

L'oreille musicale experte peut-elle se développer par l'écoute passive de la musique ?

Emmanuel Bigand

Résumé

Un apprentissage explicite de la musique constitue-t-il une condition indispensable pour développer une « oreille musicale experte » ? Dans quelle mesure l'apprentissage d'un instrument de musique peut-il modifier la façon dont on perçoit les structures musicales ? En m'appuyant sur des données récentes de travaux expérimentaux portant sur différents aspects de la perception musicale, je montrerai que des auditeurs sans formation musicale (« non musiciens ») entendent la musique de façon similaire à des auditeurs achevant leurs études au conservatoire. Ces résultats soulignent que des apprentissages implicites opèrent massivement lors de l'écoute « passive » de la musique. Ces apprentissages permettent aux « non musiciens » de développer une réelle expertise dans le domaine musical. L'intégration de ces résultats avec l'existence de différences anatomiques et fonctionnelles entre les cerveaux musiciens et non musiciens est discutée dans la dernière section de l'article.

Mots clés : apprentissage implicite, expertise, cognition et émotion musicales, musiciens, non musiciens.

Key words: implicit learning, expertise, musical cognition and emotion, musicians, nonmusicians.

INTRODUCTION

On considère généralement que l'expertise dans un domaine donné se traduit par des performances supérieures chez l'expert que chez le novice. Plusieurs travaux suggèrent cependant que cette règle n'est pas systématiquement vérifiée. Ainsi McKloskey, Whasburn et Flech (1983) ont observé que des étudiants en physique continuaient à faire les mêmes erreurs que des étudiants novices lorsqu'ils devaient prédire la trajectoire d'un objet lâché lors de la marche, malgré leur connaissance explicite avérée des lois d'attraction physique. De faibles effets d'expertise ont également été rapportés pour des joueurs de cricket professionnels (Houlston et Lowes, 1993), des serveurs de bar (Hetch et Proffitt, 1995), et dans le domaine de l'évaluation sensorielle gustative (Chollet et Valentin, 2000). Ces résultats suggèrent que dans certaines situations les experts n'utilisent pas leur connaissance explicite du domaine pour réaliser telle ou telle tâche, et se comportent comme des sujets novices. Dans cet article, nous nous interrogerons sur les effets d'expertise dans le domaine musical. Il est fortement admis que seuls des sujets ayant suivi un long apprentissage de la musique au conservatoire (sujets que nous qualifierons de « musiciens » dans la suite de cet article) ont développé une oreille musicale bien différente du grand public (que nous désignerons de « non-musiciens » par opposition). Cette croyance est renforcée par plusieurs travaux récents d'imagerie cérébrale qui mettent en évidence des différences anatomiques et fonctionnelles dans les cerveaux d'auditeurs musicalement entraînés et non entraînés (Bever et Chiarello, 1974 ; Johnson, 1977 ; Mazzuchi, Parma et Cattelani, 1981 ; Pantev, Oostenveld, Engelien, Ross, Roberts et Hoke, 1998 ; Pantev et Lütkenhöner, 2000 ; Ohnishi et al., 2001 ; Klarreich, 2001 ; Trainor, Desjardin et Rockel, 1999). Peut-on pour autant conclure que les musiciens entendent la musique différemment des autres ? Comme le soulignent Lerdahl et Jackendoff (1983), une fois familiarisé avec un idiome musical donné, la façon dont on écoute les pièces de cet idiome n'est pas aléatoire mais est fortement contrainte, que l'on ait ou non appris cet idiome de façon explicite. Il existe aujourd'hui de nombreuses évidences montrant que l'exposition passive à la musique occidentale tonale suffit pour rendre l'auditeur sans formation musicale spécifique

musicalement expérimenté (cf. Tillmann, Bharucha et Bigand, 2000, pour une revue). L'objectif du présent article est de résumer un certain nombre de ces résultats.

L'importance de la méthode expérimentale utilisée pour comparer les deux groupes d'auditeurs est primordiale et mérite une remarque préalable. Deux exemples illustrent parfaitement comment le choix de la méthode peut aboutir à des conclusions radicalement différentes sur les effets d'expertise dans le domaine musical. Dans les premières études sur la catégorisation des intervalles musicaux par exemple, on demandait aux sujets de classer les intervalles majeurs et mineurs selon une méthodologie psychophysique traditionnelle. Les non musiciens se sont révélés incapables d'effectuer ces classements, ce qui a conduit les chercheurs à conclure que seuls les experts avaient une perception catégorielle des intervalles (Burns et Ward, 1982). En resituant cette tâche dans un contexte musical, Smith, Nelson, Grohshkopf et Appleton (1994) ont montré que les novices catégorisent également les intervalles musicaux.

De façon similaire, Krumhansl et Shepard (1979) ont initialement rapporté que seuls les musiciens avaient une représentation mentale sophistiquée des hiérarchies de hauteurs présentes dans le système musical occidental (le système tonal)¹. La tâche utilisée, dite de la « note sonde », consistait à évaluer combien une note cible suivait bien une gamme ascendante ou descendante. Cette tâche est ambiguë puisque que les

1. Le système musical tonal régit la plupart des musiques de notre environnement, du style classique (de Bach à Wagner) aux styles populaires, comme le jazz, la pop musique et les musiques folkloriques. Ce système musical repose sur l'organisation des 12 notes de la gamme chromatique en 24 tonalités majeures et mineures qui contiennent des hiérarchies de hauteurs spécifiques. À l'intérieur de chaque tonalité, il existe des pôles d'attraction qui fonctionnent comme des points d'ancrage pour la perception. Ces notes « hiérarchiquement fortes » correspondent à la tonique (do dans la tonalité de DO majeur), la dominante (sol en DO majeur) et la médiate (mi en DO majeur). À l'intérieure de chaque tonalité, les notes s'organisent également en accords, et certains de ces accords fonctionnent eux aussi comme des pôles d'attraction harmonique essentiels (cf. Krumhansl, 1990 ; Bigand, 1993, pour une revue en français).

sujets peuvent se fonder sur la proximité fréquentielle de la note sonde à la dernière note de la gamme ou de la fonction tonale de la note sonde dans la tonalité de la gamme. Les musiciens ont interprété la tâche en pensant qu'il fallait se focaliser sur les structures harmoniques, alors que les non musiciens se sont focalisés sur les proximités fréquentielles. Loin de mettre en évidence une incapacité des non musiciens à entendre les hiérarchies tonales, cette étude témoigne simplement de différences dans la compréhension de la consigne expérimentale. En enlevant cette ambiguïté, Hebert, Peretz et Gagnon (1995) ont montré que les non musiciens sont en fait tout à fait sensibles aux hiérarchies tonales. De fortes corrélations entre les patrons de réponses d'auditeurs musiciens et non musiciens dans ce type d'expérience ont été également rapportées par Cuddy et Badertscher (1987) et Cuddy et Thompson (1992).

Par quel type de méthode peut-on plus probablement observer de faibles différences entre les deux groupes ? Le premier type de méthode consiste à sonder des intuitions perceptives élémentaires – que chacun peut éprouver dans son expérience quotidienne avec la musique – et qui n'ont pas donné lieu à un sur-entraînement chez les musiciens. Par exemple, évaluer la similarité entre des matériaux musicaux, ou évaluer le degré d'achèvement d'une pièce musicale, sont des tâches qui peuvent être aisément mises en œuvre par des musiciens et des non musiciens, et avec lesquelles les premiers ne sont pas plus familiarisés. Dans ce type de situation, peu de différences sont généralement rapportées entre musiciens et non musiciens (cf. Donnadieu, McAdams et Winsberg, 1994 ; McAdams, Winsberg, Donnadieu, Desoete et Krimphoff, 1995, pour la similarité ; et Bigand, 1993, 1997 ; Bigand, Parncutt et Lerdahl, 1996 ; Bigand et Parncutt, 1999 ; Frederickson, 2000, pour la perception des tensions musicales). Le second type de méthode consiste à mesurer la sensibilité des auditeurs à des structures musicales sur lesquelles l'expérimentateur n'attire pas explicitement l'attention des sujets (mesure implicite). L'utilisation de procédures implicites, telles que la procédure d'amorçage dont il sera question ci-dessous, permet de cerner les structures traitées par l'oreille musicale « naturellement », c'est-à-dire sans un effort conscient sous-tendu par des stratégies de réponses explicites. Dans le cadre de cet article, je présenterai les résultats obtenus à l'aide de l'une ou de l'autre de ces méthodes dans des études portant sur

cinq aspects de l'écoute musicale : traitement de la mélodie, de l'harmonie, des grandes structures musicales, apprentissage musical et réponses émotionnelles à la musique. Nous pensons qu'un auditeur qui n'aurait qu'une faible aptitude à percevoir des variations fines dans les structures mélodiques, qui ne différencierait pas les fonctions harmoniques des accords, qui serait incapable d'apprendre de nouvelles organisations musicales (présentes dans la musique contemporaine) et dont la sensibilité à l'expression musicale se cantonnerait à des contrastes émotionnels rudimentaires (gai-triste), ne pourrait pas légitimement proclamer avoir une « oreille musicale experte » pour la musique occidentale. La question que nous posons est simplement de savoir si les auditeurs sans formation musicale sont nécessairement dans ce cas. Comme on le verra, toutes nos études convergent pour répondre de façon négative à cette question.

