

Université de Montréal

**Développement du chant et profil d'amusie congénitale
chez l'enfant**

par

Marie-Andrée Lebrun

Psychologie, Université de Montréal

Faculté des Arts et des Sciences

Thèse présentée à la Faculté des Arts et des Sciences
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor
en neuropsychologie clinique
option recherche et intervention

Juillet 2014

© Marie-Andrée Lebrun, 2014

Résumé

La musique est universelle et le chant est le moyen d'expression musicale le plus accessible à tous. Les enfants chantent spontanément entre un an et un an et demi (Ostwald, 1973). Pourtant, le développement de cette habileté est très peu étudié en neuropsychologie et ce, malgré le fait qu'elle représente une immense source d'informations sur le traitement de la musique par le cerveau. Les études proposées ici visaient à mieux comprendre le développement normal et pathologique des fonctions perceptives et vocales.

Dans un premier temps, une étude sur le chant normal chez les enfants de 6 à 11 ans est présentée. Le développement du chant de 79 enfants d'âge scolaire y est analysé de manière systématique et objective. Cette étude se penche plus particulièrement sur l'influence de l'âge ainsi que d'autres facteurs (le genre, la perception musicale, la présence de paroles et la présence d'un accompagnement vocal) sur la qualité du chant. Les jeunes participants ont chanté une chanson familière dans différentes conditions, soit avec et sans paroles, après un modèle ainsi qu'à l'unisson avec ce dernier. Suite à l'analyse acoustique des performances, différentes variables mélodiques et rythmiques telles que le nombre d'erreurs d'intervalles, le nombre d'erreurs de contours, la taille des déviations d'intervalles, le nombre d'erreurs rythmiques, la taille des déviations temporelles et le tempo, ont été calculés. Les résultats montrent que certaines habiletés de base liées au chant se développent toujours après 6 ans. Toutefois, le rythme est maîtrisé plus tôt, et les enfants d'âges scolaires réussissent parfois mieux que les adultes sur le plan rythmique. De plus, il est plus difficile pour les enfants de chanter avec des

paroles que sur une syllabe et chanter à l'unisson représente un défi plus grand que chanter après un modèle. Par ailleurs, le nombre d'erreurs de contours, d'intervalles et de rythme, de même que la taille des erreurs rythmiques, sont liés à nos mesures de perception musicale.

La seconde étude présente le premier cas documenté d'amusie congénitale chez l'enfant. Elle implique l'analyse de la perception musicale et du chant d'une fillette de 10 ans nous ayant été référée par son directeur de chorale. De sévères déficits ont été relevés chez elle et un diagnostic d'amusie congénitale fut posé. En effet, ses résultats aux tests visant à évaluer sa perception musicale indiquent d'importantes difficultés tant sur le plan de la discrimination des différences mélodiques et rythmiques, qu'au niveau de la mémoire des mélodies. La fillette présente des lacunes claires quant à la perception des fines différences de hauteurs. L'analyse des réponses cérébrales en potentiels évoqués suggère que l'enfant souffre de déficits situés tôt au cours des processus de traitement auditif, tel que démontré par l'absence de négativité de discordance (MMN). Le chant de la jeune fille est lui aussi déficitaire, particulièrement en ce qui concerne le nombre d'erreurs d'intervalles et leurs tailles.

En conclusion, nos études montrent que les aptitudes pour le chant sont toujours en développement au cours des premières années de scolarisation. Ce développement peut être entravé par la présence d'un déficit lié spécifiquement à la perception musicale. Pour la première fois, l'amusie congénitale, sera décrite chez l'enfant.

Mots-clés : chant, perception musicale, développement, amusie congénitale, enfants.

Abstract

Music is universal and singing is its most accessible means of expression. Children start singing spontaneously between one and one and a half year of age (Ostwald, 1973). Nevertheless, the development of this ability has barely been studied in neuropsychology, even if it represents a tremendous source of information about the way the brain analyses music. The goal of the following studies was to better understand the normal and pathological development of the perception and production of singing.

