

Université de Montréal

**Bases génétiques de l'amusie congénitale :  
Une étude de jumeaux**

par

Alexandra Nedelcu

Département de Psychologie

Faculté des arts et sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures et postdoctorales  
en vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M.Sc.)  
en psychologie

Mai 2012

© Alexandra Nedelcu, 2012

Université de Montréal  
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Bases génétiques de l'amusie congénitale : Une étude de jumeaux

Présenté par :  
Alexandra Nedelcu

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Sylvie Hébert, président-rapporteur  
Isabelle Peretz, directrice de recherche  
Nathalie Gosselin, co-directrice  
Marc Schoenwiesner, membre du jury

Université de Montréal

## Résumé

L'amusie congénitale est un trouble neuro-développemental se définissant par des difficultés à percevoir la musique, et ce malgré une ouïe et une intelligence normales. Un déficit de discrimination fine des hauteurs serait à l'origine de ce trouble, qui se traduit notamment par une incapacité à détecter les fausses notes. afin de mieux comprendre les facteurs génétiques contribuant à la manifestation de l'amusie congénitale, la présente étude avait pour objectif: (a) de déterminer si la performance sur diverses tâches musicales et auditives était plus similaire chez les jumeaux identiques (monozygotes ; MZ) que chez les jumeaux non-identiques (dizygotes ; DZ) et (b) d'explorer les variables relatives à l'environnement musical des jumeaux, afin de mieux comprendre les contributions de l'environnement et de la génétique dans les différences sous-tendant les habiletés musicales. De plus, le profil des sujets amusiques a été analysé afin de vérifier s'il correspondait à celui décrit dans la littérature, faisant état de difficultés tonales, mais non rythmiques. Huit paires de jumeaux MZ et six paires de jumeaux DZ, parmi lesquelles au moins un des co-jumeaux était potentiellement amusique, ont pris part à cette étude. Les tâches consistaient en un test en ligne de perception mélodique et rythmique, un test de détection des différences de hauteurs, ainsi qu'un test de chant. L'analyse de la performance et de l'environnement musical des jumeaux MZ et DZ ne révèle aucune distinction comportementale entre ces deux groupes en ce qui concerne les habiletés musicales. Cela suggère que celles-ci puissent être davantage influencées par l'environnement partagé que par les facteurs génétiques. Enfin, les jumeaux amusiques ont le profil habituel d'habiletés musicales. En effet, ils commettent des erreurs de perception et de production musicale au niveau mélodique, mais ont une perception rythmique préservée. D'autres études, notamment avec de plus grands échantillons de jumeaux, seront nécessaires afin d'élucider la possible étiologie génétique sous-tendant l'amusie congénitale.

**Mots-clés** : amusie congénitale, jumeaux, perception des hauteurs, perception rythmique, chant.

## **Abstract**

Music is an important part of every known culture, and its universality raises the question of a possible biological basis. Musical disorders, such as congenital amusia, offer compelling insight into these roots. In order to examine the genetic basis of this phenotype, we used a classical twin study paradigm. Our study had two main goals: (a) investigate if identical (monozygotic; MZ) co-twins perform more similarly on auditory and musical tasks than non-identical (dizygotic; DZ) co-twins and (b) explore the twins' musical environments in order to better understand the contribution of environmental versus genetic factors in the differences underlying musical abilities. In addition, we sought to replicate previous investigations that demonstrated impaired pitch processing but intact rhythm perception in amusic participants. To do so, we tested eight pairs of MZ and six pairs of DZ twins in which at least one of the co-twins was potentially amusic. Participants completed an online amusia test, a pitch detection task and a singing task. We observed no performance or musical environment differences between MZ and DZ twins, suggesting that musical abilities might be more influenced by the twins' shared environment than by genetic factors. In addition, and as reported in previous studies, amusics made pitch processing errors in both perception and production, but rhythmic perception was preserved. Future studies, particularly those with access to larger twin samples, will be able to further elucidate the roles of environmental and genetic factors in the amusic phenotype.

**Keywords:** congenital amusia, twins, pitch perception, rhythmic perception, singing.

## Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
Liste des abréviations.....	vii
Remerciements.....	viii
1. Introduction.....	1
1.1. L’amusie congénitale : un trouble de la cognition musicale.....	1
1.2. La génétique de la perception musicale.....	4
2. Objectifs et hypothèses.....	7
3. Méthodologie.....	9
3.1. Recrutement des participants.....	9
3.3.1. Banque de données des jumeaux testés en 2006.....	9
3.1.2. Nouveaux jumeaux recrutés en 2010.....	10
3.2. Participants.....	10
3.3. Matériel et déroulement.....	11
3.3.1. Test en ligne.....	11
3.3.2. Test de détection des différences de hauteurs.....	13
3.3.3. Test de chant.....	14
3.4. Traitement des données.....	15
3.4.1. Analyse comparative de la performance des jumeaux MZ versus DZ aux différents tests.....	15
3.4.2. Exploration de l’environnement des jumeaux MZ et DZ.....	18
3.4.3. Analyse de la performance des participants amusiques.....	19
4. Résultats et commentaires.....	20
4.1. Comparaison de la performance des jumeaux MZ versus DZ.....	20
4.1.1. Test en ligne.....	20
4.1.2. Test de détection des différences de hauteurs.....	23

4.1.3.	Test de chant .....	25
4.2.	Exploration de l'environnement musical des jumeaux MZ et DZ.....	26
4.2.1.	Questionnaire du test en ligne : jumeaux MZ versus DZ.....	26
4.2.2.	Questionnaire du test en ligne : paires de jumeaux MZ discordantes.....	27
4.3.	Évaluation de la performance des sujets amusiques .....	28
4.3.1.	Test en ligne .....	28
4.3.2.	Test de détection des différences de hauteurs .....	30
4.3.3.	Test de chant .....	30
4.3.4.	Questionnaire du test en ligne : variables reliées à l'amusie .....	32
5.	Discussion .....	34
5.1.	Habilités musicales des jumeaux MZ versus DZ .....	34
5.2.	Environnement musical des jumeaux MZ versus DZ.....	36
5.2.1.	Facteurs environnementaux pouvant expliquer la discordance des jumeaux MZ : Hypothèses provenant des études sur le langage. ....	37
5.3.	Habilités musicales des sujets amusiques.....	39
5.4.	Limites .....	40
5.5.	Pistes futures .....	41
6.	Conclusion .....	42
	Références.....	i
	Annexe I : Figures et tableaux .....	v
	Figures.....	vi
	Tableaux.....	xii
	Annexe II : Questionnaire de zygocité.....	xxii
	Annexe III : Annonce - Recrutement 2010.....	xxv

## Liste des tableaux

**Tableau 1.** Caractéristiques démographiques individuelles des jumeaux MZ et DZ

**Tableau 2.** Caractéristiques démographiques des sujets amusiques

**Tableau 3.** Résultats individuels des jumeaux MZ et DZ au test en ligne de détection de l'amusie

**Tableau 4.** Résultats individuels des jumeaux MZ et DZ à la tâche de détection des différences de hauteurs

**Tableau 5.** Résultats individuels à la tâche de chant pour les jumeaux MZ et DZ

**Tableau 6.** Compilation de la performance des participants amusiques aux trois tests musicaux

**Tableau 7.** Compilation de la fréquence des réponses au questionnaire du test en ligne pour les jumeaux MZ et DZ

**Tableau 8.** Questions répondues de manière différente par les paires de jumeaux MZ discordantes

**Tableau 9.** Compilation de la fréquence des réponses au questionnaire du test en ligne pour les sujets amusiques

## Liste des figures

**Figure 1.** Niveaux de traitement de l'amusie congénitale

**Figure 2.** Exemples de stimuli du test en ligne de détection de l'amusie

**Figure 3.** Représentation schématique de la tâche de détection des hauteurs

**Figure 4.** Partition de la chanson *Gens du Pays*

**Figure 5.** Corrélation entre la performance aux sous-tests *Out-of-Key* et *Off-Beat* pour les participants amusiques et non-amusiques

**Figure 6.** Performance des participants amusiques et contrôles sur la tâche de détection des différences de hauteurs

## Liste des abréviations

CIC :	Corrélation intra-classe
DZ :	Dizygotes
MBEA:	<i>Montreal Battery of Evaluation of Amusia</i> ; Batterie montréalaise de l'évaluation de l'amusie
MZ :	Monozygotes
PCD:	<i>Pitch Change Detection</i> ; Test de détection des différences de hauteur

## Remerciements

Je tiens d'abord à remercier chaleureusement mes superviseuses dans ce projet, Isabelle Peretz et Nathalie Gosselin. Isabelle, je vous remercie de m'avoir permis de travailler au sein de votre laboratoire et de m'avoir fait découvrir le monde de la neuropsychologie de la musique. Vous avez su à la fois me guider et me laisser la liberté nécessaire pour m'épanouir sur le plan académique. Nathalie, votre patience et votre constante disponibilité m'ont permis de surmonter avec aisance les obstacles qui se sont présentés ces dernières années sur mon chemin. Vos encouragements m'ont toujours touchée. Merci d'avoir cru en moi et de m'avoir supervisé depuis le tout début.

J'aimerais également remercier tous mes collègues et amis du BRAMS, qui ont contribué en grande partie à rendre ce parcours académique agréable. C'était un plaisir d'aller au laboratoire à tous les jours et de pouvoir compter sur votre support et votre bonne humeur. Merci aussi à toute l'équipe du BMT et du CBRU de l'Université de Helsinki, et plus particulièrement à Mari Tervaniemi. Ce séjour en Finlande à l'automne 2011 a été extrêmement formateur, tant aux points de vue professionnel que personnel. Je n'aurais pas pu terminer ma maîtrise sur une meilleure note.

Je tiens aussi à remercier tous les participants ayant pris part à cette étude. Découvrir le monde des jumeaux a été pour moi un grand plaisir. Un merci particulier à Geneviève Mignault-Goulet et William Aubé, qui ont activement participé au recrutement et à l'expérimentation, ainsi qu'à Catherine Roquet et Nicolas Robitaille pour leur aide lors de l'analyse des données.

Enfin, merci à mes chers parents qui n'ont jamais cessé de croire en moi. Je suis extrêmement privilégiée de vous avoir et de pouvoir compter sur vous peu importe les circonstances. Merci infiniment.

## 1. Introduction

D'où provient notre habileté à comprendre et à apprécier la musique? Certains considèrent la musique comme une invention culturelle, comme un sous-produit du langage (Pinker, 1997), et voient difficilement comment celle-ci pourrait s'étudier selon une perspective biologique. Les défenseurs de cette dernière perspective soutiennent au contraire que la capacité musicale pourrait avoir un caractère inné (Peretz, 2006). La littérature scientifique sur les origines génétiques des habiletés musicales en est encore à ses débuts, mais les pistes explorées jusqu'à maintenant semblent effectivement suggérer que le comportement musical d'un individu pourrait être en partie guidé par ses gènes. Dans cette optique, un des profils musicaux ayant retenu l'attention des chercheurs dans la dernière décennie est celui de l'amusie congénitale, un trouble neuro-développemental de la perception musicale. Afin de contribuer à l'exploration des bases génétiques de l'amusie congénitale, l'objectif principal de ce projet de recherche sera de déterminer si les habiletés musicales de sujets potentiellement amusiques se manifestent de façon similaire chez les jumeaux identiques (monozygotes; MZ) versus non-identiques (dizygotes; DZ). En plus, le profil des participants amusiques sera investigué afin d'attester s'il correspond à un déficit spécifique au niveau tonal, tant aux plans de la perception que, dans certains cas, de la production musicale.

### 1.1. L'amusie congénitale : un trouble de la cognition musicale

Comme le langage, les habiletés musicales se développent spontanément et de manière implicite dès la naissance (Tillman, Bharucha, & Bigand, 2000). Toutefois, environ 4% de la population ne parvient pas à acquérir ce type d'habiletés (Kalmus & Fry, 1980). Ce trouble, appelé amusie congénitale, se traduit par des difficultés dans le domaine musical ne pouvant être attribuables à une perte auditive, à un déficit cognitif ou neurologique, ou à une sous-exposition à la musique (Peretz, 2008). Les amusiques se distinguent de la population normale en ce sens qu'ils arrivent difficilement à reconnaître une chanson familière sans l'aide des paroles (Ayotte, Peretz & Hyde, 2002) et ils n'arrivent pas à remarquer qu'une personne chante faux (Peretz & Hyde, 2003). De plus, ce trouble se

traduit par une incapacité marquée à détecter les fausses notes (Ayotte et al., 2002; Peretz et al., 2002), une caractéristique faisant office de trait diagnostic. Au niveau rythmique, un déficit est observé chez la moitié de ces individus, probablement en raison des variations de hauteurs dans les mélodies. Par contre, lorsqu'on exclut les variations de hauteurs des séquences rythmiques présentées, la performance des amusiques est comparable à celle des contrôles (Foxton, Nandy, & Griffiths, 2006).

À la lumière des caractéristiques énoncées précédemment, on constate que l'habileté musicale qui serait déficiente chez les amusiques est l'encodage tonal de la hauteur, un système de traitement cognitif spécifique à la musique. Dans le système tonal occidental, les notes sont organisées autour d'une note centrale, appelée la tonique. Une pièce musicale débute et se termine généralement par une tonique. De plus, une hiérarchie d'importance et de stabilité sous-tend l'organisation des autres notes de la gamme. Les notes ne faisant pas partie de la gamme sont souvent perçues comme étant anormales et la détection de ces anomalies se fait aisément chez la majorité des individus, mais non chez les amusiques (Peretz & Hyde, 2003). L'amusie congénitale se traduit aussi par des difficultés de détection des différences de hauteurs inférieures ou égales à deux demi-tons, notamment au sein de séquences monotones (Hyde & Peretz, 2004). En supposant que ce trouble soit présent dès la naissance, il est probable que les amusiques n'aient pas été en mesure, contrairement aux individus normaux, d'acquérir les connaissances implicites relatives à la structure des échelles musicales (Tillman, Bharucha & Bigand, 2000). Par conséquent, l'incapacité à détecter les fines différences de hauteurs les empêche de comprendre une partie essentielle de la musique (Peretz & Hyde, 2003). Toutefois, les amusiques obtiennent des résultats similaires à ceux des contrôles lors des tâches de discrimination temporelle, faisant de l'amusie un trouble spécifique au traitement tonal et non rythmique (Foxton, Dean, Gee, Peretz, & Griffiths, 2004; Hyde & Peretz, 2004). De plus, l'amusie congénitale ne peut être attribuable à un problème d'attention auditive puisque les amusiques semblent être en mesure de détecter les variations de hauteurs supérieures à deux demi-tons (Hyde & Peretz, 2004).

En ce qui a trait à la production vocale, le profil des amusiques se traduit généralement par

un chant ponctué d'erreurs mélodiques (Ayotte et al., 2002; Dalla Bella, Giguère, & Peretz, 2009; Tremblay-Champoux, Dalla Bella, Phillips-Silver, Lebrun, & Peretz, 2010). Le chant des amusiques se distingue de celui des contrôles dans les jugements subjectifs émis par des pairs (Ayotte et al., 2002), ainsi que par le biais d'analyses acoustiques (Dalla Bella et al., 2009; 2007). Dans une étude faite par Dalla Bella et ses collaborateurs (2009), il a été démontré que la justesse de la production variait en fonction du matériel chanté, dans ce cas-ci lorsqu'il s'agissait de chanter un air sur les paroles ou bien sur la syllabe /la/. Il s'est avéré que les amusiques avaient beaucoup de difficulté à chanter sur la syllabe /la/, une distinction qui n'est pas présente chez les contrôles, et qui pourrait s'expliquer par un déficit de récupération de l'information mélodique en mémoire lorsque les paroles sont absentes. En effet, les paroles créent une association supplémentaire à l'heure de reproduire une chanson, ce qui serait bénéfique pour les amusiques présentant une mémoire musicale déficitaire. Par ailleurs, la présence d'amusie congénitale ne s'accompagne pas nécessairement d'un déficit au niveau du chant, puisqu'il existe des amusiques perceptifs chez qui la production est préservée (Dalla Bella et al., 2009; Loui, Guenther, Mathys, & Schlaug, 2008), notamment lorsque l'on demande aux participants de chanter tout de suite après la présentation d'un modèle fournissant un exemple de la performance attendue (Tremblay-Champoux et al., 2010). Ce phénotype suggérerait la présence de circuits neuronaux indépendants pour les habiletés de perception et de production musicales (Loui, Alsop, & Schlaug, 2009).

De récentes études d'imagerie cérébrale ont permis d'identifier les corrélats neuronaux en lien avec l'amusie congénitale. En comparaison aux sujets contrôles, on observe dans le cerveau des amusiques une connexion fonctionnelle réduite entre le cortex auditif et le cortex inféro-frontal (Hyde, Zatorre, & Peretz, 2011), ainsi qu'une connexion réduite au niveau du faisceau arqué (Loui, Alsop, & Schlaug, 2009). De plus, on observe une diminution de la matière blanche par rapport aux contrôles dans le cortex inféro-frontal droit (Hyde, Zatorre, Griffiths, Lerch, & Peretz, 2006). Enfin, au niveau de l'épaisseur corticale, celle-ci se trouve à être plus importante dans le cortex inféro-frontal droit, ainsi que dans l'aire auditive droite (Hyde et al., 2007). Ces anomalies cérébrales pourraient découler d'une migration ou d'une prolifération cellulaire inhabituelles, pouvant être

causées par des mutations génétiques (Guerrini & Marini, 2006), qui elles pourraient contribuer à l'émergence de l'amusie congénitale. La question demeure à savoir dans quelle proportion et de quelle manière les gènes influencent la capacité musicale.

## 1.2. La génétique de la perception musicale

Une des méthodes les plus couramment employées afin d'illustrer le rôle des facteurs génétiques dans la manifestation d'un trait comportemental donné est l'étude familiale. Ce type d'étude est susceptible de fournir des informations importantes quant aux origines génétiques d'un trouble développemental tel que l'amusie congénitale, en y apportant notamment une estimation de l'héritabilité (Peretz, 2008). L'héritabilité se définit comme étant la proportion de la variabilité déterminée par les gènes dans un trait donné (Fisher & DeFries, 2002). Si un trouble développemental est héréditaire, celui-ci devrait se manifester de manière plus fréquente chez les membres de la famille des individus atteints que chez ceux des familles de sujets contrôles (Stromswold, 2001). Afin d'estimer si l'amusie congénitale pouvait avoir une composante héréditaire, Peretz, Cummings et Dubé (2007) ont mesuré sa prévalence grâce à un test en ligne de détection de l'amusie (Peretz et al., 2008), administré à neuf familles de sujets amusiques, ainsi qu'à dix familles contrôles. Les résultats obtenus indiquent que chez les familles de sujets amusiques, 39% des parents de premier degré sont également atteints d'amusie congénitale, alors que le déficit n'est présent que chez 3% des familles contrôles. De plus, les auteurs ont calculé le *sibling relative risk* ( $\lambda_s$ ), définit comme étant le risque des frères et sœurs d'individus atteints de développer eux-mêmes le trouble, divisé par la prévalence de ce trouble au sein de la population générale. Cette variable a ainsi été estimée à 10,8 (95% IC 8-13,5), indiquant que la fratrie des individus affectés aurait environ 10,8 fois plus de chances d'être atteinte d'amusie congénitale que le reste de la population.