EFFETS D'EXPERTISE SUR LA STRUCTURATION MÉLODIQUE

Sur le plan cognitif, une mélodie est une structure dynamique dont l'identité perceptive est définie par l'intégration de tous les paramètres qui la composent (hauteurs, timbres, durées, intensités). Selon Lerdahl et Jackendoff (1983), une mélodie tonale se présente sur le plan psychologique comme une forme dynamique faite de tensions et de détentes musicales à plusieurs niveaux de structures (voir aussi Francès, 1958 ; Jones et Boltz, 1989). La surface musicale peut modifier les dynamismes locaux mais laisser intactes les grands dynamismes sous-jacents, ce qui se produit constamment dans la forme du thème varié. Pour savoir comment les différents paramètres sonores (fonction tonale et rythme notamment) contribuent à définir cette forme dynamique, on peut demander aux auditeurs d'évaluer sur une échelle en 7 points le degré de « tension musicale » perçue sur chacune des notes des mélodies². Le profil obtenu

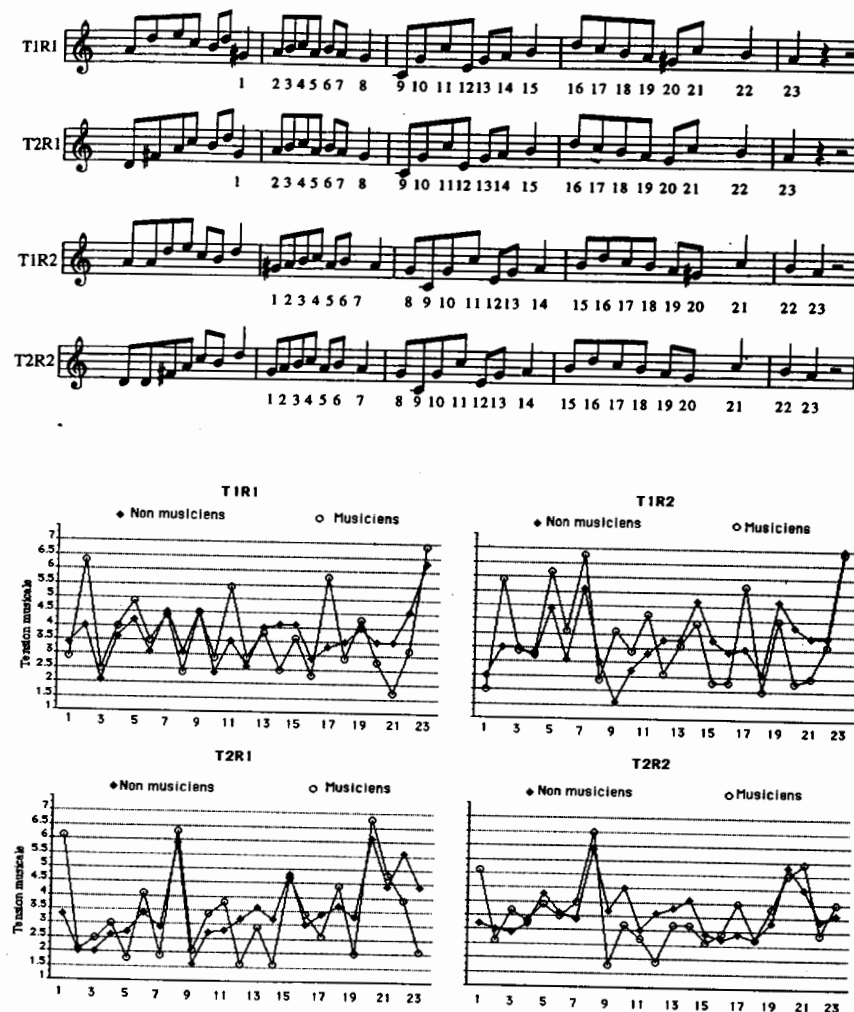
2. La méthode consiste à présenter la mélodie par fragment, chacun s'arrêtant sur une note différente. Ainsi dans la mélodie T1R1 de la Figure 1, le premier

peut être considéré comme une approximation de la forme dynamique perçue. Le point essentiel consiste à manipuler la fonction tonale des notes et le rythme des mélodies et de mesurer l'impact de ces manipulations sur la forme de ces profils. Dans certaines études, cette manipulation pouvait être très fine (cf. Figure 1). Ainsi, les mélodies T1 contiennent quasiment les mêmes notes que les mélodies T2, le même rythme et le même contour, pourtant les fonctions tonales sont fortement différentes (Bigand, 1997). Les mélodies T1 sont en La mineure et les notes indiquées 2, 5 et 7, par exemple, sont des toniques. Les mêmes notes dans les mélodies T2 (en Sol majeur) deviennent des sus toniques. Réciproquement, les notes 1 et 8 sont des notes hiérarchiquement importantes en T2 (tonique) mais non en T1 (sous tonique). Une lecture attentive de la partition montrera au lecteur que les fonctions tonales des mélodies T1 et T2 sont inversement corrélées. Les profils obtenus à l'issue de l'expérience (Figure 1) indiquent que les auditeurs ont bien été sensibles aux changements contextuels de fonctions tonales entre T1 et T2 et aux changements de rythmes entre R1 et R2. Comme on peut le voir, les résultats des musiciens et des non musiciens sont fortement corrélés dans chacune de ces situations ce qui suggère que des principes de structuration mélodique communs sont à l'œuvre pour ces groupes d'auditeurs.

Figure 1 (page de droite). Influence de la fonction tonale et du rythme sur les tensions musicales. Les notes des mélodies T1 et T2 sont identiques mais présentent différentes fonctions tonales. Les mélodies R1 et R2 diffèrent par leur rythme. Les profils représentent les tensions musicales perçues pour chacune de ces mélodies (d'après Bigand, 1997).

Figure 1. Influence of tonal function and rhythm on musical tension. In melodies T1 and T2, the notes are identical but have different tonal functions. Melodies R1 and R2 have different rhythms. The profiles represent perceived musical tensions for each of these melodies (from Bigand, 1997).

2 (suite) : fragment s'arrêtait sur la note *sol#* de la mesure 1, le second fragment repartait du début de la mélodie et s'arrêtait sur la note *la*, et ainsi de suite jusqu'à la dernière note.



Jones (1987) propose que les différents accents musicaux instaurés par le rythme, la tonalité, les changements de contour capturent et guident l'attention des auditeurs dans le temps de l'écoute. La façon dont ces accents sont répartis dans le temps trace le profil dynamique de la mélodie et détermine son identité psychologique. Jones et collaborateurs démontrent élégamment que les trajectoires attentionnelles développées lors de l'écoute déterminent la reconnaissance mélodique. Si les trajectoires développées pour une mélodie A sont identiques à celles qui sont développées pour l'écoute d'une mélodie B, alors l'auditeur tendra à considérer ces deux mélodies identiques.

Les modifications de surface n'ont donc guère d'importance en elles mêmes, tout dépend des répercussions qu'elles peuvent avoir sur la forme dynamique de la mélodie. J'en donnerai ici deux illustrations expérimentales. Imaginons que l'on puisse modifier la forme dynamique d'une mélodie sans modifier les notes qui la constituent. En toute logique, les auditeurs devraient considérer la mélodie obtenue comme nouvelle bien que les notes soient objectivement les mêmes. Considérons à nouveau les mélodies T1 et T2 de la Figure 1. Nous savons désormais que, bien que composées de notes quasiment identiques, elles sont perçues comme ayant des profils dynamiques différents. Dans une étude sur la mémoire mélodique (Bigand et Pineau, 1996), les sujets étaient familiarisés avec l'une de ces mélodies (disons T1R1) pendant plusieurs écoutes. On leur présentait ensuite la mélodie T1R1 suivie de l'une des mélodies T2R1, T1R2 ou T2R2. La tâche était d'indiquer combien de notes semblaient avoir été changées entre les deux mélodies (indépendamment des possibles changements de rythme). Le Tableau 1 résume les résultats obtenus pour des auditeurs musiciens et non musiciens. Une fois de plus, nous voyons que les deux groupes réagissent de façon similaire aux manipulations réalisées. Lorsque ces deux changements sont combinés (T1R1 versus T2R2), les musiciens pensent que près de 64 % des notes ont été changées (près de 50 % chez les non musiciens), ce qui n'est évidemment pas le cas.

Tableau 1

Pourcentages de notes changées évaluées par les sujets lorsque la fonction tonale des notes et/ou le rythme sont modifiés

Ces valeurs sont obtenues en soustrayant les valeurs données par les sujets aux pourcentages de notes réellement changées dans les mélodies de la Figure 2 (d'après Bigand & Pineau, 1996).

	Musiciens	Non musiciens
Même mélodie	1,56 %	7,81 %
Différentes fonctions tonales	36,5 %	32,5 %
Différents rythmes	40,06 %	37,5 %
Différentes fonctions tonales et différents rythmes	63,87 %	49,87 %

Table 1

Percentages of notes changes, evaluated by subjects when the tonal functions of the notes and/or the rhythm are modified

These values are obtained by subtracting the values given by the subjects from the percentages of the notes that were really modified in the melodies of figure 2 (from Bigand & Pineau, 1996).

EFFETS D'EXPERTISE SUR LA STRUCTURATION HARMONIQUE

Dans la musique occidentale, l'harmonie est l'une des structures porteuses de forme essentielles. L'harmonie occidentale tonale réalise un équilibre savant entre les contraintes psychoacoustiques – définies par les qualités acoustiques du son et les propriétés fonctionnelles du système auditif périphérique – et les conventions culturelles patiemment forgées au long de plusieurs siècles de réflexions scientifiques, esthétiques et spirituelles. Comment l'oreille musicale occidentale appréhende-t-elle aujourd'hui ces organisations harmoniques ? Quelle influence y revêt l'éducation musicale ?

Deux types d'études ont été entreprises dans notre équipe pour aborder ces questions. Dans les premières, nous demandions aux auditeurs d'évaluer les tensions musicales créées par certaines relations harmoniques au sein de séquences d'accords plus ou moins longues. Soit une séquence de trois accords dont le premier et le dernier sont identiques. Le second accord instaurera une tension musicale dont l'intensité dépendra de la relation harmonique qu'il entretient avec les deux autres. La tension sera faible dans le cas de séquences telles que DO-SOL-DO ou DO-FA DO. Elle sera plus forte dans le cas d'une séquence DO-LAb-DO, et plus forte encore pour une séquence DO-LA-DO, et ainsi de suite (cf. Lerdahl, 1988). Ce type de séquences permet de tester la sensibilité des auditeurs aux différentes relations harmoniques entre deux accords au sein du système tonal. En demandant aux sujets d'évaluer sur une échelle subjective la tension instaurée selon eux par le second accord, on peut également évaluer les caractéristiques (acoustiques, harmoniques, ou mélodiques) auxquelles les auditeurs sont les plus sensibles. Les résultats que nous avons obtenus en testant 50 relations harmoniques simples font apparaître une forte corrélation entre les tensions perçues³ par des auditeurs musiciens et non musiciens (cf. Bigand et al., 1996). Qui plus est, les deux groupes sont similairement sensibles aux facteurs psychoacoustiques et syntaxiques. La sensibilité des auditeurs à percevoir les tensions harmoniques développées par un long processus harmonique aussi complexe que celui du prélude en Mi majeur de Chopin (Figure 2) a été également abordée (Bigand et Parncutt, 1999). Les tensions harmoniques perçues par les musiciens et les non musiciens furent très similaires, qu'il s'agisse de séquence harmonique simple ($r[28] = .94$) ou du prélude en Mi majeur de Chopin ($r[31] = .82$). Différentes manipulations expérimentales pratiquées sur la façon de présenter ce prélude ont conduit systématiquement à observer des profils de tensions similaires pour les deux groupes. Ces études laissent penser que les ten-

3. Dans cette étude, nous testions les relations harmoniques sur le cercle des quintes des accords parfaits majeur, mineur, des accords de 7 de dominante et des accords diminués.

sions harmoniques perçues ne diffèrent guère en fonction de l'expertise musicale. Un résultat très consistant est rapporté par Frederickson (2000) à l'aide d'une méthode expérimentale tout à fait différente.

Des résultats convergents ont été également obtenus avec des méthodes d'amorçage harmonique. Dans ce type de situation, on attire l'attention du sujet sur une tâche perceptive élémentaire que le sujet doit

Figure 2. Profils de tension musicale perçue sur chaque accord d'une réduction harmonique du prélude en Mi majeur de Chopin (d'après Bigand & Parncutt, 1999).

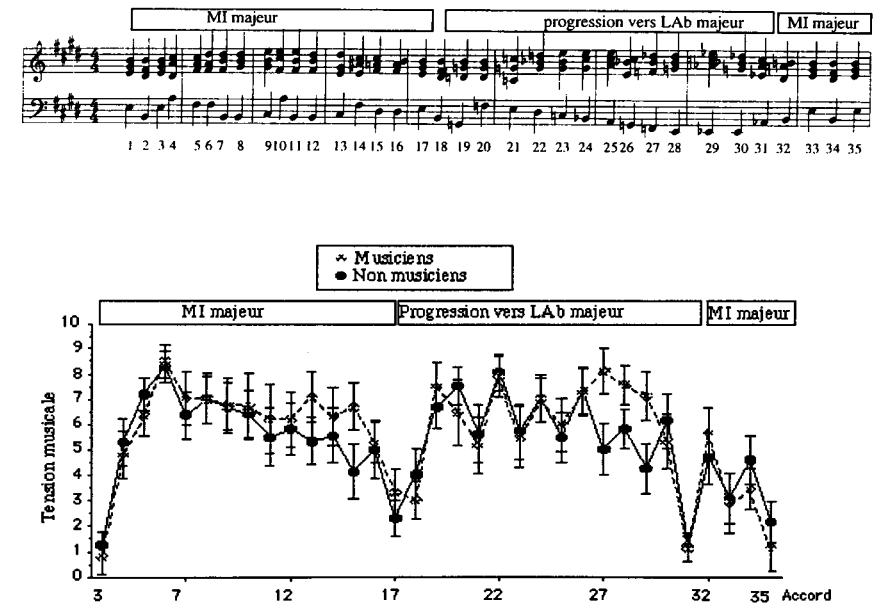


Figure 2. Profiles of perceived musical tension on each chord of an harmonic reduction of the prelude in E Major by Chopin (from Bigand & Parncutt, 1999).

réaliser sur un accord cible et on manipule à son insu le contexte musical dans lequel cet accord cible est présenté. Par exemple, on peut demander aux auditeurs de décider aussi rapidement que possible si un accord cible est bien ou mal accordé (Bharucha et Stoeckig, 1986, 1987 ; Tekman et Bharucha, 1998), si il contient ou non une note franchement dissonante (Bigand et Pineau, 1996 ; Bigand, Madurell, Tillmann et Pineau, 1999), si les notes qui le constituent sont jouées exactement ensemble (Tillmann, Janata et Bharucha, sous presse), ou encore d'identifier le phonème sur lequel cet accord est chanté (Bigand, Tillmann, Poulin, D'Adamo et Madurell, 2001). Le point critique est de voir comment la réalisation de cette tâche perceptive sera plus ou moins influencée par le contexte harmonique dans lequel cet accord cible apparaît.

Les études initiales de Bharucha et Stoeckig (1986, 1987) ont montré que le jugement de la consonance d'un accord cible est facilité (c'est-à-dire plus précis et plus rapide) lorsque cet accord est précédé par un accord harmoniquement relié (DO-SOL par exemple) que non relié (DO-FA#). Le contexte harmonique conduit l'auditeur à anticiper implicitement les accords compatibles dans ce contexte selon les règles de l'harmonie occidentale. Les accords attendus sont ainsi cognitivement présents « avant » d'être entendus, ce qui facilite leur traitement perceptif lorsqu'ils apparaissent réellement. Dans les dernières années, nous avons utilisé ce paradigme pour montrer que des auditeurs adultes occidentaux sont implicitement sensibles à de très fines différences de fonctions harmoniques. Considérons par exemple les séquences musicales de la Figure 3. Les deux derniers accords de ces séquences sont identiques dans les trois contextes. Leurs fonctions harmoniques changent cependant d'un contexte à l'autre. Dans le contexte 1 (« très attendu »), le dernier accord est un accord de tonique (I). Dans le contexte 2 (« peu attendu »), il agit comme un accord de sous dominante (IV) suivant une cadence parfaite dans le ton de RE. Dans la dernière condition (« assez attendu »), la fonction harmonique de cet accord est plus ambiguë. Perçu en relation avec la seconde partie de la séquence (qui est identique à celle de la condition « peu attendu »), l'accord cible constitue un accord de sous dominante (IV). En revanche, s'il est entendu en relation avec la première partie de la séquence (qui est identique à la condition « très attendu »), cet accord cible peut fonctionner comme un accord de tonique

marquant un retour (rapide certes) au ton principal amorcé par les premiers accords. En d'autres termes, l'accord cible est « amorcé » dans la condition « assez attendu » par la première partie de la séquence, ce qui n'est pas le cas dans la condition « peu attendu ».

Figure 3. Influence du contexte harmonique sur le traitement d'un accord cible. Le traitement est facilité dans les contextes « très attendu » puis « assez attendu » où l'accord cible peut être interprété comme un accord de tonique, par comparaison au contexte « peu attendu », où l'accord cible est fonctionnellement moins important (d'après Bigand et al., 1999).

Très attendu
I --- V I ii V I V I IV I ii V I

Peu attendu
I --- V I ii V I --- ii V I V I IV

Assez attendu
I --- V I ii V I V vi V/V V/V V I
RE
majeur I ii V I V I IV

Figure 3. Influence of the harmonic context on how a target chord is processed.

The processing is facilitated in "very expected" and "rather expected" contexts, where the target chord can be interpreted as a tonic chord, whereas it is not in the "not expected", where the target chord has a less important function (from Bigand et al., 1999).

Malgré le peu de différence perceptive apparente entre ces trois conditions, nous attendions des réponses sur l'accord cible meilleures et plus rapides dans les conditions « très attendu » et « assez attendu » que dans la condition « peu attendu ». Cette hypothèse fut confirmée pour les deux groupes d'auditeurs. Étant donné la finesse de la manipulation harmonique pratiquée, il est assez remarquable que les non musiciens se comportent ici comme les musiciens et réagissent de façon différenciée aux conditions « peu » et « assez attendu ».

L'amorçage harmonique est un processus essentiel pour l'écoute de la musique puisqu'il est à l'origine des anticipations perceptives qui se développent automatiquement lors de l'écoute. Ces anticipations joueraient un rôle important pour l'expression et l'émotion musicale (cf Meyer, 1956 ; Jackendoff, 1991). Sur le plan cognitif elles sont importantes car elles influencent le traitement des caractéristiques musicales des accords (consonance, synchronisme des attaques etc.). Dans le cas de la musique chantée, elles semblent également favoriser le traitement des informations linguistiques. Dans une étude récente, nous demandions aux auditeurs (musiciens et non musiciens) d'indiquer aussi rapidement que possible si l'accord cible finissant une séquence était chantée sur le phonème /di/ ou /du/ (Bigand et al., 2001). Comme le montre la Figure 4, le phonème cible pouvait être chanté sur un accord de tonique ou de sous dominante. Conformément aux résultats déjà rapportés, les temps d'identification phonémique les plus courts ont été observés chez les deux groupes d'auditeurs pour les accords cible de tonique (Tableau 2). La tâche explicite requise (identification de phonème) étant cette fois aussi familière aux musiciens qu'aux non musiciens, nous n'observons plus aucun type de différence significative entre les deux groupes de sujets.

L'étude des anticipations perceptives est pertinente pour mesurer les effets d'expertise. La caractéristique essentielle de l'expertise est en effet de permettre aux experts d'anticiper les événements. Or, dans toutes les expériences que nous avons conduites sur l'amorçage harmonique, nous avons toujours observé que les attentes perceptives étaient influencées par le même type de manipulations harmoniques chez les musiciens et les non musiciens (Bigand et Pineau, 1997 ; Pineau et Bigand, 1997 ; Bigand et al., 1999, 2001 ; Tillmann, Bigand et Pineau, 1998 ; Tillmann

et Bigand, 2001 ; Bigand, Poulin, Tillmann, Madurell et d'Adamo, 2003). Des résultats convergents sont rapportés par Bharucha et ses collaborateurs qui n'observent jamais d'effet d'expertise musicale dans leurs études. Enfin, les corrélats neurophysiologiques associés aux traitements perceptifs des accords cibles (harmoniquement attendus ou non) sont similaires sur le plan qualitatif pour les deux groupes d'auditeurs (Regnault, Bigand et Besson, 2001 ; voir aussi Koelsch, Gunter et Friederici, 2000 ; Maess, Koelsch, Gunter et Friederici, 2001).

Figure 4. Influence du contexte harmonique sur la détection de phonème. L'identification du phonème cible est plus facile lorsque le phonème est chanté sur une harmonie de tonique (I) que de sous dominante (IV) (d'après Bigand et al. 2001).

The figure consists of two musical staves, each with a treble and bass clef. The top staff is titled "Harmoniquement très relié" and shows a sequence of chords: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII. The bottom staff is titled "Harmoniquement moins relié" and shows a sequence of chords: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X, XI, XII. The target phoneme is indicated by "V Cible" in the top staff and "I Cible" in the bottom staff.

Figure 4. Influence of the harmonic context on phoneme detection. Detecting the target phoneme is easier when the phoneme is sung on a tonic harmony (I) than on a subdominant harmony (IV) (from Bigand et al. 2001).

Tableau 2
Temps de réponses correctes en fonction de l'expertise musicale, du phonème, et de la fonction harmonique de l'accord cible (d'après Bigand et al., 2001)

Phonème	Musiciens		Non musiciens	
	Tonique (I)	Sous-dominante (IV)	Tonique (I)	Sous-dominante (IV)
/di/	501.97	532.18	562.37	606.77
/du/	531.10	580.64	624.80	644.50

Tableau 2
Correct response times as a function of musical expertise, phoneme, and harmonic function of the target chord (from Bigand et al., 2001)

Ces différentes études suggèrent que les non musiciens, tout comme les experts, traitent de façon automatique les structures harmoniques sophistiquées. Ce résultat, qui pourra paraître surprenant à certains, semble en fait assez banal si on le rapproche des nombreux travaux réalisés ces dernières années dans le domaine de l'apprentissage implicite (Meulemans, 1998, pour une revue). Ces travaux démontrent que le cerveau est doté de processus d'apprentissage extrêmement puissants et intériorise de façon incidente les régularités de l'environnement extérieur. L'expertise harmonique dont les non musiciens font preuve dans nos études illustre simplement la force des processus d'apprentissage implicite dans le domaine sonore. Leur expertise musicale semble acquise implicitement par l'écoute répétée d'œuvres issues du système tonal. Nous avons proposé une modélisation connexionniste de cet apprentissage implicite dans le cas de la musique tonale. Un réseau de neurones artificiels, exposé fréquemment à des séquences harmoniques présentant les régularités statistiques similaires à celles observées dans les œuvres issues du répertoire, devient un système expert en musique tonale et parvient à simuler les attentes perceptives d'un auditeur occi-

dental sans, bien évidemment, posséder la moindre connaissance déclarative sur ce que sont une cadence, une modulation et une tonalité (Tillmann et al., 2000).

EFFETS D'EXPERTISE DANS DES SITUATIONS MUSICALES PLUS COMPLEXES

Les études rapportées ci-dessus utilisent des séquences musicales qui illustrent « en miniature » des structures musicales que l'on pourrait observer dans des œuvres musicales occidentales. Dans quelle mesure les faibles différences observées entre les deux groupes d'auditeurs ne pourraient-elles pas s'expliquer par le caractère réducteur des stimuli musicaux utilisés ?

Plusieurs études expérimentales ont été menées à l'aide de pièces issues du répertoire musical existant pour aborder cette question. Elles aboutissent à des résultats convergents sur les faibles effets d'expertise. Ainsi nous avons montré, en utilisant des petits menuets de Bach, Haydn et Mozart, que les musiciens manifestent les mêmes types de difficultés que les non musiciens pour résoudre des petits puzzles musicaux (Tillmann, Bigand et Madurell, 1998). Les musiciens sont globalement plus performants que les non musiciens dans ce type de tâche, mais les deux groupes éprouvent de grandes difficultés à intégrer les structures harmoniques locales dans une structure d'ensemble, ce qui les conduit à produire les mêmes types d'erreur. En utilisant à nouveau ces menuets, nous avons également observé que la détection de fragments musicaux issus de ces menuets ainsi que la mémorisation de ces extraits semblent reposer sur des processus cognitifs identiques chez les deux groupes de sujets. De façon surprenante, aucun des groupes ne s'est montré sensible à la cohérence globale du contexte thématique et harmonique dans lequel la cible à détecter ou mémoriser était présentée (Tillmann et Bigand, 1998).

Dans une étude récente, nous avons voulu approfondir ce dernier résultat. On sait en effet que la présentation cohérente d'un matériel améliore considérablement la mémorisation chez les sujets experts, mais

non chez les novices. Ce résultat a été initialement observé par Chase et Simon pour la mémorisation des positions des pièces d'un jeu d'échecs (cf. Gobet et Simon, 1996 ; Simon et Gobet, 2000, pour une revue). Lorsque les positions à mémoriser sont issues de parties réelles, les experts en échecs ont de meilleures performances que les novices. Cette différence s'annule lorsque l'on présente des échiquiers aléatoires à mémoriser. Des résultats consistants ont été rapportés pour la mémorisation de circuits électroniques et pour la mémorisation de textes. Dans ce dernier cas, il a été observé que seuls les « bon compreneurs » tirent avantage d'une présentation cohérente d'un texte pour la mémorisation de ce texte (Gernsbacher, Varner et Faust, 1990). La différence entre bons et mauvais « compreneurs » s'annule si le texte est présenté de façon mélangée.

En suivant le même raisonnement, nous avons demandé à des musiciens et des non musiciens de mémoriser 20 extraits issus des phases d'exposition de quatre sonates de Haydn (Poulin, Bigand et Dowling, soumis). Ces extraits durent environ 15 secondes et correspondent à des unités formelles complètes (thème 1, pont, thème 2, par exemple). Dans une condition expérimentale, ces extraits sont présentés de façon cohérente. Les 5 extraits correspondant à la phase d'exposition d'une sonate sont présentés les uns à la suite des autres (séparés chacun par un silence de 2 secondes) puis on passe aux 5 extraits d'une autre sonate et ainsi de suite. Dans la condition incohérente, les 20 extraits sont présentés de façon totalement aléatoire. À l'issue de cette phase d'apprentissage, les sujets entendent 44 extraits musicaux : les 20 de la phase d'apprentissage, plus 24 nouveaux. Parmi ces nouveaux extraits, 12 proviennent des phases de développement (non entendus) des mêmes sonates, et les 12 autres proviennent d'autres sonates de Haydn⁴. La tâche des sujets est d'évaluer sur une échelle en 6 points combien ils sont sûrs que l'extrait entendu est nouveau ou ancien.

4. Il est à noter que tous ces extraits proviennent du même enregistrement intégral des sonates de Haydn (Complete piano sonatas, R. Buchbinder, Teldec).

Conformément aux effets d'expertise traditionnellement rapportés dans d'autres domaines, nous attendions que seuls les musiciens tirent avantage de la présentation cohérente des extraits à mémoriser. La Figure 5 présente les résultats. Les valeurs « MOC » sont issues de la théorie de la détection du signal et représentent la sensibilité des auditeurs à différencier les extraits anciens des extraits nouveaux. Plus la valeur est élevée et plus la sensibilité des sujets est grande. On voit clairement sur cette figure que les deux groupes ont des bonnes capacités de mémoire, et que les musiciens sont des meilleurs « mémorisateurs » que les non musiciens⁵. On peut également constater qu'il est plus facile de considérer comme nouveau un extrait musical qui ne provient pas de la même sonate que de celle utilisée dans la phase d'acquisition. En revanche, on ne constate aucun effet du type de présentation du matériel. Aucun groupe ne tire avantage d'une présentation cohérente des extraits. L'expérience ne réplique donc pas l'effet classique d'expertise sur la mémoire. Sur la base de ces résultats, nous pouvons dire que les musiciens mémorisent mieux la musique, certes, mais ne sont pas pour autant des meilleurs « compreneurs » des grandes structures musicales que les non musiciens. Ce résultat rejoint de nombreux autres qui montrent que la perception des grandes structures en musique occidentale reste difficile pour des auditeurs experts et novices (Karno et Konecni, 1992). Il ne surprendra cependant pas les professeurs d'analyse musicale qui constatent combien les musiciens experts, bien qu'ils soient de bons instrumentistes, éprouvent de fortes difficultés à entendre les structures et les formes musicales (cf. Levinson, 1997).

Je finirai cet article par deux exemples supplémentaires d'études mettant en évidence de faibles différences entre musiciens et non musiciens dans des situations d'écoute complexe. Le premier groupe d'études s'intègre dans un ensemble de travaux sur l'apprentissage implicite de nouveaux systèmes musicaux (Bigand, D'Adamo et Poulin, soumis). Nous avons demandé à un compositeur d'écrire 40 canons dans le style

5. Ce résultat pourrait s'expliquer par la plus grande familiarité des musiciens avec ce style de musique.

Figure 5. Sensibilité des auditeurs (valeurs MOC) à discriminer des extraits musicaux anciens et nouveaux (appartenant ou non aux sonates initiales) dans une tâche de mémorisation. Les musiciens ne profitent pas de la présentation cohérente des extraits (cf. texte).

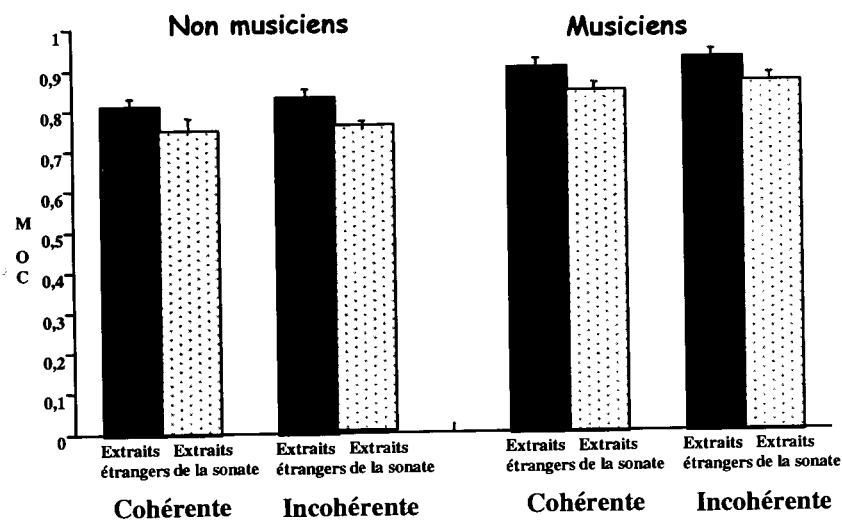


Figure 5. Sensitivity of listeners (MOC values) to discriminate old and new musical excerpts (belonging to the initial sonatas or not) in a memorization task. Musicians do not take advantage of the coherent presentation of the excerpts (cf. text).

de Webern, tous fondés sur une série dodécaphonique. Chacun de ces canons est associé à un canon sosie qui présente les mêmes rythmes et quasiment les mêmes contours, mais repose sur une série dodécaphonique différente (cf. Figure 6). Dans une phase d'apprentissage, nous avons présenté 20 premiers canons deux fois de suite. Dans la phase de test, nous avons présenté 20 paires de canons. Chaque paire contient un canon composé sur la même série, mais non encore entendu par les sujets, et son canon sosie. La tâche des sujets était d'indiquer quel canon de la paire avait été composé de la même façon que ceux de la phase

initiale de l'étude. Bien que perçue comme extrêmement difficile, cette tâche est réussie à des taux supérieurs au hasard par les musiciens (63 %) et les non musiciens (60 %). Les performances des musiciens ne diffèrent pas statistiquement de celles des non musiciens⁶, certains des non musiciens ayant des performances remarquablement élevées.

Le dernier exemple provient d'une étude réalisée sur les réponses émotionnelles à la musique (Bigand, et al, soumis). Dans cette étude, nous avons sélectionné dans le répertoire de la musique instrumentale classique, 27 extraits musicaux d'une durée moyenne de 30 secondes. Ces extraits sont supposés intenses émotionnellement et ont été choisis en concertation avec un musicologue de façon à illustrer des qualités émotionnelles variées. La liste des extraits est présentée en annexe. L'étude a été conduite avec des auditeurs musiciens (étudiants en fin de cursus du conservatoire) et des non musiciens. Ces extraits étaient présentés aux sujets dans un fichier PowerPoint, chaque extrait étant présenté sous la forme d'un haut parleur. En cliquant sur l'icône, les sujets pouvaient entendre la musique correspondante. Les sujets étaient invités à focaliser leur attention sur leur propre réaction émotionnelle. Leur tâche consistait ensuite à grouper les icônes qui produisaient des réactions émotionnelles similaires. Aucune verbalisation n'était requise, et les sujets étaient encouragés à effectuer cette tâche de similarité émotionnelle en toute subjectivité. Les groupements individuels ont ensuite été convertis dans une matrice de similarité. Dans cette matrice, le nombre de fois où deux ou plusieurs extraits ont été regroupés définit la distance émotionnelle des extraits : cette distance est d'autant plus grande que les extraits n'ont jamais été groupés ensemble. Une fois de plus, les non musiciens répondent de façon très similaire aux musiciens dans ce type d'étude : le nombre de groupes d'extraits formés n'est pas plus grand chez les musiciens (7,70 en moyenne pour les 2 groupes), la corrélation entre les matrices de similarité émotionnelle est très élevée ($r[349] = .83$) et cette matrice ne change pas d'une session expérimentale à l'autre : pour les musiciens,

6. Cette étude n'implique cependant pas que la musique sérielle, si complexe au demeurant, est perçue sans difficulté par chacun.

Figure 6. Apprentissage implicite d'une série dodécaphonique.

La figure présente deux exemples des 20 canons (dans le style de Webern) utilisés dans la phase d'apprentissage, puis un exemple d'une des 20 paires de canons utilisés dans la phase test. Les sujets doivent identifier les canons composés de façon similaire à ceux présentés dans la phase d'apprentissage.

(a) Apprentissage

(b) Test

Figure 6. Implicit learning of a dodecaphonic series.

This figure presents two canons (in Webern's style) used in the learning phase, and one of the 20 pairs of canons used in the phase test. Subjects were asked to identify the canons composed in a similar way to those presented in the learning phase.

$r(349) = .87, p < .001$, pour les non musiciens, $r(349) = .78, p < .001$. L'analyse multidimensionnelle fait apparaître que les réponses émotionnelles des deux groupes sont sous-tendues par deux dimensions correspondant à la dynamique et la valence émotionnelle des extraits. La projection des 27 extraits dans cet espace est extrêmement comparable pour les deux groupes d'auditeurs.

CONCLUSION

L'étude des effets d'expertise dans le domaine musical présente un certain nombre d'enjeux scientifiques, pédagogiques, et sociologiques. Pour les scientifiques, il s'agit notamment de comprendre comment l'expertise conduit à modifier les procédures de traitement d'un type spécifique d'information, par quels processus d'apprentissage (implicite ou explicite) cette expertise se développe et quels changements cet apprentissage pourrait entraîner au niveau cérébral tant d'un point de vue anatomique que fonctionnel. En l'état actuel, les résultats divergent d'une étude à l'autre quant à l'importance des différences observées entre musiciens et non musiciens aux niveaux comportementaux et neurophysiologiques. Le choix des méthodes, le contrôle plus ou moins strict de variables confondues avec l'expertise musicale (dont notamment la familiarité avec les stimuli et les tâches expérimentales) contribuent à expliquer ces divergences. Il semble également que l'orientation théorique scientifique suivie par les chercheurs influence les résultats rapportés dans la littérature. Ainsi, les travaux portant sur la plasticité cérébrale ont tendance à mentionner toute forme de différence anatomique et/ou fonctionnelle associée à un entraînement musical intensif (Schlaug, Jancke, Huang et Steinmetz, 1995 ; Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh et Taub, 1995 ; Pantev et al., 1998). Par exemple, Pantev et al. (1998) observent des différences d'activations corticales consécutives à l'écoute de sons purs et de notes de piano plus fortes chez les musiciens (avec et sans l'oreille absolue) que chez des non musiciens. D'un point de vue neurophysiologique, il est tout à fait intéressant de constater que la très grande familiarité avec un timbre de piano, résultant d'un apprentissage de la musique, puisse entraîner une réorganisation fonc-

tionnelle du cerveau des sujets musiciens. Toutefois, il reste difficile de saisir l'impact de ce type de résultat sur la compréhension de l'architecture cognitive et neurophysiologique d'ensemble qui permet de traiter la musique dans toute sa complexité quel que soit notre niveau d'expertise musicale.

De ce point de vue, les résultats rapportés dans le présent article montrent de fortes similarités entre les deux groupes d'auditeurs. Les non musiciens font preuve d'une très grande aptitude à intégrer diverses sources d'informations lors du traitement des structures mélodiques, à réagir à des fines manipulations harmoniques, à apprendre implicitement de nouveaux systèmes de combinaison des sons et à répondre émotionnellement à des extraits de musique issus du répertoire de la musique savante. En revanche, les deux groupes d'auditeurs semblent éprouver un même type de difficulté lorsqu'il s'agit d'intégrer les structures musicales locales en formes globales cohérentes. Ces similarités de réaction suggèrent que l'architecture cognitive d'ensemble qui sous-tend la perception de la musique n'est pas fortement affectée par la formation musicale explicite suivie par les sujets musiciens⁷.

De mon point de vue, les aptitudes musicales surprenantes des non musiciens démontrent, plus que tout autre étude, la très grande plasticité dont fait preuve le cerveau humain dans le domaine sonore. Une simple exposition répétée aux œuvres musicales semble suffire pour développer une expertise auditive sophistiquée en l'absence de toute forme d'apprentissage explicite. Nous avons montré qu'un réseau de neurones artificiels peut apprendre passivement les principales règles de l'harmonie tonale en étant exposé à des séquences musicales qui obéissent aux règles de cette harmonie (Tillmann et al., 2000). Si un réseau artificiel peut réaliser en quelques heures cet apprentissage, pourquoi un réseau de neurones naturels, autrement plus sophistiqué, ne pourrait-il pas le faire également en

7. Cette conclusion n'est pas nécessairement surprenante si l'on considère d'une part que l'apprentissage de la musique consiste principalement à apprendre un instrument et d'autre part que l'apprentissage perceptif implicite, qui s'effectue de façon concomitante, peut tout aussi bien se produire chez des sujets non musiciens qui écoutent fréquemment de la musique.

étant exposé quotidiennement à la musique tonale ? Dès les premiers jours de la vie, le cerveau humain est capable d'extraire des régularités auditives d'une élaboration considérable (Saffran, Aslin et Newport, 1996 ; Gomez et Gerken, 1999). Il n'est donc pas réellement surprenant en soi qu'il parvienne, à l'âge adulte, à un haut niveau d'expertise dans le domaine musical. Le moins que l'on puisse dire pourtant, c'est que cette affirmation est loin d'être dominante, non seulement dans le grand public mais également dans la littérature scientifique. Si l'on accepte facilement de considérer que l'exposition passive à la langue maternelle rend le sujet linguistiquement expérimenté (nul besoin d'avoir une licence de linguistique pour cela), il est nettement plus difficile d'imaginer qu'un auditeur mélomane sans formation musicale spécifique puisse être aussi expérimenté qu'un musicien professionnel. C'est pourtant cette conclusion que suggèrent nos résultats. Cela pourra paraître choquant et le lecteur serait même en droit de se demander si cette conclusion ne démontre pas la faible plasticité du cerveau : en effet ; si l'auditeur musicalement entraîné ne se différencie pas nettement de celui sans formation musicale, cela signifie bien qu'un long apprentissage musical ne provoque pas de fortes réorganisations cérébrales. Une façon de dépasser cette apparente contradiction consiste cependant à envisager que l'apprentissage implicite entraîne des réorganisations cérébrales plus massives que les apprentissages explicites. Si tel est le cas, l'apprentissage explicite de la musique provoquerait bien des différences entre les cerveaux des musiciens et des non musiciens, comme cela est actuellement fortement médiatisé, mais ces différences resteraient proportionnellement faibles par rapport aux immenses similitudes neuronales forgées dans les deux groupes d'auditeurs par des années d'apprentissages implicites de la musique.