The first study presented concerns the normal development of singing abilities in 6 to 11 year old children. Singing was analysed in a systematic and objective fashion in 79 school-age children. The study is first and foremost interested in the effect of age on the quality of singing productions. The effect of gender, music perception abilities, lyrics and presence of models are also examined. The young participants had to sing a familiar song in different conditions, that is, with and without lyrics, as well as following a model's production and in unison. Acoustical analyses were run on the children's productions and different melodic and rhythmic variables were compiled: number of interval errors, number of contour errors, size of interval deviations, number of rhythmic errors, size of rhythmic deviations and tempo. The results show that some of the basic singing abilities are still developing after 6 years of age. However, rhythm seems to be mastered earlier and school-age children sometimes perform better than adults on rhythmic variables. Furthermore, it is more difficult for children to sing with lyrics, versus a single syllable, and in unison, versus after a model's production. Moreover, the number of contour, interval and rhythmic errors, as well as the size of rhythmic deviations, correlate with musical perception abilities.

The second study describes the first documented case of congenital amusia in children. The subject is a ten year old girl, who was brought forth by her choir director. Her musical perception and singing abilities were evaluated and severe deficits were uncovered. Congenital amusia was therefore diagnosed. Indeed, her results on musical perception tasks were significantly lower than expected for her age, both in terms of melodic and rhythmic difference identification and of melody recall. Deficits were obvious in fine-grain pitch difference perception. ERP analyses suggest that brain responses are altered at a very early stage of auditory processing, as is supported by the absence of a mismatch negativity. Deficits are also found in the young girls's singing productions, particularly concerning the number and size of interval errors.

In conclusion, our studies show that singing abilities are still developing during the first school years. This development can be impeded by deficits specific to musical perception. For the first time, congenital amusia is described among children.

Keywords : singing, musical perception, development, congenital amusia, children.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	iii
Tables des matières	iv
Liste des tableaux	vii
Liste des figures	ix
Liste des annexe	x
Liste des sigles et abréviations	xi
Remerciements	xiii
1. Introduction	1
1.1 Introduction générale.....	2
1.2. Perception musicale.....	4
1.2.1. Développement normal.....	4
1.3. Le chant normal.....	7
1.3.1. Une activité pour la majorité.....	7
1.3.2. Le développement et la maturation.....	10
1.3.3. Facteurs influençant la qualité du chant au cours du développement.....	12
1.3.3.1. Le genre.....	13
1.3.3.2. La perception musicale.....	14
1.3.3.3. L'accompagnement.....	16
1.3.3.3.1. Effet de la présence d'un accompagnement.....	16
1.3.3.3.2. Impact du timbre et la hauteur de la voix du modèle.....	18
1.3.3.4. Les paroles.....	19
1.4. L'analyse acoustique par ordinateur.....	23
1.5. Amusie congénitale.....	24
1.5.1. Outils diagnostiques et prévalence.....	24
1.5.2. Fonctionnement cérébral et différences anatomiques.....	26
1.5.3. Étiologie: des composantes génétiques.....	28
1.5.4. Percées dans la population infantile.....	29

1.5.5. Le chant des amusiques.....	30
2. Objectifs et hypothèses	32
2.1. Première étude.....	33
2.2. Seconde étude.....	35
3. Méthodologie et résultats.....	37
3.1. Article I.....	38
3.2. Article II.....	84
4. Discussion.....	112
4.1. Discussion générale.....	113
4.2. Le chant de l'enfant de la population générale.....	114
4.2.1. L'influence de la tâche.....	114
4.2.2. Les caractéristiques personnelles.....	118
4.2.3. Limites.....	122
4.2.3.1. Méthode de recrutement.....	122
4.2.3.2. Méthode d'analyse.....	124
4.2.5. Directions futures.....	125
4.3. Amusie congénitale.....	127
4.3.1. Profil de l'enfant amusique.....	127
4.3.2. Limites.....	130
4.3.3. Directions futures.....	131
5. Conclusion.....	135
5.1. Épilogue.....	136
6. Références.....	138
7. Annexes.....	158

Liste des tableaux

Méthodologie et résultats

Article I

Tableau 1. Description des participants.

Tableau 2. Résultats des analyses acoustiques des performances des modèles pour enfants.

Tableau 3. Influence de chaque prédicteur (Beta) sur les différences variables.

Tableau 4. Moyenne (ÉT) des résultats des enfants pour différentes variables, lors du chant après un modèle et à l'unisson (conditions avec et sans paroles moyennées); Corrélations entre l'âge et les résultats aux mesures de production; Comparaison des coefficients de corrélation après un modèle et à l'unisson.

Tableau 5. Résultats des analyses acoustiques des performances des modèles pour adultes.

Tableau 6. Comparaison des performances des adultes et des enfants lors du chant sans paroles (sur lala), par imitation (après un modèle). Moyennes marginales (ÉT).

Tableau 7. Comparaison des performances des adultes et des enfants lors du chant avec paroles, par imitation (après un modèle). Moyennes marginales (ÉT).

Tableau 8. Comparaison des performances des adultes et des enfants lors du chant avec paroles, à l'unisson. Moyennes marginales (ÉT).

Tableau 9. Comparaison des performances des adultes et des enfants lors du chant sans paroles (sur lala), à l'unisson. Moyennes marginales (ÉT).

Article II

Tableau 1. Description de différentes caractéristiques des enfants (AS en gras; les participantes contrôles appariées CP, GBT, MA; un groupe de 20 enfants du même âge) et présentation de leurs résultats à la version réduite de la MBEMA (Batterie de Montréal d'Évaluation des Habiletés Musicales).

Tableau 2. Seuils audiométriques d'AS pour chaque oreille, en fonction des différentes fréquences présentées.

Tableau 3. Pourcentages de réussites (hits) et de fausses alarmes (FA) lors de la détection de variations de 25 et 200 cents pour AS (en gras) et les trois participantes contrôles appariées (CP, GBT, MA).

Tableau 4. Résultats aux analyses acoustiques du chant d'AS (en gras) et de ses trois participantes contrôles appariées (CP, GBT, MA).

Liste des figures

Méthodologie et résultats

Article I

Figure 1. Notation musicale et paroles de la célèbre chanson d’anniversaire basée sur le refrain de la chanson “*Gens du Pays*” de Vigneault & Rochon (1976).

Article II

Figure 1. Exemple de stimuli utilisés dans la Batterie de Montréal d’Évaluation des Habiletés Musicales (MBEMA). Le stimulus original est présenté en A. En B, le stimulus original est modifié et contient une note qui ne respecte pas la tonalité de la gamme dans laquelle la mélodie a été créée. En C, le contour de la mélodie originale est altéré. En D, la taille de l’un des intervalles est modifiée. Finalement, en E, un élément rythmique est changé. Les astérisques indiquent où se situent les modifications. Les symboles présentés à droite de la figure indiquent les choix de réponses proposés aux participants (pareil ou différent) et se retrouvent sur les feuilles-réponses fournies aux enfants.

Figure 2. Courbes MMN soustraites (déviants moins standards) enregistrées à Fz pour AS et les 5 participantes contrôles appariées.

Annexes

Annexe 1. Exemple de segmentation avec le logiciel Praat.

Annexe 2. Exemple de stimuli contenus dans la BMEA (Batterie de Montréal d'Évaluation de l'Amusie; Peretz et al. 2003).

Annexe 3. Questionnaire rempli par les parents pour l'étude sur le développement du chant normal (Article I de ce manuscrit).

Liste des sigles et abréviations

ANOVA	<i>Analysis of variance / