

Université de Montréal

**Normalisation de l'évaluation du potentiel musical
auprès d'enfants d'âge scolaire**

par

Émilie Caron-Caplette

Département de psychologie
Faculté des Arts et des Sciences

Mémoire présenté à la Faculté des Arts et des Sciences
en vue de l'obtention du grade de maîtrise
en Psychologie

Août, 2012

©Émilie Caron-Caplette, 2012

Université de Montréal
Faculté des études supérieures et postdoctorales

Ce mémoire intitulé :

Normalisation de l'évaluation du potentiel musical auprès d'enfants d'âge scolaire

Présenté par :
Émilie Caron-Caplette

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Annie Bernier, président-rapporteur
Isabelle Peretz, directrice de recherche
Nathalie Gosselin, co-directrice
Renée Béland, membre du jury

Résumé

Cette étude introduit un nouvel outil d'évaluation des troubles liés à la perception et la mémoire de la musique pour les enfants âgés entre six et huit ans. La batterie d'évaluation proposée est une adaptation de la batterie de Montréal de l'évaluation de l'amusie (MBEA) afin qu'elle puisse être utilisée chez les enfants, et ce, peu importe leur langue maternelle et leur culture. Dans l'expérience 1, la batterie, qui évalue les composantes musicales suivantes : la tonalité, le contour, l'intervalle, le rythme ainsi que la mémoire incidente, a été administrée auprès de 258 enfants à Montréal et 91 à Pékin. Dans l'expérience 2, une version abrégée de la batterie a été administrée à 86 enfants à Montréal. Les deux versions ont démontré une sensibilité aux différences individuelles et à la formation musicale. Il ne semble pas y avoir une influence de l'apprentissage de la lecture et de l'écriture sur les performances, mais plutôt un effet de la culture. Effectivement, les enfants qui ont comme langue maternelle le Mandarin (une langue tonale) ont obtenu de meilleurs résultats aux tâches de discrimination liées à la composante mélodique en comparaison à leurs homologues canadiens. Pour les deux groupes d'enfants, ceux qui ont été identifiés comme potentiellement amusiques ont principalement, mais pas exclusivement, des difficultés à percevoir de fines variations de hauteurs. Le caractère prédominant du déficit lié au traitement mélodique est moins distinctif avec la version abrégée. Par ailleurs, les résultats suggèrent différentes trajectoires de développement pour le traitement de la mélodie, du rythme et de la mémoire. De ce fait, la version de la MBEA adaptée à l'enfant, renommée la *batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical* (MBEMP), est un nouvel outil qui permet d'identifier les troubles liés au traitement musical chez les enfants tout en permettant d'examiner le développement typique et atypique des habiletés musicales et leur relation présumée à d'autres fonctions cognitives.

Mots-clés : habiletés musicales durant l'enfance, amusie congénitale, batterie d'évaluation des habiletés musicales, troubles d'apprentissage, potentiel musical, mélodie, rythme, mémoire, langue tonale

Abstract

The present study introduces a novel tool for the comprehensive assessment of musical disorders and potential in 6- to 8-year-old children. The tool is an adaptation of the Montreal Battery of Evaluation of Amusia (MBEA) for use with children from a range of language and cultural backgrounds. In Experiment 1, the battery, comprising tests of memory and of scale, contour, interval and rhythm discrimination, was administered to 258 children in Montreal and 91 in Beijing. In Experiment 2, an abbreviated version of the battery was administered to 86 Montreal children. Both versions were sensitive to individual differences and to musical education. There was little apparent influence of literacy, but there was an effect of culture. Children who spoke Mandarin (a tone language) showed enhanced melodic pitch discrimination relative to their Canadian counterparts, who mostly spoke French (a non-tone language). In both cultures, children designated as amusic were impaired primarily but not exclusively in musical pitch processing. The results also suggest distinctive developmental trajectories for melody, rhythm and memory processing. Thus, the child version of the MBEA, which should be renamed the *Montreal Battery of Evaluation of Musical Potential* (MBEMP), provides a means of identifying musical disorders in childhood as well as a means of examining the typical and atypical developmental course of musical abilities and their putative relation to other cognitive functions.

Keywords: musical abilities in childhood, amusia, tests of musical abilities, learning deficits, musical potential, melody, rhythm, memory, tone language

Table des matières

Résumé.....	i
Abstract.....	ii
Liste des tableaux.....	v
Liste des figures.....	vi
Liste des abréviations.....	vii
Remerciements.....	viii
1. Introduction.....	9
1.1. L’amusie congénitale.....	9
1.2. L’amusie congénitale et les langues tonales.....	12
1.3. Le développement des habiletés musicales.....	13
1.4. L’évaluation des habiletés musicales.....	17
2. Les objectifs et les hypothèses.....	18
3. Méthodologie – Étude 1.....	20
3.1. Participants.....	20
3.2. Matériel.....	20
3.3. Déroulement de l’étude.....	22
3.4. Traitement des données.....	22
4. Résultats et commentaires – Étude 1.....	23
4.1. Sensibilité.....	23
4.2. Âge.....	24
4.3. Scolarité.....	24
4.4. Éducation musicale.....	25
4.5. Diagnostic de l’amusie.....	25
4.6. Comparaison interculturelle : enfants canadiens et chinois.....	26
5. Méthodologie – Étude 2.....	28
5.1. Participants.....	28
5.2. Matériel.....	29

5.3. Déroulement de l'étude	29
5.4. Traitement des données.....	29
6. Résultats et commentaires – Étude 2	30
6.1. Validation avec la MBEMP	31
7. Discussion	32
Bibliographie.....	36
Annexe 1 : Tableaux et figures	ix
Annexe 2 : Questionnaire.....	xxii

Liste des tableaux

Tableau I. Caractéristiques des enfants de l'étude 1.

Tableau II. Moyenne (Écart-type) et seuil limite pour chaque test de la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de l'âge chez les enfants canadiens et chinois.

Tableau III. Moyenne (Écart-type) pour chaque test de la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de la scolarité chez les enfants canadiens.

Tableau IV. Caractéristiques des enfants amusiques.

Tableau V. Corrélations de Pearson entre les résultats obtenus par les 28 (amusiques) enfants ayant un résultat global à la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical inférieur ou égal au 10^e rang centile.

Tableau VI. Caractéristiques des enfants de l'étude 2.

Tableau VII. Moyenne (Écart-type) pour chaque test de la version abrégée de la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de l'âge.

Liste des figures

Figure 1. (A) exemple d'une mélodie initiale, (B) version modifiée de la mélodie pour la tâche de tonalité, (C) exemple de modifications pour la tâche de contour, (D) mélodie modifiée pour la tâche d'intervalle (E) exemple de mélodie utilisée pour la tâche liée au rythme (ici une inversion). Les notes modifiées sont marquées d'une étoile.

L'exemple peut être entendu à www.brams.umontreal.ca/short/mbea-child.

Figure 2. Répartition des résultats globaux obtenus à la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de l'âge ($N = 258$).

Figure 3. Résultats globaux répartis selon l'âge en mois ($N = 258$).

Figure 4. Résultats individuels aux tâches liées à l'aspect mélodique et rythmique fonction de l'âge pour les 28 enfants ayant un résultat inférieur au 10^e rang centile (c.-à-d. critère de l'amusie). Les résultats des 230 enfants non-amusique sont représentés par un triangle. Les barres d'erreur représentent les écart-types.

Figure 5. Moyennes des résultats globaux exprimées en pourcentage de bonnes réponses en fonction de la version de la batterie ainsi que du moment de la passation. Les barres d'erreur représentent les écart-types.

Liste des abréviations

MBEA : *Montreal Battery of Evaluation of Amusia* ; Batterie de Montréal de l'évaluation de l'amusie.

MBEMP : *Montreal Battery of Evaluation of Musical Potential*; Batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical

Remerciements

Je tiens d'abord à remercier Isabelle Peretz. Sans vous, tout cela n'aurait pas été possible. Merci de m'avoir donné une chance de travailler au sein de votre laboratoire alors que j'étais une simple étudiante en première année du baccalauréat. Cette expérience, qui aura duré près de six ans, a été très formatrice à plusieurs niveaux. Merci pour votre soutien et votre patience à mon égard.

Je tiens aussi à remercier chaleureusement Nathalie Gosselin. Merci mille fois pour ton écoute, ton temps et tes conseils judicieux. Merci de m'avoir si bien accompagnée tout au long de mon parcours en recherche.

Merci également à Séverine Samson pour sa confiance. Ce fut un plaisir de collaborer avec vous lors de mon année passée à Lille. Merci à Robert Miroux pour avoir été une source d'inspiration. J'ai rarement eu la chance d'échanger autant avec une personne aussi passionnée et passionnante!

J'aimerais également remercier tous mes collègues du BRAMS pour ces belles années passées avec eux! Elles sont inoubliables! Un merci spécial à Sébastien Paquette pour son aide si précieuse et son sens de l'humour et Alexandra Nedelcu pour sa bienveillance.

Merci à Stefany Tremblay, Marc-Antoine Bondu, Geneviève Carlos, Robine Kaseka, Hanane Hadjloum, Christine Kabayiza, Fanny-Maude Urfer, Anaïs Moores, Méghan Ziolkowski & Charlotte Lambre. Merci pour votre amitié inconditionnel, votre confiance et votre soutien. Sans vous, la vie ne serait pas aussi géniale!

Je termine par remercier ma mère et son conjoint. Francine, merci d'avoir toujours été là pour moi, d'avoir cru en moi malgré mes multiples remises en question et de m'avoir écoutée et conseillée. Tu es une mère formidable!

1. Introduction

La musique, qui constitue désormais un domaine de recherche à part entière, n'a pas toujours été considérée comme un aspect essentiel à l'adaptation chez l'humain. En effet, certains chercheurs ont considéré la musique comme un élément superficiel et non lié directement à une cause biologique (p.ex. : Pinker, 1994). Cependant, plusieurs études confirment que le développement des habiletés musicales respecte un ordre prédéterminé et que ces habiletés sont présentes très tôt au cours du développement (Dowling, 1999).

Toutefois, il existe des individus incapables de développer certaines de ces habiletés spontanément. Cette condition neurogénétique (Peretz, Cummings & Dubé, 2007) affecte environ 4% de la population générale (Kalmus & Fry, 1980) et se nomme amusie congénitale (Peretz, 2001). Une identification précoce des déficits associés au traitement musical est donc de mise si l'on considère le fait que la plasticité cérébrale est plus élevée durant l'enfance et qu'une rééducation des habiletés musicales peut être mise en place. À cet effet, la recherche présentée ici consiste à normaliser une batterie d'évaluation des habiletés musicales, MBEMP, auprès d'enfants d'âge scolaire, locuteurs d'une langue non-tonale ou tonale. De plus, une version réduite de cette batterie a aussi été élaborée afin de diminuer le temps de passation pour les enfants dans le but d'éviter la fatigue ou le manque de concentration. La MBEMP est une adaptation de la MBEA (*Montreal Battery of Evaluation of Amusia*), qui a été développée et validée pour identifier les déficits associés au traitement musical chez les adultes (Peretz, Champod, & Hyde, 2003). Ces batteries d'évaluation mettent l'accent sur les habiletés liées au traitement mélodique, rythmique et mnésique de la musique. Plus précisément, il s'agit du traitement des hauteurs, des intervalles mélodiques, du contour mélodique, de la perception du rythme ainsi que la mémoire des mélodies déjà entendues.

1.1. L'amusie congénitale

Au cours des dernières années, il y a eu des progrès considérables dans l'identification et la description des troubles liés au traitement de la musique présents à la

naissance (c.-à-d. l'amusie congénitale; Peretz, 2001). L'amusie congénitale est un trouble neuro-génétique caractérisé par une difficulté à percevoir les fines variations de hauteurs pouvant compromettre la perception ainsi que la production musicales. Les amusiques obtiennent de faibles résultats aux tâches de reconnaissance (p.ex. : ne reconnaissent pas les mélodies familières sans les paroles) et de discrimination musicale (p.ex. : ne différencient pas deux mélodies sur la base de changements subtils de hauteurs). Les manifestations de ce trouble se limitent à la musique et ne peuvent être expliquées par des déficits cognitifs ou perceptifs ni par des lésions cérébrales évidentes (Ayotte, Peretz & Hyde, 2002). Concrètement, les amusiques se distinguent des sujets normaux, car ils n'arrivent pas, entre autres, à déterminer si deux mélodies sont pareilles ou différentes (Peretz, 2008). L'amusie congénitale est associée à un déficit perceptuel des fines variations de hauteurs (Foxton, Dean, Gee, Peretz & Griffiths, 2004; Hyde & Peretz, 2004; Peretz et al., 2002) puisque les adultes amusiques ont de la difficulté à détecter les changements de hauteur plus petits qu'un demi-ton (la plus petite distance utilisée dans la musique occidentale, Peretz & Hyde, 2003).

D'un point de vue théorique, l'amusie offre une occasion unique d'examiner les bases biologiques de la musique en établissant des liens de causalité entre les gènes, le cerveau et le comportement (Peretz, 2008). Au fil des années, plusieurs recherches ont permis d'affirmer que l'amusie congénitale est héréditaire (Drayna, Manichaikul, de Lange, Snieder & Spector, 2001; Peretz et al. 2007) et qu'elle est associée à une connectivité neuronale réduite entre le cortex auditif et le gyrus frontal inférieur droit (Hyde, Zatorre, Griffiths, Lerch, & Peretz, 2006; Hyde, Zatorre & Peretz, 2011; Loui, Alsop, & Schlaug, 2009).

Les études en électrophysiologie auprès des amusiques ont, pour leur part, permis d'observer des composantes électrophysiologiques anormales au niveau cortico-frontal se traduisant par l'absence de la composante P3 chez les amusiques, une onde évoquée en réponse à la détection d'un stimulus déviant (Peretz, Brattico & Tervaniemi, 2005). Par contre, une composante du nom de Mismatch Negativity (MMN), qui survient lors d'une détection automatique, en condition d'écoute passive d'un changement de hauteur au niveau

du lobe temporal, est normale chez les amusiques (Moreau, Jolicoeur & Peretz, 2009). Ainsi, le traitement des changements de hauteur par le cortex auditif serait intact chez les personnes atteintes d'amusie congénitale, en accord avec la présence d'anomalies de la matière grise et blanche reliant le cortex auditif à la région frontale inférieure (Hyde et al., 2006, 2007; Mandell, Schulze & Schlaug, 2007; Loui et al., 2009).

Plus précisément, Loui et ses collaborateurs (2009) ont démontré que les amusiques ont une connectivité réduite au niveau du faisceau arqué à l'aide de l'imagerie par résonance magnétique de diffusion. Cette technique a été utilisée chez 10 amusiques et 10 contrôles et a permis de retracer de manière bilatérale les faisceaux arqués inférieur et supérieur chez les participants contrôles, mais seulement les faisceaux arqués inférieurs pour les amusiques. Ainsi, la structure du faisceau arqué est anormale chez les amusiques. Ces résultats ont été corrélés avec des données comportementales, car les individus ayant un faisceau arqué supérieur plus dense avaient de meilleurs résultats à la tâche de discrimination des hauteurs. Les auteurs concluent que le faisceau arqué supérieur est impliqué dans la discrimination fine des hauteurs alors que le faisceau arqué inférieur est lié à l'appariement automatique entre le son et la cible (Loui et al., 2009).

L'amusie a récemment été diagnostiquée chez les préadolescents. Une étude de cas a été effectuée avec une fillette âgée de 10 ans, identifiée par son chef de chorale pour des difficultés persistantes en chant (Lebrun, Moreau, McNally-Gagnon, Mignault Goulet, & Peretz, 2012). Son trouble a été diagnostiqué avec la version abrégée de la MBEMP présentée dans l'expérience 2. Ce premier cas d'amusie infantile présentait des difficultés dans toutes les sphères musicales évaluées: la mélodie, le rythme et la mémoire. Son profil diffère ainsi du profil typique des adultes amusiques, qui échouent typiquement aux tâches de discrimination mélodique, mais qui échouent de manière plus variable aux tâches de discrimination rythmique (Peretz, 2001; Hyde et al. 2006; Nan et al., 2010). Toutefois, le profil des amusiques adultes a été observé dans un échantillon de huit jeunes âgés entre 10 à 13 ans (Mignault Goulet, Moreau, Robitaille & Peretz, 2012). Comme leurs homologues adultes, ces amusiques préadolescents démontrent un traitement mélodique anormal et un traitement rythmique moins affecté. De plus, tous avaient du mal à détecter une note hors

tonalité, ce qui caractérise l'amusie congénitale (p.ex. : Peretz et al., 2007). Il est possible que les difficultés rythmiques soient présentes plus tôt dans le développement, mais qu'elles soient résolues au cours de l'adolescence, contrairement aux difficultés mélodiques. L'étude des enfants plus jeunes, âgés entre 6 et 8 ans, pourraient résoudre ce problème, tout en élucidant les marqueurs comportementaux de l'amusie pour cette tranche d'âge.

1.2. L'amusie congénitale et les langues tonales

Un fait intéressant à souligner est que les amusiques peuvent distinguer les changements de tons au sein de phrases parlées, alors qu'ils ont de la difficulté à le faire dans un contexte musical (Patel, Foxton & Griffiths, 2005). Cette distinction peut être reliée au fait que les variations de hauteurs sont plus prononcées pour les langues parlées occidentales comparativement aux variations que l'on retrouve en musique (entre 5 et 12 demi-tons pour le français). Par contre, dans la musique occidentale, il peut y avoir des changements d'un ou deux demi-tons entre deux notes consécutives. Hutchins, Gosselin & Peretz (2010) ont par ailleurs démontré que les amusiques ont de la difficulté à percevoir les fines variations de hauteur apportées à des phrases parlées de forme affirmative et interrogative. Ces auteurs ont utilisé des phrases identiques prononcées sous forme affirmative ou interrogative et ils ont examiné comment ces phrases étaient perçues à travers les fines variations de hauteur apportées aux phrases initiales. Leurs résultats montrent que les amusiques ont eu de la difficulté à différencier les deux types de phrases lorsque la différence était fine.

Les enfants qui parlent une langue tonale sont d'un intérêt particulier, car ils sont exposés de manière précoce à des tons lexicaux, ce qui pourraient améliorer leurs capacités de discrimination des hauteurs (Wong et al., 2012). Deutsch, Henthorn, Marvin et Xu (2006) ont suggéré que l'exposition précoce à une langue tonale améliore la mémoire des hauteurs et la probabilité d'avoir l'oreille absolue (c.-à-d. la capacité d'identifier une hauteur sans avoir accès à un son de comparaison). D'autres auteurs ont suggéré que le fait d'être locuteur d'une langue tonale faciliterait la perception et l'imitation des hauteurs

(Pfordresher & Brown, 2009; mais voir Peretz, Nguyen & Cummings, 2011, pour des résultats différents). Une question cruciale est de savoir si le fait d'être locuteur ou non d'une langue tonale protégerait d'une certaine façon ces individus contre les troubles liés au traitement mélodique. Pour le moment, cela ne semble pas être le cas (Jiang, Hamm, Lim, Kirk, et Yang, 2010; Nan, Sun & Peretz, 2010). Plus précisément, Nan et ses collaborateurs (2010) ont évalué la présence de l'amusie congénitale auprès de locuteurs mandarins, car le mandarin a la particularité d'utiliser quatre tons différents afin de désigner quatre mots différents. Le ton peut être maintenu, ascendant, descendant ou en V. Par exemple, la syllabe « ma » peut signifier le mot « mère » ou « cheval » selon l'intonation utilisée. Les locuteurs de langues tonales développent naturellement de fines catégories pour les différents tons de leur langue. Nan et collaborateurs ont utilisé la MBEA auprès d'un groupe de 117 locuteurs mandarins ne rapportant aucun problème lié à la musique ainsi que 22 personnes rapportant des difficultés à percevoir la musique. Ces 22 amusiques ont un profil similaire aux amusiques locuteurs de langues non-tonales, puisqu'ils démontrent une plus grande difficulté à traiter les changements mélodiques que les changements rythmiques. Ainsi, les résultats démontraient pour la première fois que l'amusie congénitale peut être observée chez les locuteurs d'une langue tonale. Il n'y aurait donc pas de transfert entre le fait d'être locuteur d'une langue tonale et la perception musicale. Il est possible que l'association observée entre les différents systèmes de traitement pour les changements de tons en musique et dans les langues tonales reflète le fonctionnement anormal de la voie fronto-temporale, qui a déjà été mis en évidence chez les amusiques de langues non-tonales (Hyde et al., 2007; Loui et al., 2009). Il reste ainsi à déterminer si les locuteurs de langues tonales en comparaison à ceux de langues non-tonales ont des profils similaires ou divergents au cours de l'enfance.

1.3. Le développement des habiletés musicales

Il importe de préciser que les études effectuées auprès de bébés utilisent différentes méthodes afin d'évaluer la perception musicale. Plusieurs chercheurs utilisent le paradigme d'habituation et de déshabituatation. Cette méthode consiste à présenter des mélodies de

manière répétée à l'enfant jusqu'au moment où il est habitué. À cet effet, le rythme cardiaque est mesuré, car il tend à diminuer lorsque les bébés entendent un nouveau stimulus et retrouve son niveau initial lorsque les bébés deviennent habitués. Une autre méthode utilisée est celle du conditionnement de l'orientation de la tête. Les bébés sont assis sur les genoux du parent accompagnateur en face de l'expérimentateur. Du côté gauche de l'enfant, dans un angle de plus de 45 degrés, on y place un haut-parleur ainsi qu'un présentoir de jouet. Lors de la présentation des mélodies, si l'enfant tourne sa tête vers le haut-parleur, l'expérimentateur enregistre le mouvement. Durant les essais d'entraînement, si l'enfant tourne la tête lors de la présentation d'une mélodie cible, ce comportement est renforcé par l'illumination du jouet. D'autres chercheurs utilisent aussi la méthode d'écoute préférentielle qui mesure la durée totale que le bébé passe à écouter l'extrait déterminant ainsi l'intérêt de l'enfant pour l'extrait musical.

Les trois grands domaines de compétences musicales qui seront abordés dans le cadre de cette recherche concernent la mélodie, le rythme et la mémoire musicale. Les études sur les habiletés musicales suggèrent qu'avant même de savoir parler, le bébé démontre des habiletés musicales remarquables, relativement similaires à celles des adultes. Par ailleurs, les différentes composantes liées au traitement musical sont matures et fonctionnelles dès l'âge de six ans (Hannon & Trainor, 2007; Stalinski & Schellenberg, 2012; Trehub & Hannon, 2006).

Tout d'abord, le traitement mélodique couvre au moins trois types d'indice qui sont : la tonalité, l'intervalle et le contour (Peretz & Coltheart, 2003). Le contour mélodique, qui se définit par la direction des hauteurs, est un aspect important de la mélodie chez les enfants. Chang et Trehub (1977a) ont utilisé un paradigme d'habituation et de déshabituaton afin d'évaluer la perception du contour mélodique auprès de bébés âgés entre cinq et six mois. Dans cette étude, la même mélodie, composée de six notes, était présentée de manière répétée aux bébés, de même qu'une transposition (mélodie décalée vers le haut ou le bas de trois demi-tons) ainsi qu'une version modifiée de cette mélodie (les six notes jouées en ordre aléatoire). Chang et Trehub (1977a) ont conclu que les bébés âgés entre cinq et six mois ont de la difficulté à distinguer les mélodies modifiées ayant le

même contour que l'originale, mais qu'ils sont en mesure d'extraire le contour mélodique, puisque leur rythme cardiaque diminue lorsque celui-ci est modifié, car ils n'ont pas observé de changement du rythme cardiaque lors de la présentation de la mélodie transposée, mais une diminution de celui-ci lors de la présentation de la mélodie modifiée. Trehub, Thorpe, & Morrongiello (1987) ont, pour leur part, démontré que les bébés pouvaient détecter les modifications apportées au contour mélodique, et ce, dans différents contextes. À cet effet, ils ont recruté 54 bébés âgés en moyenne de dix mois. Les deux conditions expérimentales étaient constituées de mélodies ayant subi des modifications très subtiles liées seulement à la tonalité ou à la tonalité et à l'intervalle, tout en préservant le contour mélodique. Ces auteurs ont utilisé la méthode du conditionnement de l'orientation de la tête. Ainsi, si l'enfant tournait la tête lors de la présentation d'une mélodie cible (contour modifié), ce comportement était renforcé par l'illumination du jouet pour une durée de quatre secondes. La phase expérimentale comprenait 30 essais (15 essais modifiés et 15 essais non modifiés). Les résultats de cette étude démontrent que les enfants sont en mesure de détecter les changements apportés au contour mélodique, et ce, même si la tonalité ou l'intervalle sont légèrement modifiés. D'autres chercheurs ont aussi utilisé la méthode du conditionnement de l'orientation de la tête afin de mettre en évidence la capacité des bébés âgés entre sept et onze mois à détecter des changements subtils apportés à des mélodies transposées. Il s'agissait plus particulièrement de changements subtils d'intervalle, c.-à-d. des changements de hauteur qui préservent le contour mélodique (Cohen, Thorpe, & Trehub, 1987). En revanche, la différenciation entre les mélodies qui respectent ou non la tonalité n'est apparente qu'à quatre ou cinq ans (Corrigall et Trainor, 2010; Trainor et Trehub, 1994). Cette capacité à percevoir l'aspect mélodique de la musique se précise toutefois par l'exposition et l'entraînement musical à long terme (Fujioka, Trainor, Ross, Kakigi & Pantev, 2004).

