciences cognitives à considérer la musique comme issue soit d'une capacité générale (Bregman, 1990; Handel, 1989; Krumhansl, 1990), soit de l'assemblage d'autres compétences qui n'étaient, à l'origine, pas destinées à servir la fonction musicale (Pinker, 1997). D'une certaine manière, les compositeurs contemporains et les ethnomusicologues renforcent cette perception culturelle de la musique. D'après les compositeurs, les préférences musicales sont spécifiques à une culture et peuvent être modifiées par la seule exposition (Schönberg, 1984). D'après les musicologues, la musique doit être étudiée comme un construct social variable d'une culture à l'autre. Ces deux points de vue ont une conséquence commune: ils rejettent la recherche d'universaux sous-jacents à cette diversité (Blacking, 1990). Or, les diverses cultures musicales du monde pourraient partager des principes communs, ces principes étant potentiellement guidés par des mécanismes innés. En d'autres termes, la musique pourrait faire partie de la nature humaine. Le point de vue considérant la musique comme une fonction biologique plutôt que comme une invention culturelle est apparu récemment (Wallin et al., 2000) et, par conséquent, cette idée est loin d'être établie. L'objectif de cet article, comme celui du numéro spécial de la revue *Cognition* (2006) dont il est issu, est de considérer les différentes perspectives et arguments en faveur des fondements biologiques¹ de la musique.

Les humains sont, par définition, des organismes biologiques. Par conséquent, tout ce que le cerveau humain crée pourrait être considéré comme biologique. Toutefois, notre cerveau est aussi un système extrêmement flexible, capable d'apprendre et d'inventer des codes et des

¹ La distinction biologique-culturel fait référence aux distinctions entre inné-acquis, nature-nurture. Le terme « culturel » a été choisi car, pour la plupart des gens, la musique fait partie de la culture comme d'autres formes d'art, et à peu à voir avec la biologie.

habiletés qui seront transmis aux autres par des mécanismes non génétiques. L'alphabet Morse est un exemple de ce type d'invention dite « culturelle ». La question qui nous occupe est de savoir si la capacité musicale est également un produit culturel ou si, au contraire, elle est « inscrite dans nos gènes ». La musique n'est pas une invention récente, produite par une intelligence isolée. Contrairement à l'alphabet Morse, la musique n'a pas été inventée à un moment précis dans un lieu précis pour être, ensuite, diffusée alentour. À travers l'histoire et les cultures, les humains aiment écouter et produire de la musique (Merriam, 1964). La musique est apparue spontanément et en parallèle dans toutes les sociétés humaines connues. Bien que nous ne sachions pas quand la musique est née (puisque'il n'existe pas d'enregistrement fossile du premier chant humain), l'archéologie indique la présence continue d'instruments de musique depuis au moins 30 000 ans (D'Errico et al., 2003). La musique semble donc transcender les temps, les lieux et les cultures.

Paradoxalement, la capacité musicale humaine ne semble à son apogée que chez une minorité d'individus, les musiciens. Devenir musicien exige des milliers d'heures de pratique et, dans la plupart des cas, un enseignement explicite. Cette idée semble contraire à la notion selon laquelle la capacité musicale est déterminée de façon innée: si les gènes étaient responsables de la capacité musicale humaine, alors n'importe qui pourrait s'investir dans des activités musicales. Et c'est bien le cas : presque tout le monde est capable de chanter (Dalla Bella et al., 2007) et de danser sur de la musique. La confusion vient de l'amalgame entre l'expression musicale et l'élite des musiciens professionnels. On oublie souvent que la musique s'adresse aux oreilles de la majorité des gens. Chacun, peu importe son âge ou sa culture, est, dans une certaine mesure, musical et musicien. À moins de ne pas avoir l'oreille musicale, et d'être *tone-deaf* comme le disent les anglophones, tous les humains ont un penchant pour la musique et ce, dès le plus jeune âge. En somme, la musique paraît aussi naturelle que le langage. La musique est toutefois plus mystérieuse que le langage car sa raison d'être reste inconnue. La musique n'a pas d'utilité claire et il est difficile de la définir. Tout le monde sait ce

qu'est la musique, mais personne n'est capable d'en délimiter les frontières. Le concept de musique est variable, et certaines cultures ne possèdent pas de terme distinct pour la désigner: elles incluent la danse et la musique dans une même catégorie. Malgré ces problèmes de définition, il est possible d'étudier la capacité musicale de manière rigoureuse.

Pour preuve, un numéro spécial de la revue *Cognition* (2006) était récemment consacré à l'étude scientifique de la musique. La contribution de chercheurs chevronnés dans des disciplines aussi diverses que la psychologie, la biologie animale, les neurosciences cognitives, la linguistique et la musicologie y était présentée. La position de ces scientifiques se situe entre deux extrêmes d'un continuum. À un extrême, la capacité musicale est perçue comme une adaptation évolutive, façonnée par la sélection naturelle et guidée par les gènes. À l'autre extrême, les habiletés musicales sont considérées comme le résultat de capacités d'apprentissage générales pouvant renvoyer au scénario de la *tabula rasa* (Pinker, 2002).

Ces questionnements sur la fonction de la musique, qu'on la considère comme issue d'une prédisposition naturelle ou comme un effet de la culture, ne sont pas l'apanage des cercles académiques. Ces points de vue contradictoires sur l'origine de la musicalité conduisent à des explications évolutives radicalement opposées. Ces visions ont aussi un impact profond sur la manière dont les scientifiques étudient les habiletés musicales, sur la manière dont les cliniciens utilisent la musique et évaluent les compétences musicales, et sur la manière dont les politiques éducatives intègrent la musique dans les programmes scolaires.

Illustrons l'importance de la perspective théorique choisie avec la condition de *tone-deafness*. Les personnes atteintes de *tone-deafness* éprouvent, toute leur vie durant, des difficultés à apprécier la musique et à s'engager dans des activités musicales. Depuis près d'un siècle, des voix se sont élevées pour nier l'existence de ce trouble (Kazeev, 1985). Pour beaucoup, la *tone-deafness* résulte d'un manque de motivation ou d'une formation inadaptée. Selon cette perspective, tous les individus peuvent apprendre la musique si l'opportunité leur en est offerte. Pourtant, on es-

time que la *tone-deafness* touche 4% de la population générale (Kalmus & Fry, 1980). Les défenseurs de la perspective biologique prédiraient une telle prévalence uniquement sur la base des variations naturelles, comme pour les autres troubles développementaux tels que les troubles spécifiques du langage et la prosopagnosie développementale. La condition de *tone-deafness* pourrait représenter le coût d'un cerveau hautement modularisé pour la plupart des fonctions, y compris pour la musique. Nier l'existence de la *tone-deafness* a non seulement pour conséquence de stigmatiser ceux qui en sont atteints, mais aussi de perdre une riche source d'information sur les origines neuronales et génétiques de la capacité musicale.

De manière similaire, des questions fondamentales ont été largement négligées jusque récemment parce que la musique était considérée comme inutile. Par exemple, il existe peu d'études sur les périodes critiques pour l'apprentissage musical (Trainor, 2005), sur les universaux musicaux, sur les origines animales de la musicalité (Hauser & McDermott, 2003) et sur les relations entre génétique et musique. De remarquables avancées ont toutefois été réalisées dans l'étude des habiletés musicales des bébés (e.g., Trehub & Hannon, 2006) et des non musiciens en général (e.g., Bigand & Poulin-Charronat, 2006), ainsi que dans l'exploration du cerveau musical (e.g., Peretz & Zatorre, 2005) et des émotions musicales (e.g., Juslin & Sloboda, 2001). Ces études fournissent un matériau fort utile pour répondre aux questions sur la nature de la musique.

2. A QUEL POINT LES HUMAINS SONT-ILS MUSICAUX ?

Selon une étude britannique récente (North, Hargreaves, & O'Neill, 2000) et une étude Gallup, presque la moitié de la population anglaise et américaine a appris à jouer d'un instrument pendant l'enfance. Soixante-quatre pour cent des personnes interrogées avaient commencé entre 5 et 11 ans, au moment où le cerveau présente la plus grande plasticité. Ces enfants ont consacré plus de temps à pratiquer la musique qu'à apprendre une seconde langue, à faire du sport, du dessin ou toute autre

activité éducative. L'éducation musicale touche donc beaucoup d'individus et presque tout le monde est attiré par la musique, la consommant avidement sous diverses formes.

L'auditeur adulte ordinaire est donc, sans en être nécessairement conscient, un expert musical. Pour révéler cette expertise inconsciente, il faut utiliser des méthodes indirectes, comme l'ont illustré Bigand et Poulin-Charronat (2006). Ces tests indirects révèlent que les non musiciens et les musiciens apprécient la musique de manière très similaire. Pour prendre un exemple issu des travaux récents de notre laboratoire (Dalla Bella & Peretz, 2005), les musiciens et les non musiciens distinguent de la même façon les différents styles de la musique classique (par exemple, Baroque, Romantique). Tous les auditeurs, quelle que soit leur formation, évaluaient des paires d'extraits musicaux non familiers comme plus similaires quand leur style était proche historiquement. Parce que les réponses n'exigeaient pas de désigner explicitement le style, cette étude a permis de démontrer que la discrimination de styles musicaux fait partie des compétences de l'auditeur moyen. Des découvertes similaires ont été réalisées dans d'autres situations musicales, situations qui sont souvent considérées comme uniquement accessibles à une « élite musicale ». Ces situations diverses incluent la génération d'attentes basées sur des relations de type syntaxiques entre les notes, les accords et les clés (Shepard & Jordan, 1984; Tillmann, Bharucha, & Bigand, 2000), la perception des relations entre un thème et ses variations (Bigand, 1990), la perception de la cohérence entre les parties d'une sonate pour piano de Haydn, ou encore la catégorisation d'expressions émotionnelles subtiles dans la musique (Bigand et al., 2006).

De manière encore plus intéressante et surprenante, il semble que les musiciens ne soient pas nécessairement plus performants que les non musiciens dans des tâches de production. Nous avons récemment constaté que des chanteurs professionnels (et des musiciens professionnels en général) n'apprenaient pas mieux une chanson populaire que des non musiciens (Racette & Peretz, 2006). Comme indiqué dans la Figure 1, les musiciens ne rappellent pas plus de mots ou de notes que les non musiciens en chantant, bien que les mu-

Figure 1. Partie A, proportion de non musiciens (en blanc) et de musiciens professionnels (en noir et gris) atteignant chaque niveau de rappel de strophe d'une chanson. Partie B, pourcentage moyen de mots et de notes correctement chantés par les non musiciens et les musiciens. Remarque: les musiciens, y compris les chanteurs professionnels, ne reproduisaient pas plus de strophes ou de notes correctes que les non-musiciens (n.s. Racette et Peretz, 2006).

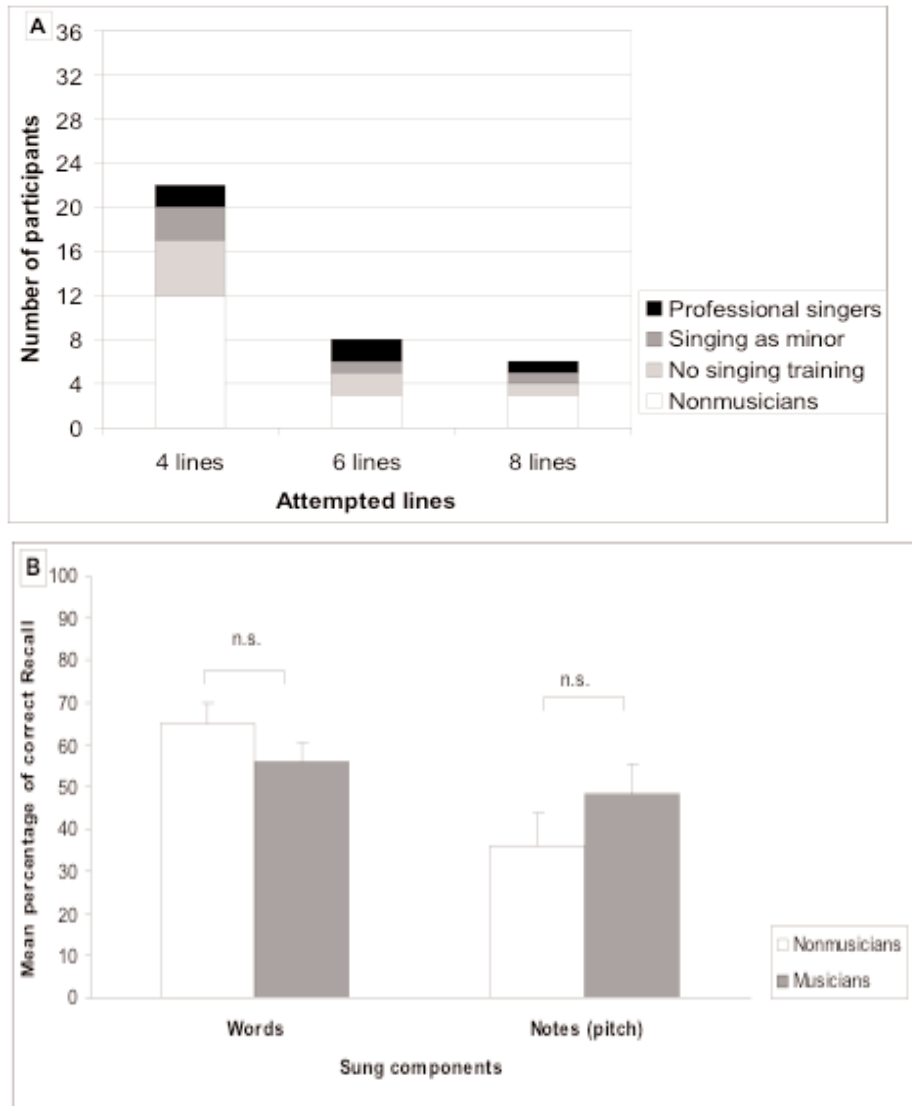


Figure 1: (A) Proportions of nonmusicians (in white) and professional musicians (black and grey) reaching each level of song line recall; (B) mean percentage of words and notes correctly sung by nonmusicians and musicians. Note that musicians, including professional singers, did not reproduce more lines nor more correct pitches than nonmusicians (n.s.; Racette and Peretz, in press).

siciens aient généralement suivi des cours de musique avant l'âge de 7 ans et aient été exposés à la structure musicale pendant plus de 15 ans. La simple exposition et le goût pour la musique semblent suffire.

Il n'est donc pas nécessaire de pratiquer la musique pour acquérir une performance musicale de base. De même, il n'est pas nécessaire de suivre un enseignement formel pour devenir un musicien de talent. Un cas bien connu est celui de Louis Armstrong (Collier & Person, 1983). Armstrong était pauvre et a dû gagner sa vie très tôt. Parce qu'il a grandi dans un environnement où la musique était utilisée pour attirer la clientèle des prostituées, il a commencé à chanter très jeune et à jouer régulièrement. Armstrong possédait sa propre trompette à 17 ans et il est devenu, à 19 ans, musicien sur un bateau touristique. Lorsqu'il quitta ce bateau à 23 ans, c'était un jazzman accompli. Armstrong est le prototype du musicien de jazz autodidacte. Cet exemple illustre admirablement l'idée que, si les gènes ou le talent peuvent contribuer à des carrières exceptionnelles, l'amour de la musique et un environnement musicalement riche peuvent jouer un rôle tout aussi important.