Malgré le fait qu'il soit possible d'établir le caractère héréditaire d'un trouble tel que l'amusie congénitale, les études familiales ne permettent pas d'indiquer dans quelle proportion les facteurs génétiques et environnementaux (c.-à-d. transmis socialement au sein de la famille) contribuent à sa manifestation. À cette fin, les études de jumeaux sont utiles, puisqu'elles permettent de vérifier si les jumeaux monozygotes sont plus similaires

entre eux que les jumeaux dizygotes. L'étude de jumeaux est une des méthodes les plus fréquemment utilisées afin de départager l'apport des facteurs génétiques et environnementaux sous-tendant la manifestation d'un trait. En comparant les jumeaux MZ, qui partagent le même bagage génétique, aux jumeaux DZ, qui ne partagent que 50% de leurs gènes, il est possible d'évaluer dans quelle proportion les facteurs génétiques jouent un rôle dans la manifestation d'un trait. Ainsi, on suppose que des jumeaux MZ, génétiquement identiques, devraient être plus similaires au niveau comportemental que des jumeaux DZ (Plomin, DeFries, McLearn, & Rutter, 1999).

Les coefficients d'héritabilité obtenus dans les études de jumeaux sont basés sur le principe que les jumeaux MZ partagent exactement le même génotype. On constate cependant que dans certains cas, les jumeaux MZ présentent des discordances au plan génotypique, qui se traduisent conséquemment par des dissemblances au niveau phénotypique. Ainsi, il est possible que des jumeaux identiques diffèrent sur une multitude d'aspects, tels que la latéralité manuelle ou le développement du langage par exemple (Stromswold, 2006). À l'origine de ces discordances se trouvent plusieurs facteurs, mais tous peuvent être englobés sous le grand thème de l'environnement, défini en génétique comportementale comme incluant toutes les influences autres que celles transmises par l'hérédité (Plomin, DeFries, McLearn, & Rutter, 1999). Les facteurs environnementaux incluent les facteurs périnataux (correspondant à la période allant environ de la 22<sup>e</sup> semaine de gestation jusqu'à la première semaine suivant la naissance) et postnataux. Les facteurs environnementaux périnataux incluent par exemple les infections intra-utérines, la prématurité ou le faible poids à la naissance, tandis que les facteurs environnementaux postnataux incluent notamment tout ce qui est relié à la sphère psychosociale (Stromswold, 2006). L'intérêt des études de jumeaux est donc de départager les facteurs génétiques des facteurs environnementaux, et, dans le cas des jumeaux MZ discordants, d'identifier les variables pouvant expliquer les différences phénotypiques.

La seule étude de jumeaux ayant tenté de départager la contribution des gènes par rapport à celle de l'environnement dans la reconnaissance de la hauteur musicale (le trait déficitaire chez les amusiques) est celle de Drayna et ses collaborateurs (2001). Dans cette étude, 136

paires de jumeaux MZ et 148 paires de jumeaux DZ, recrutées au sein de la population générale, ont été évaluées avec un test de reconnaissance musicale (DTT; *Distorted Tunes Test*). Ce test était composé de 26 courtes mélodies populaires, parmi lesquelles des fausses notes pouvaient y être ou non introduites. La tâche des participants était d'indiquer si la mélodie était correcte ou si elle contenait des fausses notes. Les résultats de cette étude indiquent que les jumeaux MZ avaient des scores plus similaires ( $r = 0,67$ ) que les jumeaux DZ ( $r = 0,44$ ) quant à l'habileté de détection des fausses notes. Par ailleurs, les auteurs n'ont noté aucun effet significatif relié à l'environnement partagé, mentionnant que « tout effet de la culture ou de l'exposition à la musique est probablement le même chez les jumeaux MZ et DZ ». Ces résultats semblent indiquer qu'au sein de la population normale, l'habileté de perception des hauteurs serait grandement influencée par des facteurs génétiques.

Toutefois, il est à noter que l'étude de Drayna et ses collaborateurs comporte certaines failles. Premièrement, le fait d'évaluer au moyen de mélodies populaires des individus parmi lesquels certains pourraient être amusiques pose un problème. En effet, leur trouble pourrait initialement les empêcher d'encoder ces mélodies en mémoire, ce qui les désavantagerait par rapport aux individus non affectés. Afin de remédier à ce problème de familiarité musicale, la tâche de détection des fausses notes devrait se faire dans un contexte où le test musical est composé de séquences mélodiques inédites. Ainsi, il serait possible de distinguer un déficit réel d'un déficit relié au manque d'exposition du matériel employé. Concrètement, nous utiliserons dans la présente étude un test en ligne de détection de l'amusie mis au point par Peretz et ses collaborateurs (2008) composé de mélodies originales, une condition optimale à l'évaluation d'individus potentiellement amusiques. Une seconde limite du DTT est qu'il ne contient aucune condition contrôle, une modalité fort utile afin de vérifier que les sujets aient bien compris la tâche et que les résultats ne s'expliquent pas par un autre trouble que celui mesuré. Contrairement au DTT, nous avons inclus dans notre test en ligne de détection de l'amusie une condition contrôle sous la forme d'un sous-test de perception rythmique, dans lequel le sujet est amené à détecter une irrégularité temporelle au sein d'une séquence mélodique. Cette tâche, réussie autant par les amusiques que par les non-amusiques (Hyde & Peretz, 2004), permet ainsi

d'écarter la présence de troubles auditifs ou attentionnels pouvant être à l'origine d'un déficit de perception tonale. Troisièmement, la majorité (78,5%) des participants évalués à l'aide du DTT avait obtenu un résultat parfait, ce qui reflète le manque de sensibilité de l'instrument de mesure. Encore une fois, le test en ligne que nous utiliserons répond à cette limite en ce sens que les scores globaux obtenus suivent de près la courbe normale et que l'on n'observe à ce test pas de résultats parfaits (Peretz et al., 2008). Il peut donc être considéré, d'un point de vue psychométrique, comme étant sensible à la détection d'un trouble de perception musicale. Enfin, Drayna et ses collaborateurs n'ont pas tenu compte dans leur étude de l'expérience musicale des participants, ce qui aurait pu fournir d'importantes données additionnelles en lien avec l'environnement des jumeaux. De notre côté, les caractéristiques démographiques ainsi que l'environnement musical des participants seront examinés à l'aide d'un questionnaire afin de rendre compte explicitement des différences entre les apports génétiques et environnementaux soutenant les habiletés musicales. En somme, chacune des limites présentées ci-dessous est abordée dans cette étude de manière à proposer une amélioration du protocole d'évaluation d'un échantillon de jumeaux potentiellement amusiques.

## 2. Objectifs et hypothèses

La présente étude comporte trois objectifs principaux :

1. Évaluer, de façon comparative, les habiletés musicales de jumeaux MZ et DZ *potentiellement amusiques*, c'est-à-dire ayant présenté par le passé des difficultés de détection de fausses notes (sous-test *Out-of-Key* ; Peretz et al., 2008, présenté ultérieurement). Plus spécifiquement, nous évaluerons les habiletés de perception et de production musicales des participants par le biais d'un test de perception mélodique et rythmique, d'un test de détection des différences de hauteurs et d'une tâche de chant ;
2. Examiner et décrire les variables relatives à l'environnement musical des jumeaux, telles que la formation musicale et les habitudes quotidiennes face à la musique, afin

de mieux comprendre l'apport de l'environnement versus celui de la génétique dans les différences sous-tendant les habiletés musicales ;

3. Analyser le profil de perception et de production musicales des participants *amusiques confirmés* afin de vérifier si ces derniers présentent, tel que décrit dans la littérature :
  - a. Des difficultés de détection des fines différences de hauteurs (Hyde & Peretz, 2004);
  - b. Pour la majorité des individus, un chant ponctué d'erreurs mélodiques (Tremblay-Champoux et al., 2010 ; Dalla Bella et al., 2009) ;
  - c. Une dissociation au niveau du traitement mélodique et rythmique, et ce, en perception comme en production (Dalla Bella et al., 2009 ; Peretz et al., 2008; Hyde & Peretz, 2004; Peretz et al., 2003).

Nous posons d'abord l'hypothèse que la performance aux trois tests musicaux, soit le test en ligne, le test de détection des différences de hauteurs et le test de chant, sera plus similaire entre le groupe de jumeaux potentiellement amusiques MZ que DZ. En effet, la théorie sous-tendant l'étude de jumeaux classique suggère que puisque les jumeaux MZ partagent le même bagage génétique, ils devraient avoir un comportement plus similaire que les jumeaux DZ, qui ne partagent que la moitié de leurs gènes (Plomin et al., 1999).

De plus, nous estimons que les individus identifiés comme étant amusiques au sein de notre échantillon présenteront des difficultés de perception tonale, plus particulièrement au regard des fines différences de hauteurs. En ce qui concerne le chant, il est attendu que la performance soit variable, c'est-à-dire qu'une partie des individus ait un chant faux, alors que d'autres auraient chanteraient de manière relativement juste. Il est néanmoins anticipé que pour les trois tests, la perception et la production musicales des participants soient préservées au plan rythmique.

### 3. Méthodologie

#### 3.1. Recrutement des participants

Deux méthodes de recrutement ont été employées pour les fins de cette étude : l'accès à une banque de données comprenant des jumeaux testés en 2006 et le recrutement de nouvelles paires de jumeaux en 2010.

##### 3.3.1. Banque de données des jumeaux testés en 2006

Un premier groupe de sujets a été sélectionné en 2006 lors de la Parade des Jumeaux du Festival Juste Pour Rire de Montréal. Lors de cet événement, 136 paires de jumeaux (99 MZ et 37 DZ) ont été évaluées par le biais de deux sous-tests tirés du test en ligne de détection de l'amusie : une condition mélodique (*Out-of-Key*) et une condition rythmique (*Off-Beat*) (voir Figure 2). Ces deux sous-tests seront présentés en détails ultérieurement. Le test comprenait également un formulaire de consentement, un questionnaire d'évaluation de la zygocité (permettant de différencier les jumeaux MZ et DZ; Kasriel & Eaves, 1976) (voir Annexe II), ainsi qu'un questionnaire visant à explorer les variables relatives à l'environnement musical du sujet et celles en lien avec la manifestation de l'amusie.

Parmi les sujets évalués à la Parade des Jumeaux, ceux ayant obtenu un score inférieur au 25<sup>e</sup> rang centile sur le sous-test mélodique *Out-of-Key* ont été considérés comme étant *potentiellement amusiques* et ont été recontactés pour la présente étude. Le 25<sup>e</sup> rang centile correspond à un résultat de 70.8% (score brut de 17/24), ce qui est similaire au seuil diagnostique établi dans la validation de la version originale du test en ligne (Peretz et al., 2008). Cinquante-quatre paires de jumeaux (incluant au moins 1 co-jumeau potentiellement amusique) ont été recontactées, parmi lesquelles 12 ont pris part à cette étude (7 paires MZ et 5 paires DZ).

### 3.1.2. Nouveaux jumeaux recrutés en 2010

Une deuxième phase de recrutement a eu lieu en 2010, par l'entremise d'annonces affichées sur le campus de l'Université de Montréal et publiées sur Internet (*Facebook*, *Kijiji* et *Craig's List*) (voir Annexe III). Les jumeaux nous ayant contacté et ayant rapporté avoir un problème musical étaient invités à effectuer le test en ligne de détection de l'amusie (Peretz et al., 2008). Les individus ayant obtenu un score inférieur à deux écarts-types sous la moyenne au sous-test *Scale MBEA*<sup>1</sup> (Peretz, Champod, & Hyde, 2003) étaient alors conviés à participer à notre étude. Cette démarche nous a permis de recruter deux nouvelles paires de jumeaux, une MZ et une DZ.

### 3.2. Participants

Au total, 14 paires de jumeaux (8 MZ et 6 DZ), parmi lesquelles au moins un des co-jumeaux est potentiellement amusique, ont participé à cette étude (voir Tableau 1 pour les données démographiques). Un test d'audiométrie indique que tous les participants avaient une audition normale. Leurs habiletés de résolution de problèmes (incluant une composante visuo-spatiale) ont également été évaluées, soit par le sous-test des matrices de l'échelle d'intelligence de Wechsler (WAIS-III; Wechsler, 1997) (effectuée par 8 paires de jumeaux; 3 MZ et 5 DZ), soit par le test du personnel Wonderlic, Formulaire E (Wonderlic & Associates, 1983) (effectué par 6 paires de jumeaux; 5 MZ et 1 DZ)<sup>2</sup>. Ces tests ont été effectués afin d'écarter un éventuel déficit au niveau du traitement visuo-spatial, qui s'avère habituellement normal chez les individus amusiques tout comme chez les sujets contrôles (Tillman et al., 2010). Les résultats à ces deux tests se situaient tous entre -1 et +1 écart-type par rapport à la moyenne. Quatre paires, parmi lesquelles au moins un des co-jumeaux déclarait avoir un historique de déficit d'attention, d'accident vasculaire cérébral ou de traumatisme crânien, ont été exclues de l'étude. La zygoté a été évaluée par le biais

---

<sup>1</sup> Le sous-test *Scale MBEA* (MBEA: *Montreal Battery of Evaluation of Amusia*) fait partie d'une batterie standardisée d'évaluation de l'amusie congénitale, élaborée par Isabelle Peretz et ses collègues, qui est maintenant utilisée à travers le monde. Ce sous-test a été inclus dans la seconde version du test en ligne de détection de l'amusie, employée à des fins de recherche scientifique depuis 2009.

<sup>2</sup> La raison pour laquelle deux différents tests ont été utilisés est que nous avons considéré en cours de route le sous-test des matrices de la WAIS-III comme un outil d'évaluation plus valide que le Wonderlic afin d'évaluer les habiletés de résolution de problèmes des participants.

d'un questionnaire adapté de Kasriel et Eaves (1976), comprenant huit items relatifs à la similarité physique des co-jumeaux. Les auteurs précisent que cet outil diagnostique a été validé en fonction de l'évaluation objective de la zygoté par le biais de 23 marqueurs de groupes sanguins. Le taux de correspondance entre le questionnaire et le phénotype sanguin varie entre 91 et 97%, témoignant ainsi de la fiabilité de la mesure. De plus, le consentement libre et éclairé a été obtenu de tous les participants avant la séance d'expérimentation et chacun a reçu une compensation de 40\$ pour deux heures de participation. Cette étude a été menée avec l'approbation du comité d'éthique de l'Université de Montréal.

### **3.3. Matériel et déroulement**

#### *3.3.1. Test en ligne*

Les jumeaux étaient invités au laboratoire afin d'effectuer les divers tests. Chacun d'entre eux était évalué de façon individuelle. La présence d'amusie congénitale était établie grâce au test en ligne de détection de l'amusie, adapté de Peretz et ses collègues (2008) (disponible en ligne à l'adresse suivante : <http://www.brams.umontreal.ca/amusia-general>). La majorité, soit 11 des 14 paires de jumeaux, avait déjà effectué une version réduite du test en ligne lors de la Parade des Jumeaux du Festival Juste Pour Rire de Montréal en 2006. Le test auquel ils étaient soumis dans le cadre de la présente étude avait pour objectif d'évaluer la stabilité de leurs habiletés de perception musicale à travers le temps. Les deux nouvelles paires de jumeaux recrutées en 2010 n'ont passé le test en ligne qu'une seule fois en laboratoire.

Une introduction présentait aux participants la procédure d'expérimentation, suite à quoi on leur demandait de fournir leur consentement<sup>3</sup>. Les participants devaient ajuster le volume des écouteurs à un niveau qu'ils jugeaient confortable en écoutant trois courts extraits musicaux. Le test en ligne pouvait ensuite débiter. La plus récente version du test en ligne comprend trois sous-tests (voir Figure 2). Le premier est le *Scale MBEA* (Peretz et

---

<sup>3</sup> Une paire de jumelles de 13 ans était accompagnée de leur mère, laquelle a signé le formulaire de consentement. Tous les autres participants étaient majeurs.

al., 2003), qui comporte 30 essais et un essai-piège. Chaque essai est composé de deux mélodies que le sujet doit comparer en indiquant si celles-ci sont pareilles ou différentes. Toutes les mélodies sont générées avec un timbre de piano, composées selon les règles du système tonal occidental et durent entre 3,8 et 6,4 secondes (moyenne : 5,1 sec). Ce sous-test fut construit de sorte que 15 essais contiennent des paires de mélodies identiques et 15 essais incluent une mélodie de comparaison différente de la première. Parmi ces paires différentes, la manipulation effectuée consiste en l'introduction d'une note hors-tonalité dans la mélodie de comparaison, tout en maintenant le contour mélodique. De plus, un essai-piège dans lequel les notes de la mélodie de comparaison étaient jouées au hasard était inclus dans le test afin de vérifier que les participants portaient bien attention à la tâche.

Les deux sous-tests suivants du test en ligne, *Off-Beat* et *Out-of-Key*, sont les mêmes qui ont été utilisés lors de la Parade des Jumeaux en 2006. Ils ont été créés à partir de 12 stimuli de la MBEA (Peretz et al., 2003). Toutes les mélodies étaient jouées en mode majeur, contenaient en moyenne 9,6 notes et étaient générées à un tempo de 120 battements par minute. Les extraits musicaux étaient présentés avec dix timbres différents (piano, saxophone, clarinette, harpe, guitare, hautbois, flûte à bec, ensemble de violons, clavecin et basson). Les 12 mélodies étaient modifiées afin que la même note critique soit altérée, soit en termes de temps ou de hauteur. Pour le sous-test *Off-Beat*, le changement temporel consistait en l'insertion d'un silence de 375 msec (c.-à-d. 5/7 de l'unité du temps) dans la mélodie, créant ainsi une interruption métrique. Dans la condition *Out-of-Key*, le changement consistait en l'insertion d'une note en dehors de la tonalité originale de la mélodie, introduisant ainsi une note « étrangère » dans la séquence musicale. Le participant devait indiquer si les mélodies contenaient ou non une incongruité, en cliquant sur le bouton « oui » si c'était le cas et « non » dans le cas contraire. Chaque condition était précédée de deux exemples.

En parallèle avec les mesures décrites ci-dessus, les participants devaient remplir un questionnaire permettant de mieux quantifier les variables liées à l'amusie et à l'environnement musical (telles que leur formation musicale et l'importance de la musique

dans leur enfance). Parmi les questions visant à explorer spécifiquement les symptômes de l'amusie, certaines ont été reconnues comme étant particulièrement pertinentes pour identifier les individus atteints : « Parvenez-vous à reconnaître une mélodie très connue sans l'aide des paroles ? », « Pourriez-vous remarquer qu'une personne chante faux ? » et « Je chante faux. » (Peretz et al., 2008). De plus, les questions avaient pour but d'explorer les caractéristiques démographiques des sujets, ainsi que de vérifier s'ils présentaient des critères d'exclusion (p. ex., un trouble cognitif, un déficit d'attention, un accident vasculaire cérébral ou un traumatisme crânien). À la fin, les résultats de chacun des sous-tests étaient présentés aux participants. La durée totale de la procédure, incluant le questionnaire, était d'environ 30 minutes.

### 3.3.2. *Test de détection des différences de hauteurs*

La seconde expérience que le participant était amené à faire était le test de détection des différences de hauteurs (*Pitch Change Detection Task*; Hyde & Peretz, 2004) (voir Figure 3). Ce test comprenait neuf différentes séquences de cinq notes consécutives chacune. Dans la séquence standard, les notes, composées au synthétiseur, étaient d'une durée de 120 msec chacune, avec un intervalle inter-note de 350 msec, et étaient jouées à une fréquence de 1047 Hz (C6). Dans les séquences altérées, la quatrième note était déplacée vers le haut ou vers le bas par rapport à C6. Les différences de hauteurs étaient de l'ordre de  $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  ou  $\pm 200$  cents (100 cents = un demi-ton).

Au début du test, le volume était ajusté afin de s'assurer qu'il était à un niveau confortable. Ensuite, on présentait aux participants 20 essais de pratique suivis d'une rétroaction. Ceux-ci étaient informés de la nature et de la localisation d'un éventuel changement de hauteur dans les séquences (c.-à-d. sur la quatrième note). On demandait aux participants d'indiquer s'ils avaient perçu un changement dans la séquence en appuyant sur le bouton « oui » si c'était le cas, et « non » s'ils n'avaient perçu aucun changement. Aucune rétroaction n'était fournie durant la procédure d'expérimentation.

Les essais étaient présentés en ordre aléatoire. Au total, le test comprenait 288 séquences (144 séquences standard, plus 18 essais de chacune des 8 séquences altérées). Les stimuli,

informatisés par le biais du logiciel d'expérimentation *E-Prime* (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002), étaient présentés via écouteurs dans une pièce insonorisée. La durée du test était d'environ 20 minutes et le participant bénéficiait de deux pauses durant la tâche.

### 3.3.3. *Test de chant*

Au cours de la troisième et dernière phase d'expérimentation, les participants étaient évalués sur leurs habiletés de production musicale, par le biais d'un test de chant (Dalla Bella, Giguère, & Peretz, 2007). Les sujets devaient chanter, sur l'air de « Gens du Pays » de Gilles Vigneault, la chanson « Mon Cher Michel » comme s'il s'agissait d'une chanson d'anniversaire (voir Figure 4). Ils devaient ainsi chanter le morceau une fois avec les paroles, puis une fois sur la syllabe /la/.

Avant la performance, les participants étaient amenés à réchauffer leur voix et à se familiariser avec le matériel utilisé. Ils devaient d'abord imiter un contour exagéré (« Où es-tu ? »), puis faire glisser leur voix de la plus basse à la plus haute note qu'ils étaient capables de produire et vice versa. L'expérimentateur fournissait des exemples de ce qui était attendu avant chacun des exercices vocaux. Lors de la phase expérimentale, les participants chantaient une première fois la chanson « Mon Cher Michel » avec les paroles, puis sur la syllabe /la/. Au besoin, l'expérimentateur pouvait fournir un exemple de la performance attendue en chantant une fois la mélodie avec les paroles. Si un participant n'était pas familier avec cet air, il lui était demandé de chanter la chanson « Bonne Fête », pour les francophones, ou *Happy Birthday*, pour les anglophones.

La mélodie comportait 32 notes avec une étendue vocale de moins d'une octave et une tonique centrale stable. Chacune des notes était associée à une syllabe. Le chant était capté via un microphone *Shure 565SD* et enregistré grâce au logiciel *Adobe Audition 3.0*. Dans certains cas, le chant pouvait également être enregistré par téléphone<sup>4</sup>.

### 3.3.4. *Audiométrie et habiletés de résolution de problèmes*

---

<sup>4</sup> Cette procédure a été adoptée pour une seule paire de jumeaux, en raison d'un problème technique avec le logiciel d'enregistrement habituel.

Par la suite, les participants devaient se soumettre à un test d'audiométrie afin de s'assurer qu'ils avaient une audition normale. De plus, leurs habiletés de résolution de problèmes étaient évaluées, soit par le sous-test des matrices de l'échelle d'intelligence de Wechsler (WAIS-III; Wechsler, 1997), ou par le test du personnel de Wonderlic, Formulaire E (Wonderlic & Associates, 1983).

### **3.4. Traitement des données**

Tel que mentionné précédemment, la présente étude comporte trois objectifs principaux: 1- comparer la performance des jumeaux MZ versus DZ sur les trois tests effectués, soit le test en ligne de détection de l'amusie, le test de détection des différences de hauteurs et le test de chant, 2- décrire l'environnement musical des jumeaux MZ et DZ, et 3- évaluer les habiletés de perception et de production musicales des sujets amusiques de notre échantillon.

#### *3.4.1. Analyse comparative de la performance des jumeaux MZ versus DZ aux différents tests*

Afin de déterminer si les jumeaux MZ sont plus similaires entre eux que les jumeaux DZ sur un trait donné, il est possible d'employer diverses méthodes d'analyse statistique. Lorsque les données obtenues sont dichotomiques (c.-à-d. qu'elles se traduisent par la présence ou l'absence du phénotype étudié), la méthode à privilégier est le calcul du taux de concordance. Les co-jumeaux sont *concordants* si un phénotype particulier est présent (ou absent) chez les *deux* membres de la dyade. Inversement, si le phénotype n'est présent que chez *l'un des deux* co-jumeaux, alors on dit qu'ils sont *discordants*. Si le taux de concordance d'un phénotype (ou ici d'un trouble tel que l'amusie congénitale) est plus élevé pour les jumeaux MZ que DZ, cela suggère que des facteurs génétiques contribuent à sa manifestation (Stromswold, 2001). Malgré le fait que cette méthode soit hautement intéressante, elle ne fournit d'informations valides que si l'échantillon analysé est suffisamment grand, ce qui n'est malheureusement pas le cas dans la présente étude. À notre connaissance, aucune étude de jumeaux avec une taille d'échantillon comparable à la nôtre n'a utilisé le calcul du taux de concordance comme analyse statistique. De plus, tel

que démontré dans la section « Résultats », la faible incidence d'amusie congénitale mesurée au sein de notre échantillon n'aurait pas pu rendre possible le calcul du taux de concordance.

Lorsque les données obtenues sont continues (tel que le score obtenu à un test par exemple) plutôt que dichotomiques, il est possible d'employer des méthodes d'analyses corrélationnelles. En comparant les scores des deux groupes à différents tests, le taux de corrélation ( $r$ ) permet d'évaluer si, de par leur performance, les jumeaux MZ sont plus similaires entre eux que les jumeaux DZ. L'analyse corrélationnelle privilégiée dans le cadre des études de jumeaux est la corrélation intra-classe (CIC). Contrairement aux autres types de corrélations, la CIC s'applique à un échantillon dans lequel l'ordre des sujets est arbitraire puisque difficile à déterminer de manière objective, par exemple lorsqu'il est question de décider qui sera identifié comme étant le « jumeau 1 » ou le « jumeau 2 » au sein d'une paire<sup>5</sup>. Faisant fi de l'ordre d'attribution, il est ainsi possible de calculer le ratio de la variance inter-sujets sur la variance totale.

Pour les trois tests utilisés dans cette étude, nous avons utilisé comme analyse statistique la corrélation intra-classe. Afin d'évaluer la présence d'une différence significative entre la performance des deux types de dyades, les corrélations furent ensuite comparées à l'aide du test de transformation  $r$ -à- $z$  de Fisher. Ce procédé permet de convertir le coefficient de corrélation  $r$  de Pearson en une variable  $z$ , qui, contrairement à la première, est distribuée de façon normale (Snedecor & Cochran, 1980).

**Test en ligne.** Plus spécifiquement, pour le test en ligne, les CIC entre les scores bruts ont été calculées pour les deux groupes, et ce, à chacun des trois sous-tests musicaux. Celles-ci ont ensuite été comparées entre elles à l'aide du test de transformation  $r$ -à- $z$  de Fisher pour déterminer si la différence atteignait le seuil de significativité fixé à  $p < .05$  (unilatéral). Le choix d'un test de significativité unilatéral reflète la direction de notre hypothèse :

---

<sup>5</sup> Dans la corrélation de Pearson par exemple, le fait d'interchanger l'ordre des sujets d'une même paire aura pour effet de modifier le coefficient de corrélation obtenu puisque l'ordre d'attribution des variables X et Y est fixe. Dans le cas d'études de jumeaux, l'ordre d'attribution du « jumeau 1 » et du « jumeau 2 » est arbitraire. On ne pourrait pas employer la méthode de Pearson dans un tel cas puisque le fait d'inverser l'ordre d'attribution aurait pour conséquence l'obtention d'une corrélation légèrement différente. (Griffin & Gonzales, 1995).

puisque'ils partagent le même bagage génétique, les jumeaux MZ devraient avoir une performance plus similaire entre eux que les jumeaux DZ (qui ne partagent que la moitié de leurs gènes), et ce, sur chacun des tests effectués.

**Test de détection des différences de hauteurs.** Dans la tâche de détection des différences de hauteurs, les CIC entre les scores des jumeaux (correspondant au pourcentage de *cibles* c.-à-d. répondre « oui » lorsqu'il y a un changement, moins les *fausses alertes*, c.-à-d. répondre « oui » lorsqu'il n'y a en fait pas de changement), furent calculées en fonction de la taille du changement de hauteur ( $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  ou  $\pm 200$  cents), puis soumises au test de Fisher.

**Test de chant.** Deux méthodes ont été employées afin d'évaluer le chant des sujets : les jugements inter-juges et l'analyse acoustique.

*Jugements.* Dix juges furent sélectionnés afin d'évaluer la justesse du chant des participants. Le groupe de juges était composé de 8 femmes et 2 hommes, (âge :  $M = 25,8$  ;  $\acute{E}-T : 2,9$ ), ayant tous un niveau de scolarité universitaire (nombre d'années :  $M = 20,1$  ;  $\acute{E}-T : 2,0$ ). Le nombre d'années d'éducation musicale formelle des juges était variable ( $M = 5,3$  ;  $\acute{E}-T = 5,2$ ). Les juges n'étaient pas au courant de la zygocité des sujets, ni de la relation entre ceux-ci puisque les extraits à évaluer étaient présentés au hasard. Leur tâche consistait à coter la performance vocale de chacun des sujets sur une échelle de 1 (pas du tout juste) à 10 (très juste), et ce, sur les conditions de chant avec paroles, ainsi que sur la syllabe /la/. Chacun des jugements obtenus était ensuite normalisé à l'aide du calcul d'un score  $z$ . Le fait de normaliser les données individuelles permet de pallier au fait que certains juges utilisent leur propre échelle de réponse, à étendue variable, afin de coter la performance des participants. La normalisation des résultats permet ainsi d'unifier ces échelles, en leur offrant une moyenne et une étendue communes, ce qui facilite la comparaison des jugements émis (Featherston, 2008). Les jugements ont ensuite être moyennés pour chacun des participants en fonction de la condition d'évaluation (paroles ou syllabe /la/). L'étendue des jugements en score  $z$  fut également calculée. Enfin, tout comme pour les tests précédents, les CIC des deux groupes furent calculées pour chacune des conditions et comparées à l'aide du test de Fisher.

*Analyses acoustiques.* En complément aux jugements inter-juges, l'analyse acoustique de chacun des extraits chantés a été effectuée. Ce type d'analyse a pour but de fournir une évaluation quantitative de la performance en segmentant l'extrait chanté note par note et en fournissant différentes informations acoustiques telles que la hauteur des notes produites (Dalla Bella et al., 2009 ; 2007). La variable évaluée dans le présent contexte était le *nombre d'erreurs d'intervalle* commises, soit le nombre d'intervalles produits s'éloignant de l'intervalle correspondant à la notation musicale d'au moins un demi-ton. Les extraits étaient analysés par le biais du logiciel de traitement acoustique *Melodyne 3.2*. Il est à noter que les analyses acoustiques ne pouvaient être effectuées dans le cas d'une performance incomplète (c.-à-d. dans laquelle plusieurs notes étaient manquantes) ou enregistrée par téléphone. Enfin, tout comme pour les tests précédents, les CIC ont été calculées et mises en parallèle par le biais du test de Fisher afin de comparer le nombre d'erreurs d'intervalle commises par les jumeaux MZ et DZ.

#### 3.4.2. *Exploration de l'environnement des jumeaux MZ et DZ*

**Variables démographiques.** Les différences inter-groupes (MZ versus DZ) en lien avec les variables démographiques (âge, nombre d'années de scolarité et nombre d'années de formation musicale) ont été mesurées par une série de tests-t indépendants.

#### **Description des réponses au questionnaire musical pour les jumeaux MZ versus DZ.**

Pour les deux groupes, la fréquence des réponses à chacune des questions a été calculée puis transformée en pourcentage. En raison de la taille inégale des groupes, cette conversion a été effectuée afin de faciliter la comparaison des résultats. De plus, les réponses « jamais », « rarement » et « parfois » ont été regroupées ensemble, tout comme les réponses « souvent » et « très souvent ». Des chi-carrés ont été effectués afin d'illustrer si les différences entre les fréquences de réponses des deux groupes étaient significatives.

#### **Description des réponses au questionnaire musical pour les paires de jumeaux MZ discordantes.**

Tel que défini précédemment, des co-jumeaux sont considérés comme étant discordants si un trait particulier n'est présent que chez l'un des membres de la paire. Dans ce cas-ci, une paire de jumeaux était considérée comme discordante lorsqu'un des deux co-

jumeaux avait été évalué comme étant amusique sur le sous-test *Scale MBEA* (résultat sous le seuil limite de 22/30), alors que le second avait une performance normale à ce sous-test. Nous nous en sommes tenus spécifiquement à l'observation des paires MZ puisque comme elles partagent le même code génétique, les informations environnementales devraient nous donner des pistes sur l'origine de ces discordances. Les variables relatives à l'environnement musical et à l'amusie ont donc été examinées.

### 3.4.3. *Analyse de la performance des participants amusiques*

**Test en ligne.** En plus d'évaluer la similarité des jumeaux MZ versus DZ sur le plan des habiletés musicales, nous avons voulu suivre leur performance à travers le temps, soit en comparant leurs résultats actuels à ceux de 2006. La présence d'amusie congénitale était attestée si le sujet avait obtenu un score en-deçà de deux écarts-types sous la moyenne au sous-test *Scale MBEA* du test en ligne par rapport à un groupe de 50 participants contrôles appariés en termes d'âge et de nombre d'années de scolarité (âge :  $M = 25$ ,  $\acute{E}-T = 9,7$  ; scolarité :  $M = 15$ ,  $\acute{E}-T = 3,5$ )<sup>6</sup>. Selon ces normes, un participant était jugé amusique s'il avait obtenu une note inférieure ou égale à 22/30 (c.-à-d. 73,3%). Il est à noter que ce critère est légèrement moins sévère que celui établi en 2006 correspondant au 25<sup>e</sup> rang centile de la distribution (c.-à-d. 70,8%) au sein de l'échantillon de 136 paires de jumeaux, ainsi que celui établi par Peretz, Champod et Hyde (2003) pour la version originale de la *MBEA* qui était de 21/30 (c.-à-d. 70%). Le choix d'utiliser un critère de sélection différent de ceux employés par le passé vient essentiellement du fait que le sous-test *Scale MBEA* est le test le plus sensible à la détection des difficultés de perception des hauteurs. L'appariement en termes d'âge et de scolarité a été effectué dans le but d'obtenir un seuil diagnostique plus approprié aux caractéristiques démographiques de nos participants. Pour les deux autres conditions du test en ligne ainsi que pour les deux autres tests musicaux, qui sont moins sensibles à ces variables, les normes demeurent les mêmes que celles rapportées dans la littérature.

---

<sup>6</sup> Données provenant des normes 2008 de la *MBEA*, disponibles en ligne à l'adresse suivante : [http://www.brams.umontreal.ca/plab/downloads/MBEA\\_Norms\\_update08.xls](http://www.brams.umontreal.ca/plab/downloads/MBEA_Norms_update08.xls)

**Test de détection des différences de hauteurs.** Le pourcentage de cibles moins les fausses alertes a été calculé pour chacun des participants en fonction de la taille du changement de hauteur. Les 12 individus amusiques de notre échantillon ont été comparés à un groupe de 13 contrôles sélectionnés à partir de la banque de données de notre laboratoire. Il est à noter que les contrôles différaient en terme d'âge ( $M = 61,8$ ,  $\acute{E}-T = 4,0$ ) de notre groupe d'amusiques ( $M = 27,1$ ,  $\acute{E}-T = 13,1$ ),  $t(23) = 9,14$ ,  $p < ,0001$ . Toutefois, nous croyons que cet écart d'âge n'aura pas d'impact sur les analyses puisque les participants contrôles sélectionnés ont tous obtenu des scores très élevés au test, ce qui nous laisse croire qu'ils seraient aussi performants que des individus plus jeunes.

**Test de chant.** Afin d'investiguer si la justesse de la production vocale des participants amusiques variait en fonction du matériel chanté, les extraits de chant avec paroles ont été comparés à ceux produits sur la syllabe /la/. De plus, la performance du sous-groupe d'amusiques de notre échantillon a été comparée avec celle des autres participants du groupe, que nous appellerons ici « non-amusiques ». Les jugements émis par 10 juges ont été comparés pour ces deux conditions. Il est attendu que les amusiques présentent davantage de difficultés pour la condition de chant sur la syllabe /la/ que sur celle avec paroles. De plus, le nombre d'erreurs d'intervalle commises a été comptabilisé. Il est attendu que les amusiques commettent davantage d'erreurs lors du chant sur la syllabe /la/ que sur celui avec paroles. Finalement, il est attendu que la performance des participants amusiques soit plus faible de celle des « non-amusiques », autant en ce qui a trait aux jugements inter-juges qu'au nombre d'erreurs d'intervalle commises.

## 4. Résultats et commentaires

### 4.1. Comparaison de la performance des jumeaux MZ versus DZ

#### 4.1.1. Test en ligne

Les résultats individuels au test en ligne sont présentés dans le Tableau 3. Selon le seuil limite de 22/30 au sous-test *Scale MBEA* établi afin d'attester de la présence d'amusie

congénitale, notre échantillon comprend au total 12 sujets amusiques. Dans le groupe de jumeaux MZ, 5 paires incluait au moins 1 co-jumeau amusique (3 paires dont seulement 1 des 2 était affecté et 2 paires dont les 2 co-jumeaux étaient affectés). Dans le groupe de jumeaux DZ, 4 paires incluait au moins 1 co-jumeau amusique (3 paires avec 1 seul co-jumeau affecté et 1 paire avec 2 co-jumeaux affectés). Le profil des sujets amusiques sera abordé de manière plus détaillée ultérieurement.

Au sous-test *Off-Beat*, un seul jumeau DZ avait obtenu un score sous le seuil limite de 16/24 (pour les moins de 40 ans ; Peretz et al., 2008), alors qu'aucun co-jumeau MZ ne présentait de difficulté particulière sur cette condition. Enfin, au sous-test *Out-of-Key*, 1 paire de jumeaux MZ incluait 1 co-jumeau sous le seuil limite de 15/24 (pour les moins de 40 ans ; Peretz et al., 2008), ce sujet ayant également eu un score inférieur au seuil au sous-test *Scale MBEA*. Un co-jumeau DZ avait également un résultat sous le seuil limite au sous-test *Out-of-Key*.

**Performance globale.** Afin de savoir si les deux groupes avaient eu une performance comparable au test en ligne, des tests-t indépendants ont été réalisés et n'ont indiqué aucune différence significative entre les MZ et les DZ aux sous-tests *Scale MBEA*,  $t(26) = -,9$ ,  $p = ,4$  et *Out-of-Key*,  $t(26) = -,3$ ,  $p = ,9$ . Toutefois, une différence significative a été observée entre les deux groupes au sous-test *Off-Beat*,  $t(26) = 2,4$ ,  $p = ,02$ , indiquant que les jumeaux MZ avaient une performance supérieure aux jumeaux DZ en ce qui a trait à la perception rythmique. Il serait possible de penser que cet effet ne s'explique que par le sujet DZ (DZ05-01) présentant un résultat sous le seuil limite. Toutefois, lorsqu'on enlève le résultat de ce participant du calcul du test-t, la différence entre les groupes demeure significativement différente ( $t(25) = 2,08$ ,  $p = ,047$ ).

**Analyses corrélationnelles.** À première vue, les corrélations intra-classes des deux groupes à chacun des trois sous-tests semblent indiquer que les jumeaux MZ ont une performance plus similaire entre eux que les jumeaux DZ. En effet, les résultats des jumeaux MZ sont fortement corrélés sur les trois sous-tests; *Scale MBEA* :  $r(6) = ,78$ ,  $p = ,004$ ; *Off-Beat* :  $r(6) = ,61$ ;  $p = ,03$ ; *Out-of-Key* :  $r(6) = ,72$ ;  $p = ,01$ . Quant aux jumeaux DZ, ils obtiennent des résultats non-significatifs en regard à ces corrélations; *Scale MBEA* :  $r(4) = ,09$ ,  $p = ,4$ ; *Off-*

*Beat* :  $r(4) = ,33$ ,  $p = ,2$  ; *Out-of-Key* :  $r(4) = ,28$ ,  $p = ,3$ . Toutefois, les différences entre les CIC des jumeaux MZ et DZ ne sont pas significatives selon le test de Fisher : *Scale MBEA* ( $z = 1,32$ ;  $p = ,09$ ), *Off-Beat* ( $z = 0,51$ ;  $p = ,31$ ) et *Out-of-Key* ( $z = 0,85$ ;  $p = ,20$ ). Ces résultats indiquent donc que les jumeaux MZ ne semblent pas avoir une performance plus similaire entre eux que les jumeaux DZ.

**Comparaison des résultats au test et au re-test.** La comparaison des résultats au test en ligne effectué en 2006 à ceux du re-test effectué en 2010 nous amène à constater une amélioration de la performance chez la majorité des jumeaux aux sous-tests *Out-of-Key* et *Off-Beat* (voir Tableau 3).

Plus spécifiquement, dans le groupe de jumeaux MZ ayant effectué le test en 2006, 12 participants sur 14 se sont améliorés au sous-test *Out-of-Key*, alors que les 2 autres ont vu leur performance diminuer. La comparaison ne s'applique pas pour 2 participants (1 paire) MZ puisqu'ils ont été recrutés en 2010. Chez les jumeaux DZ, 6 participants se sont améliorés sur ce même sous-test, alors que la performance a diminué pour 2 d'entre eux. Au sein de ce groupe, 2 participants (1 paire) ont été recrutés en 2010.

En ce qui a trait au sous-test rythmique *Off-Beat*, le constat est similaire : une amélioration de la performance a été constatée chez la majorité des sujets. En effet, 11 jumeaux MZ sur 14 ont eu de meilleurs résultats lors de la deuxième passation, tandis que pour les jumeaux DZ, la proportion est de 4 sur 8. Les autres participants ont vu leurs scores diminuer lors du re-test.

L'apparente amélioration entre les deux passations pourrait s'expliquer, du moins en partie, par les conditions d'évaluation lors de la Parade des Jumeaux. En effet, lors de cet évènement, il se peut que le bruit environnemental engendré par les conditions d'évaluation (p. ex. : la présence de plusieurs passants et musiciens aux abords des stations où les tests étaient effectués) ait eu une influence sur la performance des participants, se traduisant par de plus faibles résultats que ce qu'ils auraient obtenu en laboratoire. D'autre part, il est possible que cette amélioration soit attribuable à un « effet de pratique », du fait que les participants aient déjà effectué le test par le passé. Cette hypothèse est néanmoins peu

plausible étant donnée le grand intervalle de temps (environ 4 ans) séparant les deux passations.

Il est également très important de noter que le critère utilisé afin de juger si un participant était *potentiellement amusique* en 2006 était différent de celui employé dans la présente étude pour identifier les *amusiques confirmés*. En 2006, un participant était considéré comme étant potentiellement amusique s'il avait obtenu un résultat en-deçà du 25<sup>e</sup> rang centile au sous-test *Out-of-Key*. Ce critère, correspondant à -0,7 écart-type sous la moyenne, a été employé afin de recruter un nombre élevé de paires de jumeaux, au risque de sélectionner quelques participants « faux positifs ». C'est lors de la deuxième étape du projet en 2010, correspondant à la présente étude, qu'un critère plus sévère a été employé afin de sélectionner les amusiques confirmés. Un score de 22/30 au sous-test *Scale MBEA*, correspondant à environ -2 écart-types sous la moyenne, était devenu le nouveau critère utilisé.

#### 4.1.2. Test de détection des différences de hauteurs

En tout premier lieu, une série de tests-t indépendants a été réalisée afin de vérifier si la *direction* du changement de hauteur (vers le haut ou vers le bas) avait une influence sur la performance des participants. Aucune différence n'a été observée lorsque la direction du changement de hauteur était prise en considération : 25 cents,  $t(26) = ,1$ ; 50 cents,  $t(26) = ,1$ ; 100 cents,  $t(26) = -,2$ ; 200 cents,  $t(26) = -,5$ , tous les  $p > ,6$ . Pour cette raison, les résultats correspondant aux changements vers le haut ou vers le bas ont été moyennés pour chacune des conditions.

Les résultats au test de détection des différences de hauteurs sont présentés dans le Tableau 4. Le pourcentage de cibles (c.-à-d. répondre « oui » lorsqu'il y avait un changement) moins les fausses alertes (c.-à-d. répondre « oui » lorsqu'il n'y avait pas de changement) a été calculé pour chacun des participants en fonction de la taille du changement de hauteur ( $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  et  $\pm 200$  cents). À première vue, les résultats individuels des jumeaux MZ ne semblent pas se distinguer de manière notable de ceux des jumeaux DZ. Une paire de jumeaux MZ (MZ01) semble toutefois se démarquer des autres en raison des faibles

résultats obtenus par chacun des co-jumeaux. Afin d'identifier s'il s'agissait de scores extrêmes exigeant d'être éliminés des analyses du présent test, l'examen visuel des diagrammes en boîte (*boxplot*) a été effectué. Les valeurs se situant à « trois hauteurs de boîte »<sup>7</sup> au-delà des limites supérieures ou inférieures de la boîte sont considérées comme extrêmes (Pallant, 2007). Il s'est avéré que les deux participants de la paire MZ01 présentaient effectivement des réponses atypiques sur la condition de changement de hauteur de  $\pm 25$  cents. En plus des faibles résultats sur cette condition, les deux membres de la paire MZ01 présentaient d'importantes difficultés dans la détection des changements de hauteur de  $\pm 50$  et  $\pm 100$  cents. Globalement, il en vient à dire que ces deux participants présentaient un profil d'amusie sévère. Cette constatation nous a amenés à exclure les scores de ces participants des analyses statistiques effectuées pour ce test, et ce, sur les quatre conditions.

**Performance globale.** Afin de savoir si les jumeaux MZ et DZ avaient obtenu des résultats similaires au test de détection des différences de hauteurs, une ANOVA à mesures répétées ayant comme facteur inter-sujets le groupe (MZ, DZ) et comme facteur intra-sujet les conditions ( $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  et  $\pm 200$  cents) a été réalisée. L'interaction *groupe x conditions* ( $F(1,24) = 7,46$   $p < ,001$ ) s'est révélée significative et une série de tests-t indépendants dévoile que les deux groupes avaient une performance statistiquement différente en ce qui a trait à la détection des différences de hauteurs de  $\pm 25$  cents :  $t(24) = 2,11$ ,  $p = ,45$ . Ce résultat confirme que les jumeaux MZ ( $M = 90,13\%$ ) détectaient de manière plus précise que les jumeaux DZ ( $M = 78,24\%$ ) les petites différences de hauteurs, plus précisément celles de l'ordre de  $\pm 25$  cents. Sur les 3 autres conditions, on n'observe aucune différence entre les deux groupes :  $\pm 50$  cents,  $t(24) = ,67$ ;  $\pm 100$  cents,  $t(24) = ,39$ ;  $\pm 200$  cents,  $t(24) = -,19$ , tous les  $p > ,51$ .

**Analyses corrélationnelles.** Suite au retrait des scores extrêmes, la comparaison des corrélations intra-classes avec le test de Fisher n'a mis en lumière aucune différence significative entre les deux groupes pour la détection de différences de hauteurs de  $\pm 25$

---

<sup>7</sup> La hauteur d'une boîte correspond l'écart interquartile de la distribution.

cents ( $z = 0,54$ ,  $p = ,29$ ),  $\pm 50$  cents ( $z = 0,73$ ,  $p = ,23$ ),  $\pm 100$  cents ( $z = 0,85$ ,  $p = ,20$ ) et  $\pm 200$  cents ( $z = 0,59$ ,  $p = ,28$ ).

#### 4.1.3. Test de chant

**Performance globale.** Les résultats des participants au test de chant (jugements inter-juges et nombre d'erreurs d'intervalle commises) sont présentés dans le Tableau 5. En ce qui a trait aux jugements inter-juges, chacun des résultats représente la moyenne des scores attribués par les 10 juges lorsqu'appelés à se prononcer sur la justesse du chant de chacun des participants (sur une échelle de 1 à 10; 1 = pas du tout juste, 10 = très juste). Afin d'attester s'il y avait une différence par rapport aux jugements émis par les juges, une ANOVA à mesures répétées ayant comme facteur inter-sujets le groupe (MZ, DZ) et comme facteur intra-sujet la condition (paroles et syllabe /la/) a été réalisée. Elle n'a révélé aucune différence significative quant à l'interaction *groupe x conditions* ( $F(1,23) = 1,35$ ,  $p = ,25$ ), de l'effet de groupe ( $F(1,23) < 1$ ,  $p = ,64$ ), ni de l'effet principal de la condition ( $F(1,23) < 1$ ,  $p = ,75$ ).

La deuxième mesure employée pour analyser le chant des participants, soit le calcul du nombre d'erreurs d'intervalle commises, va dans le même sens que les résultats cités précédemment. En effet, une ANOVA à mesures répétées suggère que les jumeaux MZ et DZ commettraient environ le même nombre d'erreurs d'intervalle, et ce, autant sur la condition avec paroles que sur la syllabe /la/ (interaction *groupe x conditions* :  $F(1,19) = 2,13$ ,  $p = ,16$ ; effet principal de condition :  $F(1,19) < 1$ ,  $p = ,36$ ; effet de groupe :  $F(1,19) < 1$ ,  $p = ,84$ ).

**Analyses corrélationnelles.** En ce qui concerne les jugements inter-juges des extraits chantés, la comparaison des corrélations intra-classes à l'aide du test de Fisher n'indique aucune différence entre la performance des jumeaux MZ versus DZ pour la condition de chant avec paroles ( $z = 0,53$ ,  $p = ,29$ ). Le constat est similaire pour la condition de chant sur la syllabe /la/ ( $z = -0,14$ ,  $p = ,38$ ).

Pour ce qui est du nombre d'erreurs d'intervalle commises, les jumeaux MZ semblent encore une fois ne pas se distinguer des jumeaux DZ sur les paroles ( $z = -0,42, p = ,34$ ), ni sur la syllabe /la/ ( $z = 0,55, p = ,29$ ).

## 4.2. Exploration de l'environnement musical des jumeaux MZ et DZ

### 4.2.1. Questionnaire du test en ligne : jumeaux MZ versus DZ

Les réponses des participants au questionnaire du test en ligne sont présentées dans le Tableau 7. Relativement aux variables démographiques, les deux groupes sont semblables en ce qui a trait au nombre d'années de scolarité ( $t(26) = 1,27, p = ,11$ , bilatéral), mais ils se distinguent en terme d'âge ( $t(26) = 2,98, p < ,01$ , bilatéral) et de nombre d'années d'expérience musicale ( $t(26) = -2,5, p < ,05$ , bilatéral). Pour cette dernière variable, les réponses des jumeaux au questionnaire musical semblent plutôt pointer vers une éducation musicale comparable. Par exemple, il apparaît que les deux groupes aient un profil similaire en regard à la nature des cours de musique suivis. En effet, une proportion égale (25%) de jumeaux MZ et DZ a affirmé n'avoir suivi aucun cours de musique. Les proportions demeurent également similaires pour l'apprentissage de la musique par soi-même (MZ : 12,5%; DZ : 8,3%), les cours suivis obligatoirement à l'école (MZ : 62,5%; DZ : 66,7%) et les cours optionnels ou leçons privées (MZ : 31,3%; DZ : 33,3%).

Des différences apparaissent toutefois lorsque l'on examine l'environnement musical au quotidien. D'abord, une proportion moins élevée de jumeaux MZ (62,5%) que de DZ (75%) affirme écouter « souvent » ou « très souvent » de la musique intentionnellement. De plus, une proportion inférieure de MZ (18,7%) versus DZ (25%) dit chanter « souvent » ou « très souvent ». Les jumeaux MZ semblent également avoir été moins exposés à la musique dans leur enfance. À titre d'exemple, 37,5% des MZ disent que l'on écoutait « souvent » ou « très souvent » de la musique autour d'eux, alors que cette proportion s'élève à 66,7% pour les DZ.

Considérés conjointement, ces résultats pourraient suggérer que bien qu'ils semblent avoir une formation musicale similaire, les jumeaux MZ, en comparaison aux jumeaux DZ, donnent moins d'importance à la musique au quotidien et aient été moins exposés à la

musique dans leur enfance. Toutefois, l'analyse statistique des réponses par le biais de chi-carrés ne révèle aucune différence significative entre les deux groupes, et ce, sur l'ensemble des questions,  $\chi^2(1)$  entre 0,04 et 2,33, tous les  $p > ,16$ .

#### 4.2.2. Questionnaire du test en ligne : paires de jumeaux MZ discordantes

Étant donné qu'ils partagent le même bagage génétique, il est attendu des co-jumeaux MZ qu'ils présentent un comportement plus similaire que les co-jumeaux DZ. Toutefois, nous avons constaté lors de la passation du test en ligne que 3 paires de jumeaux MZ (MZ03, MZ04 et MZ05) avaient un profil musical discordant, c'est-à-dire qu'un des deux membres de la paire avait été évalué comme étant amusique sur le sous-test *Scale MBEA*, alors que le second avait une performance normale à ce sous-test. Afin de comprendre l'origine de ces différences, nous avons examiné plus en détail les variables environnementales, ainsi que celles relatives à l'amusie, rapportées par les sujets discordants dans le questionnaire du test en ligne.

Les questions ayant été répondues de manière différente par les co-jumeaux MZ discordants au sous-test *Scale MBEA* sont présentées dans le Tableau 8. Tout d'abord, on observe que 4 questions se distinguent des autres car elles ont été répondues de manière différente par deux des trois paires de jumeaux:

- 1) Écoutez-vous de la musiques intentionnellement? (Paires MZ03 et MZ04);
- 2) J'écoute de la musique, mais je peux m'en passer, ce n'est pas si important. (Paires MZ04 et MZ05);
- 3) Je ne parviens pas à me souvenir de chansons ou de mélodies. (Paires MZ03 et MZ04);
- 4) Je ne parviens pas à suivre le rythme de la musique. (Paires MZ03 et MZ05).

Ces questions soulignent des différences présentes au niveau de l'importance attribuée à la musique dans la vie quotidienne (questions 1 et 2), la mémoire mélodique (question 3), ainsi que la perception rythmique (question 4). Bien que l'échantillon observé soit trop petit pour nous permettre d'émettre des hypothèses quant aux facteurs contribuant à la

discordance entre ces paires, les questions ci-dessus peuvent tout de même fournir des indices pouvant être le point de départ d'investigations plus poussées.

Il est à noter que les réponses fournies par 2 des 3 co-jumeaux amusiques (MZ04-01 et MZ05-01) ne sont pas caractéristiques des réponses émises habituellement par ce type de participants. Toutefois, il est possible que ces individus ne soient pas conscients de leur problème musical, comme c'est le cas pour 11 à 22% des amusiques (Peretz et al., 2008). En contre-partie, leurs co-jumeaux (MZ04-02 et MZ05-02) rapportaient avoir des difficultés musicales, alors que leur performance était normale à tous les tests, un résultat qui peut s'expliquer par le fait qu'une partie de la population générale porte un jugement inexact quant à ses habiletés musicales. En effet, deux études (Peretz et al., 2008; Cuddy et al., 2005) effectuées sur de grands échantillons indiquent qu'entre 17 et 19% de la population croit avoir un problème de perception musicale, alors que ce n'est pas le cas. En somme, bien que fournissant des pistes d'exploration intéressantes, les questions répondues de manière différente par les paires de jumeaux MZ discordantes ne permettent pas de nous fournir assez d'information quant aux facteurs pouvant contribuer à ces discordances, entre autres à cause des réponses atypiques fournies par certains des sujets amusiques.

### **4.3. Évaluation de la performance des sujets amusiques**

Dans cette section, les résultats des participants amusiques de notre échantillon seront présentés de manière détaillée. Tel que mentionné précédemment, un participant était jugé comme étant « amusique » s'il avait obtenu un score inférieur à 22/30 au sous-test *Scale MBEA*, ce qui était le cas pour 12 des 28 participants de notre étude (voir Tableau 2). Leur performance au test en ligne, au test de détection des différences de hauteurs et au test de chant est présentée dans le Tableau 6.

#### *4.3.1. Test en ligne*

Lorsque l'on examine la performance des amusiques à chacun des sous-tests du test en ligne, on remarque d'abord tous ont une performance normale au sous-test rythmique *Off-Beat*, à l'exception d'un participant. De plus, on note que malgré le fait qu'ils ne soient

généralement pas inférieurs au score limite, les résultats des amusiques semblent relativement faibles au sous-test mélodique *Out-of-Key*. Afin de comparer la performance des participants amusiques à celle de contrôles, nous nous sommes basés sur les données provenant de la validation du test en ligne telles que rapportées par Peretz et ses collaborateurs (2008). Au sous-test *Off-Beat*, on constate que les individus amusiques de notre échantillon se situent à moins d'un écart-type sous la moyenne des contrôles (plus précisément à -0,61 É-T), tandis qu'au sous-test *Out-of-Key*, les amusiques se situent à un peu plus d'un écart-type sous la moyenne des contrôles (-1,12 É-T). Cela indique que bien que la performance des amusiques soit au-dessus du seuil limite pour ces deux sous-tests, celle-ci demeure tout de même inférieure pour la condition impliquant une dimension mélodique. Ces résultats sont semblables à ceux rapportés dans la littérature (Peretz et al., 2008).

Dans le but de voir si les amusiques de notre échantillon avaient un niveau de performance similaire sur les trois sous-tests, des corrélations de Spearman ont été effectuées. On constate que leurs résultats ne sont pas corrélés pour les sous-tests *Off-Beat* et *Out-of-Key*,  $r(10) = ,21$ ,  $p = ,52$  (voir Figure 5). On observe également une corrélation très faible entre les sous-tests *Scale MBEA* et *Off-Beat*,  $r(10) = ,09$ ,  $p = ,77^8$ . Ces deux résultats sont cohérents avec la dissociation classique rapportée chez les amusiques faisant état d'habiletés musicales préservées au niveau rythmique et en revanche altérées au plan mélodique (Peretz et al., 2008; Hyde & Peretz, 2004).

De plus, afin d'attester s'il y avait une différence significative en regard à la perception mélodique versus rythmique, une ANOVA à mesures répétées ayant comme facteur inter-sujet le groupe (amusiques, non-amusiques) et comme facteur intra-sujet le sous-test (*Off-Beat*, *Out-of-Key*) a été effectuée. Celle-ci n'a révélée aucune différence entre les individus amusiques et non-amusiques sur ces deux sous-tests, puisque l'effet d'interaction *groupe* x *condition* ( $F(1,10) = 1,58$ ,  $p = ,24$ ), ainsi que l'effet principal de *condition* ( $F(1,10) < 1$ ,  $p = ,39$ ) n'étaient pas significatifs.

---

<sup>8</sup> Les analyses effectuées par le biais de la corrélation paramétrique de Pearson révèlent des résultats similaires.

#### 4.3.2. Test de détection des différences de hauteurs

Tel que mentionné précédemment, l'amusie congénitale se traduit entre autres par des difficultés de détection des différences de hauteurs inférieures ou égales à deux demi-tons (200 cents), avec un déficit accru pour les très petites différences de hauteurs (25 et 50 cents; Hyde & Peretz, 2004). Afin d'attester si les individus jugés comme étant amusiques au sein de notre échantillon présentent ce même profil, nous les avons comparés à un groupe de 13 sujets contrôles issus de notre laboratoire.

Tel qu'illustré dans la Figure 6, la performance des jumeaux amusiques est clairement inférieure à celle des participants contrôles, et ce, sur chacune des différences de hauteur évaluée. Une ANOVA à mesures répétées ayant comme facteur inter-sujets le groupe (amusiques, contrôles) et comme facteur intra-sujets les conditions ( $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$ ,  $\pm 200$  cents) a révélé une différence entre les deux groupes, ( $F(1,23) = 4,67$ ,  $p = ,04$ ). Des ANOVA indépendantes ont ensuite été effectuées, ce qui a permis d'indiquer des différences significatives entre les groupes sur chacune des quatre conditions, tous les  $F(1,23) > 7,5$ , tous les  $p < ,05$ , tous les  $\eta^2$  entre 0,24 et 0,31.

Toutefois, on note une variabilité importante au sein de la performance des amusiques de notre échantillon, tel qu'indiqué par les barres d'erreurs représentant l'erreur type. Cela illustre que certains d'entre eux présentent un profil se traduisant par d'importantes difficultés dans la détection des fines différences de hauteurs, tel que documenté par le passé (Hyde & Peretz, 2004), alors que d'autres obtiennent des résultats similaires à ceux des sujets contrôles.

#### 4.3.3. Test de chant

**Jugements.** Tel que mentionné précédemment, les amusiques ont habituellement une performance plus faible lorsqu'ils chantent une chanson à l'aide de paroles que sur la syllabe /la/, une distinction qui n'est pas présente chez les sujets contrôles (Dalla Bella et al., 2009). Dans la présente étude, il semble y avoir une tendance pour les jugements émis par les évaluateurs à refléter cette distinction. En effet, tel que présenté dans le Tableau 6,

la moyenne des jugements inter-juges basés sur le chant des amusiques sur la condition avec paroles ( $M = 0,16$ ,  $\acute{E}-T = 0,6$ )<sup>9</sup> est supérieure à celle des jugements sur la syllabe /la/ ( $M = 0,03$ ,  $\acute{E}-T = 0,6$ ). Cette tendance n'est toutefois pas appuyée par une différence statistique significative,  $t(21) = ,7$ ,  $p = ,5$ .

Une seconde distinction ayant été rapportée par le passé est celle entre le chant des sujets amusiques et celui des contrôles. Afin de voir si cette différence était présente au sein de notre échantillon, les jugements inter-juges du chant des 12 sujets amusiques ont été comparés à ceux des 16 autres sujets de notre échantillon, que nous nommerons ici « non-amusiques ».

Afin de vérifier si les jugements inter-juges se distinguent en regard des deux groupes et au matériel chanté, nous avons effectué une ANOVA à mesures répétées avec comme facteur inter-sujets le groupe (amusiques, non-amusiques) et comme facteur intra-sujet la condition (paroles, syllabe /la/). Contrairement aux résultats attendus, aucune différence significative dans les jugements n'est observée. En effet, l'interaction *groupe x condition* ( $F(1, 23) = 1,87$ ,  $p = ,18$ ), ainsi que l'effet de groupe ( $F(1,23) < 1$ ,  $p = ,63$ ) et l'effet principal de condition ( $F(1,23) < 1$ ,  $p = ,75$ ) sont non-significatifs.

**Analyses acoustiques.** Une seconde mesure a été ajoutée afin d'évaluer la justesse du chant des amusiques de cet échantillon, soit le calcul du nombre d'erreurs d'intervalle par le biais d'analyses acoustiques (voir Tableau 6). La majorité des participants amusiques réussissaient à produire toutes les notes de la mélodie. Par contre, le chant de 2 des 12 amusiques n'a pu être analysé, soit parce que la performance était incomplète (c.-à-d que plusieurs notes étaient manquantes; MZ01-01), soit parce que le sujet ne connaissait pas l'air qu'on lui demandait d'entonner (soit « Gens du pays »; DZ03-01). De plus, le chant de deux participants non-amusiques n'a pu être analysé puisque celui-ci avait été enregistré par téléphone (DZ04-01 et DZ04-02). Enfin, le chant d'un troisième participant non-amusique était manquant. En tout, cinq participants ont été exclus des analyses.

---

<sup>9</sup> Ces valeurs sont exprimées en scores z.

Suite à l'analyse acoustique des extraits sonores, on constate, contrairement à ce qui était attendu, que les amusiques commettaient en moyenne *moins* d'erreurs lorsqu'ils chantaient sur la syllabe /la/ ( $M = 4,9$ ,  $\acute{E}-T = 2,9$ ) que sur les paroles ( $M = 7,7$ ,  $\acute{E}-T = 5,6$ ). Cependant, cette différence se révèle négligeable au niveau statistique ( $t(18) = 1,42$ ,  $p = ,17$ ). Le fait que le chant sur la syllabe /la/ semble plus facile que le chant avec paroles n'avait jamais été documenté chez les amusiques auparavant. Ce résultat a toutefois récemment été rapporté pour un groupe de 50 sujets contrôles chantant de manière occasionnelle (Dalla Bella, Tremblay-Champoux, Berkowska, & Peretz, 2012).

En comparant les sujets amusiques et non-amusiques, on observe d'abord que le nombre d'erreurs d'intervalle commis par les deux groupes était en moyenne très similaire sur la condition avec paroles (amusiques:  $M = 7,7$ ,  $\acute{E}-T = 5,6$ ; non-amusiques:  $M = 7,9$ ,  $\acute{E}-T = 5,4$ ). Par contre, il est à noter que les sujets non-amusiques semblent commettre *davantage* d'erreurs d'intervalle que les sujets amusiques lorsqu'ils chantent sur la syllabe /la/ (amusiques:  $M = 4,9$ ,  $\acute{E}-T = 2,9$ ; non-amusiques:  $M = 6,6$ ,  $\acute{E}-T = 5,2$ ).

Dans le but d'évaluer si les deux groupes diffèrent statistiquement quant au nombre moyen d'erreurs d'intervalle commises en fonction des conditions de chant, une ANOVA à mesures répétées a été effectuée. Cette analyse avait pour facteur inter-sujet le groupe (amusiques, non-amusiques) et comme facteur intra-sujet la condition (paroles, syllabe /la/). Tout comme pour les jugements inter-juges, aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes en regard à l'interaction *groupe x condition* ( $F(1,19) = 2,16$ ,  $p = ,16$ ), à l'effet principal de condition ( $F(1,19) = 1,46$ ,  $p = ,24$ ) et à l'effet de groupe ( $F(1,19) < 1$ ,  $p = ,87$ ).

#### 4.3.4. Questionnaire du test en ligne : variables reliées à l'amusie

Les réponses des participants sont présentées dans le Tableau 9. Celles-ci seront ici mises en parallèle avec les réponses fournies par les sujets amusiques « typiques », telles que décrites par Peretz et ses collaborateurs (2008) dans la validation du test en ligne de détection de l'amusie. Les descriptions qui suivent se veulent d'ordre qualitatif.

En premier lieu, on remarque que la majorité des amusiques de notre échantillon semble ignorer leur déficit musical. En effet, environ 58% d'entre eux affirment ne pas manquer de sens musical, une proportion nettement supérieure à celle rapportée par Peretz et ses collaborateurs (2008), qui variait entre 11 à 22%. Malgré le fait que plusieurs amusiques ne soient pas conscients de leur déficit, d'autres questions se sont révélées être spécifiquement reliées à la manifestation de l'amusie congénitale, telles que « Parvenez-vous à reconnaître une mélodie très connue sans l'aide des paroles ? », « Je chante faux » et « Pourriez-vous remarquer qu'une personne chante faux ? » (Peretz et al., 2008).

En ce qui concerne la reconnaissance de mélodies connues, la moitié (50%) des amusiques de notre échantillon a affirmé y parvenir « souvent » ou « très souvent », une proportion qui ne s'élève qu'à 26% dans la version validée du test en ligne (Peretz et al., 2008). De plus, 58,3% de nos participants amusiques disent être en mesure de remarquer qu'une personne chante faux, ce qui n'est habituellement le cas que de 15% des amusiques recensés par le passé. Enfin, malgré le fait qu'une proportion élevée (75%) des participants amusiques de notre échantillon semble être d'accord avec l'affirmation « Je chante faux », celle-ci est inférieure au résultat de 93% qu'obtiennent Peretz et ses collaborateurs (2008). Globalement, force est de constater que les réponses émises par les individus amusiques de notre échantillon à ces trois questions ne sont pas représentatives des réponses fournies généralement par les individus ayant le même déficit. Ces observations sont cohérentes avec l'hypothèse soulevée précédemment sur le fait que nos participants amusiques soient moins conscients de leurs difficultés musicales que les échantillons d'amusiques précédemment décrits dans la littérature.

Cette distinction entre notre étude et la littérature pourrait en partie s'expliquer par l'âge des participants. En effet, nos participants sont en moyenne plus jeunes ( $M = 25$  ans) que ceux habituellement testés au sein de notre laboratoire ( $M = 47$  ans ; Peretz et al., 2008). Les participants plus âgés ont possiblement eu davantage l'occasion d'être identifiés comme ayant des difficultés sur le plan musical par leur entourage que les participants plus jeunes.

## 5. Discussion

Le but principal de cette étude était d'évaluer l'existence d'une contribution génétique spécifique au phénotype d'amusie congénitale. Pour ce faire, les habiletés musicales et auditives de jumeaux MZ et DZ potentiellement amusiques ont été évaluées. Les résultats obtenus ne sont pas concluants en ce qui concerne une contribution génétique des habiletés de perception ou de production musicales, ce qui suggère que celles-ci puissent être fortement influencées par l'environnement partagé.

Notre second objectif était de vérifier si les participants amusiques de notre échantillon présentaient un profil d'amusie classique. Les résultats obtenus indiquent que presque tous présentent, conformément au profil classique décrit dans la littérature, des difficultés de perception au plan mélodique, mais non rythmique. Par ailleurs, leurs résultats au regard de la perception tonale et à la production chantée diffèrent de ceux ayant été rapportés par le passé.

Cette section discutera tout d'abord des résultats obtenus aux tests musicaux et non-musicaux chez les jumeaux MZ comparativement aux jumeaux DZ. Les caractéristiques relatives à leur environnement musical seront également approfondies. Par la suite, les résultats obtenus par les participants amusiques seront présentés et interprétés de manière détaillée. En dernier lieu, les limites de cette recherche et les pistes futures seront discutées.

### 5.1. Habiletés musicales des jumeaux MZ versus DZ

Le test en ligne de détection de l'amusie comportait trois sous-tests : *Scale MBEA*, *Off-Beat* et *Out-of-Key*. Contrairement à notre hypothèse, les résultats au test en ligne n'ont mis en évidence aucune distinction comportementale précise entre les groupes de jumeaux MZ et DZ. En effet, sur les trois sous-tests, les résultats semblaient présenter une variabilité similaire au sein des deux types de dyades.

La deuxième expérience effectuée, le test de détection des différences de hauteur, impliquait de déceler un changement de hauteur, soit de  $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  ou  $\pm 200$  cents,

pouvant être présent sur le quatrième son d'une séquence de cinq sons isochrones. Suite à l'analyse de la performance globale des participants et des corrélations intra-classes, aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes sur les quatre conditions.

La troisième tâche à exécuter était un test de chant dans lequel les participants étaient amenés à chanter la chanson « Mon Cher Michel », avec les paroles, puis sur la syllabe /la/. Deux méthodes d'analyse avaient été employées afin de comparer le chant des groupes de jumeaux MZ et DZ. Premièrement, la justesse de la performance était analysée par dix juges et aucune différence significative n'a été relevée entre les jugements du chant des jumeaux MZ versus DZ, et ce, sur les deux conditions. Deuxièmement, l'analyse acoustique des extraits a permis de mettre en relief le nombre d'erreurs d'intervalles commises par les participants. Les résultats se sont révélés à être semblables à ceux cités précédemment : aucune différence n'a été observée entre les groupes, ni entre les conditions de chant sur la syllabe /la/ et de chant sur les paroles.

En somme, les résultats aux trois tests effectués par les jumeaux MZ et DZ, soient le test en ligne de détection de l'amusie, le test de détection des différences de hauteur et le test de chant, ne sont pas concluants quant à une contribution génétique des habiletés de perception ou de production musicales. Nous croyons que ces résultats pourraient en partie être attribuables à la très petite taille de notre échantillon. En effet, l'observation d'un nombre élevé de participants a l'avantage de fournir davantage d'information quant à l'interaction entre les gènes et l'environnement, en plus de rehausser la puissance statistique. Par ailleurs, il n'est pas toujours nécessaire d'avoir un grand échantillon pour mener des études corrélationnelles. Dans une méta-analyse portant sur l'héritabilité du langage, Stromswold (2001) cite une étude de jumeaux effectuée sur un échantillon de 4 paires de jumeaux MZ et 4 paires de jumeaux DZ, ayant révélé une différence significative par rapport aux habiletés morphosyntaxiques des deux groupes. Une corrélation supérieure de la performance des MZ versus celle des DZ suggère que cette spécificité langagière comporte une part importante d'héritabilité. Il semblerait donc que même un petit échantillon de jumeaux puisse fournir des informations valides quant à l'étiologie génétique d'un trait. La question reste à savoir si les faibles corrélations intra-classes obtenues, indiquant que le

jumeaux MZ ne sont apparemment pas « musicalement » plus similaires que les jumeaux DZ, sont attribuables au fait que les habiletés musicales soient en réalité peu attribuables à l'héritabilité ou si elles ne sont tributaires que du petit nombre de participants recrutés.

## **5.2. Environnement musical des jumeaux MZ versus DZ**

Enfin, en ce qui concerne les caractéristiques reliées à l'environnement musical, on constate que les deux groupes rapportaient des réponses similaires. En effet, les variables relatives à la formation musicale et aux habitudes musicales quotidiennes et à l'exposition de la musique dans l'enfance étaient statistiquement semblables chez les deux types de dyades. Cette observation est cohérente avec la théorie des environnements égaux, qui stipule que l'environnement dans lequel des co-jumeaux MZ grandissent devrait être aussi similaire à celui dans lequel grandissent des co-jumeaux DZ (Plomin et al., 1999).

À la lumière de ces résultats, il semblerait que les habiletés musicales des participants soient davantage influencées par l'environnement partagé que par les facteurs génétiques. Ces observations sont concordantes avec les résultats obtenus par Coon & Carey (1989) qui rapportent des taux de corrélation similaires pour un échantillon de 291 paires de jumeaux MZ et 202 paires de jumeaux DZ sur un questionnaire d'intérêts et habiletés musicales. Les taux de corrélation obtenus pour les MZ variaient entre 0,44 et 0,90, et entre 0,34 et 0,83 pour les DZ, des taux élevés dans les deux cas.

Des différences significatives ont été notées par rapport à l'âge et à l'expérience musicale des participants. Un des facteurs ayant pu être à l'origine de la disparité observée par rapport à l'âge des participants est le recrutement. En effet, il est important de mentionner que la spécificité des critères de sélection (jumeaux *et* individus potentiellement amusiques) nous a contraints à élargir notre spectre de recrutement. Pour cette raison, les groupes n'ont pas été appariés par rapport à l'âge. Par ailleurs, il est peu probable que l'âge ait eu un impact notable sur les résultats car malgré le fait qu'il y ait une différence significative entre les deux groupes, la majorité des participants était âgée de moins de 40 ans. La littérature scientifique reconnaît un impact de l'âge sur la performance aux tests musicaux, mais cette différence se mesure généralement chez les individus de moins de 40 ans versus

ceux de plus de 40 ans (Peretz et al., 2008, Peretz, Cummings, & Dubé, 2007). Pour ce qui est de la différence observée entre les deux groupes quant à l'expérience musicale, nous estimons qu'elle n'aurait pas de lien avec la performance puisque tous les participants étaient non-musiciens et qu'aucun d'entre eux n'avait plus de quatre années d'expérience musicale au total.