Une autre habileté musicale importante est celle du traitement temporel de la musique, qui est liée à la capacité d'extraction de la régularité d'un patron temporel. Cette capacité s'avère fondamentale pour l'organisation auditive et temporelle, est universelle et présente à travers les âges et les niveaux d'expérience musicale (Drake, 1998). Plus

précisément, les aspects distincts et fondamentaux liés au traitement temporel sont le rythme, qui est associé à des modèles d'intervalles temporels présents à l'intérieur d'une séquence et la métrique. Il semble que dès l'âge de deux mois, les bébés sont en mesure de percevoir des séquences rythmiques simples comme une configuration rythmique et non comme des éléments isolés. Ainsi, le nourrisson organise les sons successifs en termes d'intervalles de temps (Demany, McKenzie & Vurpillot, 1977). En ce qui concerne les structures rythmiques complexes, Chang & Trehub (1977 b), ont conclu que les bébés âgés de cinq mois sont capables de discriminer des extraits musicaux sur le critère lié à des changements rythmiques. Les études effectuées sur la métrique, composante qui n'est pas évaluée dans cette recherche, ont démontré que tout comme les adultes, les enfants utilisent la métrique afin de discriminer les différents modèles rythmiques (Hannon & Trehub, 2005). Bergeson et Trehub (2006) ont utilisé la méthode du conditionnement de l'orientation de la tête auprès de bébés âgés de neuf mois afin de démontrer la présence de prédispositions pour les modèles temporels qui induisent des structures métriques, dont la mesure binaire. Les résultats de cette étude s'expliquent par le fait que les bébés ont détecté plus rapidement les changements subtils de hauteurs pour les séquences musicales ayant une structure temporelle binaire comparativement à celles ayant une structure ternaire. Ces résultats sont en accord avec l'hypothèse d'une préférence naturelle aux structures hiérarchiques binaires présentes chez les enfants. Phillips-Silver & Trainor (2005) ont pour leur part présenté à des bébés âgés de sept mois un enregistrement de deux minutes d'un patron rythmique sans accentuation. Lors de la présentation de l'enregistrement sonore, l'expérimentateur tenait le bébé et le faisait bondir aux deux temps ou aux trois temps du rythme. Ainsi, même si les bébés entendaient la même chose, ils ne le ressentaient pas de la même manière. Durant la phase expérimentale, deux versions du même patron rythmique entendu plus tôt étaient présentées, mais cette fois-ci le rythme était accentué (2^e ou 3^e temps). Les enfants, qui ont été habitués à la structure double, ont préféré la version accentuée au 2^e temps et vice-versa. Ainsi donc, très tôt au cours du développement, les enfants perçoivent les bases de la structure métrique de la musique.

En ce qui concerne la mémoire musicale, il existe plusieurs résultats de recherche sur le fait que les bébés peuvent garder en mémoire la musique à laquelle ils ont été exposés dans le passé, et ce, même après plusieurs mois (Saffran, Loman, & Robertson, 2000; Trainor, Wu, & Tsang, 2004). Par exemple, Saffran et ses collaborateurs (2000) ont demandé à des parents d'enfants âgés de sept mois de faire jouer deux sonates pour piano de Mozart d'une durée de dix minutes pendant 14 jours. Après un délai de deux semaines, les bébés étaient évalués selon la méthode d'écoute préférentielle. Durant le test, les deux extraits connus ainsi que deux nouveaux extraits des sonates pour piano de Mozart d'une durée de 20 secondes étaient présentés. Les résultats ont démontré que les bébés étaient plus attentifs et avaient un plus grand intérêt vers les nouveaux extraits en comparaison avec les sonates connues. Au sein du groupe contrôle, aucune différence n'a été observée entre les extraits présentés. Ainsi, les bébés semblent être en mesure de retenir en mémoire à long terme la musique et cette capacité s'améliore, au même titre que les représentations mentales, au cours du développement chez l'enfant (Munakata, 2001).

Bien que les systèmes de traitement de la musique sont acquis de manière implicite, l'apprentissage d'un instrument de musique en bas âge permettrait à ces systèmes d'être davantage spécialisés. Les leçons de musique auraient des effets tangibles qui vont bien au-delà d'une meilleure discrimination de la mélodie et du rythme (Forgeard, Winner, Norton, & Schlaug, 2008). Hyde et al. (2009) ont constaté que les enfants de six ans, qui ont reçu 15 mois de leçons de musique, démontrent des changements dans les régions motrices et auditives du cortex, régions qui sont associées à l'exécution d'une variété de tâches auditives et motrices.

1.4. L'évaluation des habiletés musicales

Une batterie d'évaluation des habiletés musicales a été développée et ajustée auprès d'un échantillon constitué d'adultes normaux (Peretz, Champod & Hyde, 2003). Mieux connu sous le nom de « Batterie Musicale d'Évaluation de l'Amusie » (MBEA), cet outil est constitué de six tâches évaluant les différentes composantes reconnues pour leur implication lors du traitement de la musique occidentale (tonalité, contour, intervalle,

rythme, métrique et mémoire). Ce test musical est composé de 30 extraits musicaux qui ne sont pas connus, qui ont été composés selon les règles du système tonal et écrit afin de former une structure musicale significative permettant un traitement complexe. Depuis plus d'une décennie, cette batterie a été développée et validée chez des populations de cérébrolésés de diverses étiologies. De plus, la MBEA est soutenue théoriquement et satisfait de nombreuses propriétés psychométriques. Cette batterie d'évaluation est sensible, normalement distribuée, fiable au test-retest et corrélée avec le test d'aptitude musicale de Gordon (1989). La MBEA est sans aucun doute le meilleur outil disponible pour l'évaluation des troubles musicaux (Stewart et al., 2006). Les individus ayant un résultat global (moyenne calculée sur les six essais) est de deux écarts-types en dessous de la moyenne des contrôles normaux sont considérés amusiques. Selon ce critère statistique, l'amusie touche 2,5% de la population générale.

Chez les enfants, la MBEA peut être utilisée pour les mêmes raisons. De plus, toutes les habiletés évaluées par la MBEA sont fonctionnelles chez les bébés vers l'âge de un an et atteignent le même niveau que les adultes vers l'âge de cinq ans (Hannon & Trainor, 2007; Trehub & Hannon, 2006).

2. Objectifs et hypothèses

L'outil proposé est une version adaptée pour les enfants de la Batterie Musicale d'Évaluation de l'Amusie (MBEA) (Peretz et al., 2003). De plus, une version abrégée de cette batterie a aussi été élaborée afin de diminuer le temps de passation pour les enfants dans le but d'éviter la fatigue ou le manque de concentration.

Le principal objectif de ce projet, qui constitue l'étude 1, est de normaliser la MBEMP auprès de deux échantillons d'enfants d'âge scolaire (6-8 ans) qui sont locuteurs d'une langue tonale (ex. : Mandarin) ou locuteurs d'une langue non-tonale (ex. : français). Un autre objectif, l'étude 2, s'ajoute à celui-ci et concerne la validation de la version abrégée de la MBEMP auprès d'un échantillon d'enfants d'âge scolaire locuteurs d'une langue non-tonale. Pour cette étude, les résultats des enfants âgés de huit ans ont été mis en

parallèle avec ceux d'un échantillon de jeunes adultes âgés entre 18 et 20 ans afin de vérifier si les performances des deux groupes sont comparables. Les normes obtenues serviront, par la suite, à des fins de diagnostic des difficultés spécifiques liées au traitement musical. La détection précoce de l'amusie est cliniquement souhaitable en raison d'une plus grande plasticité du cerveau en développement (Huttenlocher, 2002), ce qui offre la possibilité d'une intervention précoce pour atténuer ou compenser ces difficultés. Les avantages potentiels d'une telle intervention sont considérables. À cet effet, les activités musicales semblent façonner plusieurs régions corticales et sous-corticales (Kraus & Chandrasekaran, 2010) et sont aussi associées à des conséquences bénéfiques pour le QI (Schellenberg, 2004, 2011), les fonctions exécutives (ex. Palleson et al., 2010), la perception de la parole (Strait, Hornickel et Kraus, 2011; Moreno et al., 2009) et l'alphabétisation (Moreno et al., 2009).

Notre étude permettra aussi d'augmenter les connaissances sur le développement des habiletés musicales dans une perspective de mise en place d'un programme de rééducation musicale en lien avec la plasticité cérébrale. Il est possible de croire que des cours de musique offerts tôt dans le développement des enfants puissent avoir des bienfaits, dont une meilleure performance aux différentes tâches de la MBEMP. La présente étude fournit un moyen d'identifier les troubles de musique durant l'enfance tout en ayant aussi comme objectif à long terme une meilleure compréhension du développement normal des habiletés musicales et ses conséquences chez les jeunes enfants en provenance d'horizons culturels et linguistiques différents.

L'hypothèse actuelle est que les individus que l'on considère comme amusiques ont un développement anormal des habiletés musicales. Ainsi, les enfants amusiques auront des performances plus faibles aux différentes tâches de la MBEMP, surtout à la tâche de tonalité qui demande de détecter de fines variations de hauteurs. Selon ce qui a été mentionné par rapport au développement des habiletés et de l'impact de la formation musicale sur ces habiletés, il est possible de croire que les enfants ayant reçu une formation musicale et ceux qui sont plus âgés obtiennent de meilleurs résultats.

3. Méthodologie – Étude 1

3.1. Participants

L'échantillon québécois est constitué de 258 enfants âgés entre six et huit ans (voir Tableau I pour les données démographiques). Ils ont été recrutés au sein d'écoles publiques et privées de Montréal en provenance de différents milieux socio-économiques. Les parents ont donné leur consentement de manière libre et éclairée afin que leur enfant participe à cette étude. Selon un questionnaire rempli par les parents (voir Annexe 2) la majorité des enfants étaient droitiers (88,8%), francophones (74,8%) et environ 28% de ces jeunes avaient déjà suivi des cours de musique, en plus de ceux dispensés par l'école. Ce questionnaire a aussi permis d'exclure les enfants qui avaient des troubles attentionnels (TDAH) ou autres problèmes de santé (p.ex. : problème d'audition) qui pouvaient nuire à leur performance. À Beijing, 91 enfants ayant le même âge ont été évalués. Ils avaient tous comme langue maternelle le Mandarin (voir Tableau I pour les données démographiques). Les enfants chinois, en comparaison avec les canadiens du même âge, étaient plus nombreux à avoir suivi des cours de musique à l'extérieur du cursus scolaire, $t(336) = 9.526, p = .001$.

3.2. Matériel

Tel que mentionné précédemment, la version adulte de la MBEA comprend six tâches (180 essais) et prend environ 1h30 à effectuer. Pour la version enfant, la durée des mélodies a été réduite, de même que le nombre d'essais. Les tâches pour la version enfant sont les mêmes à l'exception de la tâche « métrique » qui n'a pas été utilisée, car les instructions pour cette tâche sont difficiles à comprendre pour les enfants. En résumé, cette version enfant contient cinq tâches et elle permet d'évaluer les composantes musicales suivantes : la tonalité, le contour, l'intervalle, le rythme et la mémoire. Ces tâches utilisent le même ensemble de 20 mélodies composées selon les règles du système tonal, en dix tonalités différentes (la moitié en majeure et l'autre moitié en mineure). Ces mélodies ont une durée de cinq à neuf tons (moyenne : 7,1), ce qui équivaut à trois ou quatre secondes

(moyenne : 3,5). Les mélodies ont été générées par un ordinateur et émettent le timbre de différents instruments. L'utilisation de dix timbres différents (pizzicato au violon, trompette, vibraphone, hautbois, harpe, piano, marimba, guitare, flûte et clarinette) s'explique par la volonté de rendre les tâches stimulantes.

Pour les tâches liées à l'organisation mélodique, trois types de manipulations ont été appliquées à dix mélodies (voir Figure 2). La première manipulation consiste à changer une note afin qu'elle n'appartienne plus à la tonalité de la mélodie sans modifier le contour mélodique. La deuxième manipulation vise à altérer le contour de la mélodie en changeant la direction de la note tout en conservant la même tonalité. La troisième manipulation consiste à préserver le contour et la tonalité à l'exception de l'intervalle (en termes de demi-tons). La position sérielle de la note modifiée varie à travers les mélodies. Ces trois tâches comprennent deux essais de pratique et 20 essais expérimentaux construits à partir des mélodies décrites ci-dessus. Chaque essai est précédé d'un bip sonore et consiste en une mélodie cible et une mélodie de comparaison séparées par un intervalle de silence de 1500 ms et d'un intervalle entre les essais de quatre secondes. Les paires de mélodies ont toujours le même timbre, mais sont présentées dans un ordre aléatoire pour chaque condition.

En ce qui concerne le test rythmique, les mélodies sont les mêmes que celles de l'organisation mélodique. Afin de créer différents patrons de comparaison, la manipulation consiste à modifier la durée de deux notes adjacentes afin de changer le regroupement rythmique, sans altérer la métrique et le nombre total de notes (voir Figure 2). La position sérielle de la note modifiée varie à travers les mélodies. Cette tâche contient deux essais de pratique et 20 essais expérimentaux construits à l'aide des mêmes mélodies décrites précédemment.