REMERCIEMENTS

Ces études ont reçu le financement de la Fondation Internationale pour la Recherche Musicale. Je remercie l'ensemble des collaborateurs qui ont participé à l'une ou l'autre des études citées dans cet article et

tout particulièrement Barbara Tillmann, Bénédicte Poulin, Marion Pineau, Sandrine Vieillard, François Madurell, Philippe Lalitte, et Daniel D'Adamo.

ABSTRACT

Is explicit learning a necessary condition to develop an "expert musical ear"? How much can learning to play a musical instrument modify the way we perceive musical structures? Relying on recent data from studies on different aspects of musical perception, I will show how listeners without musical training ("nonmusicians") hear music in a similar way to listeners, who are at the end of their studies in conservatories. These results show that implicit learning is very massive while listening "passively" to music. These learning processes allow "non-musicians" to acquire a real expertise in music. The congruence of these results with the existence of anatomical and functional differences between the brains of musicians and nonmusicians is discussed in the last part of the paper.

BIBLIOGRAPHIE

- Bever, T. G., & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians, *Science*, *185*, 537-539.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1986). Reaction time and musical expectancy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *12*, 403-410.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1987). Priming of chords: Spreading activation or overlapping frequency spectra? *Perception and Psychophysics*, *41*, 519-524.
- Bigand, E. (1993). The influence of implicit harmony, rhythm and musical training on the abstraction of "tension-relaxation schemas" in a tonal musical phrase". *Contemporary Music Review*, *9*, 128-139.
- Bigand, E. (1997). Perceiving musical stability: The effect of tonal structure, rhythm and musical expertise. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 808-812.

- Bigand, E., D'Adamo, D., & Poulin, B. (soumis). The implicit learning of twelve-tone music. Manuscript soumis pour publication.
- Bigand, E., Madurell, F., Tillmann B., & Pineau, M. (1999). Effect of global structure and temporal organization on chord processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 184-197.
- Bigand, E., & Parncutt, R. (1999). Perception of musical tension in long chord sequences. *Psychological Research*, *62*, 237-254.
- Bigand, E., Parncutt, R., & Lerdahl, F. (1996). Perception of musical tension in short chord sequences: The influence of harmonic function, sensory dissonance, horizontal motion, and musical training. *Perception and Psychophysics*, *58*, 125-141.
- Bigand, E., & Pineau, M. (1996). Context effects on melody recognition: a dynamic interpretation. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, *15*, 121-134.
- Bigand, E., & Pineau, M. (1997). Context effects on musical expectancy. *Perception and Psychophysics*, *59*, 1098-1107.
- Bigand, E., Tillmann, B., Poulin, B., D'Adamo, D., & Madurell, F. (2001). The effect of harmonic context on phoneme monitoring in vocal music. *Cognition*, *81*, 11-20.
- Bigand, E., Poulin, B., Tillmann, B., Madurell, F., & D'Adamo, D. (2003). Sensory versus cognitive components in harmonic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 159-171.
- Bigand, E., Vieillard, S., Madurell, F., Marozeau, J., & Dacquet, A. (soumis). Multi dimensional scaling of emotional responses to music: the effect of musical expertise and excerpts' duration. Manuscript soumis pour publication.
- Burns, E. M., & Ward, W. D. (1982). Intervals, scale and tuning. In Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (pp. 241-261). New York: Academic Press.
- Chollet, S., & Valentin, D. (2000). Expertise level and odour perception: What can we learn from red burgundy wines? *L'Année Psychologique*, *100*, 11-36.
- Cuddy, L. L., & Badertscher, B. (1987). Recovery for the tonal hierarchy: some comparisons across age and levels of musical experience. *Perception and Psychophysics*, *41*, 609-620.
- Cuddy, L. L., & Thompson, W. F. (1992). Asymmetry of perceived key movement in chorale sequences: converging evidence from a probe-tone analysis. *Psychological Research*, *54*, 51-59.
- Donnadieu, S., McAdams, S., & Winsberg, S. (1994). Characterization of a timber of complex sounds: multidimensional analysis. *Journal de Physique*, *4*, 593-596.

tout particulièrement Barbara Tillmann, Bénédicte Poulin, Marion Pineau, Sandrine Vieillard, François Madurell, Philippe Lalitte, et Daniel D'Adamo.

ABSTRACT

Is explicit learning a necessary condition to develop an "expert musical ear"? How much can learning to play a musical instrument modify the way we perceive musical structures? Relying on recent data from studies on different aspects of musical perception, I will show how listeners without musical training ("nonmusicians") hear music in a similar way to listeners, who are at the end of their studies in conservatories. These results show that implicit learning is very massive while listening "passively" to music. These learning processes allow "non-musicians" to acquire a real expertise in music. The congruence of these results with the existence of anatomical and functional differences between the brains of musicians and nonmusicians is discussed in the last part of the paper.

BIBLIOGRAPHIE

- Bever, T. G., & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, *185*, 537-539.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1986). Reaction time and musical expectancy. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *12*, 403-410.
- Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1987). Priming of chords: Spreading activation or overlapping frequency spectra? *Perception and Psychophysics*, *41*, 519-524.
- Bigand, E. (1993). The influence of implicit harmony, rhythm and musical training on the abstraction of "tension-relaxation schemas" in a tonal musical phrase". *Contemporary Music Review*, *9*, 128-139.
- Bigand, E. (1997). Perceiving musical stability: The effect of tonal structure, rhythm and musical expertise. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *23*, 808-812.

- Bigand, E., D'Adamo, D., & Poulin, B. (soumis). The implicit learning of twelve-tone music. Manuscript soumis pour publication.
- Bigand, E., Madurell, F., Tillmann B., & Pineau, M. (1999). Effect of global structure and temporal organization on chord processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 184-197.
- Bigand, E., & Parncutt, R. (1999). Perception of musical tension in long chord sequences. *Psychological Research*, *62*, 237-254.
- Bigand, E., Parncutt, R., & Lerdahl, F. (1996). Perception of musical tension in short chord sequences: The influence of harmonic function, sensory dissonance, horizontal motion, and musical training. *Perception and Psychophysics*, *58*, 125-141.
- Bigand, E., & Pineau, M. (1996). Context effects on melody recognition: a dynamic interpretation. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, *15*, 121-134.
- Bigand, E., & Pineau, M. (1997). Context effects on musical expectancy. *Perception and Psychophysics*, *59*, 1098-1107.
- Bigand, E., Tillmann, B., Poulin, B., D'Adamo, D., & Madurell, F. (2001). The effect of harmonic context on phoneme monitoring in vocal music. *Cognition*, *81*, 11-20.
- Bigand, E., Poulin, B., Tillmann, B., Madurell, F., & D'Adamo, D. (2003). Sensory versus cognitive components in harmonic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *29*, 159-171.
- Bigand, E., Vieillard, S., Madurell, F., Marozeau, J., & Dacquet, A. (soumis). Multi dimensional scaling of emotional responses to music: the effect of musical expertise and excerpts' duration. Manuscript soumis pour publication.
- Burns, E. M., & Ward, W. D. (1982). Intervals, scale and tuning. In Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (pp. 241-261). New York: Academic Press.
- Chollet, S., & Valentin, D. (2000). Expertise level and odour perception: What can we learn from red burgundy wines? *L'Année Psychologique*, *100*, 11-36.
- Cuddy, L. L., & Badertscher, B. (1987). Recovery for the tonal hierarchy: some comparisons across age and levels of musical experience. *Perception and Psychophysics*, *41*, 609-620.
- Cuddy, L. L., & Thompson, W. F. (1992). Asymmetry of perceived key movement in chorale sequences: converging evidence from a probe-tone analysis. *Psychological Research*, *54*, 51-59.
- Donnadieu, S., McAdams, S., & Winsberg, S. (1994). Characterization of a timber of complex sounds: multidimensional analysis. *Journal de Physique*, *4*, 593-596.

- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1996). Increased cortical representation of the fingers of the left hands in string players. *Science*, *270*, 305-307.
- Francès, R. (1958). *La perception de la musique*. Paris: Vrin. [Transl. J. W. Dowling (1988), *The perception of music*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.]
- Frederickson, (2000). Perception of tension in music: Musicians versus nonmusicians. *Journal of Music Therapy*, *37*, 40-50.
- Gernsbacher, M. A., Varner, K. R., & Faust, M. E. (1990). Investigating differences in general comprehension skill. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *16*, 460-445.
- Gobet, F., & Simon, H. A. (1996). Recall of random and distorted chess positions: Implications for the theory of expertise. *Memory and Cognition*, *24*, 493-503.
- Gomez, R., & Gerken, L. (1999). Artificial grammar learning by 1-year-olds leads to specific and abstract knowledge. *Cognition*, *70*, 109-135.
- Hebert, S., Peretz, I., & Gagnon, L. (1995). Perceiving the tonal ending of tune excerpts : the role of preexisting representation and musical expertise. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, *49*, 193-210.
- Hetch, H., & Proffitt, D. R. (1995). The price of expertise: Effects of experience on the water-level task. *Psychological Science*, *6*, 90-95.
- Houlston, D. R., & Lowes, R. (1993). Anticipatory cue-utilization processes amongst expert and nonexpert wicketkeeper in cricket. *International Journal of Sport Psychology*, *24*, 59-73.
- Jackendoff, R. (1991). Musical parsing and musical affect. *Music Perception*, *9*, 199-230.
- Johnson, P. R. (1977). Dichotically stimulated ear differences in musicians and nonmusicians. *Cortex*, *13*, 385-389.
- Jones, M. R. (1987). Dynamic pattern structures in music: Recent theory and research. *Perception and Psychophysics*, *41*, 621-634.
- Jones, M. R., & Boltz, M. (1989). Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, *96*, 459-491.
- Karno, M., & Konecni, V. J. (1992). The effects of structural interventions in the First Movement of Mozart's Symphony in G-Minor, K. 550, on aesthetic preference. *Music Perception*, *10*, 63-72.
- Klarreich, E. (2001). Left in music: Musicians' brains may use language modules listening to music. *Science Update*, September 6. *Nature*.
- Koelsch, S., Gunter, T., & Friederici, A. D. (2000). Brain indices of musical processing: "Nonmusicians" are musical. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *12*, 520-541.
- Krumhansl, C. L., & Shepard, R. N. (1979). Quantification of the hierarchy of tonal function within a diatonic context. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *5*, 579-594.

- Lerdahl, F. (1988). Tonal pitch space. *Music Perception*, *5*, 315-345.
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Levinson, J. (1997). *Music in the moment*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- 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*, 540-545.
- Mazzuchi, A., Parma, M., & Cattelani, R. (1981). Hemispheric dominance in the perception of tonal sequences in relation to sex, musical competence, and handedness. *Cortex*, *17*, 291-302.
- McAdams, S., Winsberg, S., Donnadieu, S., Desoete, G., & Krimphoff, J. (1995). Perceptual scaling of synthesized musical timbres - common dimensions, specificities, and latent subject classes. *Psychological Research*, *58*, 177-192.
- McKloskey, M., Whasburn, A., & Flech, L. (1983). Intuitive physics: The straight-down belief and its origin. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *9*, 635-649.
- Meyer, L. B. (1956). *Emotion and meaning in music*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Meulemans, T. (1998). *L'apprentissage implicite : une approche cognitive, développementale et neuropsychologique*. Marseille: Solal.
- Ohnishi, T., Matsuda, H., Asada, T., Aruga, M., Hirakata, M., Nishikawa, M., Katoh, A., & Imabayashi, E. (2001). Functional anatomy of musical perception in musicians. *Cerebral Cortex*, *11*, 754-760.
- Pantev, C., & Lütkenhöner, B. (2000). Magnetoencephalographic studies of functional organization and plasticity of the human auditory cortex. *Journal of Clinical Neurophysiology Society*, *17*, 130-142.
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L. E., & Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, *392*, 811-814.
- Pineau, M., & Bigand, E. (1997). Influence du contexte global sur l'amorçage harmonique. *L'Année Psychologique*, *97*, 385-408.
- Poulin, B., Bigand, E., & Dowling, J. (soumis). Musical memory and expertise. Manuscript soumis pour publication.
- Regnault, P., Bigand, E., & Besson, M. (2001). Different brain mechanisms mediate sensitivity to sensory consonance and harmonic context: Evidence from auditory Event Related brain Potentials. *Journal of Cognitive Neurosciences*, *13*, 241-255.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by eight-month-old infants. *Science*, *274*, 1926-1928.

- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267, 699-701.
- Simon, H. A., & Gobert, F. (2000). Expertise effects in memory recall: Comment on Vicente and Wang (1998). *Psychological Review*, 107, 593-600.
- Smith, J. D., Nelson, D. G. K., Grohshkopf, L. A., & Appleton, T. (1994). What child is this? What interval was that? Familiar tunes and music perception in novice listeners. *Cognition*, 52, 23-54.
- Tekman, H. G., & Bharucha, J. J. (1998). Implicit knowledge versus psycho-acoustic similarity in priming of chords. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 24, 252-260.
- Tillmann, B., Bharucha, J., & Bigand, E. (2000). Implicit learning of tonality: A self-organizing approach. *Psychological Review*, 107, 885-913.
- Tillmann, B., & Bigand, E. (1996). Does formal musical structure affect perception of musical expressiveness? *Psychology of Music*, 24, 3-17.
- Tillmann, B., & Bigand, E. (1998). Influence of global structure on musical target detection and recognition. *International Journal of Psychology*, 33, 107-122.
- Tillmann, B., & Bigand, E. (2001). Global context effects in normal and scrambled musical sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 1185-1196.
- Tillmann, B., Bigand, E., & Madurell, F. (1998). Influence of global and local structures on solution of musical puzzles. *Psychological Research*, 61, 157-174.
- Tillmann, B., Bigand, E., & Pineau, M. (1998). Effect of local and global contexts on harmonic expectancy. *Music Perception*, 16, 99-118.
- Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. (sous presse). The costs and benefits of tonal centers for chord processing. *Perception and Psychophysics*.
- Trainor, L. J., Desjardin, R. N., & Rockel, C. A., (1999). A comparison of contour and interval processing in musicians and nonmusicians using event-related potentials. *Australian Journal of Psychology*, 51, 147-153.
- Wolpert, R. S. (1990). Recognition of melody, harmonic accompaniment, and instrumentation: musicians vs. nonmusicians. *Music Perception*, 8, 95-105.

ANNEXE

Liste des extraits utilisés pour comparer les réponses émotionnelles des musiciens et non musiciens dans Bigand et al. (soumis)

1. R. Strauss. *Also sprach Zarathustra*.
2. J.S.Bach. *Violin Sonata 1, Adagio*.
3. W.A.Mozart. *Piano Concerto K 488, Adagio*.
4. J. Brahms. *Violin Concerto, Adagio*.
5. D. Scarlatti, *Sonata A for Harpsichord, K208-209*.
6. R. Schumann' *Reverie*.
7. Shostakovitch *Symphonie 15, Adagio*.
8. Shostakovitch, *trio2 for piano, violin and cello, Largo*.
9. R. Wagner. *Tristan, Acte 4*.
10. J.Brahms. *Trio, piano, violon and horn, mvt2*.
11. F. Liszt *Poeme symphonique*.
12. Prokofiev *Sonata 3 for piano*.
13. Beethoven, *Symphony.7 Vivace*.
14. Beethoven. *Piano, Sonata n° 32, mvt2*.
15. Mendelssohn. *Italian Symphony*,
16. Chopin *Prelude 22*.
17. F. Liszt *Tasso Lamento & Triomfo*.
18. R. Strauss *Tod and Verklärung, 7'-7'30*.
19. J. S Bach *Violon sonata 3, Fuga*.
20. W.-F Bach. *Duetto for two flutes in F, Lamentabile*.
21. J. Haydn. *Symphony Bdur, Hob I 105, Andate*.
22. W.-F Bach. *Duetto for two flutes in G, Allegro*.
23. Schubert, *Piano sonata 3, in G major*.
24. Stravinsky, *Petrouchka, The Shrovetide Fair*.
25. Schoenberg, *Erwartung*.
26. Shostakovitch, *trio2 for violin, cello & piano, moderato*.
27. F. Liszt, *Totentanz*.

Appendix. List of excerpts used to compare emotional responses of musicians and nonmusicians in Bigand et al. (submitted).