Enfin, la question des jumeaux MZ discordants a été abordée. L'observation de ce type particulier de dyade (dans le cas présent, lorsqu'un co-jumeau amusique et l'autre ne l'est pas) est intéressante puisqu'elle peut nous fournir des indices quant aux facteurs environnementaux pouvant être à l'origine des différences entre la performance des jumeaux. En effet, ces différences ont peu de chances d'être attribuables à des facteurs génétiques étant donné que les deux individus partagent les mêmes gènes. L'analyse des résultats des questionnaires de trois paires de jumeaux MZ discordantes de notre échantillon a dévoilé que les variables perçues de manière distincte par les co-jumeaux discordants faisaient référence à l'importance de la musique au quotidien, à la mémoire mélodique et à la perception rythmique. Malheureusement, la petite taille de notre échantillon et le caractère atypique des réponses fournies par les co-jumeaux amusiques et non-amusiques ne nous permettent pas de tirer de conclusions claires sur les facteurs environnementaux pouvant expliquer les dissemblances au niveau de la performance.

### *5.2.1. Facteurs environnementaux pouvant expliquer la discordance des jumeaux MZ : Hypothèses provenant des études sur le langage.*

Afin d'explorer les questions génétiques sous-tendant la capacité musicale, il est pertinent de se pencher sur les études de jumeaux ayant été menées dans le domaine du langage. Bien que l'organisation structurelle de la musique et du langage comporte certaines différences, les deux domaines semblent partager plusieurs attributs sur le plan du traitement cognitif (Patel, 2011). Ainsi, les études génétiques portant sur le langage peuvent servir de point de départ dans la compréhension des facteurs génétiques régissant la capacité musicale.

Suite à une méta-analyse de plus de 100 études de jumeaux portant sur l'héritabilité des habilités langagières, Stromswold (2001) en est arrivée à la conclusion que les jumeaux MZ n'avaient pas nécessairement un profil langagier plus similaire que les jumeaux DZ. En effet, il a été observé que certains co-jumeaux MZ ont parfois des habiletés linguistiques significativement différentes entre eux, malgré le fait qu'ils partagent supposément le même environnement pré et post-natal. Dans un article subséquent, Stromswold (2006) s'est donc interrogée sur l'origine de ces différences entre jumeaux MZ et DZ, ainsi qu'entre co-jumeaux MZ. Cette question l'a amenée à comparer les environnements périnataux et postnataux des deux types de dyades afin de voir quels facteurs pouvaient entrer en ligne de compte.

La littérature scientifique soutient que l'environnement périnatal revêt une importance majeure dans le développement du langage. Il a été démontré que les femmes enceintes de jumeaux sont plus à risque de développer des complications périnatales que les femmes enceintes d'un seul enfant (Creasy, Resnik & Iams, 2004, tel que cité dans Stromswold, 2006), et que ces complications peuvent éventuellement entraîner d'importantes conséquences sur le développement langagier. De plus, le fait que les jumeaux MZ partagent le même placenta les expose à un risque encore plus élevé de complications périnatales, en comparaison aux jumeaux DZ. Parmi les facteurs de risque périnataux affectant davantage les jumeaux MZ que les jumeaux DZ, Stromswold (2001) souligne notamment le faible poids à la naissance, la rupture du placenta ou du sac amniotique et les infections intra-utérines. Ces expériences discordantes pourraient ainsi expliquer pourquoi certains jumeaux MZ sont moins concordants au plan linguistique que les jumeaux DZ, mais également pourquoi certains co-jumeaux MZ sont différents entre eux, puisque ces complications n'affectent pas toujours les deux bébés de la même manière.

Sur le thème de l'environnement postnatal, l'auteure soutient qu'il n'y a que très peu de différences entre les deux types de dyades. Toutefois, elle affirme que les facteurs postnataux jouent un rôle secondaire dans le développement du langage, et que ce sont en bout de ligne les facteurs périnataux qui influencent principalement l'héritabilité. Ainsi, l'hypothèse des environnements égaux, qui, rappelons-le, soutient que jumeaux MZ et DZ

partagent le même environnement, est maintenue en ce qui concerne l'environnement postnatal, mais est rejetée pour l'environnement périnatal puisque celui-ci est moins similaire entre les jumeaux MZ que DZ. Cela pourrait donc en partie expliquer la discordance linguistique observée entre les deux groupes et, par le fait même, la déflation du rôle des facteurs génétiques rapportée par les études de jumeaux.

Évidemment, il serait précipité de transposer ces résultats aux études de génétique des habiletés musicales, et plus particulièrement à la présente étude, entre autres parce que l'exploration des bases génétiques de la capacité musicale n'en est qu'à ses débuts. Par ailleurs, ces découvertes dans le domaine du langage offrent des pistes de recherche intéressantes, telle que l'étude du développement des habiletés musicales chez les jumeaux de la naissance à l'âge adulte, méritant la considération des chercheurs en neurocognition musicale dans le futur.

### **5.3. Habiletés musicales des sujets amusiques**

Notre échantillon comportait 12 sujets amusiques. De façon générale, la performance de ces sujets se traduisait par des difficultés au niveau tonal, mais une performance normale sur le plan rythmique. Au test en ligne, tous les participants, à l'exception d'une personne qui avait obtenu un résultat faible sur le sous-test de perception rythmique, correspondaient à cette description. Ces données sont cohérentes avec le profil classique des amusiques tel que rapporté dans la validation du test *MBEA* (Peretz et al., 2003) et celle de la première version du test en ligne de détection de l'amusie (Peretz et al., 2008).

Par ailleurs, un profil hétérogène a été observé au test de détection des différences de hauteurs. En effet, la moitié des participants semblait présenter des difficultés de perception des fines différences tonales, alors que l'autre moitié semblait détecter ces différences aussi bien que le feraient des sujets contrôles. Ce résultat est surprenant puisque la plupart des amusiques a habituellement une grande difficulté à détecter les fines différences de hauteurs (Hyde & Peretz, 2004).

Enfin, les résultats obtenus par les jumeaux amusiques de notre échantillon suite à la tâche de chant révèlent deux points importants n'ayant jamais été rapportés dans la littérature : (a) le chant des amusiques est jugé de manière équivalente indépendamment de la condition de production, soit le chant avec paroles ou sur la syllabe /la/ et (b) les amusiques semblent commettre environ le même nombre d'erreurs d'intervalle sur ces deux conditions.

De plus, en ce qui a trait à la comparaison des participants amusiques et « non-amusiques », les résultats révèlent que les deux groupes ne se distinguent pas quant à leur performance chantée, et ce, sur aucune des conditions (paroles et syllabe /la/). Ces résultats semblent surprenants en regard de la littérature puisque les études effectuées par le passé indiquent que les amusiques se différencient clairement des contrôles, notamment quant au nombre d'erreurs d'intervalle commises (Dalla Bella et al., 2012; Dalla Bella et al., 2009). Une des pistes à explorer afin d'interpréter cette situation atypique est l'examen des résultats individuels. On constate en effet que ceux-ci sont plutôt faibles, et ce, dans les deux groupes. Cela pourrait s'expliquer par le fait que les participants « non-amusiques » de notre échantillon, malgré l'étiquette attribuée, ne constituent pas un groupe contrôle traditionnel. En effet, parmi les 16 « non-amusiques » de notre échantillon, 9 avaient été considérés comme étant « potentiellement amusiques » en 2006, lors du premier test effectué à la Parade des Jumeaux.

Force est de constater que les sujets ayant pris part à cette étude n'ont pas tous un profil « classique » : les amusiques de notre échantillon ont une performance légèrement supérieure aux amusiques étudiés par le passé et les non-amusiques ont une performance légèrement inférieure à celle des contrôles (Peretz & Hyde, 2003; Ayotte, Peretz & Hyde, 2002). Le processus de sélection, ayant été initialement guidé par la volonté de recruter des individus potentiellement amusiques, pourrait ainsi avoir teinté les analyses comparatives effectuées entre les participants amusiques et non-amusiques.

#### **5.4. Limites**

Certaines limites devraient être prises en considération dans l'interprétation des résultats de cette étude. Une de ces limites est la petite taille de l'échantillon étudié. Ceci s'explique

principalement par le fait que les 54 paires de jumeaux potentiellement amusiques ayant été présélectionnées en 2006 dans le cadre du Festival Juste Pour Rire n'ont été recontactées qu'en 2010 afin de participer à la présente étude. Après ce délai, plusieurs des participants avaient changé de coordonnées, ce qui rendait le suivi plus difficile, voire impossible dans certains cas. Dans le futur, une des solutions possibles serait d'employer des registres de jumeaux. Ces grandes banques de données, généralement recueillies de manière longitudinale, contiennent de précieuses informations quant aux maladies, traits comportementaux, facteurs de risques environnementaux et habitudes de vie des jumeaux, ainsi que de leur famille. De telles banques de données, comportant parfois plusieurs dizaines de milliers de jumeaux, permettent d'étudier l'épidémiologie génétique de traits et de maladies complexes, ainsi que de quantifier les effets de l'interaction entre la génétique et l'environnement dans le développement de ceux-ci. De plus, les registres de jumeaux permettent d'effectuer des études de liaison génétique et d'association, menant éventuellement à l'identification des marqueurs génétiques corrélés avec le trait étudié (Boomsma, Busjahn, & Peltonen, 2002).

Une seconde limite de la présente étude est le manque de mesure objective servant à l'identification de la zygocité des jumeaux. La classification des jumeaux était en effet basée sur un questionnaire auto-rapporté, qui les amenait à s'identifier eux-mêmes comme étant soit MZ ou DZ. Bien que validée scientifiquement, cette méthode n'est pas infaillible, et implique la possibilité d'une mauvaise catégorisation des jumeaux, ce qui survient généralement par le fait que de vrais jumeaux MZ sont catégorisés comme étant DZ. Une telle erreur offre ainsi la fausse impression que les jumeaux DZ sont plus semblables sur un trait donné qu'ils ne le sont réellement (Segal, 2011). Il est donc possible que l'apparente discordance entre les dyades sur le plan des habiletés musicales ait été influencée par une catégorisation inexacte.

### **5.5. Pistes futures**

Il serait intéressant d'observer dans le futur la concordance de l'amusie congénitale dans un grand échantillon de jumeaux présentant ce phénotype. En faisant passer le test en ligne à des registres de jumeaux comportant un nombre élevé de participants, il serait plus facile de

dépister les individus atteints. De plus, comme ces registres incluent également l'ADN des jumeaux ainsi que des renseignements sur leur environnement, l'exploration de l'étiologie de l'amusie congénitale en serait simplifiée. Au niveau comportemental, d'autres variables telles que la préférence musicale ou le rythme pourraient être évaluées afin de voir si elles ont une composante héréditaire. Au niveau moléculaire, l'accès à l'information génétique des participants permettrait de guider la recherche de gènes spécifiques liés à l'amusie. Il est toutefois important de mentionner que les gènes ne déterminent pas de manière directe le fonctionnement cognitif. En revanche, ce sont eux qui influencent le développement cérébral sous-jacent à la manifestation d'un trait comportemental donné. En interaction avec l'environnement, il est probable qu'une multitude de gènes créent la vulnérabilité particulière sous-tendant le phénotype de l'amusie congénitale (Peretz, Cummings & Dubé, 2007).

Dans une perspective plus générale, il serait également pertinent de comparer la performance mélodique et rythmique des jumeaux à celle des non-jumeaux. Au niveau du langage, il a été démontré que les jumeaux présentent davantage de retards de langage et ont une performance plus faible sur les tests langagiers que les non-jumeaux (Stromswold, 2006). Il serait intéressant d'explorer si tel en est le cas pour la musique également.

## **6. Conclusion**

La présente étude est, à notre connaissance, une des premières à avoir investigué la performance mélodique et rythmique de jumeaux potentiellement amusiques. Nos résultats suggèrent que les habiletés de perception et de production musicales soient davantage liées à l'environnement partagé qu'à l'apport de facteurs génétiques spécifiques à la musique. De plus, on constate que le profil musical des participants amusiques de notre échantillon se caractérise généralement par des habiletés musicales préservées au plan rythmique, mais altérées au niveau mélodique, tel que documenté par le passé. Cette étude incite à poursuivre l'exploration des bases génétiques de l'amusie congénitale sur de plus grands

échantillons de jumeaux afin d'en arriver éventuellement à élucider l'origine biologique de cette fascinante activité humaine qu'est la musique.

## Références

- Ayotte, J., Peretz, I., & Hyde, K. (2002). Congenital amusia: a group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, *125*(2), 238-251.
- Boersma, P. (2002). Praat: a system for doing phonetics by computer. *Glott International*, *5*(9,10), 341-345.
- Boomsma, D., Busjahn, A., & Peltonen, L. (2002). Classical twin studies and beyond. *Nature Reviews Genetics*, *3*(11), 878-882.
- Cohen, J.W. (1988). *Statistical power analysis for the behavioural sciences* (2e édition). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Coon, H. & Carey, G. (1989). Genetic and environmental determinants of musical ability in twins. *Behavior Genetics*, *19* (2), 183-193.
- Cuddy, L.L., Balkwell, L.L., Peretz, I., & Holden, R.R. (2005). Musical differences are rare: A study of "tone deafness" among university students. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 311-324.
- 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., Giguère, J. F., & Peretz, I. (2009). Singing in congenital amusia. *Journal of the Acoustical Society of America*, *126*(1), 414-424.
- Dalla Bella, S., Tremblay-Champoux, A., Berkowska, M., & Peretz, I. (2012). Memory disorders and vocal performance. *Annals of the New York Academy of Science*. *1252*, 338-344.
- Drayna, D., Manichaikul, A., de Lange, M., Snieder, H., & Spector, T. (2001). Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science*, *291*, 1969-1972.
- Featherston, S. (2008). Data in generative grammar: The stick and the carrot. *Theoretical Linguistics*, *33*(3), 269-318.
- Fisher, S.E., & DeFries, J.C. (2002). Developmental dyslexia: Genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature Reviews Neuroscience*, *3*(10), 767-780.
- Foxton, J.M., Dean, J.L., Gee, R., Peretz, I., & Griffiths, T. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying tone-deafness. *Brain*, *127*, 801-810.

- Foxton, J.M., Nandy, R.K., & Griffiths, T.D. (2006). Rhythm deficits in 'tone deafness'. *Brain and Cognition*, 62, 24-29.
- Griffin, D. & Gonzalez, R. (1995). Correlational analysis of dyad-level data in the exchangeable case. *Psychological Bulletin*, 118, 430-439.
- Guerrini, R., & Marini, C. (2006). Genetic malformations of cortical development. *Experimental Brain Research*, 173, 322-333.
- Hyde, K., & Peretz, I. (2004). Brains that are out of tune but in time. *Psychological Science*, 15(5), 356-360.
- Hyde, K., Zatorre, R. J., 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., Zatorre, R. J., & Peretz, I. (2011). Functional MRI evidence of an abnormal neural network for pitch processing in congenital amusia. *Cerebral Cortex*, 21, 292-299.
- Kendler, K.S., Neale, M.C., Kessler, R.C., Heath, A.C., & Eaves, L.J. (1992). Major depression and generalized anxiety disorder: Same genes, (partly) different environments? *Archives of General Psychiatry*, 49(9), 716-722.
- Kalmus, H., & Fry, D. B. (1980). On tune deafness (dysmelodia): frequency, development, genetics and musical background. *Annals of Human Genetics*, 43(4), 369-382.
- Kasriel, J. & Eaves, L. (1976). The zigosity of twins: further evidence on the agreement between diagnosis by blood groups and written questionnaires. *Journal of Biosocial Science*, 8, 263-266.
- Loui, P., Alsop, D., & Schlaug, G. (2009). Tone deafness: A new disconnection syndrome? *The Journal of Neuroscience*, 29(33), 10215-10220.
- Loui, P., Guenther, F., Mathys, C., & Schlaug, G. (2008). Action-perception mismatch in tone-deafness. *Current Biology*, 18(8), 362-367.
- Pallant, J. (2007). *SPSS Survival Manual: A step by step guide to data analysis using SPSS for Windows* (3e édition). New York, NY: McGraw Hill.
- Patel, A. (2011). "Language, music, and the brain: A resource-sharing framework". In Rebuschat, P., Rohrmeier, M., Hawkins, J., & Cross, I., (Eds). *Language and music as cognitive systems*. Oxford: Oxford University Press.
- Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100(1), 1-32.

- Peretz, I. (2008). Musical disorders: From behavior to genes. *Current Directions In Psychological Science*, 17(5), 329-333.
- Peretz, I., Ayotte, J., Zatorre, R. J., Mehler, J., Ahad, P., Penhune, V. B., et al. (2002). Congenital amusia: A disorder of fine-grained pitch discrimination. *Neuron*, 33, 185-191.
- Peretz, I., Champod, S. & Hyde, K. (2003) Varieties of Musical Disorders: The Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 58-75
- Peretz, I., Cummings, S., & Dubé, M.-P. (2007). The genetics of congenital amusia (tone-deafness): A family-aggregation study. *The American Journal of Human Genetics*, 81, 582-588.
- Peretz, I., Gosselin, N., Tillmann, B., Cuddy, L. L., Gagnon, B., Trimmer, C., et al. (2008). On-line identification of congenital amusia. *Music Perception*, 25(4), 331-343.
- Peretz, I., & Hyde, K. (2003). What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends in Cognitive Science*, 7, 362-367.
- Pinker, S. (1997). *How the mind works*. New York, NY: Norton.
- Plomin, R., DeFries, J.C., McLearn, G.E., & Rutter, M. (1999). *Des gènes au comportement: Introduction à la génétique comportementale*. Bruxelles: De Boeck Université.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). E-Prime reference guide. from <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:E-Prime+REFERENCE+GUIDE#0>
- Segal, N.L. (2011). Zygosity assessment by self-report; research reports; human interest. *Twin Research and Human Genetics*, 14(1), 104-108.
- Snedecor, G.W. & Cochran, W.C. (1980). *Statistical methods* (7e édition). Ames, Iowa: Iowa State University Press.
- Stromswold, K. (2001). The heritability of language: A review and metaanalysis of twin, adoption, and linkage studies. *Language*, 77(4), 647-723.
- Stromswold, K. (2006). Why aren't identical twins linguistically identical? Genetic, prenatal and postnatal factors. *Cognition*, 101, 333-384.
- Tillman, B., Bharucha, J.J., & Bigand, E. (2000). Implicit Learning of Tonality: A Self-Organizing Approach. *Psychological Review*, 107(4), 885-913.

- Tremblay-Champoux, A., Dalla Bella, S., Phillips-Silver, J., Lebrun, M., & Peretz, I. (2010). Singing proficiency in congenital amusia: Imitation helps. *Cognitive Neuropsychology*, 27(6), 463-476.
- Wechsler, D. (1997). WAIS-III administration and scoring manual. *The Psychological Corporation*. San Antonio, TX.
- Wonderlic E.F. (1983). *Wonderlic Personnel Test manual*. Northfield, IL: E.F. Wonderlic & Associates.

**Annexe I : Figures et tableaux**

## Figures

Figure 1. Niveaux de traitement de l'amusie congénitale

Le déficit observé sur le plan comportemental se manifeste par des difficultés de perception des variations de hauteurs dans les mélodies. Sur le plan cognitif, l'habileté musicale qui serait déficiente chez les amusiques est l'encodage tonal de la hauteur, qui résulterait d'anomalies cérébrales dans l'aire auditive associative (BA 22) et le gyrus inféro-frontal (BA 47). Ultimement, ce phénotype tirerait son origine de prédispositions génétiques particulières, qui elles seraient modulées par des facteurs environnementaux. La ligne pointillée indique que le comportement pourrait avoir une influence sur l'environnement (p. ex. : évitement des activités reliées à la musique). *Adaptation française de Peretz, 2008, p.330.*

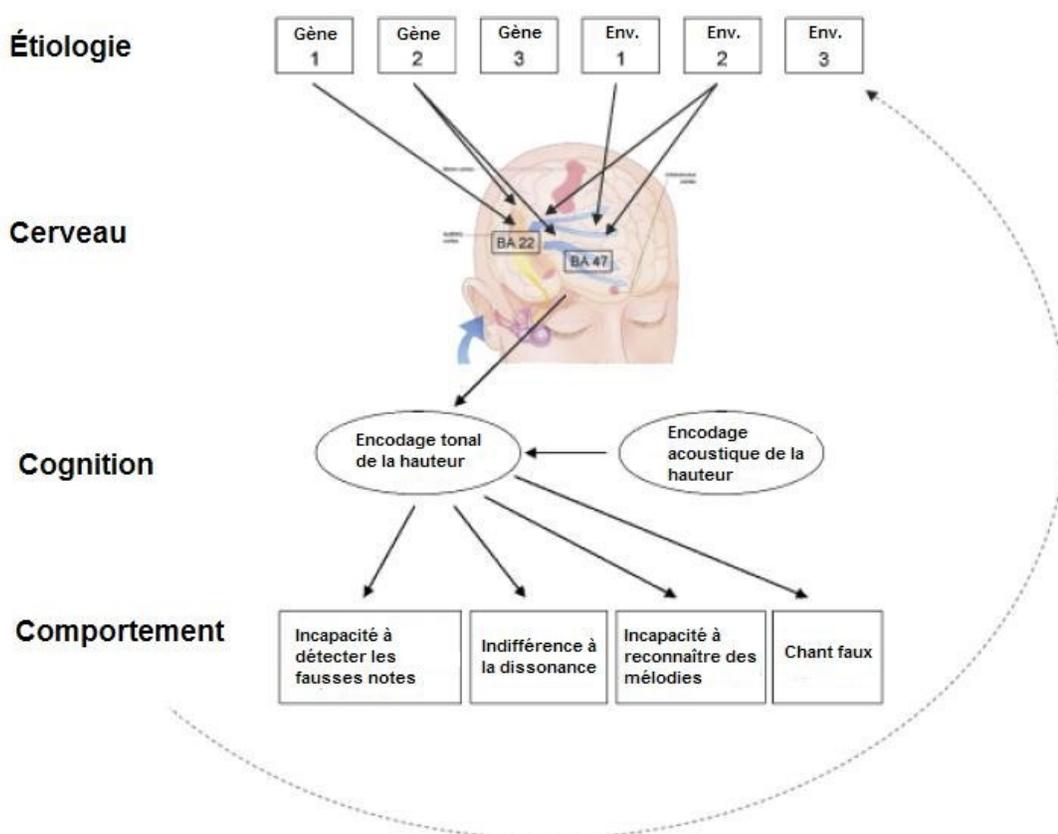


Figure 2. Exemples de stimuli du test en ligne de détection de l'amusie

Exemple d'une mélodie tirée du sous-test *Scale MBEA* (Peretz et al. 2003) présente dans le test en ligne: (A) mélodie congruente originale et (B) mélodie alternative n contenant une note hors-tonalité.

Exemple d'une mélodie tirée des sous-tests *Off-Beat* et *Out-Key* (Peretz et al., 2008) présentes dans le test en ligne: (C) mélodie congruente, (D) mélodie avec une incongruité temporelle (|| correspondant à un silence de 5/7 de la durée du temps) et (E) mélodie avec une note hors-tonalité.

*Scale MBEA*

A 

B 

*Off-beat et Out-of-Key*

C 

D 

E 

Figure 3. Représentation schématique de la tâche de détection des différences de hauteurs

Illustration d'un changement de hauteur de 25 cents (100 cents = 1 demi-ton). Les cinq sons sont d'une durée de 120 msec chacun, joués à une fréquence de 1047 Hz (C6), avec un intervalle inter-son de 350 msec. *Tiré de Peretz, Nguyen & Cummings, 2011, p.2*

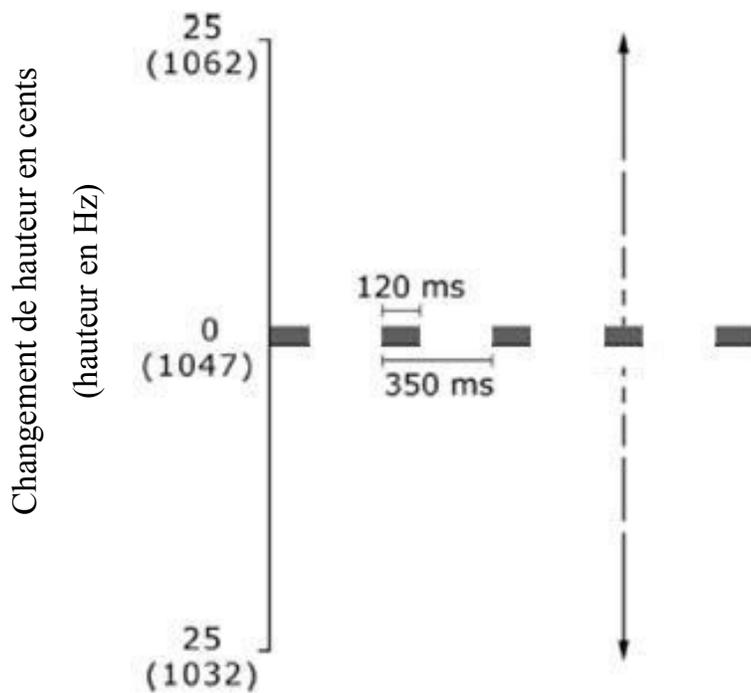


Figure 4. Partition de la chanson Gens du Pays

The image shows a musical score for the song "Gens du Pays" in 3/4 time. It consists of two staves of music. The first staff has a melodic line with a bracket above it labeled 'a'. The second staff has a similar melodic line with a bracket below it labeled 'a''. The lyrics are: "Gens du pa - ys C'est vo - tre tour de vous lais - ser par - ler d'a - mour".

a

Gens du pa - ys C'est vo - tre tour de vous lais - ser par - ler d'a - mour

a'

Gens du pa - ys C'est vo - tre tour de vous lais - ser par - ler d'a - mour

Figure 5. Corrélation entre la performance aux sous-tests Out-of-Key et Off-Beat pour les participants amusiques et non-amusiques

Réponses correctes exprimées en scores bruts obtenues par les participants au sous-test *Off-Beat* en fonction de leur performance au sous-test *Out-of-Key*. Les cercles représentent les 16 participants non-amusiques. Les triangles gris représentent les 12 participants amusiques. Les seuils limites sont représentés par une ligne horizontale pour le sous-test *Out-of-Key* et une ligne verticale pour le sous-test *Off-Beat*. Les lignes pointillées représentent les seuils limites pour les individus de moins de 40 ans.

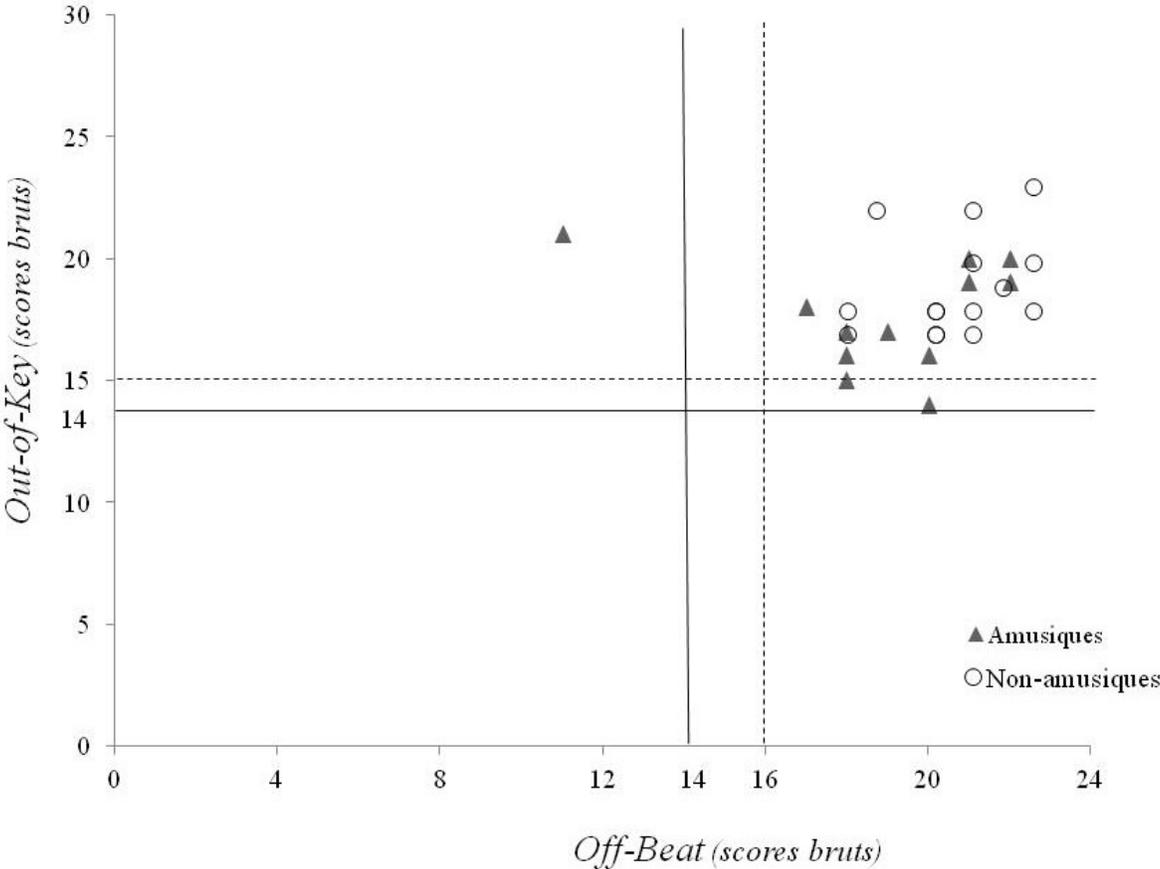
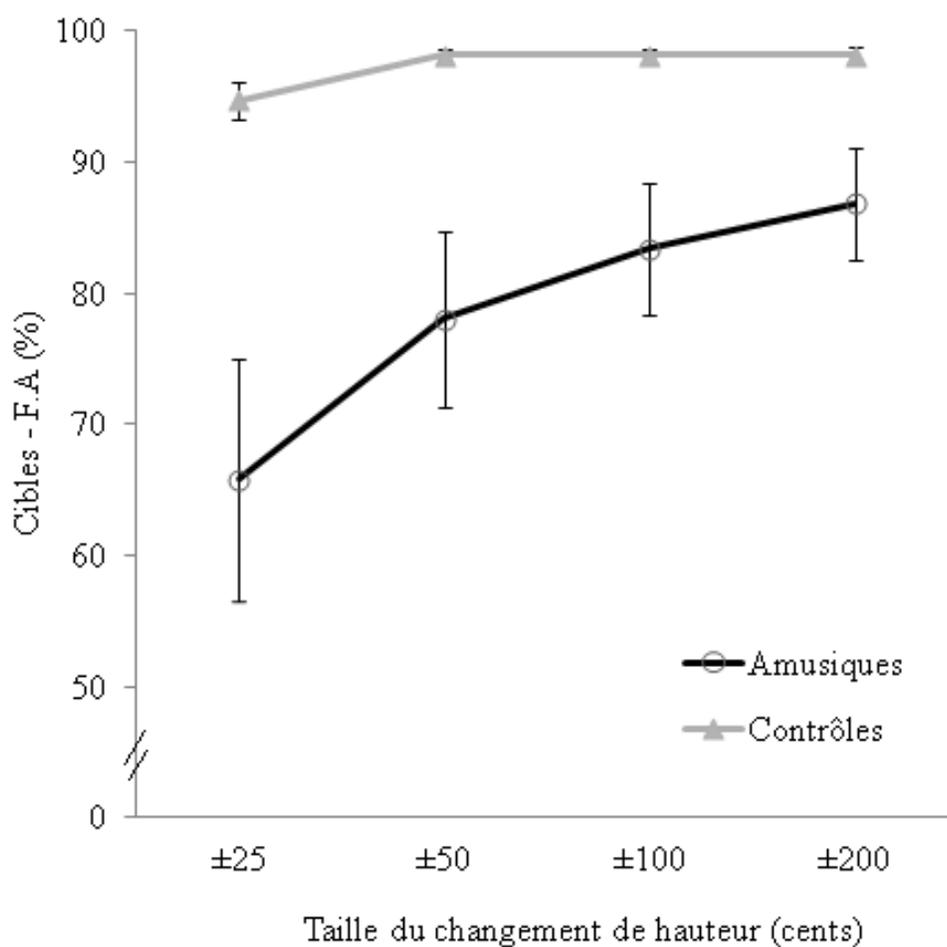


Figure 6. Performance des participants amusiques et contrôles sur la tâche de détection des différences de hauteurs

Performance des participants amusiques et contrôles sur la tâche de détection des différences de hauteurs, en fonction de la taille du changement de hauteur ( $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  et  $\pm 200$  cents). Pour chacun des groupes, les résultats sont exprimés en termes de pourcentage moyen des *cibles* (c.-à-d. répondre « oui » lorsqu'il y a un changement) moins les *fausses alertes* (F.A. ; c.-à-d. répondre « oui » lorsqu'il n'y a pas de changement). Les barres d'erreur représentent les erreurs type.



**Tableaux***Tableau 1.* Caractéristiques démographiques individuelles des jumeaux MZ et DZ

	Âge	Genre	Nombre d'années de scolarité		Nombre d'années d'expérience musicale	
			Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02
MZ01	52	F/F	15*	15*	0*	0*
MZ02	29	F/F	17*	17*	5*	3*
MZ03	24	F/F	15*	19	0*	0
MZ04	18	F/F	12*	12	1*	0
MZ05	32	F/F	20*	19	0*	0
MZ06	32	H/H	14	16	0	0
MZ07	25	F/F	14	17	0	0
MZ08	20	F/F	14	12	0	1
<i>M MZ (ET)</i>	29 (10,6)	2 H, 14 F	15,5 (2,5)		0,6 (1,4)	
DZ01	13	F/F	9*	9*	4*	3*
DZ02	24	F/F	17*	18	5*	1
DZ03	19	F/F	13*	13	2*	3
DZ04	18	F/F	13	13	0	1
DZ05	<b>20</b>	F/F	14*	15	0*	3
DZ06	24	F/H	19	17	3	0
<i>M DZ (ET)</i>	19,7 (3,9)	1 H, 11 F	14,1 (3,8)		2,1 (1,7)	

*Note* : Les astérisques (\*) indiquent les sujets amusiques.

*Tableau 2.* Caractéristiques démographiques des sujets amusiques.

	Amusiques ( <i>n</i> = 12)	Non-amusiques ( <i>n</i> = 16)
Âge (É-T)	27,1 (13,1)	23,4 (5,0)
Genre	12 F	3 H, 13 F
Nombre d'années de scolarité (É-T)	14,3 (3,4)	15,3 (2,6)
Nombre d'années d'expérience musicale (É-T)	1,9 (2,0)	0,8 (1,2)

Tableau 3. Résultats individuels des jumeaux MZ versus DZ au test en ligne de détection de l'amusie

Les résultats individuels des jumeaux MZ et DZ sont présentés séparément pour le test en ligne effectué en 2006 lors de la Parade des jumeaux et au re-test réalisé en 2010. Les valeurs en gras indiquent les scores inférieurs aux seuils limites. Les astérisques (\*) indiquent les corrélations significatives. Les moyennes (M), les écart-types (ET), et les corrélations intra-classes (CIC) sont également présentés en fonction des groupes (MZ, DZ), du test et du re-test, ainsi que des conditions. Les résultats à la transformation  $r$ -à- $z$  de Fisher sont présentés sur la dernière ligne.

	<i>Off-Beat</i> 2006		<i>Out-of-Key</i> 2006		<i>Scale MBEA</i> 2010		<i>Off-Beat</i> 2010		<i>Out-of-Key</i> 2010	
	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02
MZ01	21	19	23	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	20	18	16	16
MZ02	20	20	<b>15</b>	19	<b>20</b>	<b>20</b>	21	22	20	20
MZ03	17	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>15</b>	<b>20</b>	26	22	21	19	20
MZ04	19	17	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	24	20	20	<b>14</b>	17
MZ05	21	19	<b>15</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	23	17	20	18	18
MZ06	-	-	-	-	23	23	20	21	18	17
MZ07	18	19	<b>17</b>	21	24	25	21	22	18	19
MZ08	21	19	20	<b>15</b>	26	27	23	23	23	20
<i>M MZ(ET)</i>	19 (1,6)		15,9 (3,6)		22 (4,0)		21 (1,7)		18 (2,1)	
<i>CIC MZ</i>	$r(6)=,50; p = ,08$		$r(6)=,06; p = ,43$		$r(7)=,78; p = ,003^*$		$r(7)=,61; p = ,03^*$		$r(7)=,72; p = ,009^*$	
DZ01	-	-	-	-	<b>20</b>	<b>20</b>	21	18	19	<b>15</b>
DZ02	20	18	<b>15</b>	18	<b>22</b>	24	19	21	17	22
DZ03	20	<b>16</b>	<b>15</b>	21	<b>22</b>	26	18	20	17	17
DZ04	19	<b>16</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	24	24	17	17	18	17
DZ05	<b>12</b>	18	16	21	<b>20</b>	25	<b>11</b>	18	21	22
DZ06	-	-	-	-	23	25	23	20	18	17
<i>M DZ(ET)</i>	17,4 (2,7)		17,0 (3,1)		23 (2,1)		19 (3,0)		18 (2,2)	
<i>CIC DZ</i>	$r(3)=-,17; p = ,59$		$r(3)=,07; p = ,43$		$r(5)=,09; p = ,41$		$r(5)=,33; p = ,22$		$r(5)=,28; p = ,25$	
<i>Fisher r-à-z</i>	$z = 0,63; p = ,26$		$z = -0,01; p = ,50$		$z = 1,32; p = ,09$		$z = 0,51; p = ,31$		$z = 0,85; p = ,20$	

Note : Il n'y a pas de score pour les paires MZ06, DZ01 et DZ06 en 2006, puisqu'elles ont été recrutées en 2010.

Tableau 4. Résultats individuels des jumeaux MZ versus DZ à la tâche de détection des différences de hauteurs

Les résultats individuels des jumeaux MZ et DZ sont exprimés en pourcentages de cibles moins les fausses alertes. Les moyennes (M) et les écart-types (ET), ainsi que les corrélations intra-classes (CIC) sont présentés en fonction des groupes et des conditions ( $\pm 25$ ,  $\pm 50$ ,  $\pm 100$  ou  $\pm 200$  cents). Les résultats à la transformation  $r$ -à- $z$  de Fisher sont présentés sur la dernière ligne.

	$\pm 25$ cents		$\pm 50$ cents		$\pm 100$ cents		$\pm 200$ cents	
	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau 01	Jumeau 02
MZ01 <sup>a</sup>	10,4	-1,4	29,9	45,8	57,6	70,8	74,3	87,5
MZ02	63,9	86,1	63,9	83,3	61,1	83,3	64,9	86,1
MZ03	85,4	95,8	88,2	93,1	91,0	95,8	88,2	95,8
MZ04	100	100	100	100	100	100	100	100
MZ05	71,5	85,4	88,2	96,5	93,8	96,5	91,2	96,5
MZ06	97,2	93,1	100	95,8	100	95,8	100,0	95,8
MZ07	91,0	93,8	91,0	93,8	88,2	96,5	91,0	91,0
MZ08	99,3	99,3	99,3	99,3	99,3	96,5	99,3	99,3
<i>M(ET)</i>	79,4 (31,1)		85,5 (20,9)		89,2 (13,9)		91,2 (10,1)	
<i>CIC</i>	$r(6) = ,53; p = ,07$		$r(6) = ,64; p = ,03$		$r(6) = ,60; p = ,05$		$r(6) = ,56; p = ,06$	
DZ01	64,9	87,5	88,9	95,8	100	93,1	100	98,6
DZ02	77,8	99,3	100	99,3	100	99,3	100	99,3
DZ03	50,7	91,0	56,3	93,8	56,3	93,8	56,3	93,8
DZ04	64,6	52,1	84,0	74,3	95,1	77,1	97,9	88,2
DZ05	93,8	100	96,6	97,2	93,8	97,2	96,5	100
DZ06	86,1	72,2	94,4	91,7	94,4	91,7	94,4	97,2
<i>M(ET)</i>	78,2 (17,4)		89,4 (12,7)		91,0 (12,5)		93,5 (12,2)	
<i>CIC</i>	$r(5) = ,18; p = ,33$		$r(5) = ,21; p = ,31$		$r(5) = ,04; p = ,45$		$r(5) = ,16; p = ,35$	
<i>Fisher r-à-z</i>	$z = 0,53, p = ,29$		$z = 0,71, p = ,23$		$z = 0,85, p = ,20$		$z = 0,59, p = ,28$	

<sup>a</sup> La paire MZ01 a été exclue des analyses car les deux co-jumeaux présentaient des scores extrêmes à la condition  $\pm 25$  cents.

Tableau 5. Résultats individuels à la tâche de chant pour les jumeaux MZ versus DZ

Pour chacun des participants, la moyenne des jugements émis par les 10 juges (exprimés en scores  $z$ ) est présentée. L'étendue des jugements est également indiquée entre parenthèses. Les moyennes (M), les écart-types (ET), et les corrélations intra-classes (CIC) sont également présentés en fonction des groupes et des conditions (avec paroles ou sur la syllabe /la/). Les résultats à la transformation  $r$ -à- $z$  de Fisher sont présentés sur la dernière ligne.

	Jugements				Erreurs d'intervalle			
	Avec paroles		Syllabe /la/		Avec paroles		Syllabe /la/	
	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02	Jumeau01	Jumeau02
MZ01	-0,1 (-1,8 – 1,2)	0,0 (-1,0 – 1,1)	-0,6 (-1,9 – 0,5)	-1,2 (-2,4 – 0,4)	-	6	-	4
MZ02	0,7 (-0,4 – 1,5)	0,7 (-0,3 – 2,0)	0,9 (0,4 – 1,8)	0,1 (-0,9 – 1,1)	11	2	1	4
MZ03	-0,3 (-1,1 – 0,5)	0,7 (-0,1 – 1,3)	-0,4 (-1,2 – 0,3)	0,7 (0,1 – 1,4)	11	9	1	1
MZ04	0,3 (-1,2 – 1,8)	0,1 (-0,7 – 0,9)	-0,4 (-1,1 – 0,3)	-0,4 (-1,3 – 0,7)	13	7	11	12
MZ05	-0,7 (-1,5 – 0,4)	-1,8 (-1,9 – -1,8)	0,6 (0,0 – 1,8)	-0,3 (-1,3 – 0,5)	12	-	6	5
MZ06	-0,5 (-1,1 – 0,5)	-1,6 (-2,3 – -0,3)	-	-	12	20	-	0
MZ07	-0,6 (-1,2 – 0,4)	0,8 (-0,3 – 1,4)	-0,6 (-1,5 – 0,3)	0,8 (-0,4 – 2,0)	9	5	11	6
MZ08	1,2 (0,1 – 1,8)	1,0 (-0,5 – 2,1)	1,2 (0,1 – 2,1)	1,7 (0,7 – 2,2)	3	0	0	0
<i>M (ET)</i>	-0,01 (0,9)		0,2 (0,8)		8,6 (5,2)		4,8 (4,3)	
<i>CIC</i>	$r(7) = ,59, p = ,04^*$		$r(6) = ,46, p = ,11$		$r(5) = ,45, p = ,13$		$r(5) = ,86, p = ,003^*$	
DZ01	1,1 (-0,5 – 2,2)	-0,7 (-1,2 – 0,0)	0,2 (-1,2 – 1,0)	0,1 (-0,6 – 1,1)	0	4	2	5
DZ02	0,0 (-1,2 – 0,9)	0,3 (-0,5 – 2,1)	0,1 (-1,6 – 1,4)	0,1 (-0,7 – 1,4)	11	6	3	3
DZ03	0,0 (-1,1 – 1,2)	0,6 (0,0 – 1,3)	-	0,6 (-0,4 – 1,4)	-	2	-	4
DZ04	-0,9 (-2,0 – 0,9)	-0,1 (-0,7 – 0,4)	-0,8 (-2,2 – 0,6)	0,1 (-1,8 – 1,4)	-	-	-	-
DZ05	0,5 (-1,1 – 2,2)	0,2 (-1,1 – 1,4)	0,3 (-1,3 – 2,0)	-0,5 (-1,3 – 0,7)	5	2	14	6
DZ06	-1,3 (-2,0 – -0,3)	-0,9 (-2,1 – -0,3)	-1,0 (-1,6 – -0,4)	-1,2 (-1,9 – 0,4)	13	12	13	10
<i>M (ET)</i>	-0,1 (0,7)		-0,2 (0,6)		6,1 (4,8)		6,7 (4,5)	
<i>CIC</i>	$r(5) = ,27, p = ,26$		$r(4) = ,55, p = ,10$		$r(3) = ,75, p = ,04^*$		$r(3) = ,58, p = ,11$	
<i>Fisher r à z</i>	$z = 0,53, p = ,29$		$z = -0,14, p = ,38$		$z = -0,42, p = ,34$		$z = 0,55, p = ,29$	

Note : Les jumeaux MZ06-01, MZ06-02 et DZ03-01 ne sont pas présentés puisque la performance n'a pas pu être enregistrée.

*Tableau 6.* Compilation de la performance des sujets amusiques aux trois tests musicaux

Les résultats individuels des 12 jumeaux amusiques sont présentés pour chaque sous-test du test en ligne (score brut), pour le test de détection des différences de hauteurs (pourcentage de cibles moins les fausses alertes) et pour le test de chant (jugement de justesse transformé en score z et nombre d'erreur d'intervalle). Pour le test en ligne, les résultats inférieurs aux seuils limites sont indiqués en caractères gras. Pour le test de chant, l'étendue des scores z des jugements est présentée entre parenthèses.

Amusiques	Test en ligne 2010			Test de détection des différences de hauteurs				Chant			
	<i>Scale MBEA</i>	<i>Off-Beat</i>	<i>Out-of-Key</i>	±25 cents	±50 cents	±100 cents	±200 cents	Jugements avec paroles	Jugements syllabe /la/	Erreurs d'intervalle avec paroles	Erreurs d'intervalle syllabe /la/
MZ01-01	<b>13</b>	20	16	10,4	29,9	57,6	74,3	-0,1 (-1,8 – 1,2)	-0,6 (-1,9 – 0,5)	-	-
MZ01-02	<b>14</b>	18	16	-1,4	45,8	70,8	87,5	0,0 (-1,0 – 1,1)	-1,2 (-2,4 – 0,4)	6	4
MZ02-01	<b>20</b>	21	20	63,9	63,9	61,1	63,9	0,7 (-0,4 – 1,5)	0,9 (0,4 – 1,8)	11	1
MZ02-02	<b>20</b>	22	20	86,1	83,3	83,3	86,1	0,7 (-0,3 – 2,0)	0,1 (-0,9 – 1,1)	2	4
MZ03-01	<b>20</b>	22	19	85,4	88,2	90,8	88,2	-0,3 (-1,1 – 0,5)	-0,4 (-1,2 – 0,3)	11	1
MZ04-01	<b>22</b>	20	<b>14</b>	100	100	100	100	0,3 (-1,2 – 1,8)	-0,4 (-1,1 – 0,3)	13	11
MZ05-01	<b>19</b>	17	18	71,5	88,2	93,8	91,0	-0,7 (-1,5 – 0,4)	0,6 (0,0 – 1,8)	12	6
DZ01-01	<b>20</b>	21	19	63,9	88,9	100	100	1,1 (-0,5 – 2,2)	0,2 (-1,2 – 1,0)	0	2
DZ01-02	<b>20</b>	18	<b>15</b>	87,5	95,8	93,1	98,6	-0,7 (-1,2 – 0,0)	0,1 (-0,6 – 1,1)	4	5
DZ02-01	<b>22</b>	19	17	77,8	100	100	100	0,0 (-1,2 – 0,9)	0,0 (-1,6 – 1,4)	11	3
DZ03-01	<b>22</b>	18	17	50,7	56,3	56,3	56,3	0,0 (-1,1 – 1,2)	-	-	-
DZ05-01	<b>20</b>	<b>11</b>	21	93,8	96,5	93,8	96,5	0,5 (-1,1 – 2,2)	0,3 (-1,3 – 2,0)	5	14

Tableau 7. Compilation de la fréquence des réponses au questionnaire du test en ligne pour les jumeaux MZ versus DZ

Les fréquences des réponses relatives à l'environnement musical au questionnaire du test en ligne (re-test 2010) sont présentées dans le tableau suivant. Les réponses sont exprimées en pourcentage.

	MZ (n=16)		DZ (n=12)		Chi-carré
	Oui (%)	Non (%)	Oui (%)	Non (%)	
<i>Formation musicale</i>					
Aucune	25	75	25	75	$\chi^2 (1) = ,83, p = ,36$
J'ai appris par moi-même	12,5	87,5	8,3	91,7	$\chi^2 (1) = ,04, p = ,84$
Cours à l'école (obligatoires)	62,5	37,5	66,7	33,3	$\chi^2 (1) = ,51, p = ,47$
Cours optionnels ou leçons privées	31,3	68,7	33,3	83,3	$\chi^2 (1) = ,75, p = ,39$
	Souvent/ Très souvent (%)	Jamais/ Rarement/ Parfois (%)	Souvent/ Très souvent (%)	Jamais/ Rarement/ Parfois (%)	
Écoutez-vous de la musique intentionnellement?	62,5	37,5	75	25	$\chi^2 (1) = ,49, p = ,48$
Chantez-vous en privé?	18,7	81,3	25	75	$\chi^2 (1) = ,16, p = ,69$
Lorsque vous étiez enfant, écoutait-on de la musique autour de vous?	37,5	62,5	66,7	33,3	$\chi^2 (1) = 2,33, p = ,13$
Lorsque vous étiez enfant, votre mère vous chantait-elle des berceuses?	31,3	68,8	50	50	$\chi^2 (1) = ,44, p = ,51$

Tableau 8. Questions répondues de manière différente par les paires de jumeaux MZ discordantes

Les paires de jumeaux MZ discordantes sont celles dont seulement un des deux co-jumeaux de la paire est amusique (le co-jumeau amusique est indiqué en caractère gras). Les questions suivies d'un astérisque (\*) sont celles ayant été répondues différemment par au moins deux des trois paires.

Paire	Questions discordantes		
MZ03		<b>MZ03-01</b>	MZ03-02
	Écoutez-vous de la musique intentionnellement? *	Souvent	Rarement
	Je ne parviens pas à me souvenir de chansons ou de mélodies. *	Non	Oui
	Je ne parviens pas à suivre le rythme de la musique. *	Non	Oui
	Un parent, un ami ou un professeur m'a déjà dit que je n'avais pas d'oreille musicale.	Non	Oui
MZ04		<b>MZ04-01</b>	MZ04-02
	Écoutez-vous de la musique intentionnellement? *	Rarement	Souvent
	Je ne parviens pas me souvenir de chansons ou de mélodies. *	Oui	Non
	J'écoute de la musique, mais je peux m'en passer, ce n'est pas si important. *	Non	Oui
	Pourriez-vous remarquer qu'une personne fait des fausses notes?	Non	Oui
	Je chante faux.	Non	Oui
	Je n'arrive pas à reproduire en chantant une mélodie jouée au piano.	Non	Oui
	Votre mère vous chantait-elle des berceuses?	Rarement	Souvent
MZ05		<b>MZ05-01</b>	MZ05-02
	J'écoute de la musique, mais je peux m'en passer, ce n'est pas si important.*	Oui	Non
	Je ne parviens pas à suivre le rythme de la musique.*	Oui	Non
	La musique, c'est comme un discours dans une langue étrangère.	Oui	Non
	J'ai suivi des cours de musique optionnels à l'école.	Oui	Non

*Tableau 9.* Compilation de la fréquence des réponses au questionnaire du test en ligne pour les sujets amusiques

Les fréquences des réponses relatives à l'amusie congénitale, au questionnaire du test en ligne (re-test 2010) sont présentées dans le tableau suivant. Les réponses sont exprimées en pourcentage.

<i>Perception musicale</i>	Amusiques ( <i>n</i> =12)	
	Souvent/ Très souvent (%)	Jamais/ Rarement/ Parfois (%)
Parvenez-vous à reconnaître une mélodie connue, sans l'aide des paroles?	50	41,67%
	Oui (%)	Non (%)
Pensez-vous manquer de sens musical?	41,7	58,3
Je ne parviens pas à me souvenir de chansons ou de mélodies.	16,7	75
Un parent, un ami ou un professeur m'a déjà dit que je n'avais pas d'oreille musicale.	0	83,3
J'écoute de la musique, mais je peux m'en passer, ce n'est pas si important.	25	58
<i>Chant</i>		
Je chante faux.	75	16,7
Pourriez-vous remarquer qu'une personne chante faux?	58,3	41,7
<i>Rythme</i>		
Je ne parviens pas à suivre le rythme de la musique.	16,7	75

*Note : La somme des réponses n'est pas égale à 100% puisque certains participants ont décidé de ne pas répondre ou ont indiqué qu'ils ne savaient pas quoi répondre.*

**Annexe II : Questionnaire de zygotité**

Questionnaire de zygocité adapté de Kasriel et Eaves (1976).

1. Êtes-vous des jumeaux(elles) identiques ou de faux-jumeaux?

- Identiques (monozygotes)
- Fraternelles (dizygotes)

En êtes-vous certain? (expliquez)

2. Pour répondre à ces questions, veuillez vous comparer à votre jumeau(elle).

La couleur de vos yeux

- Même couleur
- Similaire, différente tonalité
- Couleur différente

La couleur naturelle de vos cheveux

- Même couleur
- Similaire, différente tonalité
- Couleur différente

Même des jumeaux identiques peuvent parfois être différents en termes de grandeur ou de poids; résultat d'une maladie ou d'un accident. Pour bien répondre aux questions ci-dessous, veuillez ignorer ce type de différences.

Durant votre enfance, votre jumeau(elle) et vous étiez-vous « pareils comme deux gouttes d'eau » ou n'étiez-vous pas plus ressemblant que deux frères ou sœurs ordinaires?

- Comme deux gouttes d'eau
- Ressemblance ordinaire
- Plutôt différents

Durant votre enfance, votre jumeau(elle) et vous étiez-vous « pareils comme deux gouttes d'eau » ou n'étiez-vous pas plus ressemblant que deux frères ou sœurs ordinaires?

- Jamais

- Parfois
- Même la famille avait de la difficulté

À l'âge scolaire, vous ressembliez-vous assez physiquement pour que les gens aient de la difficulté à vous distinguer?

- Jamais
- Parfois
- Même la famille avait de la difficulté

Auriez-vous pu faire croire à vos amis ou votre famille que vous étiez votre jumeau(elle)?

- Oui
- Peut-être
- Non

**Annexe III : Annonce - Recrutement 2010**



Laboratoire international  
de recherche sur le cerveau,  
la musique et le son



## ÉTUDE SUR LES JUMEAUX

**VOUS ET/OU VOTRE JUMEAU N'AVEZ PAS  
L'OREILLE MUSICALE? VOUS NOUS INTÉRESSEZ!**

Le Laboratoire international de recherche sur le cerveau, la musique et le son (BRAMS) de l'Université de Montréal est à la recherche de jumeaux (identiques et non-identiques) ayant des difficultés en musique pour participer à une étude en lien avec la génétique.

**Si vous croyez correspondre à ce profil et  
êtes intéressés à participer, n'hésitez pas à  
nous contacter !**

Alexandra Nedelcu, Candidate M.Sc. en psychologie  
Geneviève Mignault, Candidate Ph.D. R/I en psychologie  
**(514) 343-6111 poste 3685**

**[jumeaux.brams@gmail.com](mailto:jumeaux.brams@gmail.com)**

Une compensation financière de 40 \$ sera offerte à chaque participant pour une visite de 2h.  
Cette étude est effectuée sous la direction du Pr. Isabelle Peretz.