La dernière tâche de la batterie est celle de la mémoire. À partir de l'ensemble des 20 mélodies présentées au moins quatre fois dans le même format au cours des tâches précédentes, dix ont été sélectionnées. En plus de ces anciennes mélodies, un ensemble de dix nouvelles mélodies, qui respectent les mêmes principes que celles déjà utilisées, a été créé. Les 10 anciennes et les 10 nouvelles mélodies sont présentées dans un ordre aléatoire

avec un intervalle inter-stimuli de quatre secondes. Cette dernière tâche est considérée comme un test de mémoire incidente, car les enfants ne sont pas préalablement informés qu'ils doivent mémoriser les mélodies.

3.3. Déroulement de l'étude

Les participants ont effectué une tâche de classification de type « pareil-différent » pour les tâches évaluant l'organisation mélodique et rythmique, puisqu'ils devaient juger, pour chaque essai, si la mélodie cible et la mélodie de comparaison étaient les mêmes ou non. Lors de la tâche de mémoire incidente, ils devaient répondre « oui » lorsqu'ils reconnaissaient la mélodie comme faisant partie des anciennes déjà présentées ou « non » lorsque ce n'était pas le cas. Avant le début de chaque tâche, une rétroaction a été donnée lors des essais de pratique, permettant à l'enfant de se familiariser avec le déroulement de l'évaluation. La passation de cette batterie s'est effectuée lors d'une seule séance d'une durée approximative de 30 à 45 minutes. L'ordre de présentation était fixe : tonalité, contour, intervalle, rythme suivi du test de mémoire. Durant l'évaluation, les participants pouvaient demander autant de pauses qu'ils le désiraient afin d'assurer un bon niveau de concentration au cours de l'évaluation.

3.4. Traitement des données

La normalité de la distribution, pour chaque échantillon d'enfants, a été vérifiée à l'aide du test de conformité Kolmogorov-Smirnov. La sensibilité de la batterie, c'est-à-dire son efficacité à différencier une performance normale versus anormale, a été évaluée via la distribution des performances selon l'âge. Les scores obtenus pour chaque tâche ainsi que les scores globaux ont été analysés par l'utilisation d'analyses de variance (ANOVA). Ces ANOVA ont permis de comparer les performances selon le groupe, la tâche ainsi que l'âge. De plus, pour chacun des groupes (langue tonale et langue non-tonale), les résultats globaux ont été comparés à l'aide d'un test t à groupe indépendant. Finalement, des analyses de régression ont été utilisées à des fins de vérification de l'effet de l'âge, de la

scolarité et de l'éducation musicale sur la performance à la MBEMP intégrale. Le seuil de signification adopté dans toutes les analyses sera de 0.05.

4. Résultats et commentaires – Étude 1

Les analyses préliminaires ont révélé que le genre des enfants (féminin ou masculin) n'a pas d'influence sur la performance en ce qui concerne l'échantillon canadien. Pour l'échantillon chinois, les filles ont mieux réussi que les garçons, $F(1,85) = 10,87, p = 0,001$. Cette différence entre les genres n'est pas attribuable au fait que les filles aient reçus plus de cours de musique ($t(89) = 2,37, p < 0,05$), car la différence demeure significative même si on tient compte de l'éducation musicale ($F(2,84) = 7,12, p < 0,01$). Le genre n'a pas été pris en considération lors de l'interprétation des résultats, car il ne semble pas influencer les autres facteurs à l'étude. Les résultats de l'échantillon canadien sont présentés pour la sensibilité, l'âge, la scolarité, les cours de musique et l'amusie. Par la suite, les résultats de l'échantillon chinois sont présentés de même que la comparaison des deux échantillons.

4.1. Sensibilité

Les résultats globaux des enfants canadiens âgés entre six et huit ans (à travers les cinq tâches) varient entre 47 à 99 sur un total de 100 (voir Tableau II). La distribution de ces résultats est statistiquement normale ($D(70) = 1,03$; $D(97) = 1,16$; $D(92) = 1,32$, pour les enfants de six, sept et huit ans respectivement, tous les $p > 0,05$), comme l'illustre la Figure 3. Aucun enfant n'a obtenu un score parfait, mais les résultats aux tests individuels sont positivement asymétriques, violant ainsi la normalité dans la majorité des cas. Ainsi, le résultat global est plus sensible que les résultats individuels obtenus aux différentes tâches afin de distinguer une performance normale d'une performance anormale.

4.2. Âge

Comme on peut le constater (voir Tableau II), il y a une amélioration des performances entre six et sept ans, puis il y a un plateau entre sept et huit ans. Une tendance similaire a été observée pour chaque tâche. Une ANOVA à mesures répétées a été effectuée en considérant l'âge (6, 7 et 8 ans) comme un facteur inter-sujets et les tâches (tonalité, contour, intervalle, rythme et mémoire) comme un facteur intra-sujets. Cette analyse a révélé un effet significatif de l'âge, $F(2,256) = 16,90$, $p < 0,001$, mais aucune interaction avec les tâches ($F < 1$). Les comparaisons à posteriori ont révélé, pour leur part, que les enfants âgés de sept ans ont de meilleurs résultats que les enfants âgés de six ans, et ce, pour toutes les tâches, tous les $p < 0,05$. En revanche, les résultats des enfants âgés de sept et huit ans ne diffèrent pas significativement (tous les $p > 0,05$). Dans chaque groupe d'âge, les performances les plus faibles concernent la tâche liée à la tonalité. Cet écart de performance peut s'expliquer, entre autres, par le fait que cette tâche a été administrée en premier. Les enfants de six ans ont mieux réussi le test lié au rythme alors que les enfants plus âgés ont mieux réussi le test lié à la mémoire. D'ailleurs, il y a un effet significatif des tâches pour les enfants âgés de six, sept et huit ans respectivement, $F(4,276) = 5,93$, $F(4,384) = 9,59$, $F(4,364) = 13,36$, tous les $p < 0,001$. Les résultats obtenus aux différentes tâches sont significativement corrélés au sein de chaque groupe d'âge, tous les $p < 0,01$. Afin de mieux comprendre l'amélioration des performances entre les enfants de six et sept ans, la relation entre l'âge en mois et les résultats globaux a été évaluée. Comme on peut le constater à la Figure 4, il y a une relation linéaire entre l'âge et la performance, sans aucun changement abrupte, $r(256) = 0,34$, $p < 0,001$).

4.3. Scolarité

La scolarité a un effet similaire à celui observé avec l'âge, $F(3, 254) = 12,22$, $p = 0,001$. Les enfants inscrits en première année ont significativement de meilleurs résultats que les enfants inscrits à la maternelle, en particulier au test de mémoire, $t(133) = 2,24$, $p = 0,027$. En ce qui concerne les enfants de deuxième année, ils obtiennent de meilleurs résultats que ceux de première année, et ce, pour toutes les tâches, tous les $t(211) = 2,89$ -

4,11, tous les $p < 0,005$. Par contre, il n'y a pas de différence entre les enfants de deuxième et de troisième année. Cet effet est probablement dû à l'âge (maturation) plutôt qu'au degré scolaire, car la majorité des enfants ont été évalués à la fin de l'année scolaire (voir Tableau III).

4.4. Éducation musicale

Le fait de suivre des cours de musique à l'extérieur du cadre scolaire est un facteur à prendre en considération. En effet, il existe une corrélation significative entre la durée (en mois) de la formation musicale extrascolaire et les résultats globaux obtenus à la MBEMP, $r(67) = 0,23, p = 0,027$ à 6 ans; $r(93) = 0,21, p = 0,019$ à 7 ans et $r(90) = 0,27, p = 0,005$ à 8 ans. Plus précisément, à six ans, il y a des corrélations significatives entre la formation musicale et les résultats obtenus au test de contour, $r(67) = 0,26, p = 0,015$, et le test d'intervalle, $r(67) = 0,28, p = 0,01$. Chez les enfants âgés de sept ans, il y a des corrélations significatives entre les leçons de musique et les tâches liées à la tonalité, au contour et à la mémoire, $r(93) = 0,17, 0,17$ et $0,23$ respectivement, tous les $p < 0,05$. Pour les enfants âgés de huit ans, les leçons de musique prédisent la performance sur les trois tâches mélodiques (tonalité, contour et intervalle), $r(90) = 0,29, 0,19$ et $0,23$, respectivement, tous les $p < 0,05$, et sur la tâche du rythme, $r(90) = 0,20, p = 0,03$. En considérant le fait que plus les enfants vieillissent, plus ils ont la possibilité de suivre des cours de musique, l'effet de l'éducation musicale sur la performance a été reconsidéré en ajoutant comme covariable l'âge. Cette analyse de covariance (ANCOVA) a démontré un effet toujours significatif de l'éducation musicale, $F(2, 252) = 13,93, p = 0,001$, sans interaction avec les tests, $F < 1$.

4.5. Diagnostic de l'amusie

L'amusie congénitale est généralement diagnostiquée chez les adultes lorsque les participants ont un résultat global de deux écarts-types sous la moyenne. En utilisant ce critère avec les enfants, 13 enfants (trois âgés de six ans, quatre âgés de sept ans et six âgés de huit ans) sur les 258 évalués peuvent être considérés comme amusiques. Cependant, avec ce critère statistique, le seuil diagnostique pour les enfants de six ans est 52,5%, ce qui se

rapproche du niveau de hasard déterminé à 50%. À cet effet, il est moins fréquent d'utiliser le seuil diagnostique de deux écart-types sous la moyenne avec les enfants, car les compétences en développement sont généralement plus variables que les compétences acquises. Ainsi, afin d'assurer une plus grande sensibilité (c.-à-d. bien identifier les personnes ayant le trouble en question) ainsi qu'une meilleure spécificité (c.-à-d. exclure les faux positifs), d'autres critères diagnostics sont utilisés (p.ex. : Feil et al., 2005). Pour cette étude, le critère utilisé afin d'identifier l'amusie chez les enfants est le 10^e rang centile. Selon ce nouveau critère, 28 enfants peuvent être considérés comme amusiques (voir Tableau IV). Les résultats de ces 28 enfants aux cinq tâches ont été analysés afin de les comparer avec le profil de performance des amusiques adultes. Tous les adultes identifiés comme amusiques démontrent des difficultés aux tâches liées à l'aspect mélodique (tonalité, contour et intervalle) et environ la moitié d'entre eux ont aussi des difficultés avec le rythme (Hyde et al., 2011; Nan et al., 2010; Peretz, 2001; Peretz et al., 2003). Le profil des enfants amusiques semble être moins distinctif avec l'âge. Tel qu'il peut être observé à la Figure 5, on retrouve le profil typique des adultes (traitement déficitaire des composantes mélodiques) chez les enfants âgés de six et sept ans. Par contre, la distinction entre les résultats liés au traitement mélodique et rythmique est moins prononcée chez les enfants de huit ans. Il est intéressant de constater que des corrélations significatives existent entre les trois tâches mélodiques (tonalité, contour et intervalle, voir Tableau V), mais qu'aucune corrélation soit significative avec les tâches liées au rythme et à la mémoire. Ces résultats viennent consolider la notion que la MBEMP évalue différentes habiletés musicales, et ce, de manière distincte tout en démontrant que l'amusie peut avoir des conséquences différentes sur les différents aspects du traitement musical.

4.6. Comparaison interculturelle : enfants canadiens et chinois

La distribution des résultats globaux des enfants chinois respecte la normalité ($D(29) = 0,685$; $D(30) = 0,721$; $D(32) = 0,671$, pour les enfants âgés de six, sept et huit ans respectivement, tous les $p > 0,05$. Aucun enfant n'a obtenu un résultat parfait. Comme ce fut le cas pour les enfants canadiens, le résultat global permet de mieux distinguer le

traitement musical typique de l'atypique. Il existe une interaction significative entre l'âge et les tests $F(2,88) = 21,101$, $p < 0,001$, révélant ainsi que la performance aux différents tests varie en fonction de l'âge (voir Tableau II). Les comparaisons à posteriori révèlent, pour leur part, que les enfants âgés de sept ans ont de meilleurs résultats aux tests d'intervalle, de rythme et de mémoire que ceux âgés de six ans, tous les $p < 0,05$. Les enfants âgés de six ans semblent avoir plus de facilité au test de contour, mais l'inverse est observé pour le test de mémoire, car les plus âgés le réussissent mieux. L'effet des tests est significatif pour chaque groupe d'âge, $F(4,112) = 6.81$, $F(4,116) = 10,25$ et $F(4,124) = 20.36$, pour les six, sept et huit respectivement, tous les $p < 0,001$.

Les enfants chinois ont obtenus des résultats plus élevés que les enfants canadiens (voir Tableau II). Cette supériorité varie légèrement en fonction des tâches et de l'âge, comme l'indique une triple interaction entre la culture (canadienne, chinoise), l'âge (6, 7, 8 ans) et les tâches (la tonalité, le contour, l'intervalle, le rythme, et la mémoire), $F(2,335) = 13.10$, $p = 0,001$. Cependant, tel qu'il a été mentionné précédemment, les enfants chinois ont reçu plus de cours musique, outre ceux du cursus scolaire, et ce, sur une plus longue période de temps ($M = 19,4$ mois pour les enfants chinois, $M = 4,6$ mois pour les enfants canadiens), $t(336) = 9,526$, $p = 0,001$. Ce fut le cas pour chaque groupe d'âge, $t(94) = 5,664$, $t(120) = 6,352$, et $t(112) = 5,818$, tous les $p = 0,001$ pour les enfants âgés de six, sept et huit ans respectivement. De plus, la durée de la formation musicale permet de prédire la performance des enfants chinois, avec des $r(89) > 0,21$, tous les $p < 0,05$, avec des tests unilatéraux.