En résumé, les humains sont des êtres musicaux. Les habiletés musicales sont largement distribuées dans la population, probablement sur un continuum de musicalité avec les capacités faibles à un extrême et les compétences supérieures à l'autre. La grande majorité de la population se situerait à mi-chemin, avec un noyau commun de connaissances mais des capacités de production modestes. Pour que la musique soit appréciée, les musiciens et les auditeurs doivent partager des connaissances et des processus communs. Sur ce noyau commun pourraient se greffer des connaissances et des habiletés plus élaborées liées à l'expertise musicale. Mais, et c'est là l'essentiel, cette expertise n'est pas nécessaire à la fonctionnalité du noyau commun.

Paradoxalement, il s'agit d'une idée récente. Les premières recherches empiriques sur la musique se concentraient uniquement sur les musiciens (Krumhansl & Kessler, 1982) et sur la musique dite « classique » (Lerdahl & Jackendoff, 1983). A présent, les recherches étudient à la fois les musiciens et les non musiciens. De plus, ces recherches

utilisent un matériel musical accessible à la majorité des individus. Cet accent sur la « musique fonctionnelle » paraît plus valide psychologiquement et plus prometteur sur le plan inter-culturel.

3. QUELLE MUSIQUE?

Le concept de musique « fonctionnelle » correspond à la proposition de Nettl (1973): il s'agit de la musique qui concerne tous les membres d'une culture donnée. La musique des sociétés tribales traditionnelles en est un exemple typique. Dans ces sociétés, la musique est compréhensible par tous les membres de la communauté, qui peuvent également y participer. Ces musiques dites fonctionnelles, comme le rock, le jazz, le blues, les musiques country et folk, ont typiquement peu de prestige. Les musiciens « académiques » se concentrent souvent sur le caractère unique d'un morceau de musique et sur la complexité de sa structure. Ils ont généralement peu d'intérêt pour son accessibilité ou son approbation. La musique « fonctionnelle » ou populaire est très différente (voir aussi Lerdahl, 1988, pour une distinction similaire entre les grammaires compositionnelles artificielles et naturelles); le caractère unique n'y est pas aussi important et l'accessibilité au public est la clé de sa survie.

En étudiant la musique destinée à la population au sens large, nous sommes proches des conditions dans lesquelles les humains interagissent avec la musique à travers les cultures et l'Histoire. La musique « fonctionnelle » est souvent produite en direct et en public, de manière improvisée, spontanée, participative et sociale (Sloboda & O'Neill, 2001). Il s'agit d'un contexte très différent de celui dans lequel les musiques classique et contemporaine (comme la composition sérielle atonale) sont produites. Étudier la musique destinée aux élites nous confronte au risque de nous concentrer sur une musique éphémère. Des conclusions plus fortes peuvent être tirées de l'étude de la musique de tous les jours, comme les berceuses (Trehub & Trainor, 1998) et la musique populaire auprès des adolescents (North, Hargreaves & O'Neill, 2000). Ce changement de perspective est admirablement illustré par Jackendoff & Lerdahl

qui, en 2006, font référence aux chansons des Beatles, alors qu'ils s'intéressaient à la musique classique ou « artistique » dans leur publication d'origine (Lerdahl & Jackendoff, 1983).

En étudiant la musique populaire ou fonctionnelle, nous nous rapprochons aussi du domaine des ethnomusicologues. L'ethnomusicologie a contribué de façon plus importante que la psychologie à la libération de la recherche des contraintes de la musique « classique ». En effet, pour les ethnomusicologues, n'importe quel type de musique, dans n'importe quel contexte, est digne d'intérêt. Cette discipline devrait donc pouvoir nous fournir une liste de traits musicaux communs à toutes les cultures musicales connues, et une liste des traits spécifiques à chaque culture. Cependant, en pratique, l'ethnomusicologie a peu contribué à la recherche d'universaux.

Universaux

Bien entendu, ceux qui pensent que la musique n'est pas déterminée biologiquement affirmeront que cette quête d'universaux est vaine. C'est le cas de la plupart des ethnomusicologues qui valorisent la diversité culturelle et expliquent les propriétés musicales des différentes cultures par des différences de traditions historiques et culturelles (Nettl, 2000). Bruno Nettl (2000), l'un des ethnomusicologues les plus reconnus de notre époque, ne propose que quelques universaux de base: i) la musique vocale; ii) la mesure ou la sensation d'une pulsation ; et iii) l'utilisation de trois ou quatre notes, ces notes créant des intervalles de seconde majeure et de tierce mineure. Le *Cantometric* de Lomax (1977, 1980) constitue la seule exception notable à cette approche « culturaliste ». Lomax a comparé, sur base de diverses caractéristiques structurelles et d'interprétation, 4000 chants de 148 régions du monde géographiquement et culturellement différentes. Lomax est parvenu à réduire ces 148 cultures à 10 familles, qui ont ensuite été réduites à deux racines. Chacune de ces racines présentait une structure clairement différente. La première racine proviendrait de chasseurs et de pêcheurs de l'Arctique, alors que l'autre serait issue de cueilleurs Africains. La pre-

mière racine musicale est caractérisée par des chants en solo ou à l'unisson dominés par les hommes, avec des rythmes libres et irréguliers. Au contraire, le chant de la deuxième racine est dominé par les femmes, polyphonique, avec un rythme régulier et répétitif, mélodiquement bref et bien intégré. Il est clair que les universaux proposés par Lomax sont associés aux fonctions sociales, enracinées dans les rôles sexuels et l'organisation de la société, plutôt qu'à la mélodie, la gamme ou la mesure. Les *Cantometrics* de Lomax auraient toutefois pu servir de point de départ pour une étude plus approfondie des universaux musicaux, mais personne n'a suivi cet exemple. La relative absence de recherche d'universaux musicaux est, sans doute, liée à la résistance des musicologues à prendre en considération l'hypothèse d'un déterminisme biologique dans la musique (Arom, 2000).

Les psychologues ont d'ailleurs été les premiers à souligner que les systèmes de gammes tonales étaient quasiment universels. Dowling et Harwood (1986, pp. 90-91) n'ont trouvé qu'une poignée de cultures dans lesquelles les notes utilisées dans le chant ne constituaient pas des intervalles mélodiques au sein d'une gamme structurée. Dans la majorité des cultures, il existe des gammes musicales stables qui partagent plusieurs propriétés générales : (1) des niveaux de hauteur discrets, (2) l'équivalence de l'octave, (3) un nombre restreint de notes (généralement de 5 à 7) au sein de l'octave, ces notes étant répétées à travers les différentes octaves, (4) une hiérarchie tonale dans laquelle certaines hauteurs fonctionnent comme des points stables de résolution mélodique et d'autres comme des points instables (Dowling & Harwood, 1986; Dowling, 1999, 2001). Selon Carterette et Kendall (1999), six universaux seraient à l'origine du large spectre des cultures musicales. Deux de ces universaux correspondent à ceux décrits par Dowling et Harwood : la division de l'octave en une gamme de six notes et l'utilisation d'une hauteur de référence stable. Carterette et Kendall y ajoutent: (1) la notion d'une idée structurale profonde; (2) un groupement auditif élémentaire; (3) des pulsations de référence; (4) la création de patrons rythmiques par la subdivision asymétrique de ces pulsations. Sur base de la similarité

remarquable entre les capacités musicales des bébés et des adultes, Trehub (2000) propose d'autres universaux musicaux: l'idée de relations de hauteur et de relations temporelles; de ratios de fréquence petits et entiers (2:1, 3:2, 4:3); de sauts de hauteurs inégaux dans la gamme; et l'existence d'un genre musical spécifiquement destiné aux bébés (comme les berceuses).

Parmi ces universaux musicaux, l'utilisation de hauteurs fixes et discrètes (les notes) semble à la fois fondamentale et spécifique à la musique. Ces ensembles de notes se transmettent de génération en génération sans modification importante, et ce, même en l'absence d'instruments de musique ou de notation. Ainsi, les jeux vocaux des bébés de 6 à 12 mois qui s'apparentent au chant sont très différents des jeux vocaux associés à la parole naissante : le futur chant utilise des niveaux de hauteur stables et présente une organisation rythmique avec un patron de mesure régulier (Dowling, 1984; 1999, p. 611; Dowling & Harwood, 1986, pp. 147). Par ailleurs, la limitation du nombre de notes ne restreint pas la richesse de la musique. Il existe 40 320 manières différentes d'ordonner les huit notes de l'échelle diatonique si l'on ne prend en compte que les successions de notes sans répétition. Si les notes sont répétées, les possibilités augmentent de manière astronomique, et ce même sans utiliser d'accords ou de notes simultanées. Cet ensemble fini de hauteurs permet donc de générer un nombre infini de structures musicales. Cet universel prend probablement sa source dans la nécessité de distinguer facilement les notes et de limiter leur nombre pour en faciliter l'apprentissage. Ces facteurs pourraient être innés (Dowling, 2005, communication personnelle), ce qui expliquerait qu'ils aient influencé toutes les musiques du monde.

4. DANS QUELLE MESURE LE TRAITEMENT DE LA MUSIQUE EST-IL UNIQUE ?

Le fait que la musique, contrairement à la parole, utilise des ensembles fixes de hauteurs discrètes suggère que le traitement de la musique puisse être spécial, recrutant, de ce fait, des mécanismes uniques. En effet, l'on pourrait s'attendre à ce qu'une habileté cognitive biologiquement déterminée comporte des opérations hautement spécialisées. Cette question du « caractère unique » n'est pas neuve : elle a généré des débats animés dans le domaine du langage (Liberman & Whalen, 2000) et dans celui du traitement des visages (Gauthier & Curby, 2005). Les mêmes sources de discordance existent dans le domaine de la musique (par exemple, Howe, Davidson & Sloboda, 1998 et voir ci-dessous). C'est pourquoi il convient d'aborder la question du caractère unique en distinguant et en clarifiant les concepts de spécialisation, de spécificité à un domaine, de localisation cérébrale et de caractère inné. Ces concepts, explicitement liés dans la proposition de Fodor (1983) sur la modularité de l'esprit, ont toutefois prêté à confusion dans de nombreuses discussions ultérieures.

La spécificité à un domaine et la localisation peuvent être distinguées du caractère inné. Des systèmes neuronaux spécifiques à un domaine et localisés au niveau cérébral ne sont pas nécessairement innés : ils peuvent émerger de l'apprentissage par expérience. Un exemple bien connu est celui de la lecture. La lecture dépend de façon critique de la conscience phonologique et du système de reconnaissance de la forme visuelle des mots. Une aire située dans le lobe temporal inférieur gauche serait spécifiquement consacrée au traitement des séquences de lettres (Cohen et al., 2000). Or, la lecture peut difficilement être considérée comme innée. Réciproquement, on peut postuler que certaines fonctions innées ne sont pas associées à mécanismes cérébraux spécialisés ou localisés.

Ce point de vue² est adopté par Trehub et Hannon (2006). Selon ces auteurs, la perception de la musique serait le produit de mécanismes généraux (donc, sans spécificité de domaine) opérant en réponse à des dispositions motivationnelles innées pour la musique.

Au contraire, Jackendoff et Lerdahl (1983; Jackendoff, 1987), Dowling (2001, 2005, communication personnelle) et Peretz (Peretz, 2001a, 2001b; Peretz & Coltheart, 2003) estiment que les composants de traitements de la musique, et spécialement ceux impliqués dans les computations basées sur la hauteur, se basent sur des mécanismes spécifiques à ce domaine et sur des réseaux neuronaux spécialisés. Le système responsable de *l'encodage tonal de la hauteur* serait un bon exemple de module spécifique à la musique (voir Jackendoff & Lerdahl, 2006). En effet, les variations de hauteur déterminent une gamme dans la musique, alors que ce n'est pas le cas des contours intonationnels de la parole (Balzano, 1982). De plus, les gammes sont universelles et leurs notes sont espacées de façon inégale, avec une organisation autour de 5 à 7 notes focales. Ces notes n'occupent pas un rôle équivalent: elles sont organisées autour d'une note centrale, appelée la tonique. Un morceau commence et se termine généralement par cette tonique. Parmi les autres notes de la gamme, il existe une hiérarchie d'importance ou de stabilité. Les notes n'appartenant pas à la gamme sont les moins stables et sont parfois perçues comme anormales. Cette connaissance tonale implicite permet, par exemple, à n'importe quel individu de détecter une fausse

² Mary Riess Jones et ses collègues (Jones, 1990, Large & Jones, 1999; Drake et al., 2000; Jones, 2004; McAuley et al., soumis) envisagent le traitement musical comme résultant de la calibration d'oscillations cérébrales non-spécialisées. Suivant cette théorie, les jeunes enfants utiliseraient surtout les oscillations rapides qui permettent de répondre aux changements rapides de notre environnement (comme les phonèmes, les motifs sonores brefs). La maturation entraîne un changement graduel vers les oscillations lentes. Ainsi, l'apprentissage dépend de ces contraintes de maturation et de la tendance innée à utiliser certains rapports temporels (simples) entre oscillations internes. Suivant ce modèle dynamique, la musique n'est pas spéciale parce que l'information temporelle est utilisée dans de nombreux autres domaines. Bien que les oscillations puissent varier suivant le domaine concerné, dans leur façon de se synchroniser avec le monde extérieur et avec les autres oscillateurs, la musique tout comme le langage émerge de cette dynamique. La musique et le langage reflètent différentes façons d'exploiter et calibrer les tendances innées de dynamique rythmique.

note dans un morceau. Ce traitement est automatique et impénétrable à l'influence de traitements supérieurs (Justus & Bharucha, 2001; Shepard & Jordan, 1984). L'organisation tonale hiérarchique de la hauteur est centrale pour le traitement de la musique. En effet, elle facilite la perception, la mémorisation et la performance en créant des attentes par rapport aux événements auditifs futurs (Tillmann et al., 2000). De plus, cette habileté peut être compromise suite à une lésion cérébrale (Peretz, 1993) ou à une anomalie neuronale congénitale (Peretz & Hyde, 2003). Dans ce dernier cas, le déficit semble provenir d'une connectivité déficiente au niveau du gyrus frontal inférieur (Hyde et al., 2006), une région cérébrale impliquée de manière critique dans la mémoire de travail des hauteurs musicales (Zatorre, Evans, & Meyer, 1994) et dans la perception de violations harmoniques (Koelsch et al., 2002; Tillmann, Janata, & Bharucha, 2003).

L'encodage de la hauteur en contexte musical constituerait donc une habileté spécifique à ce domaine qui pourrait être localisée dans cerveau adulte. Cette habileté semble avoir une base génétique aussi. Dans une récente étude, 136 jumeaux identiques (monozygotes) et 148 jumeaux fraternels (dizygotes) devaient détecter des fausses notes dans des mélodies populaires. La performance des jumeaux identiques ($r = 0.79$) était plus similaire que celles des jumeaux fraternels ($r = 0.46$). L'influence des gènes partagés était plus grande que celle de l'environnement partagé, avec une héritabilité de 70-80% (Drayna, Manichaikul, de Lange, Snieder, & Spector, 2001). Ces données supportent l'idée selon laquelle le traitement de la hauteur musicale peut être considéré comme un module, tel qu'initialement proposé par Peretz et Morais (1989). En effet, ce composant de traitement rencontre les exigences de spécificité à un domaine, de localisation cérébrale et de caractère inné. Il n'est pas possible de soutenir avec la même force la thèse biologique pour d'autres types de traitements musicaux. C'est pourquoi nous allons passer en revue chaque caractéristique des systèmes modulaires afin d'examiner leur pertinence pour le traitement musical.

4.1. Spécificité à un domaine

Le traitement de la hauteur musicale ne représente qu'une composante de la myriade de mécanismes susceptibles de contribuer au comportement musical. Il peut donc paraître inadéquat de faire référence à un de ces composants comme spécifique à un domaine. Le concept de spécificité à un domaine fait typiquement référence à une faculté complète. Comme évoqué par Coltheart (1999), il n'y a toutefois pas d'argument théorique empêchant d'attribuer le concept de spécificité à un composant d'une faculté. Un domaine peut être aussi large et général que *l'analyse de scènes auditives*, ou aussi restreint et précis que *l'encodage tonal de la hauteur*. Ces deux sous-systèmes effectuent des computations hautement spécialisées et sont par conséquent spécifiques à un domaine. C'est-à-dire que ces deux composants traitent un aspect particulier de la musique, et ils le font exclusivement ou plus efficacement que n'importe quel autre mécanisme. Toutefois, *l'analyse de scènes auditives* concerne tous les sons entendus (Bregman, 1990), tandis que *l'encodage tonal de la hauteur* est exclusif à la musique.

Un autre aspect important de la spécificité à un domaine est qu'elle peut émerger de l'apprentissage. L'apprentissage peut être guidé par des mécanismes innés. Il peut aussi utiliser des principes généraux, par exemple via l'extraction de régularités statistiques de l'environnement. Cette hypothèse a été examinée pour l'acquisition des connaissances tonales (résultant de *l'encodage tonal de la hauteur*, Krumhansl, 1990; Tillmann et al., 2000). Bien que *l'encodage tonal de la hauteur* soit spécifique à la musique, il pourrait se développer à partir de la « sensibilité des auditeurs à la distribution des hauteurs, qui fait partie des stratégies perceptives générales permettant d'exploiter les régularités du monde physique » (Oram & Cuddy, 1995, p.114). Le matériau (input) et le résultat (output) de la computation statistique pourraient donc être spécifiques à un domaine, sans que son mécanisme d'apprentissage ne le soit (Saffran, 2001). Une fois acquis, le fonctionnement de *l'encodage tonal de la hauteur* pourrait être modulaire. Il encoderait donc la hauteur musicale en termes de clés, de manière exclusive et automatique.

Le même raisonnement s'applique à *l'analyse de scènes auditives* et au *groupement auditif* (qui correspond à un universel musical selon Carterette & Kendall, 1999). Le fait que ces deux composants de traitement organisent les sons entrants selon les principes généraux de la Gestalt, comme la proximité de hauteur, n'implique pas que leur fonctionnement soit de nature générale et qu'il soit pris en charge par un seul système de traitement. Il serait très étonnant que l'analyse des scènes visuelles et auditives soit prise en charge par le même système. Pourtant, les deux types d'analyse obéissent aux principes de la Gestalt. En fait, il est plus probable que les codes d'entrée, visuels et auditifs, ajustent les mécanismes aux besoins de leurs traitements. Donc, des codes d'entrée particuliers pourraient transformer des mécanismes généraux en des mécanismes hautement spécialisés. Le développement de tels micro-systèmes multiples et spécialisés, même s'ils fonctionnent de manière très similaire, est très probable en raison de la grande efficacité de la modularisation (Marr, 1982).

La spécificité à la musique devrait donc être examinée pour chaque sous-système ou composant de traitement. De plus, la spécificité à un domaine n'exige pas des mécanismes d'apprentissage à but spécialisé: elle pourrait plutôt émerger de processus d'apprentissage généraux ou, encore, résulter de la nature du code d'entrée.

Notre question devient donc: à quel point le traitement de la musique repose-t-il sur des mécanismes qui lui sont spécialement dédiés? Nous possédons déjà un candidat plausible: *l'encodage tonal de la hauteur*. S'agit-il du seul composant spécifique à la musique?

Avant tout, examinons les arguments selon lesquels la compétence musicale constituerait un tout. Si nous pouvons trouver des arguments en faveur de la spécificité de la musique au niveau des fonctions globales, cela nous guidera dans la recherche des sources de cette spécificité. Au contraire, s'il n'y a pas d'argument en faveur d'une telle spécialisation pour la musique, cela remettrait en question la pertinence de cette quête des origines de la musicalité en général, et des origines de *l'encodage tonal de la hauteur* en particulier.

Modules musicaux

La frontière entre le musical et le non-musical n'est pas toujours claire. Par exemple, le rap peut être perçu comme de la parole, alors que de la musique hautement dissonante pourrait être considérée comme du bruit. Au contraire, certains types de parole presque psalmodiés, comme lors de l'annonce des mises dans les ventes aux enchères (spécialement dans les pays anglo-saxons), ne sont pas considérés comme musicales. Pourtant, cette parole scandée pourrait être traitée comme de la musique. Ces signaux ambigus ne sont pas problématiques pour le système auditif, qui n'a pas besoin de filtre pour décider quelles parties du patron auditif envoyer aux systèmes de traitements de la musique et lesquelles envoyer aux systèmes de traitement du langage. Toute l'information de l'input auditif, y compris le texte et la mélodie produits par le commissaire priseur, serait envoyée à tous les systèmes de traitement linguistiques et musicaux. L'intervention de composants spécifiques au langage ou à la musique serait déterminée par les caractéristiques de l'input pour lesquelles le composant de traitement est spécialisé.

Par exemple, les mises de ventes aux enchères atteignent à la fois les systèmes de traitement impliqués dans l'encodage de la parole et dans celui de la musique. Les dynamiques de hauteur et de rythme orientent l'attention de l'auditeur vers les mots critiques pour l'enchère, et les modules du langage sont activés pour en dériver la signification, c'est-à-dire le prix. Par contre, les systèmes de traitement spécifiques à la musique, comme le module pour la tonalité, pourraient ne pas être très actifs car les hauteurs scandées ne sont pas fixes et, donc, n'activent pas une gamme précise.

Il se peut que la musique ne possède pas de composant spécifique autre que le module de la tonalité. Comme Pinker (1997) le suggère, le système de traitement de la musique pourrait être un assemblage de systèmes de traitement non spécialisés pour la musique, mais destinés à d'autres stimuli. En d'autres termes, la musique pourrait se comporter comme un parasite. Par exemple, nous pourrions analyser le contour mélodique de la musique en activant les mécanismes traitant l'intonation dans la parole. La musique pourrait atteindre le système de traitement du

langage, exactement comme des masques sont capables d'activer le système de reconnaissance des visages. Nous pouvons pousser le raisonnement plus loin et envisager que l'impact de la musique sur les humains repose simplement sur leur prédisposition naturelle pour la parole. La musique pourrait reproduire, en les exagérant, certaines caractéristiques de la parole comme l'intonation et la tonalité affective, caractéristiques très efficaces pour créer des liens. Selon cette idée, la musique aurait envahi les modules du langage (Sperber & Hirschfeld, 2004) et se serait perpétuée dans toutes les cultures en raison de sa capacité à faire collaborer un ou plusieurs modules évolués. Ces attaches dans plusieurs modules auraient pu jouer un rôle crucial dans le développement du pouvoir de la musique.

À l'heure actuelle, nous disposons de peu d'arguments en faveur de cette perspective parasitaire. En effet, il est difficile de préciser la direction des causes et des effets: la musique aurait pu, autant que le langage, être apparue la première. Il faudrait également pouvoir montrer que tous les composants de traitement impliqués dans la musique sont partagés avec d'autres fonctions. Or, des cas de préservation ou d'atteinte isolée des habiletés musicales suggèrent que certains composants de traitements doivent être, à la fois, nécessaires et spécifiques à la musique. Si ce n'était pas le cas, la co-occurrence de troubles (co-morbidité) devrait être la règle. Pourtant, dans de nombreux cas d'autisme, les habiletés musicales se développent spontanément malgré la présence de déficits cognitifs et affectifs sévères. Les personnes autistes ont généralement de meilleures compétences pour la musique que pour d'autres activités cognitives (Heaton, Hermelin, & Pring, 1998). Inversement, des cas d'individus sans aptitudes musicales mais disposant d'une intelligence et d'un langage normaux ont été rapportés. Comme nous l'avons mentionné, ces individus sont communément appelés *tone-deaf* (Grant-Allen, 1878).

La sélectivité de ce déficit musical est remarquable. Ces individus *tone-deaf* peuvent posséder des habiletés langagières au-dessus de la moyenne et parler plusieurs langues couramment (Geschwind, 1984). Ils sont toutefois incapables de chanter, de danser ou de reconnaître la musique, malgré un entraînement formel. Cette condition est appelée

amusie congénitale (Peretz, 2001c). Leur condition, qui s'oppose au syndrome du savant musical (Miller, 1989), illustre l'isolation exceptionnelle des modules musicaux dans le cerveau en développement. La co-morbidité entre les troubles musicaux et d'autres déficits semble négligeable, ce qui s'oppose à l'idée selon laquelle *tous* les composants du traitement musical résulteraient des habiletés cognitives générales ou du langage.

La meilleure preuve de l'autonomie du traitement de la musique provient de l'étude des effets des lésions cérébrales chez l'adulte. Les habiletés musicales peuvent être atteintes de manière sélective par une lésion cérébrale alors que le reste du système cognitif est intact (e.g. Steinke et al., 1997). Ces patients ne sont plus capables de reconnaître, sans les paroles, des mélodies qui leur étaient extrêmement familières avant l'accident cérébral. Pourtant, leur performance est normale lorsqu'il s'agit de reconnaître les paroles de ces mêmes chansons (et le langage en général), les voix familières et d'autres sons de l'environnement (comme des cris d'animaux, des bruits de trafic et des sons vocaux humains). Par exemple, la patiente C.N. était incapable de reconnaître les mélodies de chansons familières lorsqu'elles étaient fredonnées. Pourtant, elle pouvait reconnaître les paroles accompagnant ces mélodies (Peretz, 1996). De plus, C.N. traitait normalement l'intonation de la parole (Patel, Peretz, Tramo & Labrecque, 1998). La cooccurrence d'un déficit spécifique pour la musique avec un fonctionnement normal des autres habiletés auditives, y compris la compréhension de la parole, est cohérente avec l'idée d'une atteinte de composants de traitement à la fois nécessaires au fonctionnement de la reconnaissance musicale et spécifiques à ce domaine. Cette condition est appelée *amusie acquise* (voir Tableau 1, partie gauche).

Selon une objection typique, ce phénomène pourrait simplement être lié au fait que la plupart des individus sont des amateurs en musique, mais des experts en parole. Par conséquent, la musique serait plus vulnérable que la parole en cas de lésion cérébrale. Dans cette perspective, il n'y aurait pas de modules mais un système général de reconnaissance auditive: en cas de lésion, les habiletés « amatrices », comme la musique, seraient plus compromises que les habiletés expertes, comme la parole. Cette idée implique qu'on ne devrait jamais rencontrer de patients

cérébro-lésés avec des compétences musicales préservées et des capacités linguistiques altérées. Pourtant, de tels cas existent. Des non musiciens peuvent perdre la reconnaissance des mots parlés tout en restant capable de reconnaître la musique (voir Tableau 1, partie gauche).

La dissociation entre musique et langage a également été observée en production. Des patients cérébro-lésés peuvent perdre l'aptitude à chanter des chansons familières tout en restant capables d'en réciter les paroles et de parler avec une prosodie normale (Peretz et al., 1994). Ces déficits du chant ne sont pas limités aux amateurs : Schön et ses collaborateurs (2004) ont récemment rapporté le cas d'un chanteur d'opéra devenu incapable de chanter des intervalles de notes. Pourtant, il parlait avec une intonation et une expression correctes. La situation opposée (c'est-à-dire une altération de la parole avec une production vocale intacte) est plus commune ou, du moins, plus documentée. Les patients aphasiques peuvent conserver la capacité de chanter des airs familiers et d'apprendre de nouvelles mélodies alors qu'ils échouent à produire des mots compréhensibles, que ce soit en chantant ou en parlant (Hébert, Racette, Gagnon, & Peretz, 2003; Peretz, Gagnon, Macoir, & Hébert, 2004). Selon ces études, la production verbale des aphasiques, qu'elle soit chantée ou parlée, est prise en charge par le même système de production du langage, altéré chez ces patients (voir Tableau 1, partie droite). Cette voie langagière est distincte à la fois de la voie musicale et de la voie prosodique (toutes deux intactes). En résumé, l'autonomie du traitement de la musique et du langage s'étend à la production.

Ces cas cliniques constituent le meilleur argument en faveur de l'existence de modules musicaux. La double dissociation entre musique et parole implique l'existence de systèmes anatomiquement et fonctionnellement distincts pour ces deux habiletés, l'un des systèmes pouvant fonctionner relativement indépendamment de l'autre et être sélectivement atteint. Bien que ce postulat reste incontesté, certains sceptiques ont affirmé que l'étude de doubles dissociations n'est pas concluante. Une double dissociation peut, en effet, être simulée par un réseau artificiel construit sous forme de système unitaire. C'est-à-dire que des systèmes

Tableau 1. Etudes de cas: altérations et préservations sélectives de la reconnaissance auditive de mots, de mélodies et d'autres sons familiers (partie gauche) et de la production de notes, de mots et d'intonation linguistique (partie droite).

Publications	Domaines d'input			Publications	Domaines d'output		
	mélodies	mots	Autres sons familiers		Chant	Parole	
				notes	mots	intonation	mots
Peretz et al. (1994) C.N. et G.L.	-	+	+	-	+	(+)	+
Peretz, Belleville, & Fontaine (1997). I.R.	-	+	+	-	+	(+)	+
Griffiths et al. (1997). H.V.	-	+	+	-	+	(+)	+
Wilson & Pressing (1999). H.J.	-	+	+	-	+	(+)	+
Piccirilli, Sciarra, & Luzzi(2000). I Cas	-	+	+				
Steinke, Cuddy, & Jakobson (2001). K.B.	-	+	+				
Ayotte, Peretz, & Hyde (2002). 11 cas d'amusie congénitale.	-	+	=+ (+ VOIX)	-	+	(+)	+
Satoh et al. (1 cas 2004)	-	+	+				
Laignel-Lavastine & Alajouanine (1921). 1 cas.	+	-	+	+	-		-
Godefroy et al. (1995). 1 cas, en récupération.	+	-	+	+	-		-
Mendez (2001). N.S.	+	-	+	+	-		-
Metz-Lutz & Dahl (1984). G.L.	+	-	-				
Takahashi et al. (1992). 1 cas.	+	-	-				
Yaqub et al. (1988). 1 cas.	+	-	-				

+ : préservé; - : altéré; (+) préservé mais non testé formellement

Table 1. Case reports of selective impairment and selective sparing in the auditory recognition of words, tunes, and other meaningful sounds (left panel) and in the production of notes, words, and intonation (right panel)

connexionnistes lésés sont capables de générer des doubles dissociations en l'absence de séparation claire entre fonctions ou modules (e.g., Plaut, 1995). Toutefois, il n'existe pas encore d'explication unitaire plausible pour rendre compte du patron d'altération et de préservation sélective des habiletés musicales rapporté ici. Dès lors, l'existence d'au moins un module de traitement distinct pour la musique demeure l'hypothèse la plus plausible.

Ce module de traitement spécifique à la musique pourrait-il être l'*encodage tonal de la hauteur* ? Il n'est pas nécessaire que tous les composants qui contribuent aux compétences musicales soient spécialisés pour la musique. L'atteinte ou l'absence d'un seul composant critique pourrait rendre compte de toutes les manifestations de spécificité musicale présentées jusqu'ici. De plus, les sujets amusiques que nous avons étudiés semblent tous souffrir d'un dysfonctionnement à ce niveau (Ayotte, Peretz, & Hyde, 2002). Tous les individus atteints d'amusie congénitale échouent lorsqu'il s'agit de détecter une fausse note insérée dans une mélodie tonale. La difficulté à détecter des changements de hauteur empêche également ces personnes de percevoir la dissonance (Ayotte et al., 2002; Peretz et al., 2001). De plus, les patients amusiques suite à une lésion cérébrale (voir Tableau 1) ont un déficit systématique pour traiter la mélodie, et non le rythme. Cependant, l'origine de ce déficit n'est pas obligatoirement un trouble de l'*encodage tonal de la hauteur*. Le déficit d'*encodage tonal de la hauteur* pourrait être la conséquence d'un problème de plus bas niveau, qui concerne l'analyse fine de la hauteur (Hyde & Peretz, 2004) ou l'extraction des contours tonaux (Foxton, Dean, Gee, Peretz, & Griffiths, 2004).

En principe, un trouble du traitement rythmique devrait également avoir un impact négatif sur les activités musicales, car le rythme constitue l'essence même de la musique. Des troubles du rythme peuvent se manifester indépendamment des troubles de la hauteur (Di Pietro et al., 2004), ce qui constitue un argument supplémentaire pour la séparabilité fonctionnelle des traitements musicaux basés sur le rythme de ceux basés sur la hauteur. La science doit encore déterminer à quel point ces troubles du

rythme affectent les habiletés musicales de manière exclusive.

En somme, les données actuelles indiquent que les compétences musicales résulteraient d'une confédération de modules fonctionnellement isolables. Jusqu'à présent, néanmoins, seules les habiletés liées au traitement fin de la hauteur apparaissent comme uniquement impliquées dans la musique. De nombreux autres modules potentiellement spécifiques à la musique restent à explorer (voir Peretz & Coltheart, 2003). Quoi qu'il en soit, les arguments actuels (essentiellement basés sur des traitements liés à la hauteur) s'opposent clairement à l'optique selon laquelle les compétences musicales émergeraient de procédures à vocation générale.

4.2. Caractère inné

L'entraînement, aussi intensif soit-il, ne suffit pas à faire de quelqu'un un musicien de génie. Pour devenir Mozart, il faut être né ainsi. Mais que signifie « être né Mozart » (Arshavsky, 2003)? Le caractère inné des capacités musicales semble une évidence, au moins pour les profanes. Comme nous l'avons mentionné, la spécificité à un domaine n'implique pas que les compétences musicales soient codées dans le génome. Ainsi, l'apprentissage de la lecture dans un système alphabétique recrute des mécanismes spécialisés de reconnaissance des mots situés dans les aires temporales inférieures gauches. Il est toutefois peu probable qu'un module de la lecture soit codé dans le génome humain. La lecture, invention récente, n'est pas universelle dans les cultures humaines. Au contraire, la musique possède toutes les propriétés qui font de son origine innée une question de recherche légitime. Examinons donc ce que nous savons (ou ne savons pas encore) des aspects génétiques sous-tendant le comportement musical.

La motivation pour l'étude de ces questions génétiques vient de la découverte récente d'un gène associé à la parole, le gène FOXP2. Ce gène a été mis en évidence lors de l'étude de la famille KE, dont les membres présentent des troubles du langage. Sur trois générations de la famille KE, la moitié des membres souffrent d'un trouble de la parole et du langage (Hurst, Baraister, Auger, Graham, & Norell, 1990). Environ la moitié des enfants des individus atteints présentent le trouble, alors qu'aucun enfant des individus non atteints n'en souffre. Ce pedigree suggère que le prob-

lème linguistique est lié à une mutation sur un chromosome dominant. Son site a été associé à un petit segment du chromosome 7 (Fisher, Vargha-Khadem, Watkins, Monaco, & Pembrey, 1998; Hurst et al., 1990). La découverte, par hasard, d'une personne étrangère à cette famille mais présentant le même trouble langagier, a permis d'identifier le gène spécifique appelé FOXP2 (Lai, Fisher, Hurst, Vargha-Khadem, & Monaco, 2001). Ce gène semble perturber le développement des circuits cérébraux qui sous-tendent le langage et la parole (Marcus & Fisher, 2003).

Le trouble de la famille KE n'est, toutefois, pas spécifique au langage. Il affecte également les mouvements de la bouche. On peut dès lors se demander si la mutation du gène FOXP2 altère d'autres habiletés vocales, comme le chant. C'est le cas : Alcock et ses collaborateurs (2000) ont évalué neuf membres affectés de la famille KE dans des situations musicales. Ils ont mis en évidence un déficit de production (et de perception) du rythme alors que ces sujets avaient une performance similaire à celle de participants contrôle pour la production (et la perception) de mélodies, basée sur la hauteur. Le gène FOXP2 semble donc contribuer à d'autres fonctions que la parole, comme le rythme. Il est tentant d'affirmer qu'une mutation du gène FOXP2 compromet une fonction commune à la parole et au rythme, comme le traitement temporel séquentiel. Par contre, les habiletés musicales basées sur la hauteur semblent déterminées par des facteurs génétiques distincts.

Comme déjà mentionné, le patron opposé – rythme préservé avec hauteur altérée – caractérise les personnes atteintes d'amusie congénitale (par exemple, Ayotte et al., 2002). Ces individus présentent des déficits dans toutes les tâches qui exigent une organisation séquentielle des hauteurs, mais elles n'ont pas nécessairement de trouble du traitement temporel (Hyde & Peretz, 2004). Le trouble du traitement de la hauteur est saillant lorsque les amusiques doivent détecter une fausse note dans une mélodie conventionnelle (Ayotte et al., 2002; Hyde & Peretz, 2005). Un échec dans cette tâche est, d'ailleurs, un critère diagnostique de l'amusie. Ce trouble du traitement de la hauteur musicale pourrait avoir une origine familiale. Comme indiqué dans la Figure 2, tous nos sujets amusiques possèdent au moins un parent au premier degré avec un trouble similaire, tandis qu'un seul membre des familles contrôles testées jusqu'ici présente le même trouble. La distribution du trouble de traitement de la hauteur

Figure 2. Les amusiques et leurs parents au premier degré avaient une performance significativement altérée dans la détection de notes anormales dans des mélodies, par rapport à leurs contrôles appariés (voir graphique de gauche). Au contraire, tous les sujets avaient une performance similaire dans la détection de délais temporels insérés dans les mêmes mélodies, comme suggéré par l'interaction significative entre le Groupe et la Condition ($F(2, 38) = 9.40, p < .001$). Comme on peut le voir dans l'arbre généalogique des trois sujets amusiques représentatifs (en haut) et des familles de trois sujets contrôles représentatifs (en bas), le trouble du traitement de la hauteur musicale est distribué dans les familles; un trouble de traitement de la hauteur correspond à score inférieur de plus de 2 écarts-types à la moyenne du groupe contrôle. De plus, tous les membres de la famille ne sont pas affectés, ce qui suggère que les facteurs environnementaux ne sont pas une cause plausible de ce trouble.

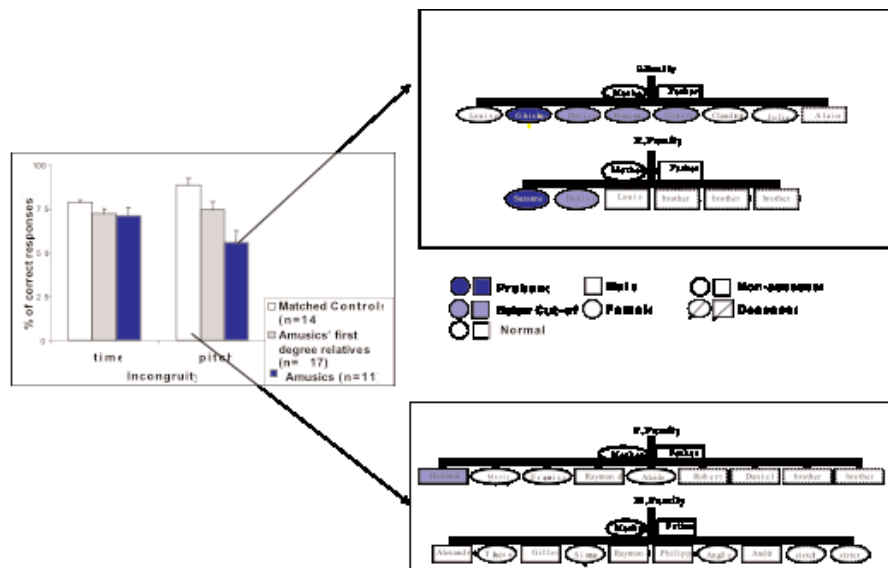


Figure 2. Amusics and their first degree relatives were significantly impaired in the detection of a pitch anomaly in melodies as compared to their matched controls (see left graph). In contrast, all subjects performed similarly in the detection of time delays inserted in the same melodies. This pattern is supported by a significant interaction between Group and Condition ($F(2, 69) = 20.45, p < .001$). As can be seen in the pedigree of three representative amusic (proband) families (top) and two representative control families (bottom), the presence of a musical pitch disorder runs in families; a pitch deficit corresponds to a score that lies 2 SD below the mean of the control group (below cut-off). Moreover, not all family members are affected, discarding an environmental factor as a plausible cause.

musicale dans les familles des amusiques est susceptible d'apporter des informations importantes quant aux origines génétiques du déficit. Deuxièmement, il a été démontré que le test diagnostique de l'amusie congénitale (le test de détection de fausse note) évalue une habileté transmise génétiquement (Drayna et al., 2001). L'ensemble des données disponibles soutient donc l'idée que deux facteurs innés guident l'acquisition de la capacité musicale, l'un étant lié au traitement de séquences temporelles, et l'autre au traitement de séquences de hauteur.

Soulignons toutefois que les études de jumeaux et de familles apportent une estimation de l'héritabilité, mais ne révèlent pas l'étiologie génétique du trouble. Ces tests nous informent sur l'existence d'une corrélation entre les gènes et le score au test musical, mais rien ne prouve qu'il s'agit d'une relation causale. La performance au test de détection de notes anormales pourrait être héritée en l'absence d'étiologie génétique *spécifique*. Premièrement, les habiletés de discrimination fine des hauteurs recrutées par ce test pourraient ne pas être spécifiques à la musique. Par exemple, le trouble de traitement de la hauteur pourrait être dû à une légère rigidité de la membrane basilaire (la partie de l'oreille qui transforme les vibrations physiques en activité électrique). Dans ce cas, la cause génétique pourrait altérer l'élasticité des cellules et non la capacité musicale elle-même. Malgré tout, il reste intéressant d'expliquer le trouble en termes d'un gène « d'élasticité » muté: cette explication fournit un point d'entrée dans la compréhension des facteurs génétiques qui contribuent à la capacité musicale et non à la parole. En effet, les individus atteints d'amusie congénitale identifiés jusqu'à présent ne présentent pas de trouble de la parole.

En résumé, c'est une gageure de trouver le ou les gène(s) particulier(s) pour un trait comportemental. Tous les traits humains (y compris la lecture) sont influencés par des facteurs génétiques. La question n'est donc pas de savoir si un comportement est influencé par des caractéristiques génétiques, mais plutôt de savoir comment les gènes agissent pour modifier ce comportement (Bouchard, 2004). Le prochain défi sera donc de décrire les mécanismes moléculaires spécifiques qui expliquent comment les gènes interagissent avec l'environnement pour produire les com-

pétences musicales. Les premiers pas dans cette direction ont été effectués avec succès pour le gène FOXP2 lié à la parole. La découverte de l'origine de la capacité musicale semble donc, elle aussi, à notre portée.

Prédispositions pour la musique

Les individus neurologiquement intacts naissent généralement avec de bonnes capacités musicales. Avant l'âge d'un an, le bébé présente des habiletés musicales remarquables et similaires en plusieurs aspects à celles des adultes (Trehub, 2001). Comme les auditeurs adultes, les bébés sont sensibles aux gammes musicales et à la régularité temporelle. Ainsi, les bébés de six à neuf mois traitent mieux les intervalles consonants que les intervalles dissonants (Schellenberg & Trehub, 1996) et manifestent une sensibilité accrue aux gammes musicales composées d'intervalles inégaux entre les notes (Trehub, Schellenberg, & Kamenetsky, 1999). Cette sensibilité ne semble pas émerger de l'exposition à la musique ambiante car le même biais a été observé pour des gammes inventées, pour autant qu'elles présentent des écarts inégaux. Les bébés sont donc équipés d'un système perceptif permettant d'assimiler les gammes de n'importe quelle culture musicale. Sur le plan temporel, les bébés préfèrent la musique dont les pulsations temporelles sont isochrones (Demany, McKenzie, & Vurpillot, 1977). Les nourrissons sont également sensibles à la régularité de la musique et à la mesure (Drake, 1998). Le fait que toutes ces habiletés perceptives apparaissent précocement, sans fonction évidente pour le langage, suggère l'existence d'une prédisposition innée pour la musique (Trehub, 2001).

Cependant, ces habiletés précoces pourraient simplement être le résultat de la formidable plasticité du cerveau du bébé. Les interactions avec l'environnement peuvent modeler les circuits cérébraux bien après la naissance (Johnson, 2001). Une démonstration frappante de cette plasticité est le fait que les aveugles congénitaux utilisent leur cortex visuel pour la localisation auditive (Röder et al., 1999). En outre, cette réorganisation de l'audition dans les aires visuelles est peu coûteuse : les aveugles congénitaux ont une meilleure acuité auditive que les voyants à la

fois pour le traitement de la hauteur et pour celui du temps (Gougoux et al., 2004). La simple exposition à la musique pourrait donc créer des connexions et des réseaux adaptés à son traitement sans que des mécanismes génétiques ne soient nécessaires.