Une ANCOVA a été effectuée en considérant les leçons de musique comme covariable, la culture et l'âge comme facteurs inter-sujets ainsi que les tâches comme facteur intra-sujet. Cette analyse a révélé que l'interaction entre les tâches et la culture reste significative pour les enfants de six et de sept ans, $F(4,372) = 5,50$, $p = 0,001$, $F(4,476) = 3,01$, $p = 0,018$ et marginalement significative pour les enfants de huit ans, $F(4,468) = 2.28$, $p = 0,06$. Plus précisément, à six ans, les enfants chinois ont significativement de meilleurs résultats aux tests liés à la tonalité et au contour ($p < 0,02$, correction de Bonferroni pour les comparaisons multiples). Cette différence n'est pas démontrée pour les tests de l'intervalle,

du rythme et de la mémoire. Ce patron de performance n'est pas le même pour les enfants de sept ans, car ils ont de meilleurs résultats au test lié à l'intervalle ($p = 0,065$). Finalement, le profil des 10 enfants chinois ayant une performance égale ou inférieure au 10e percentile (voir Tableau 4) est similaire à celui des enfants amusiques canadiens, puisque la moitié de ces enfants ont des difficultés prononcées aux tâches liées au traitement mélodique et un seul démontre des difficultés isolées liées au traitement du rythme.

5. Méthodologie – Étude 2

L'objectif de cette seconde étude est d'évaluer l'utilité d'une version abrégée de la MBEMP. Cette version abrégée permettrait de mieux s'adapter aux capacités attentionnelles limitées des jeunes enfants. La batterie d'évaluation a été simplifiée en combinant les trois tests mélodiques (tonalité, contour et intervalle) en un seul test, ce qui diminue considérablement le temps de passation.

5.1. Participants

Pour la validation, 86 jeunes montréalais âgés entre six et huit ans ont été évalués avec la version abrégée et 45 jeunes du même âge ont été évalués à l'aide des deux versions. Tous les enfants ont été recrutés et évalués selon les mêmes critères que dans l'expérience 1 (voir Tableau VI). Selon un court questionnaire rempli par les parents (voir Annexe 2) la majorité des enfants étaient droitiers (84%), francophones (93%), et environ 22% de ces jeunes avaient déjà suivi des cours de musique, en plus de ceux dispensés par l'école. Un groupe de 28 jeunes adultes (23 femmes, 5 hommes, âgés entre 18 et 20 ans) fréquentant un cégep de la région de Montréal a aussi été recruté afin d'établir des comparaisons avec les plus jeunes. Ces étudiants étaient droitiers (93%), francophones (100%) et 57% avaient déjà suivi des cours de musique à l'extérieur du cadre scolaire pour une durée variant entre huit et 60 mois.

5.2. Matériel

La version abrégée de la MBEMP consiste en trois tâches (mélodie, rythme et mémoire) qui contient 20 essais chacune. Les tests du rythme et de la mémoire sont identiques à ceux décrits dans l'expérience 1, alors que le test lié au traitement mélodique diffère légèrement. Pour la tâche de mémoire, les mélodies cibles sont présentées moins souvent, ce qui peut modifier la facilité de la tâche. Lorsque l'aspect mélodique est différent, il peut s'agir soit d'une modification de la mélodie standard en remplaçant une note par une qui ne respecte plus la gamme de la mélodie initiale, tout en préservant le contour (n=4), d'un changement de contour en modifiant la direction d'une note (n=3) ou d'un changement d'intervalle (n=3).

5.3. Déroulement de l'étude

Les consignes données aux participants sont les mêmes que celles de l'expérience 1. La passation de la version abrégée est d'une durée approximative de 20 minutes. En ce qui concerne le groupe de 45 enfants, la moitié d'entre eux ont fait la MBEMP dans un premier temps et par la suite la version abrégée après un délai variant entre 39 et 81 jours (ordre 1). L'autre moitié a effectué les mêmes batteries d'évaluation, mais dans l'ordre inverse (ordre 2). Le contre-balancement a été utilisé afin de diminuer les effets éventuels de la première passation associés au test-retest.

5.4. Traitement des données

Les analyses effectuées pour la version réduite sont les mêmes que celles de la version intégrale. Afin de vérifier l'équivalence de la MBEMP intégrale et la MBEMP abrégée en termes d'évaluation du traitement musical chez les enfants, les données ont été traitées en pourcentage. Le seuil de signification adopté dans toutes les analyses sera de 0.05.

6. Résultats et commentaires – Étude 2

Tout d'abord, aucun des 86 enfants n'a obtenu un score parfait, ce qui confirme la sensibilité de la version abrégée. Les résultats obtenus aux différentes tâches démontrent une distribution normale (pour le résultat global: $D(86) = 0,11$, $p < 0,01$; le score mélodique: $D(86) = 0,14$, $p < 0,001$; le score rythmique : $D(86) = 0,17$, $p < 0,001$; et pour le score mnésique : $D(86) = 0,12$, $p < 0,005$). À travers les groupes d'âge, les résultats sont très similaires (voir Tableau VII). Cette observation a été confirmée à l'aide d'une ANOVA considérant l'âge (six, sept et huit ans) comme un facteur inter-sujets et les tâches (mélodie, rythme et mémoire) comme un facteur intra-sujet. Cette analyse a démontré qu'il n'y avait pas d'effet de l'âge, $F < 1$ ni d'interaction entre l'âge et les tâches, $F < 1$, mais un effet significatif des différentes tâches, $F(2,166) = 16,78$, $p = 0,001$. Ainsi, les résultats obtenus à la tâche associée au traitement mélodique sont significativement plus faibles que ceux obtenus au test de mémoire ($p = 0,045$, avec correction de Bonferroni pour les comparaisons multiples), qui sont pour leur part significativement plus faibles que ceux obtenus à la tâche du rythme ($p = 0,005$). De plus, on constate des corrélations significatives entre les trois tâches, $r(84) > 0,27$, $p < 0,01$. Par ailleurs, même s'il n'y a pas d'effet de la scolarité sur les résultats ($F < 1$), la formation musicale a eu un effet considérable, en particulier sur le test de la mélodie. Effectivement, les enfants ayant suivi plus de cours de musique à l'extérieur de l'école ont obtenus de meilleurs résultats à la tâche associée au traitement mélodique $r(83) = 0,21$, $p = 0,028$.

En ce qui concerne les résultats obtenus par les jeunes adultes, ils sont généralement élevés (voir Tableau VII), mais aucun n'a obtenu un score parfait. Bien que leurs résultats soient significativement plus élevés que ceux des enfants âgés de huit ans, $F(1,55) = 24,8$, $p < 0,001$, il n'y a pas d'interaction entre le groupe d'âge et les tâches, $F < 1$. Le fait que les jeunes adultes aient reçu une formation musicale supérieure à ceux des enfants âgés de huit ans $t(55) = 3,65$, $p < 0,005$ peut expliquer, en partie, la différence observée entre ces deux groupes d'âge. Toutefois, une ANOVA ayant comme covariable la formation musicale a révélé que l'effet de l'âge demeurait significatif, $F(1,54) = 15,96$, $p < 0,001$.

Finalement, des neuf enfants ayant un résultat global égal ou inférieur au 10e rang centile, six ont un déficit lié au traitement mélodique, sept ont un déficit lié au traitement rythmique et sept un déficit au test de mémoire. En bref, le caractère prédominant du déficit associé au traitement mélodique, tel qu'observé avec la version intégrale de la MBEMP, n'est plus aussi distinct lorsqu'il s'agit de la version abrégée.

6.1. Validation avec la MBEMP

Dans l'ensemble, les résultats obtenus à la version intégrale de la MBEMP sont légèrement supérieurs (81% de réponses correctes) à ceux obtenus à la version abrégée (79%). La différence observée entre les deux versions a été plus prononcée à la première séance d'évaluation, car les résultats à la version intégrale sont de 83,8% de réponses correctes comparativement à 78,7% pour la version abrégée (voir Figure 6). Par contre, lors de la deuxième séance d'évaluation, les résultats ont été légèrement plus élevés pour la version abrégée. Ce patron de performance a été confirmé par une interaction entre l'ordre de passation et la version de la batterie, $F(1,43) = 63,8, p < 0,001$. Par ailleurs, il existe une corrélation significative entre les résultats des deux versions pour les tâches liées au traitement mélodique $r(43) = 0,49, p = 0,001$ et celles liées au rythme, $r(43) = 0,27, p = 0,04$. En revanche, aucune corrélation significative semble exister pour le test de mémoire entre les deux versions $r(43) = 0,10, ns$. Il importe de préciser que les résultats à la tâche de mémoire étaient plus élevés pour la version abrégée lors de la deuxième passation (17,7 versus 18,7/20), $t(21) = 3,76, p = 0,001$. Or, les deux tâches de mémoire sont identiques. Les résultats à cette tâche, qui varient selon l'ordre de passation, peuvent être liés à différentes formes de mémoire. Ainsi, lors de la première passation, cette tâche mesure bel et bien la mémoire incidente, mais lors de la deuxième passation, il s'agirait plutôt de la mémoire explicite. Effectivement, lors de la deuxième passation, les enfants sont plus familiers avec la tâche, ce qui enlève le caractère inattendu à celle-ci. Cet effet doit être pris en considération lorsqu'on prévoit évaluer un enfant avec les deux versions de la MBEMP.

7. Discussion

La principale conclusion de la présente étude est que l'adaptation de la MBEA est appropriée afin d'évaluer les habiletés musicales ainsi que les troubles associés à la perception de la musique chez les enfants occidentaux et asiatiques âgés entre six et huit ans. Les résultats globaux obtenus par les enfants canadiens aux deux versions de la MBEMP, intégrale et abrégée, ont été normalement distribués et sont respectivement de l'ordre de 82% de réponses correctes (85% pour les enfants chinois) et de 79%. Il importe de rappeler qu'aucun des enfants évalués n'a obtenu de résultat parfait, même ceux ayant reçu une formation musicale extra-cursus. Ainsi, ces résultats démontrent que les deux versions sont adaptées et efficaces afin d'identifier les différences individuelles en termes de perception musicale et de mémoire.

Lorsqu'on compare la batterie d'évaluation de la présente étude (MBEMP) à celle de Gordon (Musical Aptitude Profile, 1989), on note un net avantage à utiliser la MBEMP puisqu'elle offre un profil complet des différences individuelles en vertu de son évaluation distincte des différents aspects du traitement musical (mélodie, rythme et mémoire). Il est à noter qu'une amélioration des performances en fonction de l'âge est seulement observée avec la version intégrale de la batterie. Cette amélioration est particulièrement marquée entre les enfants âgés de six ans et ceux âgés de sept ans, ce qui correspond à la première et deuxième année du primaire. Il semble peu probable que l'amélioration des performances soit attribuable à la scolarité ou à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, car aucun changement abrupt n'a été observé en considérant l'âge à l'aide de mesures plus précises (âge en mois plutôt qu'en années). Aucune amélioration n'a été observée entre les résultats des enfants de maternelle et ceux terminant leur première année (après l'alphabétisation), à l'exception des performances associées à la tâche de mémoire. Par ailleurs, aucun effet de la scolarité n'a été constaté avec la version abrégée.

La version intégrale de la batterie d'évaluation diffère de la version abrégée, car elle demande de plus grandes ressources attentionnelles et motivationnelles. Cet aspect peut expliquer, en partie, l'amélioration des performances en fonction de l'âge pour la version intégrale. Une meilleure performance aux différentes tâches peut être associée aux

changements majeurs ainsi qu'au développement de la matière grise et blanche dans les lobes temporaux et frontaux durant cette période de développement (Casey, Tottenham, Liston, & Durston, 2005).

Au-delà de la maturation cérébrale, la formation musicale peut aussi avoir des effets importants et durables sur le traitement de la musique. Dans le contexte actuel, il n'est pas étonnant de constater que la formation musicale améliore les performances aux tests musicaux et qu'une plus grande formation est associée à de meilleurs résultats. Ces observations permettent d'établir la validité externe des deux versions de la batterie d'évaluation en tant qu'outil de mesure du potentiel musical. En outre, il existe de plus en plus d'évidences démontrant que la formation musicale a des conséquences positives sur le niveau intellectuel et la performance scolaire (par exemple, Moreno et al., 2009; Schellenberg, 2011). Même si les mécanismes qui sous-tendent ce transfert de compétences sont très peu connus (Schellenberg & Peretz, 2008), l'entraînement musical, qui survient tôt dans le développement, semble avoir un impact particulier sur les habiletés musicales et non musicales. Évidemment, d'autres études sur ce sujet sont nécessaires afin de mieux comprendre le phénomène de plasticité en lien avec l'entraînement musical, de même que sur l'effet spécifique de la musique.

Une attention particulière doit être apportée aux enfants souffrant d'amusie congénitale, puisqu'ils ont peut-être de la difficulté à bien percevoir les différentes intonations dans la langue parlée (déclaration versus question), comme 30% de leurs homologues adultes (Patel, Wong, Foxton, Lochy, & Peretz, 2008). Une solution possible, afin de pallier à ce trouble, serait de fournir une formation musicale aux enfants, et ce, le plus tôt possible. Sur la base des résultats actuels, l'intervention ne devrait pas être limitée au traitement de l'aspect mélodique, et ce, même si la majorité des enfants touchés présentent des difficultés à bien percevoir les changements de tonalité, de contour et d'intervalle. Les résultats des enfants aux trois tests mélodiques sont corrélés entre eux, mais ne permettent pas de prédire les résultats aux tests liés au rythme et à la mémoire, ce qui confirme que la mélodie, le rythme et la mémoire sont des composantes distinctes et qu'elles sont traitées de manière indépendante. Il importe de rappeler que ce ne sont pas

tous les enfants amusiques qui ont démontré des difficultés à traiter l'aspect mélodique, car certains ont davantage des difficultés avec le rythme ou la mémoire. Leur patron de performance diffère ainsi de celui des préadolescents (Mignault Goulet et al., 2012) et des adultes (p.ex. : Peretz et al., 2003), qui présente systématiquement des déficits lors du traitement mélodique. À l'aide d'études longitudinales, il serait possible de déterminer s'il existe différentes trajectoires de développement pour la mélodie, le rythme et la mémoire. Il serait conseillé d'utiliser la version intégrale de la batterie d'évaluation plutôt que la version abrégée, car elle comprend le test de tonalité, qui est le marqueur comportemental de l'amusie congénitale chez les adultes (p.ex. : Peretz, sous presse) et il est largement utilisé pour le dépistage au Royaume-Uni (ex. : McDonald & Stewart, 2008) et en France (ex. : Tillmann, Schulze & Foxtan, 2009).

Les enfants amusiques ayant comme langue maternelle une langue tonale pourraient grandement profiter d'une rééducation musicale. Les adultes amusiques ont souvent des difficultés à identifier (Nan et al., 2010) ou à discriminer les tons lexicaux (Liu et al., 2012). Il est intéressant de constater que les enfants qui sont locuteurs du Mandarin ont des résultats plus élevés que leurs homologues canadiens (français et anglo-saxons) aux tâches liées au traitement mélodique, même lorsque la formation musicale est comparable. Cette facilité associée au traitement mélodique a aussi été observée chez les adultes locuteurs du cantonais (Wong et al., 2012). Ainsi, il y a des évidences qui démontrent que l'exposition précoce aux langues tonales améliore le traitement de la hauteur. Par contre, ce qui reste à déterminer, c'est le moment au cours du développement où l'amusie affecte le traitement des tons lexicaux et l'étendue de ses conséquences. Ces constatations soulèvent aussi des questionnements sur l'interaction entre les gènes, la musique et le langage. À cet effet, Dediu et Ladd (2007) ont mis en évidence les connexions entre le type de langue (tonale ou non tonale) et le développement cérébral lié aux gènes, et ce, au sein de différentes populations. Les problèmes des enfants amusiques qui sont locuteurs du mandarin peuvent impliquer les mêmes gènes que ceux liés au traitement des tons lexicaux. Il est donc important de déterminer si des variations génétiques similaires contribuent aux variations de l'acquisition de langues tonales et au développement du potentiel musical.

Par-dessus tout, le principal avantage d'un outil diagnostique valide et sensible de l'amusie chez l'enfant est sa capacité à guider l'intervention et à évaluer l'efficacité d'une telle intervention durant les premières années de vie, période durant laquelle il y a une plus grande plasticité cérébrale. Tel que mentionné précédemment, la rééducation chez les amusiques est plus susceptible de réussir chez les jeunes plutôt que chez les personnes plus âgées. Finalement, la batterie peut être utilisée afin de distinguer les vrais amusiques de ceux qui s'auto-déclarent amusiques ou qui ont des difficultés avec les tons lexicaux mais qui possèdent des habiletés musicales intactes (Cuddy, Balkwill, Peretz & Holden, 2005; Sloboda, Wise & Peretz, 2005).

Bibliographie

- Ayotte, J., Peretz, I. & Hyde, K. (2002). Congenital amusia, a group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, *125*, 238-251.
- Bergeson, T. & Trehub, S.E. (2006). Infants' Perception of Rhythmic Patterns. *Music Perception*, *4*, 345-360.
- Casey, B., Tottenham, N., Liston, C. & Durston, S. (2005). Imaging the developing brain: what have we learned about cognitive development? *Trends in Cognitive Sciences*, *9*, 104-110.
- Chang, H.W. & Trehub, S.E (1977a). Auditory processing of relational information by young infants. *Journal of Experimental Child Psychology*, *24*, 324-331.
- Chang, H.W. & Trehub, S.E. (1977b). Infants' perception of temporal grouping in auditory patterns. *Child Development*, *48*, 1666-1670.
- Cohen, A. J., Thorpe, L. A., & Trehub, S. E. (1987). Infants' perception of musical relations in short transposed tone sequences. *Canadian Journal of Psychology*, *41*, 33-47.
- Corrigall, K. A., & Trainor, L. J. (2010). Music acquisition and effects of musical experience. *Music Perception*, *36*, 89-127.
- Cuddy, L. L., Balkwill, L. L., Peretz, I. & Holden, R. R. (2005). Musical difficulties are rare : a study of "tone deafness" among university students. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 311-324.

- Dediu, D. & Ladd, D. R. (2007). Linguistic tone is related to the population frequency of the adaptive haplogroups of two brain size genes, ASPM and Microcephalin. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 104*, 10944.
- Demany, L., McKenzie, B. & Vurpillot, E. (1977). Rhythm perception in early infancy. *Nature, 226*, 718-719.
- Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., & Xu, H. S. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: Prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *The Journal of the Acoustical Society of America, 119*, 719.
- Dowling, W.J. (1999). The development of music perception and cognition. Dans D.Deutsch (ed.) *The Psychology of Music*. San Diego, CA: Academic Press, 603-625.
- Drake, C. (1998). Psychological processes involved in the temporal organization of complex auditory sequences: universal and acquired processes. *Music perception, 16*, 11-26.
- Drayna, D., Manichaikul, A., de Lange, M., Snieder, H. & Spector, T. (2001). Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science, 291*, 1969-1972.
- Feil, E.G., Small, J.W., Forness, S.R., Serna, L.A., Kaiser, A.P., Hancock, T.B., ...Lopez, M.L. (2005). Using different measures, informants, and clinical cut-off points to estimate prevalence of emotional or behavioral disorders in preschoolers : effets on age, gender ans ethnicity. *Behavioral Disorders, 30*, 375-391.

- Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., & Schlaug, G. (2008). Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PLoS ONE*, 3, e3566.
- Foxton, JM., Desn, JL., Gee, R., Peretz, I., & Griffiths, TD. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying 'tone deafness'. *Brain: A Journal of Neurology*, 127, 801-810.
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Ross, B., Kakigi, R., & Pantev, C. (2004). Musical training enhances automatic encoding of melodic contour and interval structure, *J. Cognitive Neuroscience*, 16, 1010-1021.
- Gordon, E. E. (1989). *Manual for the advanced measures of music audiation*. Chicago : GIA Publications.
- Hannon, E.E & Trehub, S.E (2005). Metrical Categories in Infancy and Adulthood. *Psychological Science*, 16, 48-55.
- Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, 11, 466-472.
- Hutchins, S., Gosselin, N. & Peretz, I. (2010). Identification of changes along a continuum of speech intonation is impaired in congenital amusia. *Frontiers in Auditory Cognitive Neuroscience*, 1, 1-8.
- Huttenlocher, P. R. (2002). *Neural plasticity: The effects of environment on the development of the cerebral cortex*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hyde, K.L. & Peretz, I. (2004) Brains that are out of tune but in time. *Psychological Science*, 15, 56-360.

- Hyde, K.L., Zatorre, R.J., Griffiths, T.D., Lerch, J.P. & Peretz, I. (2006) Morphometry of the amusic brain: a two-site study. *Brain*, *129*, 2562–70.
- Hyde, K.L., Lerch, J.P., Zatorre, R.J., Griffiths, T.D., Evans, A.C. & Peretz, I. (2007). Cortical thickness in congenital amusia: when less is better than more. *The Journal of Neuroscience*, *27*, 13028–32.
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C. & Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *The Journal of Neuroscience*, *29*, 3019-3025.
- 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.
- Jiang, C., Hamm, J. P., Lim, V. K., Kirk, I. J., & Yang, Y. (2010). Processing melodic contour and speech intonation in congenital amusics with Mandarin Chinese. *Neuropsychologia*, *48*, 2630-2639.
- Kalmus, H. & Fry, D.B. (1980). On tune deafness (dysmelodia): frequency, development, genetics and musical background. *Ann Hum Genet*, *43*, 369-382.
- Kraus, N. & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*, 599-605.
- Lebrun, M-A., Moreau, P., McNally-Gagnon, A., Mignault-Goulet, G. & Peretz, I. (2012). Congenital amusia in childhood: A case study. *Cortex*, *48*, 683-688.

- Liu, F., Jiang, C., Thompson, W. F., Xu, Y., Yang, Y. & Stewart, L. (2012). The Mechanism of Speech Processing in Congenital Amusia: Evidence from Mandarin Speakers. *PLoS ONE*, 7, e30374.
- Loui, P., Alsop, D. & Schlaug, G. (2009). Tone deafness: a new disconnection syndrome? *The Journal of Neuroscience*, 29, 10215–20.
- Mandell, J., Schulze, K. & Schlaug, G. (2007). Congenital amusia: an auditory-motor feedback disorder? *Restor Neurol Neurosci*, 25, 323–34.
- McDonald, C. & Stewart, L. (2008). Uses and functions of music in congenital amusia. *Music Perception*, 25, 345-355.
- Mignault Goulet, G., Moreau, P., Robitaille, N. & Peretz, I. (2012). Congenital amusia persists in the developing brain after daily music listening. *PloS One*, 7, e36860.
- Moreau, P., Jolicoeur, P. & Peretz, I. (2009). Automatic Brain Responses to Pitch Changes in Congenital Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 191-194.
- Moreno, S., Marques, C., Santos, A., Santos, M., Castro, S. L., & Besson, M. (2009). Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: More evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, 19, 712-723.
- Munakata, Y. (2001). Graded representations in behavioural dissociations. *Trends in Cognitive Sciences*, 5, 309-315.
- Nan, Y., Sun, Y. & Peretz, I. (2010). Congenital amusia in speakers of a tone language: association with lexical tone agnosia. *Brain*, 133, 2635-2642.

- Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C. J., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A., & Carlson, S. (2010). Cognitive control in auditory working memory is enhanced in musicians. *PLoS ONE*, *5*, e11120.
- Patel, A.D, Foxton, J.M. & Griffiths, T.D. (2005). Musically tone-deaf individuals have difficulty discriminating intonation contours extracted from speech. *Brain Cogn*, *59*, 310–13.
- Patel, A. D., Wong, M., Foxton, J., Lochy, A. & Peretz, I. (2008). Speech intonation perception deficits in musical tone deficits (congenital amusia). *Music Perception*, *25*, 357-368.
- Peretz, I. (2001). Brain specialization for music. New evidence from congenital amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *930*, 153–165.
- Peretz, I. (2008). Musical disorders: from behavior to genes. *Current Directions in Psychological Science*, *17*, 329-333.
- Peretz, I. (2012). The biological foundations of music: Insights from congenital amusia. In D. Deutsch (Ed.), *The Psychology of Music*, third Edition, in press.
- 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. & Hyde, K.L. (2003). What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends Cogn Sci*, *7*, 362–7.

- Peretz, I., Champod, A.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. & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 6, 688-691.
- Peretz, I., Brattico, E. & Tervaniemi, M. (2005). Abnormal Electrical Brain Responses to Pitch in Congenital Amusia. *Annals of Neurology*, 58, 478-482.
- 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., Nguyen, S., & Cummings, S. (2011). Tone language fluency impairs pitch discrimination. *Frontiers in Psychology*, 2, 1-5.
- Pinker, S. (1994) *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*. New York: William Morrow.
- Pfordresher, P. Q. & Brown, S. (2009). Enhanced production and perception of musical pitch in tone language speakers. *Attention, Perception & Psychophysics*, 71, 1385-1398.
- Phillips-Silver, J. & Trainor, J. (2005). Feeling the beat : movement influences infant rhythm perception. *Science*, 308, 1430.
- Saffran, J.R., Loman, M. M. & Robertson, R. R. W. (2000). Infant memory for musical experiences. *Cognition*, 77, 15-23.
- Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15, 511-514.

- Schellenberg, E. G. (2011) Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology*, *102*, 283-302.
- Schellenberg, E. G. & Peretz, I. (2008). Music, language, and cognition : unresolved issues. *Trends in Cognitive Sciences*, *12*, 45-46.
- Sloboda, J. A., Wise, K. J. & Peretz, I. (2005). Quantifying tone deafness in the general population. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1060*, 255-261.
- Stalinski, S.M. & Schellenberg, E.G. (2012). Music cognition: A developmental perspective. *Topics in Cognitive Science*, doi: 10.1111/j.1756-8765.2012.01217.x.
- Stewart, L., von Kriegstein, K., Warren, J.D. & Griffiths, T.D. (2006). Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain*, *129*, 2533-2553.
- Strait, D.L., Hornickel, J. & Kraus, N. (2011). Subcortical processing of speech regularities underlies reading and music aptitude in children. *Behavioral and Brain Functions*, *7*, 44.
- Tillmann, B., Schulze, K. & Foxton, J. M. (2009). Congenital amusia: A short-term memory deficit for non-verbal, but not verbal sounds. *Brain and Cognition*, *71*, 259-264.
- Trehub, S. E, Thorpe, L.A. & Morronegello, B. A. (1987). Organizational processes in infants' perception of auditory patterns. *Child Development*, *58*, 741-749.
- Trehub, S.E., & Hannon, E.E. (2006). Infant music perception: domain-general or domain-specific mechanisms? *Cognition*, *100*, 73-99.

- Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1994). Key membership and implied harmony in Western tonal music: developmental perspectives. *Perception and Psychophysics*, *56*, 125-132.
- Trainor, L.J., Wu, L., & Tsang, C.D. (2004). Long-term memory for music: infants remember tempo and timbre. *Developmental Science*, *7*, 289-296.
- Wong, P., Ciocca, V., Chan, A., Ha, L., Tan, L-H. & Peretz, I. (2012) Effects of Culture on Musical Pitch Perception . *Plos One* , *7*, e33424.

Annexe 1 : Tableaux et figures

Tableau I. *Caractéristiques des enfants de l'étude 1.*

ÂGE	6	7	8	Total
Enfants canadiens				
Taille de l'échantillon (Genre)	70 (40M)	97 (42M)	91 (34M)	258
Scolarité				
Maternelle	18	-	-	18
1 ^{ère} année	52	41	1	94
2 ^{ème} année	-	56	68	124
3 ^{ème} année	-	-	21	21
Éducation musicale				
Aucun cours	54	76	55	185
Cours	15	19	36	70
À partir de 4 ans	5	2	-	7
5 ans	6	2	22	30
6 ans	4	11	14	29
7 ans	-	4	-	4
Enfants chinois				
Taille de l'échantillon (Genre)	29 (15M)	30 (14M)	32 (17M)	91
Scolarité				
Maternelle	-	-	-	-
1 ^{ère} année	29	7	-	36
2 ^{ème} année	-	23	13	36
3 ^{ème} année	-	-	19	19
Éducation musicale				
Aucun cours	8	9	8	25
Cours	21	21	24	66
À partir de 2 ans	2	-	-	2
3 ans	1	2	4	7
4 ans	9	3	7	19
5 ans	5	6	2	13
6 ans	4	8	7	19
7 ans	-	2	4	6

Tableau II. *Moyenne (Écart-type) et seuil limite pour chaque tâche de la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de l'âge chez les enfants canadiens et chinois.*

Enfants canadiens	n	Tonalité (/20)	Contour (/20)	Intervalle (/20)	Rythme (/20)	Mémoire (/20)	Résultat global (/100)	Seuil (10e percentile)
6 ans	70	14,5 (2,8)	15,3 (3,3)	15,3 (2,8)	16,2 (2,7)	15,6 (3,6)	76,9 (12,2)	56
7 ans	97	15,9 (2,4)	16,8 (2,5)	16,5 (2,7)	17,1 (2,6)	17,4 (2,4)	83,5 (9,6)	70
8 ans	91	16,2 (2,3)	17,2 (2,2)	17,2 (2,1)	17,6 (2,3)	17,7 (2,5)	86,0 (9,0)	73

Enfants chinois	n	Tonalité (/20)	Contour (/20)	Intervalle (/20)	Rythme (/20)	Mémoire (/20)	Résultat global (/100)	Seuil (10e percentile)
6 ans	29	16,3 (2,2)	17,9 (1,3)	16,2 (2,3)	14,7 (2,8)	16,0 (4,1)	81,1 (8,4)	68
7 ans	30	15,6 (2,1)	17,3 (1,9)	17,7 (2,1)	17,2 (2,1)	17,8 (1,9)	85,6 (7,2)	75
8 ans	32	16,4 (1,7)	17,9 (1,9)	18,2 (1,7)	18,4 (1,4)	19,0 (0,9)	89,9 (5,6)	82

Tableau III. Moyenne (Écart-type) pour chaque test de la version complète de la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de la scolarité chez les enfants canadiens.

	n	Tonalité (/20)	Contour (/20)	Intervalle (/20)	Rythme (/20)	Mémoire (/20)	Résultat global (/100)
<i>Maternelle (fin)</i>	18	14,9 (2,4)	14,6 (3,6)	14,9 (2,9)	15,4 (2,8)	14,1 (3,6)	74 (12,0)
<i>1^{ère} année</i>							
<i>Début</i>	11	14,5 (2,9)	15,6 (2,5)	15,8 (2,3)	18 (2,1)	16,8 (2,6)	80,7 (8,9)
<i>Fin</i>	83	15 (2,8)	15,8 (3,0)	15,8 (2,9)	16,2 (2,7)	16,5 (3,2)	79,3 (11,6)
<i>2^{ème} année</i>							
<i>Début</i>	25	15 (3,0)	17,2 (2,5)	15,9 (2,6)	16,9 (3,3)	17,1 (2,6)	82 (11,0)
<i>Fin</i>	99	16,3 (2,0)	17,1 (2,2)	17,2 (2,2)	17,7 (2,3)	17,6 (2,5)	85,9 (8,6)
<i>3^{ème} année</i>							
<i>Début</i>	6	16,8 (2,2)	18,8 (1,6)	18,5 (2,1)	18,8 (1,0)	18,7 (1,0)	91,7 (6,7)
<i>Fin</i>	15	16,3 (2,3)	17,7 (2,0)	17,1 (1,9)	18,1 (1,5)	18,5 (1,4)	87,7 (6,4)

Tableau IV. *Caractéristiques des enfants amusiques.*

ÂGE	6	7	8	Total
Enfants canadiens				
Taille de l'échantillon (Genre)	7 (3M)	10 (5M)	11 (5M)	28
Scolarité				
Maternelle	2	-	-	2
1 ^{ère} année	5	5	-	10
2 ^{ème} année	-	5	10	15
3 ^{ème} année	-	-	1	1
Éducation musicale				
Aucun cours	6	9	9	24
Cours	1	1	2	4
À partir de 6 ans	1	-	2	3
7 ans	-	1	-	1
Enfants chinois				
Taille de l'échantillon (Genre)	3 (3M)	4 (4M)	3 (3M)	10
Scolarité				
1 ^{ère} année	3	3	-	6
2 ^{ème} année	-	1	2	3
3 ^{ème} année	-	-	1	1
Éducation musicale				
Aucun cours	1	3	1	5
Cours	2	1	2	5
À partir de 4 ans	1	-	-	1
5 ans	1	-	-	1
6 ans	-	1	2	3
7 ans	-	-	-	0

Tableau V. *Corrélations de Pearson entre les résultats obtenus par les 28 (amusiques) enfants ayant un résultat global à la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical inférieur ou égal au 10e rang centile.*

	Tonalité	Contour	Intervalle	Rythme	Mémoire
Tonalité		.53*	.43*	.15	-.03
Contour			.36	-.05	.07
Intervalle				.32	-.06
Rythme					-.03
Mémoire					

NOTE: df = 26 ; * p<.05 (test bilateral)

Tableau VI. *Caractéristiques des enfants de l'étude 2.*

ÂGE	6	7	8	Total
Version abrégée seulement				
Taille de l'échantillon (Genre)	27 (11M)	31 (11M)	28 (14M)	86
Scolarité				
Maternelle	6	-	-	6
1 ^{ère} année	21	13	1	35
2 ^{ème} année	-	18	10	28
3 ^{ème} année	-	-	17	17
Éducation musicale				
Aucun cours	24	24	18	66
Cours	3	7	9	19
À partir de 4 ans	1	-	-	1
5 ans	1	3	-	4
6 ans	1	2	4	7
7 ans	-	2	4	6
8 ans	-	-	1	1
Version abrégée et complète				
Taille de l'échantillon (Genre)	16 (11M)	14 (5M)	15 (3M)	45
Scolarité				
Maternelle	2	-	-	2
1 ^{ère} année	14	4	-	18
2 ^{ème} année	-	10	8	18
3 ^{ème} année	-	-	7	7
Éducation musicale				
Aucun cours	10	10	10	30
Cours	6	4	5	15
À partir de 4 ans	1	-	-	1
5 ans	4	3	-	7
6 ans	1	1	-	2
7 ans	-	-	4	4
8 ans	-	-	1	1

Tableau VII. *Moyenne (Écart-type) pour chaque test de la version abrégée de la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de l'âge.*

	n	Mélodie /20	Rythme /20	Mémoire /20	Résultat global (%)
6 ans	27	14.4 (1.8)	16.5 (2.3)	15.4 (2.1)	77.3 (8.4)
7 ans	30	15.2 (3.1)	16.6 (3.0)	15.9 (2.5)	79.4 (10.8)
8 ans	29	15.2 (2.1)	16.9 (2.1)	16.0 (2.0)	80.2 (6.8)
Adultes	28	17.1 (2.0)	18.1 (1.5)	18.0 (1.4)	88.8 (6.3)

Figure 1 : (A) exemple d'une mélodie initiale, (B) version modifiée de la mélodie pour la tâche de tonalité, (C) exemple de modifications pour la tâche de contour différent, (D) mélodie modifiée pour la tâche de contour identique / intervalle différent (E) exemple de mélodie utilisée pour la tâche de contour rythmique modifié (ici une inversion). Les notes modifiées sont marquées d'une étoile. L'exemple peut être entendu à www.brams.umontreal.ca/short/mbea-child.

A. $\text{♩} = 150$

B. $\text{♩} = 150$

C. $\text{♩} = 150$

D. $\text{♩} = 150$

E. $\text{♩} = 150$

Figure 2 : Répartition des résultats globaux obtenus à la batterie de Montréal d'évaluation du potentiel musical en fonction de l'âge ($N = 258$)

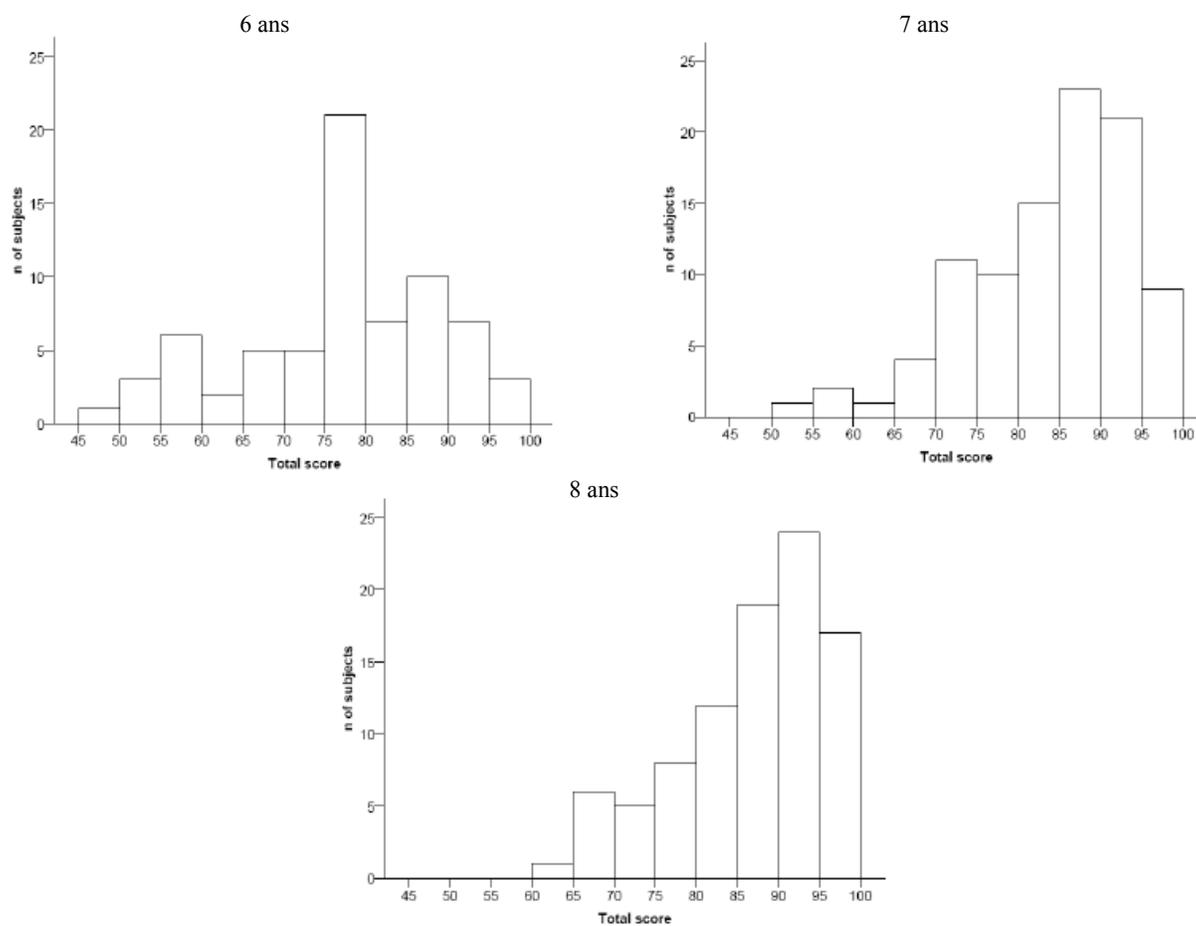


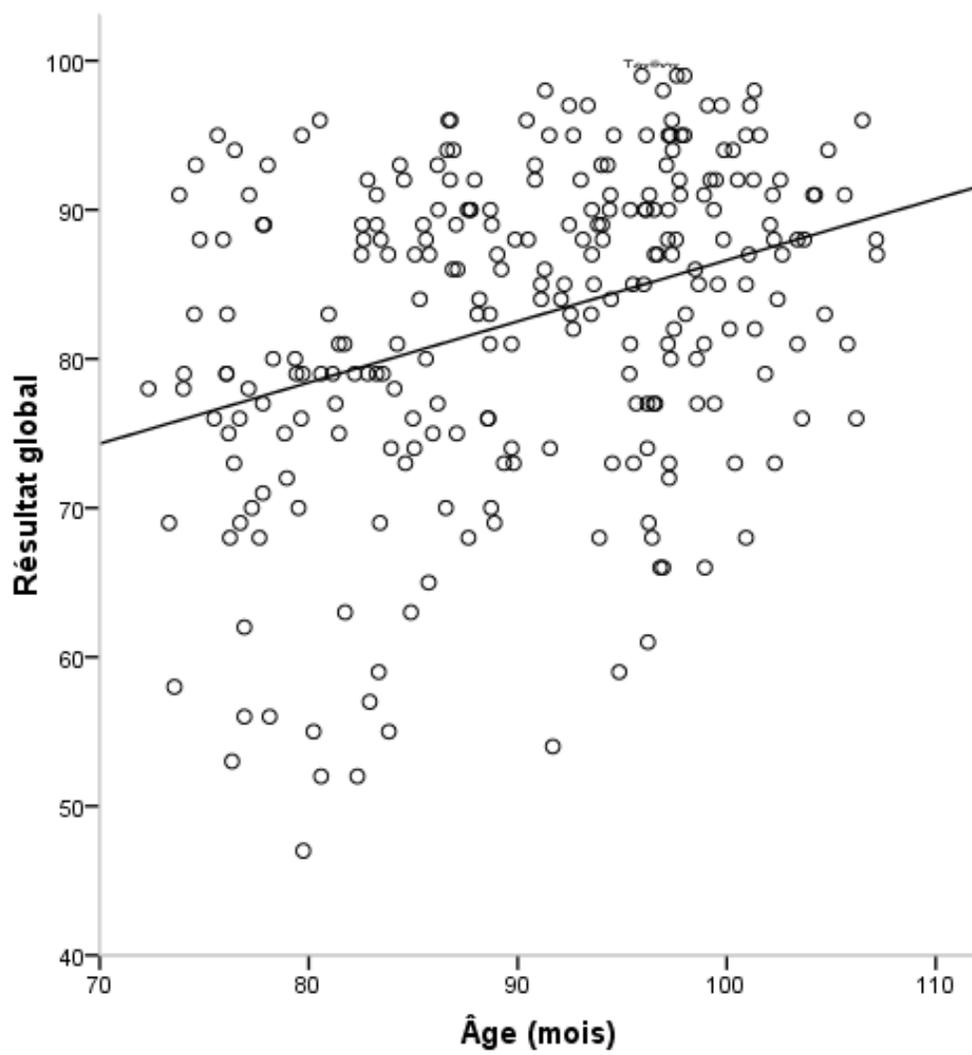
Figure 3 : Résultats globaux répartis selon l'âge en mois ($N = 258$).

Figure 4 : Résultats individuels aux tâches liées à l'aspect mélodique et rythmique en fonction de l'âge pour les 28 enfants ayant un résultat inférieur au 10^e rang centile (c.-à-d. critère de l'amusie). Les résultats moyens des 230 enfants non-amusiques sont représentés par un triangle. Les barres d'erreur représentent les écart-types.

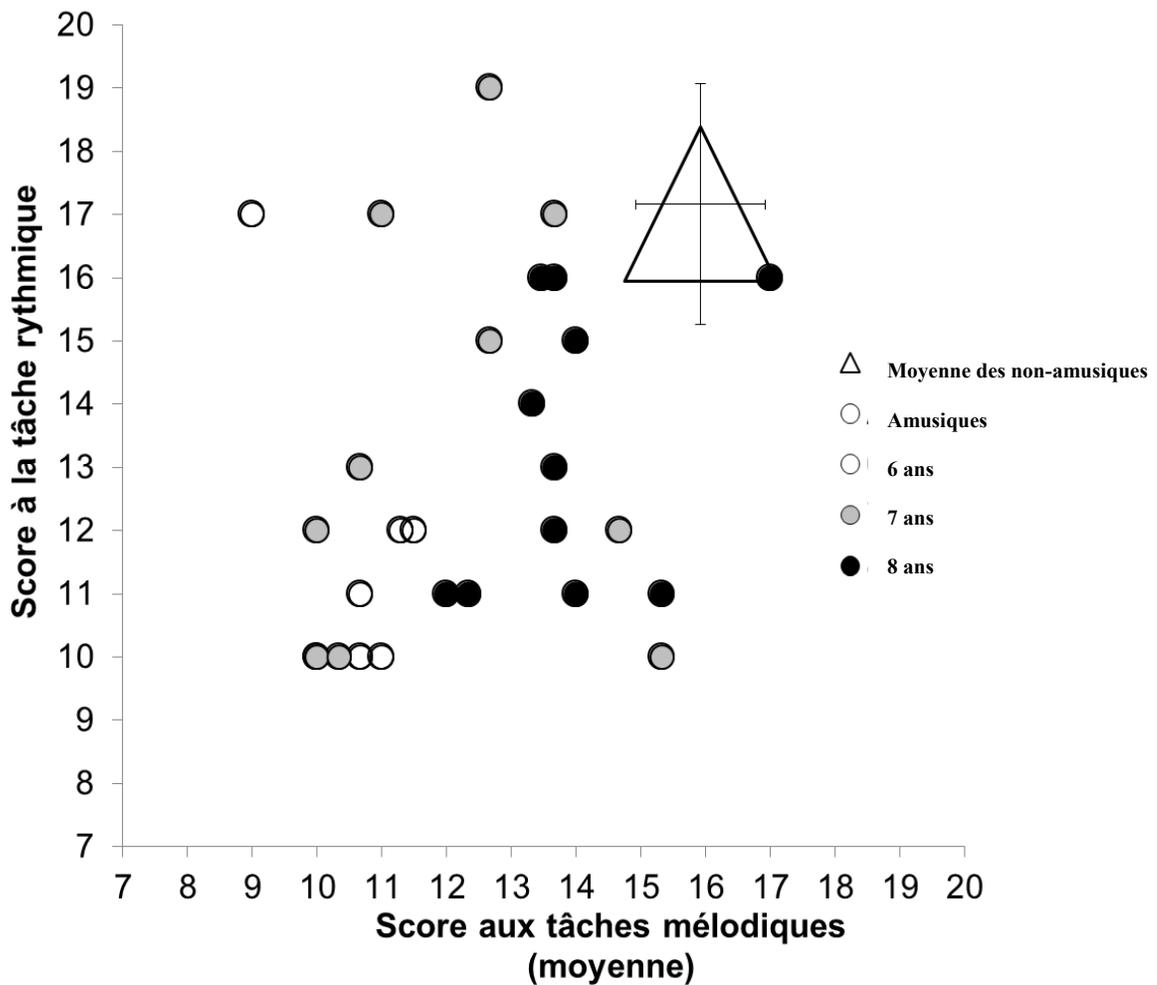
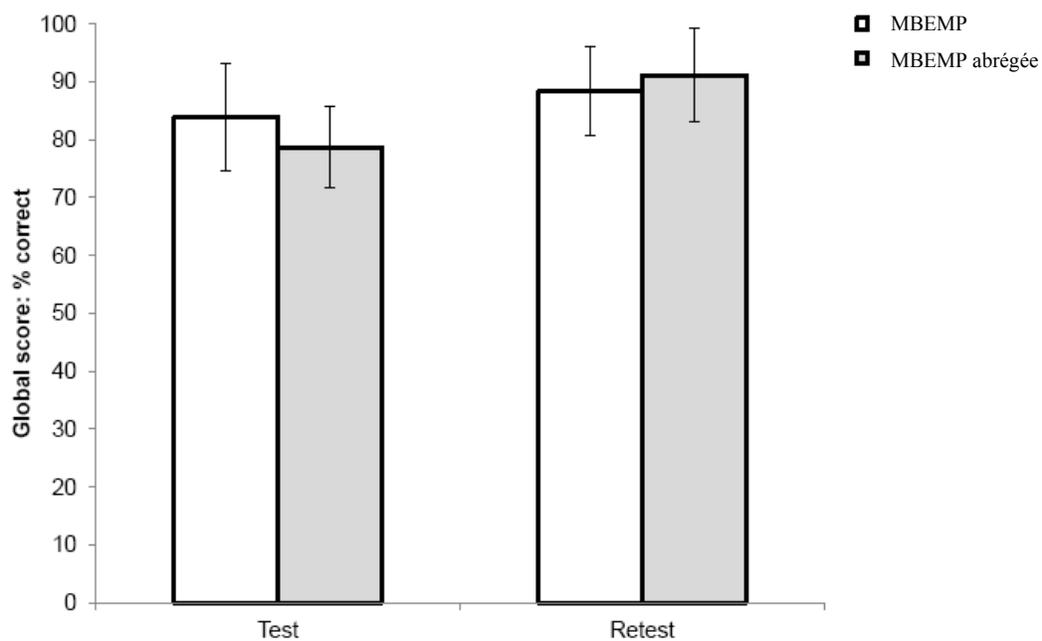


Figure 5 : Moyennes des résultats globaux exprimées en pourcentage de bonnes réponses en fonction de la version de la batterie ainsi que du moment de la passation. Les barres d'erreur représentent les écart-types.



Annexe 2 : Questionnaire



Questionnaire

Les renseignements fournis dans ce questionnaire demeureront confidentiels et ne seront utilisés que pour s'assurer que les résultats de l'enfant ne sont pas affectés par des facteurs autres que des difficultés d'apprentissage spécifiques à la musique.

NOM ET PRÉNOM: _____

DATE DE NAISSANCE: _____

DEGRÉ SCOLAIRE: _____

LANGUE MATERNELLE : _____

LATÉRALITÉ : DROITIER : GAUCHER :

VOTRE ENFANT A-T-IL DÉJÀ SUIVI DES COURS DE MUSIQUE EN PLUS DE CEUX DISPENSÉS À L'ÉCOLE ? :

OUI NON

SI OUI, PENDANT COMBIEN D'ANNÉES: _____

Est-ce que votre enfant a été exposé à la musique d'ici (occidentale) dès sa naissance ?

OUI NON

VOTRE ENFANT A-T-IL DES PROBLÈMES :

D'ATTENTION NON

D'ÉLOCUTION

AUTRES

SPÉCIFIEZ : _____

VOTRE ENFANT A-T-IL SUBI :

UN TRAUMATISME CRÂNIEN

UNE ANESTHÉSIE GÉNÉRALE (DANS LA DERNIÈRE ANNÉE)

L'ENFANT PREND-T-IL DES MÉDICAMENTS ? :

OUI NON

SI OUI, LESQUELS : _____

L'ENFANT A-T-IL DÉJÀ CONSULTÉ EN AUDIOLOGIE ? :

OUI NON

SI OUI, POURQUOI : _____

QUAND : _____

QUEL ÉTAIT LE DIAGNOSTIC : _____

NOM ET NUMÉRO DE TÉLÉPHONE DU PARENT OU TUTEUR (AFIN DE VOUS INFORMER SI L'UN DES TESTS RÉVÈLE QUOI QUE CE SOIT D'ANORMAL): _____

EST-CE QUE VOUS SERIEZ INTÉRESSÉS, VOUS OU VOTRE ENFANT, À PARTICIPER À D'AUTRES ÉTUDES?

OUI NON