Il est plausible que cette plasticité cérébrale intervienne pour la musique. En effet, la musique est très importante pour les bébés. Dès la naissance de leur enfant, les parents du monde entier utilisent intuitivement le chant pour réguler son état, pour le réconforter, pour attirer son attention et pour partager des émotions. Les adultes s'adaptent aux compétences et aux préférences des bébés en chantant plus lentement, avec une voix plus aiguë, avec un rythme exagéré, et d'une façon plus aimante ou engagée émotionnellement lorsqu'ils s'adressent à un enfant que lorsqu'ils chantent seuls (Trainor, Clark, Huntley, & Adams, 1997). La réceptivité à ce chant destiné aux enfants semble innée. Dès l'âge de deux jours, des nouveau-nés entendants de parents sourds congénitaux (qui s'expriment en langue des signes et ne parlent pas) préfèrent le chant destiné aux enfants à celui destiné aux adultes (Masataka, 1999).

Lorsqu'ils parlent aux enfants, les adultes utilisent aussi un langage chantant appelé le « *baby-talk* » ou « *motherese* ». Toutefois, les bébés semblent préférer le chant (destiné aux enfants) au *baby-talk*. Nakata et Trehub (2004) ont exposé des nourrissons de 6 mois à des enregistrements vidéo de leur propre mère en train de parler ou de chanter à leur intention. Les bébés avaient une attention plus soutenue quand leur mère chantait que quand elle parlait. La force de la communication émotionnelle par le chant sur les bébés (et même sur des nouveaux-nés entendants de parents sourds) suggère l'existence d'une prédisposition biologique.

Comme Trehub et Hannon (2006) l'ont proposé, la propension à écouter de la musique pourrait être innée. En revanche, les habiletés musicales ne le sont pas nécessairement. Il pourrait y avoir deux systèmes, dont l'un serait inné, avec pour fonction d'attirer l'attention des enfants vers la musique – un « système de détection » de la musique. L'autre pourrait être un système général qui acquiert les règles musicales par l'ap-

prentissage et l'expérience. Ce type de double système a déjà été proposé pour les visages (Morton & Johnson, 1991). Si c'est le cas, les compétences musicales des tout-petits seraient issues d'une tendance plus fondamentale du cerveau à extraire les régularités de l'environnement. En effet, les bébés ont des capacités d'apprentissage statistique très efficaces. Sept minutes d'exposition à des notes aux probabilités d'apparition variables suffisent à des bébés de huit mois pour en découvrir la structure (Saffran, Johnson, Aslin, & Newport, 1999). Les bébés peuvent donc tirer parti des régularités statistiques de leur environnement auditif avec relativement peu d'effort.

L'acquisition des connaissances musicales pourrait être guidée par ce type de mécanismes généraux. La spécialisation fonctionnelle des circuits neuronaux permettant le traitement de la musique émergerait plus tard, suite au raffinement des mécanismes généraux par l'exposition répétée à la musique.

Comme le notent Trehub and Hannon (2006), ces mécanismes généraux ne peuvent toutefois pas expliquer la préférence universelle pour les intervalles consonants. Les octaves, les quintes justes et les gammes logarithmiques ont joué un rôle fondamental dans les systèmes musicaux de toutes les cultures et de toutes les époques. Une approche basée sur l'apprentissage ne suffit pas à expliquer ces invariances inter-culturelles (Saffran, 2003). Les intervalles consonants ne sont pas plus faciles à chanter: ils sont généralement plus grands que les intervalles dissonants, qui devraient donc nécessiter moins d'effort vocal. L'autre difficulté d'une approche basée sur des apprentissages généraux est la définition de ce qui doit être appris. Comment l'algorithme sait-il sur quelles unités d'information effectuer les analyses statistiques? L'identification de ces unités, comme les échelons de la gamme (la « phonologie » de la musique), devrait être pré-déterminée. La plasticité serait donc limitée à ce niveau: tous les sous-ensembles de notes ou toutes les structures ne seraient pas propices à l'apprentissage.

En résumé, il y a de bonnes raisons de penser que les bébés humains sont bien équipés pour apprendre les régularités musicales de leur

environnement. Il reste à déterminer à quel point cet apprentissage est contraint par des facteurs innés qui favoriseraient les intervalles inégaux de la gamme et l'isochronie du rythme. Il est clair, par contre, que nous avons un attrait inné pour la musique.

Un trait humain

Des caractéristiques spécifiques aux humains peuvent néanmoins se rattacher à des précurseurs biologiquement anciens. Ces précurseurs peuvent être révélés par des études comparatives (à savoir avec l'animal; Hauser & McDermott, 2003). Toutefois, la recherche sur les origines animales du comportement musical en est à ses balbutiements (Wallin et al., 2000; Fitch, 2006; McDermott & Hauser, 2004) et il est difficile de distinguer les précurseurs de la musique de ceux du langage. Alors que les humains possèdent le langage et la musique, les animaux pourraient ne disposer que d'un seul mode de communication auditivo-vocale. Les données les plus intéressantes proviennent donc d'études qui comparent directement les capacités d'apprentissage et de traitement de primates avec celles d'humains, qu'il s'agisse d'adultes ou d'enfants. Par exemple, la comparaison de bébés humains de 8 mois (Saffran, Aslin, & Newport, 1996) et de singes tamarins à tête blanche (Hauser, Newport, & Aslin, 2001) dans une tâche d'apprentissage de langage artificiel avec la méthode de *preferential head turning* indique que les deux espèces sont capables d'apprentissages statistiques de base. De même, Ramus et ses collaborateurs (2000) ont conduit des expériences parallèles avec des nouveaux-nés humains et des tamarins à tête blanche au moyen d'une procédure d'habituation-déshabituaiton. Ils ont montré que les nouveaux-nés humains et les tamarins sont capables de discriminer des phrases du Néerlandais et du Japonais, sauf si ces phrases sont jouées à l'envers. Ces résultats indiquent que l'adaptation des nouveaux-nés humains à certaines propriétés de la parole repose sur des traitements généraux du système auditif des primates. Il serait intéressant d'exploiter de telles situations de comparaison avec de la musique. Ces travaux pourraient nous permettre de préciser si la capacité musicale dépend de mécanismes uniques ou

si ces mécanismes sont partagés avec d'autres espèces.

4.3. Localisation cérébrale

La spécificité à un domaine (ou la modularité) est fréquemment confondue avec la notion de localisation. Cette confusion repose sur l'idée qu'un mécanisme à vocation précise doit être confiné à un réseau neuronal focalisé, par opposition à un réseau neuronal largement distribué. Or, la spécificité à un domaine et la localisation cérébrale sont des questions distinctes. La localisation cérébrale des fonctions est extrêmement complexe. Même dans le cas des modules les mieux connus, comme les modules du langage, il n'y a pas de correspondance claire au niveau neuronal (Hickok & Poeppel, 2004). De plus, même si l'esprit humain ne possédait qu'un seul module pour la musique, ce module pourrait ne pas être isolable sur le plan neuroanatomique. Le substrat neuronal du module musical pourrait être entremêlé avec les réseaux destinés au traitement d'autres patrons complexes, comme l'intonation de la parole.

Toutefois, nous savons que les modules pour la musique peuvent être isolables neuroanatomiquement. Si ce n'était pas le cas, des lésions cérébrales ne pourraient affecter spécifiquement les habiletés musicales sans atteindre d'autres aspects de la cognition. Donc, les modules musicaux semblent posséder la propriété de séparabilité (Peretz & Coltheart, 2003). En outre, comme nous l'avons déjà évoqué, il existe des données indiquant que le traitement de la musique repose sur au moins un module, spécifique à ce domaine et séparable au niveau neuronal. Le meilleur candidat jusqu'à présent est le système qui encode la hauteur de façon tonale ou musicale (c.-à-d. *l'encodage tonal de la hauteur*). Les recherches actuelles suggèrent que les aires cérébrales frontales inférieures sont impliquées de manière critique dans ce traitement (Tillmann et al., 2003; Koelsch et al., 2002; Hyde et al., 2006). Cependant, cette localisation correspond surtout au traitement de la structure harmonique, une élaboration de la hauteur spécifique à une culture et relativement récente dans l'histoire de la musique. De plus, *l'encodage tonal de la hauteur* recrute probablement un vaste réseau, car ce traitement im-

plique une cascade de mécanismes. Par exemple, Jackendoff & Lerdahl (2006) distinguent trois formes différentes d'élaboration des hiérarchies de hauteur en contexte musical, sur base de différents principes concernant l'espace des hauteurs, la réduction tonale et la tension / relaxation. Il ne serait donc pas surprenant de découvrir que plus d'un réseau neuronal contribue à l'interprétation musicale de la hauteur. La localisation du mécanisme essentiel qui déclenche cette cascade de traitements constituerait une percée majeure.

En principe, il est possible de localiser ces modules. Par exemple, le gyrus fusiforme a été associé à un traitement configural fondamental pour la reconnaissance des visages (Farah, Wilson, Drain, & Tanaka, 1998) et le sulcus temporal supérieur intervient dans le traitement de la voix (Belin, 2004). Toutefois, on ne peut émettre une telle affirmation pour la musique (Peretz & Zatorre, 2005). Le traitement musical recrute un vaste réseau de régions localisées dans les deux hémisphères du cerveau, avec une tendance générale à une asymétrie droite pour les traitements basés sur la hauteur. La découverte de ce réseau largement distribué éveille de multiples questions. Premièrement, quelles régions cérébrales impliquées dans le traitement de la musique pourraient partager des composants de traitement avec d'autres fonctions, comme le langage? Deuxièmement, quelle est la constance inter-individuelle de cette organisation cérébrale? Enfin, quels sont les effets de l'entraînement musical et de la plasticité cérébrale?

L'invasion des aires du langage

La question de la spécificité de la musique et du langage a une longue histoire en neurologie (Henschen, 1924). Cette question a été récemment réévoquée suite à une étude montrant que des déviations harmoniques activent l'aire de Broca (Koelsch et al., 2002). Ces résultats suggèrent que les mécanismes responsables du traitement syntaxique sont communs à la musique et au langage (Levitin & Menon, 2003; Patel, 2003). Toutefois, cette conclusion pose plusieurs problèmes. Premièrement, il faut garder à l'esprit que l'aire de Broca est une région cérébrale

étendue pouvant facilement accueillir plus d'un réseau de traitement (Marcus, Vouloumanos, & Sag, 2003). Deuxièmement, il n'est pas évident de décider à partir de quel degré de proximité anatomique des maxima d'activation peuvent refléter la même région. Ceci, particulièrement lorsque l'activation n'est pas limitée à l'aire de Broca mais inclut les régions homologues de l'hémisphère droit (Maess, Koelsch, Gunter, & Friederici, 2001) et lorsque les domaines cognitifs (la musique et le langage) sont étudiés séparément dans des laboratoires différents.

Il est clair que de nouvelles comparaisons entre musique et langage, dans la même situation expérimentale et avec des tâches similaires appariées (ou manipulées) en termes de ressources attentionnelles (Shallice, 2003) sont nécessaires. Malgré tout, il est possible de mettre en évidence des recouvrements entre la musique et le langage. Par exemple, Koelsch et ses collègues (Koelsch et al., 2004) ont récemment montré que le traitement sémantique recrute les mêmes générateurs électriques (ceux qui sous-tendent la composante N400 des potentiels évoqués) pour la musique et pour le langage. Bien sûr, on peut toujours affirmer que le niveau de comparaison n'est pas approprié. Ainsi, le traitement sémantique est certainement limité dans la musique (Bharucha et al., 2006). Toutefois, cette recherche de points communs n'est pas arbitraire et se base sur notre connaissance de l'organisation fonctionnelle de la musique, d'une part, et du langage, d'autre part. A mesure que les tentatives de mise en évidence de séparabilité neuronale entre musique et langage échouent, nous devrions devenir de plus en plus sceptiques quant à la séparation complète de ces traitements linguistiques et musicaux.

Plasticité cérébrale

La localisation des modules musicaux essentiels n'est pas cruciale pour comprendre la nature de la musique. Par contre, cette localisation apporte des informations importantes sur les fondements biologiques de la musique. Une propriété neuronale fondamentale des fonctions biologiques est la constance inter-individuelle. C'est-à-dire qu'un réseau pré-câblé devrait présenter une localisation cérébrale relativement con-

stante. Cette prédiction n'est pas triviale dans le cas de la musique car l'expérience musicale varie beaucoup d'un individu à l'autre. En fonction du moment, de la qualité et de la quantité de l'exposition à la musique, diverses aires cérébrales pourraient être attribuées à son traitement.

Illustrons cette question avec un exemple issu d'un tout autre domaine : l'acquisition d'une seconde langue. L'apprentissage d'une deuxième langue peut avoir lieu à différents moments, avec des degrés variables. La conséquence neuronale de cette variabilité est que les aires cérébrales mobilisées par la seconde langue (L2) varient étonnamment d'un individu à l'autre (e.g., Dehaene et al., 1997). Ainsi, écouter une histoire en L2 (en anglais dans le cas de francophones) active des aires cérébrales variables. Ces aires sont généralement différentes des aires auditives impliquées dans le traitement de la langue maternelle (L1), sauf chez les traducteurs professionnels dont les deux langues activent des aires cérébrales communes dans les zones linguistiques classiques (Perani et al., 1998). Chez des bilingues qui ont appris leur deuxième langue tard dans la vie, des tâches de production de phrases dans chacune des langues parlées activent deux sous-régions non superposées de l'aire de Broca (Kim et al., 1997). Par contre, les bilingues précoces, ayant eu une pratique égale de leurs deux langues depuis la naissance, présentent un recouvrement d'activation pour L1 et L2. De manière similaire, l'on pourrait s'attendre à une grande variabilité inter-individuelle dans la représentation corticale de la musique. À l'extrême, nous pourrions prédire des différences anatomiques entre les musiciens et les non musiciens, des individus qui diffèrent de manière drastique à la fois dans l'exposition attentive à la musique et dans la pratique de celle-ci.

Même si nous avons tous, dans une certaine mesure, des activités musicales au quotidien, la plupart d'entre nous ne s'y adonne que pendant une durée limitée et y consacre peu d'efforts. En revanche, une minorité d'individus deviennent des musiciens compétents grâce à une pratique intensive depuis le plus jeune âge. Comme l'éducation musicale n'est pas uniforme ou systématique dans les programmes scolaires actuels, il y a une variabilité naturelle des compétences musicales. Or, ces compétences

pourraient modifier le fonctionnement cérébral. En d'autres termes, les musiciens sont un modèle unique pour étudier la plasticité du cerveau humain (Münste, Altenmüller, & Jäncke, 2002).

En effet, de plus en plus d'arguments suggèrent que le cerveau des musiciens est modifié par l'expérience. Il peut s'agir d'une expansion ou d'une réduction selon les stimuli et les niveaux structuraux examinés (voir Münste et al., 2002 pour une revue). Dès lors, on pourrait s'attendre à découvrir des différences de taille dans certaines régions du cerveau des musiciens par rapport à celui d'individus non entraînés. Les régions d'intérêt principales sont les aires motrices. Dans une étude influente, Elbert et ses collaborateurs (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh, & Taub, 1995) ont enregistré les champs magnétiques évoqués par des stimulations sensori-motrices chez des violonistes. Cette étude a révélé que la représentation corticale des doigts de la main gauche (la main responsable du doigté et spécialement son auriculaire) était plus grande chez les musiciens que chez les non musiciens. Dans le cas de la main droite, qui ne nécessite pas de mouvements indépendants des doigts chez les violonistes, il n'y avait pas de différence selon l'expertise musicale. Par ailleurs, plus les musiciens avaient commencé leur entraînement musical tôt, plus la réorganisation corticale de la représentation des doigts était importante. Ces effets d'entraînement ne sont pas limités au contrôle moteur. Plusieurs régions cérébrales auditives diffèrent en fonction de l'expertise musicale. Par exemple, Pantev et ses collègues (1989) ont montré, en utilisant la magnétoencéphalographie (MEG), que les réponses cérébrales à des notes de piano sont plus amples de 25% chez les musiciens que chez les non musiciens. Cet effet est plus prononcé pour les notes produites par l'instrument dont joue le musicien (Pantev, Engelien, Candia, & Elbert, 2003), ce qui implique l'existence d'une plasticité liée à la pratique. Cependant, toujours au moyen de la MEG, Schneider et ses collaborateurs (Schneider et al., 2002) ont observé que l'activité précoce évoquée par des sons purs et le volume de matière grise dans la portion antéromédiale du gyrus de Heschl étaient tous deux significativement plus grands chez des musiciens professionnels que chez des non musi-

ciens. Les sons purs n'existant pas dans l'environnement, l'exposition à ceux-ci ne peut expliquer les effets observés. Ces différences fonctionnelles et morphologiques seraient plutôt liées à l'aptitude musicale, ce qui implique l'influence de déterminants génétiques. Ces découvertes ouvrent à nouveau le débat sur l'origine des différences cérébrales entre musiciens et non musiciens : émergent-elles de prédispositions génétiques autant que de la pratique et de l'expérience ?

En améliorant notre compréhension de ce processus d'adaptation, la recherche sur les effets de l'expertise musicale permettra d'améliorer nos connaissances de la plasticité cérébrale. Elle va aussi aider à répondre à la question des localisations cérébrales constantes pour les habiletés musicales. Sur base des données passées en revue, nous pouvons émettre l'hypothèse que le système cérébral spécialisé pour le traitement de la hauteur est fixe (et probablement inné). D'autres systèmes sont peut-être plus plastiques pendant une certaine période temporelle (la période critique). Finalement, un dernier type de système pourrait conserver cette plasticité durant toute la vie. Mais il y a un coût associé à ce pré-câblage. L'existence de la *tone-deafness* est sans doute le prix à payer pour l'élaboration d'une machinerie sophistiquée vouée au traitement musical.

5. LE POUVOIR ÉMOTIONNEL DE LA MUSIQUE

Pour la plupart des gens, la musique est plus qu'un divertissement: elle peut avoir un impact profond sur les auditeurs comme sur ceux qui la pratiquent. L'émotion fait partie intégrante de l'expérience musicale. Ce pouvoir émotionnel est quelque peu mystérieux ou paradoxal à cause de la nature abstraite, non représentationnelle de la musique. Pourtant, la musique est un outil puissant de modulation des émotions et de l'humeur (Bharucha, Curtis et Baroo, 2006). Le mouvement est une composante clé des réactions émotionnelles à la musique. La musique vise généralement l'action: inciter les gens à chanter, à danser, à défiler et à combattre, ou encore à travailler et jouer ensemble. Jusqu'à présent, la

majorité des études se sont intéressées à l'appréciation de la musique plutôt qu'à son volet expressif (Gabrielson & Juslin, 2003).

Les jeunes enfants sont remarquablement compétents dans cette évaluation des émotions associées à la musique. Dès l'âge de trois ans, ils sont capables de reconnaître la joie dans la musique de leur culture, et à six ans, ils y identifient la tristesse, la peur et la colère de manière comparable aux adultes (Cunningham & Sterling, 1988; Dolgin & Adelson, 1990; Terwogt & van Grinsven, 1991). Plus spécifiquement, à partir de six ans, les enfants ont une connaissance complète des règles (mode et tempo) qui donnent à la musique son caractère joyeux ou triste. Cette habileté demeure généralement inchangée au cours de la vie (Dalla Bella, Peretz, Rousseau, & Gosselin, 2001).

Cette observation ne signifie pas que l'appréciation émotionnelle est prédéterminée. Au contraire, le jugement émotionnel est modulé par l'expérience. L'effet de simple exposition (*mere exposure effect*) sur les goûts musicaux est un phénomène bien établi. En tant qu'auditeurs, nous avons tendance à aimer ce que nous connaissons déjà (voir Borsenstein, 1989, pour une revue). Dans la musique, nous préférons la musique familière à la musique nouvelle, sans être conscients de ce biais (Peretz, Gaudreau, & Bonnel, 1998). Cet effet inconscient d'exposition préalable à la musique pourrait rendre compte d'une large palette de phénomènes, tels que la préférence pour la consonance par rapport à la dissonance (Zentner & Kagan, 1996) et l'association des modes majeur et mineur avec les émotions de joie et de tristesse (Peretz, Gagnon, & Bouchard, 1998).

Bien que modelées par les expériences individuelles, les émotions musicales sont capables d'activer le système limbique, une structure cérébrale archaïque. Blood et Zatorre (2001) ont observé des changements du flux sanguin cérébral lorsque des personnes éprouvaient des « frissons musicaux », et ce dans plusieurs régions cérébrales dont les aires dorsales moyennes, le striatum ventral (qui contient le noyau accumbens), l'insula et le cortex orbito-frontal. Certaines de ces régions sont impliquées dans la réponse à des stimuli hautement gratifiants ou importants sur le plan motivationnel, y compris la nourriture (Small, Za-

torre, Dagher, & Jones-Gotman, 2001) et les drogues (Breiter et al., 1997). Il est intéressant de souligner que cette réponse physiologique – le « frisson » – est liée à l'action des endorphines (Goldstein, 1980). Donc, dans certaines circonstances, la musique peut avoir accès à des substrats neuronaux associés à des renforcements primaires, comme la nourriture et la sexualité. Ce lien neurobiologique entre la musique et le système limbique n'est pas limité aux mécanismes hédoniques. L'amygdale, une autre région sous-corticale associée aux stimuli menaçants, peut aussi être activée par la musique (Gosselin et al., 2005). La musique semble donc aussi efficace que la nourriture, la drogue et les expressions faciales pour induire des réponses affectives traitées au niveau sous-cortical.

Les réponses émotionnelles à la musique peuvent être suscitées chez les humains aussi promptement que des *réflexes*. En effet, les émotions musicales se manifestent de manière immédiate (Peretz et al., 1998), par une évaluation automatique, et avec des changements involontaires dans les réponses physiques et comportementales. Par leur médiation limbique, leur constance et leur caractère précoce, les émotions musicales ressemblent beaucoup à celles évoquées par d'autres classes importantes de stimuli biologiques, comme les émotions faciales (Peretz, 2001c). Cette conception de la musique comme un médium émotionnel est sans doute une des meilleures explications de son omniprésence et de son utilité.

6. POURQUOI LES HUMAINS SONT-ILS MUSICAUX ?

Si la musique correspond à une pulsion qui a émergé tôt dans l'évolution humaine, qui est présente et fonctionnelle de façon précoce dans le développement humain, qui a un impact émotionnel important et qui réside, au moins en partie, dans des régions cérébrales spécialisées, la question devient « Pourquoi » ? Quelle fonction adaptative était occupée par la musique dans les activités ancestrales pour apporter à ceux qui la pratiquaient un avantage dans le contexte de la sélection naturelle ?

Deux explications évolutionnistes principales ont été apportées. Darwin (1871) lui-même a fourni l'explication initiale: la musique servirait

à attirer des partenaires sexuels. Cette idée a été remise au goût du jour par Miller (2000), qui affirme que l'envie de jouer de la musique (et de créer de l'art en général) serait une manière d'impressionner les partenaires sexuels potentiels par la qualité de son cerveau et, indirectement, celle de ses gènes. La virtuosité musicale est distribuée de manière inégale, est exigeante, difficile à simuler et extrêmement prisée. Les mâles comme les femelles pourraient utiliser cette tactique, les mâles pour impressionner leurs conquêtes et les femelles pour attirer les partenaires (pensez par exemple à Ulysse qui a dû être enchaîné pour résister au chant des sirènes).

Cependant, l'explication dominante de la valeur adaptative de la musique se situe au niveau du groupe plutôt qu'au niveau individuel: la musique contribuerait à promouvoir la cohésion groupale (Wallin, Merker & Brown, 2000). La musique est présente dans toutes sortes de rassemblements – danse, rituels religieux, cérémonies – renforçant ainsi les liens interpersonnels et l'identification avec le groupe d'appartenance. L'étape initiale de la mise en place de ces liens pourrait être le comportement vocal maternel à travers le chant et la parole expressive. Ce comportement génère une communion émotionnelle par un processus appelé *contagion émotionnelle*. La contagion émotionnelle est la tendance à imiter automatiquement et à synchroniser ses vocalisations et ses mouvements avec ceux d'une autre personne et, par conséquent, à vibrer ensemble aux mêmes émotions (Hatfield et al., 1994, p.5). Dans cette perspective, comme proposé par Blacking (1987), le pouvoir de la musique (et de la danse) tiendrait de cette capacité à faire interagir les individus ensemble. La valeur utilitaire de la danse et de la musique pourrait être d'augmenter la coopération et d'affiner les émotions et les sens. La musique engendrerait donc une plus grande conscience sensorielle et coopération sociale.

Un autre argument en faveur de la valeur adaptative de la musique pour le groupe est qu'elle possède deux caractéristiques qui affectent la contagion et la communion. Les intervalles de hauteur ou les ratios de fréquence permettent une harmonisation des voix tandis que la régularité rythmique favorise la synchronisation. Ces deux propriétés musicales sont très efficaces puisqu'elles favorisent simultanément le chant et la danse,

tout en permettant une certaine autonomie des voix et des corps (Brown, 2000). Cette caractéristique semble spécifique à la musique. Elle n'est pas partagée par la parole, qui requiert de l'individualité et une absence de simultanéité pour rester intelligible. Ces propriétés particulières sont en accord avec un critère important noté par Buss et ses collaborateurs (1998): pour qu'un système puisse être qualifié d'adaptatif, il doit avoir des caractéristiques particulières permettant d'offrir des solutions efficaces à un problème. Le problème ici est celui de créer des liens, et la musique le résoudre en contribuant à dépasser l'individualité au bénéfice du groupe.

Cette solution pourrait être le produit de la sélection naturelle. Comme Fitch (2006) le note, les similarités dans l'apprentissage de chants complexes constatées dans des lignées aussi éloignées au niveau évolutionniste que les humains, les oiseaux, les baleines et les phoques, pourraient être issues d'une évolution convergente. La nature propose des solutions similaires pour des problèmes similaires. Comme Fitch le note également, nous pourrions ne jamais être capables d'évaluer la valeur adaptative de la musique³. La plupart de ces hypothèses sur les fonctions ancestrales de la musique sont impossibles à tester. Seules les questions sur son utilité actuelle peuvent être abordées avec succès (voir Fitch, 2006, pour quelques idées prometteuses). Toutefois, les questions évolutionnistes ne sont pas stériles : elles peuvent apporter de nouvelles pistes de recherche. Par exemple, Mithen (2005) propose que la hauteur ait pu précéder le ry-

³ Une possibilité qui ne peut être ignorée serait que la musique n'ait pas de fonction adaptative. Gould et Lewontin (1979) ont affirmé que beaucoup d'habiletés cognitives uniques ne sont pas directement sélectionnées mais seraient les conséquences d'autres forces de sélection. Inné ne signifie pas adaptatif. La musique pourrait être transmise de manière innée par accident, ou par une association aléatoire avec un trait adaptatif. Il est important de garder ce point à l'esprit parce que les « sous-produits » sont moins informatifs en tant qu'objet d'étude que les adaptations. Parce que des habiletés non-adaptatives sont les conséquences et non les causes de l'organisation du système, leur fonctionnement pourrait être plus arbitraire et, de ce fait, varier largement selon les individus. Si un système est adaptatif, il doit être universel. Il doit aussi se développer de manière fiable, être bien conçu, et avoir une structure qui favorise la reproduction. Bien que les données disponibles à ce jour soient compatibles avec la fonction adaptative de la musique, elles ne sont pas convaincantes. Il faut disposer de beaucoup plus de données pour pouvoir tirer des conclusions. Notez que la musique n'est pas spéciale de ce point de vue. Les origines et l'évolution des capacités langagières sont controversées et constituent une question de recherche relativement récente (Christiansen & Kirby, 2003). Bien qu'il semble y avoir un consensus pour dire qu'une certaine pré-adaptation a eu lieu dans la lignée humaine avant l'émergence du langage, la nature de cette pré-adaptation est matière à débat. Une récente proposition, appuyée par Chom

thme dans l'évolution, et que la hauteur et le rythme puissent posséder des forces évolutionnistes indépendantes. Avoir le ton juste pourrait contribuer à la sélection sexuelle, et le sens du rythme à la cohésion du groupe. Après tout, nous disposons d'arguments pour considérer que la hauteur et le temps sont indépendants, bien qu'interactifs, dans le traitement de la musique.

En conclusion,

Bien que beaucoup de questions sur la musique et le traitement musical restent non résolues, des données scientifiques suggèrent que les habiletés musicales dépendent, en partie, de traitements cérébraux spécialisés reposant sur des prédispositions musicales. Ceci suggère qu'il y aurait une prédisposition initiale pour la musique. La plupart des arguments présentés ici sont dirigés contre une approche exclusivement culturelle de la musique. L'objectif de ce texte est de montrer que de telles affirmations sont discutables. Nous soutenons plutôt l'idée que la musique est une fonction autonome, contrainte de manière innée et faite de modules multiples qui ont un recouvrement minimal avec d'autres fonctions (comme le langage).

Les applications ce type de recherche et de questionnement, ainsi que l'effervescence actuelle dans ce domaine, ne devraient pas être ignorées. Les questions sur la *nature de la musique* ont des implications sur la manière dont les parents élèvent leur enfants, sur la manière dont les enseignants transmettent leur savoir, et sur la manière dont les cliniciens effectuent leur diagnostic et traitent leurs patients. L'étude des bénéfices potentiels de la musique pourrait aussi avoir des conséquences sociales et financières importantes. Bien que beaucoup de travail reste encore à faire, il n'est pas prématuré de discuter de ces questions: c'est le bon moment,

sky, est que l'habileté d'apprentissage hiérarchique de séquences (Hauser, Chomsky & Fitch, 2002) serait nécessaire à l'émergence du langage. Selon une autre proposition influente, le langage trouverait son origine dans les gestes manuels plutôt que dans les cris des primates (Corballis, 2004). Il y a donc des raisons de penser que les questions liées à l'évolution du langage vont bénéficier des progrès sur les origines de la musique. Pour le moment, l'avancée des connaissances sur l'évolution de la musique se trouve loin derrière celles sur le langage, mais peut-être plus pour longtemps (Balter, 2004).

au contraire. Il n'est pas possible d'améliorer la manière dont le cerveau humain est construit, mais il est possible de mieux comprendre son fonctionnement afin d'adapter les méthodes d'enseignement et les pratiques musicales à notre biologie et à nos limites. Le rôle des universités, et des sciences en général, est de prendre conscience de ces implications. Nous avons toutes les raisons d'accueillir positivement l'avancée des connaissances sur les fondements biologiques du comportement musical, à condition de faire preuve de prudence dans l'interprétation des données obtenues.

ABSTRACT

The nature of music from a biological perspective

Music, as language, is a universal human trait. Throughout human history and across all cultures, people have produced and enjoyed music. Despite its ubiquity, the musical capacity is rarely studied as a biological function. Music is typically viewed as a cultural invention. In this paper, the evidence bearing on the biological perspective of the musical capacity is reviewed. Related issues, such as domain-specificity, innateness and brain localization, are addressed in an attempt to offer a unified conceptual basis for the study of music processing. This scheme should facilitate the study of the biological foundations of music by bringing together the fields of genetics, developmental and comparative research, neurosciences, and musicology.

Note des auteurs

Cet article est la traduction d'un article original paru en anglais dans la revue *Cognition*, 100 (2), pp.1-32, juin 2006. Isabelle Peretz était éditrice invitée de ce numéro spécial intitulé *The Nature of Music*. Nous remercions les éditions Elsevier d'avoir autorisé la publication de cette adaptation française. Ce travail a bénéficié de nombreuses discussions et correspondances avec des collègues et étudiants, incluant notamment Lola Cuddy, Simone Dalla Bella, Jay Dowling, Mari Riess Jones, Régine Kolinsky, José Morais, Caroline Palmer, Jenny Saffran, John Sloboda and Sandra Trehub. Les travaux d'Isabelle Peretz sont soutenus par des financements du Conseil de Recherche en Sciences Naturelles et Génie du Canada, des Instituts de Recherche en Santé du Canada, et du Human Frontier Science Program. Les travaux de Pascale Lidji sont financés par une bourse de doctorat Mini-ARC (U.L.B.) et par le Human Frontier of Science Program

RÉFÉRENCES

- Alcock, K. J., Passingham, R. E., Watkins, A. J., & Vargha-Khadem, F. (2000). Pitch and timing abilities in inherited speech and language impairment. *Brain and Language*, *75*, 34-46.
- Arshavsky, Y. (2003). When did Mozart become Mozart? Neurophysiological insight into behavioural genetics. *Brain and Mind*, *4*, 327-339.
- Arom, S. (2000). Prolegomena to a biomusicology. In N. Wallin, Merker, B., Brown, S., (Ed.), *The origins of music* (pp. 27-30). Cambridge: A Bradford book. The MIT press.
- Ayotte, J., Peretz, I., & Hyde, K. (2002). Congenital amusia : A group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, *125*, 238-251.
- Balter, M. (2004). Seeking the Key to Music. *Science*, *306*, 1120-1122.
- Balzano, G. (1982). The pitch set as a level of description for studying musical pitch perception. In M. Clynes (Ed.), *Music, Mind and Brain* (pp. 321-351). New York: Plenum Press.
- Belin, P., Fecteau, S., & Bédard, C. (2004). Thinking the voice: neural correlates of voice perception. *Cognitive Science*, *8*(3), 129-136.
- Bergeson, T. R., & Trehub, S. E. (2002). Absolute pitch and tempo in mother's sons to infants. *Psychological Science*, *13*(1), 72-75.
- Bharucha, J.J., Curtis, M., & Paroo, K. (2006). Varieties of musical experience. *Cognition*, *100* (1), 131-172.
- Bigand, E. (1990). Abstraction of two forms of underlying structure in a tonal melody. *Psychology of Music*, *18*, 45-60.
- Bigand, E., & Poulin-Charonnat, B. (2006) Are we "experienced listeners"? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training. *Cognition*, *100* (1), 100-130.
- Bigand, E., Vieillard, S., Madurell, F., & Marouzeau, J. (2005). Multidimensional scaling of emotional responses to music: The effects of musical expertise and excerpts' duration. *Cognition & Emotion*, *19* (8), 1113-1139.
- Blacking, J. (1987) *A common sense view of all music*. New York: Cambridge University Press.
- Blacking, J. (1990). Transcultural communication and the biological foundations of music. In R. Pozzi (Ed.), *La musica come linguaggio universale genesi e stria di un "idea"* (pp. 179-188): Universals.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlates with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, *98*, 11818-11823.
- Bornstein, R. F. (1989). Exposure and affect: Overview and meta-analysis of research, 1968-1987. *Psychological Bulletin*, *106*(2), 265-289.
- Bouchard, T. J. (2004). Genetic Influence on Human Psychological Traits. *Current Directions in Psychological Science*, *13* (4), 148-151.
- Bregman, A. (1990). *Auditory scene analysis. The perceptual organization of sound*. London: MIT press.
- Breiter, H. C., Gollub, R. L., Weisskoff, R. M., Kennedy, D., Makris, N., Berke, J., et al. (1997). Acute effects of cocaine on human brain activity. *Neuron*, *19*, 591-611.
- Brown, S. (2000). "The musilanguage" model of music evolution. In N. Wallin, Merker, B., Brown, S., (Ed.), *The origins of music* (pp. 271-300). Cambridge: A Bradford book. The

- MIT press.
- Buss, D., Haselton, M., Shackelford, T., Bleske, A., & Wakefield, J. (1998) Adaptations, exaptations, and sprandels. *American Psychologist*, 53, 533-548.
- Carterette, E. C., & Kendall, R. A. (1999). Comparative music perception and cognition. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (2nd edition ed., pp. 725-791). San Diego: Academic Press.
- Christiansen, M. H., & Kirby, S. (2003). Language evolution: consensus and controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(7), 300-307.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M.-A., et al. (2000). The visual word form area Spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123, 291-307.
- Collier, J.L. & Person, N. (1983). *Louis Armstrong: An American genius*. New York: Oxford University Press.
- Coltheart, M. (1999). Modularity and cognition. *Trends in Cognitive Science*, 3(3), 115-120.
- Corballis, M. C. (2004). The Origins of Modernity: Was Autonomous Speech the Critical Factor? *Psychological Review*, 111(2), 543-552.
- Cunningham, J. G., & Sterling, R. S. (1988). Developmental change in the understanding of affective meaning in music. *Motivation and Emotion*, 12(4), 399-413.
- Dalla Bella, S., Giguère, J-F., & Peretz, I. (2007) Singing proficiency in the general population. *Journal of The Acoustical Society of America*, 121(2), 1182-1189.
- Dalla Bella, S. & Peretz, I. (2005) Differentiation of classical music requires little learning but rhythm. *Cognition*, 96, B65-B78.
- Dalla Bella, S., Peretz, I., Rousseau, L., & Gosselin, N. (2001). A developmental study of the affective value of tempo and mode in music. *Cognition*, 80(3), B1-10.
- Darwin, C. J. (1871). *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. London: John Murray.
- Dehaene, S., Dupoux, E., Mehler, J., Cohen, L., Paulesu, E., Perani, D., et al. (1997). Anatomical variability in the cortical representation of first and second language. *NeuroReport*, 8, 3809-3815.
- Demany, L., McKenzie, B., & Vurpillot, E. (1977). Rhythm perception in early infancy. *Nature*, 266(5604), 718-719.
- D'Errico, F., Henshilwood, C., Lawson, G., Vanhaeren, M., Tillier, A.-M., Soressi, M., et al. (2003). Archeological evidence for the emergence of language, symbolism, and music-an alternative multidisciplinary perspective. *Journal of World Prehistory*, 17, 1-70.
- Di Pietro, M., Laganaro, M., Leeman, B., & Schnider, A. (2004). Receptive amusia: temporal auditory processing deficit in a professional musician following a left temporo-parietal lesion. *Neuropsychologia*, 42, 868-877.
- Dolgin, K. G., & Adelson, E. H. (1990). Age changes in the ability to interpret affect in sung and instrumentally-presented melodies. *Psychology of Music*, 18, 87-98.
- Dowling, W. J. (1984). Development of musical schemata in children's spontaneous singing. In W. R. Crozier & A. J. Chapman (Eds.), *Cognitive processes in the perception of art*. Amsterdam: North Holland, pp. 145-163.
- Dowling, W. J. (1999). The development of music perception and cognition. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music*. San Diego: Academic Press, pp. 603-625.
- Dowling, W. J. (2001). Perception of music. In E. B. Goldstein (Ed.), *Blackwell handbook of*

- perception*. Oxford: Blackwell, pp. 469-498.
- Dowling, W. J., & Harwood, D. L. (1986). *Music cognition*. Orlando: Academic Press.
- Drake, C. (1998). Psychological processes involved in the temporal organization of complex auditory sequences : Universal and acquired processes. *Music Perception*, 16, 11-26.
- Drake, C., Jones, M. R. & Baruch, C. (2000) The development of rhythmic attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending. *Cognition*, 77, 251-288.
- Drayna, D., Manichaikul, A., de Lange, M., Snieder, H., & Spector, T. (2001). Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science*, 291(5510), 1969-1972.
- 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(5234), 305-307.
- Farah, M. J., Wilson, K. D., Drain, M., & Tanaka, J. N. (1998). What is "special" about face perception? *Psychological Review*, 105(3), 482-498.
- Fisher, S., E., Vargha-Khadem, F., Watkins, K. E., Monaco, A. P., & Pembrey, M. E. (1998). Localisation of a gene implicated in a severe speech and language disorder. *Nature Genetics*, 18, 168-170.
- Fitch, W. T. (2006). The biology and evolution of music: A comparative perspective. *Cognition*, 100 (1), 173-125.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, Mass.: MIT press.
- Foxton, J. M., Dean, J. L., Gee, R., Peretz, I., & Griffiths, T. D. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying 'tone deafness'. *Brain*, 127(Pt 4), 801-810.
- Gabrielson, A., & Juslin, P. (2003). Emotional expression in music. In R. J. Davidson, K. Scherer & H. H. Goldsmith (Eds.), *Handbook of affective sciences* (pp. 503-534). Oxford: Oxford University Press.
- Gauthier, I., & Curby, K. M. (2005). A Perceptual Traffic Jam on Highway N170. *Psychological Science*, 14(1), 30-32.
- Geschwind, N. (1984). The brain of a learning-disabled individual. *Annals of Dyslexia*, 34, 319-327.
- Godefroy, O., Leys, D., Furby, A., De Reuck, J., Daems, C., Rondepierre, P., et al. (1995). Psychoacoustical deficits related to bilateral subcortical hemorrhages. A case with apperceptive auditory agnosia. *Cortex*, 31(1), 149-159.
- Goldstein, A. (1980). Thrills in response to music and other stimuli. *Physiological Psychology*, 8(1), 126-129.
- Gosselin, N., Peretz, I., Noulhiane, M., Hasbound, D., Baulac, M. & Samson, S. (2005) Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. *Brain*, 128, 628-640.
- Gougoux, F., Lepore, F., Lassonde, M., Voss, P., Zatorre, R.J., & Belin, P. (2004) Pitch Discrimination in the Early Blind. *Nature*, 430, 309-310.
- Gould, S. J., & Lewontin, R. C. (1979). The spondels of san Marco and the panglossian paradigm: a critique of the adaptionist programme. *Proceedings of the Royal Society of London B*, 205, 581-598.
- Grant-Allen. (1878). Note-deafness. *Mind*, 10, 157-167.
- Griffiths, T. D., Rees, A., Witton, C., Cross, P. M., Shakir, R. A., & Green, G. G. (1997). Spatial and temporal auditory processing deficits following right hemisphere infarction. A psychophysical study. *Brain*, 120, 785-794.
- Handel, S. (1989). *Listening: An introduction to the perception of auditory events*. Cambridge,

- MA: MIT press.
- Hatfield, E., Cacioppo, J., & Rapson, R.L. (1994). *Emotional contagion*. Cambridge: Cambridge University press.
- Hauser, M., Chomsky, N., & Fitch, T. (2002). The faculty of language: what is it, who has it, and how did it evolve ? *Science*, 298, 1569-1579.
- Hauser, M., & McDermott, J. (2003). The evolution of the music faculty: a comparative perspective. *Nature Neuroscience*, 6(7), 663-668.
- Hauser, M., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (2001). Segmentation of the speech stream in a non-human primate: Statistical learning in cotton-top tamarins. *Cognition*, 78, B53-B64.
- Heaton, P., Hermelin, B., & Pring, L. (1998). Autism and pitch processing : A precursor for savant musical ability? *Music Perception*, 15(3), 291-305.
- Hébert, S., Racette, A., Gagnon, L., & Peretz, I. (2003). Revisiting the dissociation between singing and speaking in expressive aphasia. *Brain*, 126, 1838-1850.
- Henschen, S. E. (1924). On the function of the right hemisphere of the brain in relation to the left in speech, music and calculation. *Brain*, 44, 110-123.
- Hickok, G., & Poeppel, D. (2004). Dorsal and ventral streams: a framework for understanding aspects of the functional anatomy of language. *Cognition*, 92, 67-99.
- Howe, M. J. A., Davidson, J. W., & Sloboda, J. A. (1998). Innate talents: Reality or myth? *Behavioral and Brain Sciences*, 21, 399-442.
- Hurst, J. A., Baraister, M., Auger, E., Graham, F., & Norell, S. (1990). An extended family with dominantly inherited speech disorder. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 32, 352-355.
- Hyde, K. L., & Peretz, I. (2004). Brains that are out-of-tune but in-time. *Psychological Science*.
- Hyde, K., Zatorre, R., Griffiths, T.D., Lerch, J. P. & Peretz, I. (2006) Morphometry of the amusic brain: a two-site study. *Brain*, 129, 2562-2570.
- Hyde, K.L., & Peretz, I. (2005). Congenital amusia: Impaired musical pitch but intact musical time. In: Syka, J. and Merzenich, M. (Ed.) *Plasticity Of The Central Auditory System And Processing Of Complex Acoustic Signals*. London: Kluwer Plenum.
- Jackendoff, R. (1987). *Consciousness and the computational mind*. Cambridge: MIT Press.
- Jackendoff, R., & Lerdahl, F. (2006). The capacity for music: What is it, and what's special about it ? *Cognition*, 100 (1), 33-72.
- Johnson, M. H. (2001). Functional Brain Development in Humans. *Nature Review of Neuroscience*, 2, 475-483.
- Jones, M.R. (1990). Learning and the development of expectancies: An interactionist approach. *Psychomusicology*, 9, 193-228.
- Jones, M. R. (2004). Attention and Timing. In J. Neuhoff (Ed.), *Ecological Psychoacoustics*. Academic Press, San Diego, CA. 45-89.
- Juslin, P. & Sloboda, J. (2001) *Music and Emotion : Theory and Research*. Oxford University Press
- Justus, T., & Bharucha, J. (2001). Modularity in musical processing: The automaticity of harmonic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(1000-1011).
- Kalmus, H., & Fry, D. B. (1980). On tune deafness (dysmelodia): Frequency, development, genetics and musical background. *Annals of the Human Genetics*, 43, 369-382.

- Kazez, D. (1985). The myth of tone deafness. *Music Educators Journal*, 71, 46-47.
- Kim, K. H., Relkin, N. R., Lee, K. M., & Hirsch, J. (1997). Distinct cortical areas associated with native and second languages. *Nature*, 388, 171-174.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., van 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.
- Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T., & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, 7, 302-307.
- Krumhansl, C. L. (1990). *Cognitive foundations of musical pitch*. New York: Oxford University Press.
- Krumhansl, C. L., & Kessler, E. J. (1982). Tracing the dynamic changes in perceived tonal organization in a spatial representation of musical keys. *Psychol Rev*, 89(4), 334-368.
- Lai, C. S., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F., & Monaco, A. P. (2001). A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, 413, 519-523.
- Laignel-Lavastine, M., & Alajouanine, T. (1921). Un cas d'agnosie auditive. *Société de Neurologie*, 37, 194-198.
- Lerdahl, F. (1988). Cognitive constraints on compositional systems. In J. Sloboda (Ed.), *Generative processes in music: The psychology of performance, improvisation, and composition* (pp. 231-259). Oxford: Oxford University Press.
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Levitin, D. J., & Menon, V. (2003). Musical structure is processed in "language" areas of the brain: a possible role for Brodmann area 47 in temporal coherence. *NeuroImage*, 20, 2142-2152.
- Lieberman, A. M., & Whalen, D. H. (2000). On the relation of speech to language. *Trends in Cognitive Sciences*, 4(5), 187-196.
- Lomax, A. (1977). Universals in Song. *World of Music*, 19(1/2), 117-129.
- Lomax, A. (1980). Factors of Musical Style. In S. Diamond (Ed.), *Theory & Practice: Essays Presented to Gene Weltfish*. Monton: The Hague.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 4(5), 540-545.
- Marcus, G. F., & Fisher, S. E. (2003). FOXP2 in focus: what can genes tell us about speech and language? *Trends in Cognitive Sciences*, 7(6), 257-262.
- Marcus, G. F., Vouloumanos, A., & Sag, I. A. (2003). Does Broca's play by the rules? *Nature Neuroscience*, 6(7), 651-652.
- Marr, D. (1982). *Vision*: W.H. Freeman.
- Masataka, N. (1999). Preference for infant-directed singing in 2-day-old hearing infants of deaf parents. *Developmental Psychology*, 35(4), 1001-1005.
- McAuley, J.D., Jones, M.R., Holub, S., Johnson, H., Miller, N. S. (2006). The time of our lives: Lifespan development of timing and event tracking. *Journal of Experimental Psychology: General*, 135 (3), 327-347.
- McDermott, J., & Hauser, M. (2004). Are consonant intervals music to their ears? Spontaneous acoustic preferences in a nonhuman primate. *Cognition*, 94, B11-B21.

- Merriam, A. P. (1964). *The anthropology of music*. Evanston, Ill.: Northwestern University Press.
- Miller, G. (1984) Are you all unhappy at a twenty dollar bill? Text, tune and context at antique auctions. *Ethnomusicology*, 27, 187-208.
- Miller, G. (2000). Evolution of music through sexual selection. In Wallin, N., Merker, B., & Brown, S., (Eds.), *The origins of music* (pp. 329-360).
- Miller, L. (1989) *Musical savants. Exceptional skill in the mentally retarded*. Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Mithen, S. (2005) *The singing Neanderthal: The origins of music, language and body*. London: Weidenfeld & Nicolson.
- Metz-Lutz, M. N., & Dahl, E. (1984). Analysis of word comprehension in a case of pure word deafness. *Brain and Language*, 23(1), 13-25.
- Morton, J. & Johnson, M. (1991) CONSPEC and CONLERN: A two-process theory of infant face recognition. *Psychological Review*, 98(2), 164-181.
- Münste, T. F., Altenmüller, E., & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews*, 3, 473-478.
- Murayama, J., Kashiwagi, T., Kashiwagi, A., & Mimura, M. (2004). Impaired pitch production and preserved rhythm production in a right brain-damaged patient with amusia. *Brain and Cognition*, 56, 36-42.
- Nakata, T., & Trehub, S. (2004). Infants' responsiveness to maternal speech and singing. *Infant Behavior and Development*, 27, 455-464.
- Nettl, B. (1973) *Folk and traditional music of the Western continents*. Second edition. New Jersey: Prentice Hall.
- Nettl, B. (2000). An Ethnomusicologist Contemplates Universals in Musical sound and Musical Culture. In Wallin, N., Merker, B., Brown, S, (Ed.), *The Origins of Music* (pp. 463-472). London: MIT.
- North, A. C., Hargreaves, D. J., & O'Neill, S. A. (2000). The importance of music to adolescents. *British Journal of Educational Psychology*, 70(2), 255-272.
- Oram, N. & Cuddy, L. (1995) Responsiveness of Western adults to pitch-distributional information in melodic sequences. *Psychological Research*, 57, 103-118.
- Panksepp, J. (1995). The emotional sources of "chills" induced by music. *Music Perception*, 13(171-207).
- Pantev, C., Engelien, A., Candia, V., & Elbert, T. (2003). Representational cortex in musicians. In P. I. & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 382-395). Oxford: Oxford University Press.
- Pantev, C., Hoke, M., Lutkenhoner, B., & Lehnertz, K. (1989). Tonotopic organization of the auditory cortex: pitch versus frequency representation. *Science*, 246(4929), 486-488.
- Patel, A. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, 6, 674-681.
- Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., & Labrecque, R. (1998). Processing prosodic and musical patterns: A neuropsychological investigation. *Brain and Language*, 61(1), 123-144.
- Perani, D., Paulesu, E., Sebastian Galles, N., Dupoux, E., Dehaene, S., Bettinardi, V., et al. (1998). The bilingual brain proficiency and age of acquisition of the second language. *Brain*, 121, 1841-1852.
- Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral brain-dam-

- aged patients. *Brain*, 113, 1185-1205.
- Peretz, I. (1993). Auditory atonalia for melodies. *Cognitive Neuropsychology*, 10, 21-56.
- Peretz, I. (1996). Can we lose memories for music? The case of music agnosia in a nonmusical. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 8(6), 481-496.
- Peretz, I. (2001a). The biological foundations of music. In E. Dupoux (Ed.), *Language brain cognitive development : Essays in honor of Jacques Mehler*. Cambridge: MIT Press : The Bradford Book.
- Peretz, I. (2001b). Brain specialization for music. New evidence from congenital amusia. *Annals of the New York Academy of Science*, 930, 153-165.
- Peretz, I. (2001c). Listen to the brain : The biological perspective on musical emotions. In P. Juslin & J. Sloboda (Eds.), *Music and Emotion : Theory and Research* (pp. 105-134): Oxford University Press.
- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 6(7), 688-691.
- Peretz, I., Belleville, S., & Fontaine, S. (1997). Dissociations entre musique et langage après atteinte cérébrale: un nouveau cas d'amusie sans aphasie. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 51(4), 354-368.
- Peretz, I., Gagnon, L., & Bouchard, B. (1998). Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition*, 68(2), 111-141.
- Peretz, I., Gagnon, L., Macoir, J., & Hébert, S. (2004). Singing in the brain: Insights from cognitive neuropsychology. *Music Perception*, 21(3), 373-390.
- Peretz, I., Kolinsky, R., Tramo, M., Labrecque, R., Hublet, C., Demeurisse, G., et al. (1994). Functional dissociations following bilateral lesions of auditory cortex. *Brain*, 117, 1283-1301.
- Peretz, I., Gaudreau, D., & Bonnel, A.-M. (1998). Exposure effects on music preference and recognition. *Memory & Cognition*, 26(5), 884-902.
- Peretz, I., & Hyde, K. (2003). What is specific to music processing ? Insights from congenital amusia. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(8), 362-367.
- Peretz, I., & Morais, J. (1989). Music and modularity. *Contemporary Music Review*, 4, 277-291.
- Peretz, I., & Zatorre, R. (2005). Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, 56, 89-114. Peretz, I., & Zatorre, R. (2005).
- Piccirilli, M., Sciarra, T., & Luzzi, S. (2000). Modularity of music : evidence from a case of pure amusia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 69, 541-545.
- Pinker, S. (1997). *How the mind works*. New York: Norton.
- Pinker, S. (2002). *The blank slate. The modern denial of human nature*. New York: Viking.
- Plaut, D. C. (1995). Double dissociation without modularity: Evidence from connectionist neuropsychology. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17, 291-321.
- Price, C., Thierry, G., & Griffiths, T. (2005). Speech-specific auditory processing: where is it? *Trends in Cognitive Sciences*, 9(6), 271-276.
- Racette, A., Bard, C. & Peretz, I. (2006) *Making non-fluent aphasics speak: Sing along !* *Brain*, 129, 2571-2584
- Ramus, F., Hauser, M., Miller, C., Morris, D., & Mehler, J. (2000) Language Discrimination by Human Newborns and by Cotton-Top Tamarin Monkeys. *Science*, 288, 349-351.
- Röder, B., Teder-Eder-Sälejärvi, W., Sterr, A., Rösler, F., Hillyard, S. A., & Neville, H. J. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*, 400, 162-166.

- Saffran, J.R. (2001). Words in a sea of sounds: The output of infant statistical learning. *Cognition*, 81, 149-169.
- Saffran, J. R. (2003). Statistical language learnings: Mechanisms and constraints. *Current Directions in Psychological Science*, 12(4), 110-114.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, 274, 1926-1928.
- Saffran, J.R., Johnson, E. K., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1999). Statistical learning of tone sequences by human infants and adults. *Cognition*, 70, 27-52.
- Satoh, M., Takeda, K., Murakami, Y., Onouchi, K., Inoue, K., & Kuzuhara, S. (2005). A case of amusia caused by the infarction of anterior portion of bilateral temporal lobes. *Cortex*, 41, 77-83.
- Schellenberg, E. G., & Trehub, S. E. (1996). Natural musical intervals : Evidence from infant listeners. *Psychological Science*, 7(5), 272-277.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, G., Specht, H., Gutschalk, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5(7), 688-694.
- Schön, D., Lorber, B., Spacal, M., & Semenza, C. (2004). A selective deficit in the production of exact musical intervals following right-hemisphere damage. *Cognitive Neuropsychology*, 21(7), 773-784.
- Schönberg A. (1984). *Style and idea*. Berkeley: University of California Press.
- Shallice, T. (2003). Functional imaging and neuropsychology findings: How can they be linked? *NeuroImage*, 20, S146-S154.
- Shepard, R., & Jordan, D. (1984). Auditory illusions demonstrating that tones are assimilated to an internalized musical scale. *Science*, 226, 1333-1334.
- Sloboda, J.A. & O'Neill, S.A. (2001). Emotions in everyday listening to music. In P. Juslin & J. Sloboda (Eds.), *Music and Emotion : Theory and Research* (pp. 415-429): Oxford University Press
- Small, D. M., Zatorre, R., Dagher, A., & Jones-Gotman, M. (2001). Brain Activity Related to Eating Chocolate: From Pleasure to Aversion. *Brain*, 124(10), 1720-1733.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, G., Specht, H., Gutschalk, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5(7), 688-694.
- Sperber, D., & Hirschfeld, L. A. (2004). The cognitive foundations of cultural stability and diversity. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(1), 40-47.
- Steele, K. M., Dalla Bella, S., Peretz, I., Dunlop, T., Dawe, L. A., Humphrey, G. K., et al. (1999). Prelude or requiem for the 'Mozart effect'? *Nature*, 400 (6747), 827-828.
- Steinke, W., Cuddy, L. L., & Holden, R. (1997). Dissociation of musical tonality and pitch memory from nonmusical cognitive abilities. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 51, 316-335.
- Steinke, W. R., Cuddy, L. L., & Jakobson, L. S. (2001). Dissociations among functional subsystems governing melody recognition after right-hemisphere damage. *Cognitive Neuropsychology*, 18(5), 411-437.
- Takahashi, N., Kawamura, M., Shinotou, H., Hirayama, K., Kaga, K., & Shindo, M. (1992). Pure word deafness due to left hemisphere damage. *Cortex*, 28(2), 295-303.
- Terwogt, M. M., & van Grinsven, F. (1991). Musical expression of moodstates. *Psychology of*

- Music*, 19, 99-109.
- Tillmann, B., Bharucha, J. J., & Bigand, E. (2000). Implicit learning of tonality: a self-organizing approach. *Psychol Rev*, 107 (4), 885-913.
- Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research*, 16, 145-161.
- Trainor, L. J. (2005). Are there critical periods for musical development? *Developmental Psychobiology*, 46(262-278).
- Trainor, L. J., Clark, E. D., Huntley, A., & Adams, B. A. (1997). The acoustic basis of preferences for infant-directed singing. *Infant Behavior and Development*, 20, 383-396.
- Trehub, S. (2000). Human Processing Predispositions and Musical Universals. In N. Wallin, Merker, B., Brown, S. (Eds.), *The Origin of Music* (pp. 427-448). London: Massachusetts Institute of Technology.
- Trehub, S. E. (2001). Musical predispositions in infancy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 1-16.
- Trehub, S. E., & Hannon, E. E. (2006) Infant music perception: Domain-general or domain-specific mechanisms? *Cognition*, 100 (1), 73-99.
- Trehub, S. E., Schellenberg, E. G., & Kamenetsky, S. B. (1999). Infants' and adults' perception of scale structure. *Journal of Experimental Psychology : Human Perception and Performance*, 25(4), 965-975.
- Trehub, S. E., & Trainor, L. J. (1998). Singing to infants: lullabies and play songs. In C. Roove-Collier, L. Lipsitt & H. Hayne (Eds.), *Advances in infancy research* (Vol. 12, pp. 43-77). Stamford, CT: Ablex.
- Wallin, N., Merker, B., Brown, S. (Ed.). (2000). *The origins of music*. Cambridge, MA: MIT press.
- Wilson, S. J., & Pressing, J. (1999). Neuropsychological assessment and the modeling of musical deficits. In R. R. Pratt & D. Erdonmez Grocke (Eds.), *Music Medecine and music therapy: Expanding horizons*. (pp. 47-74). Melbourne: The University of Melbourne.
- Yaqub, B. A., Gascon, G. G., Al-Nosha, M., & Whitaker, H. (1988). Pure word deafness (acquired verbal auditory agnosia) in an Arabic speaking patient. *Brain*, 111 (Pt 2), 457-466.
- Zatorre, R. J., Evans, A. C., & Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *Journal of Neurosciences*, 14(4), 1908-1919.
- Zatorre, R., & Peretz, I. (2001). *The biological foundations of music* (Vol. 930). New York: Annals of the New York Academy of Sciences.
- Zentner, M. R., & Kagan, J. (1996). Perception of music by infants. *Nature*, 383(6595), 29.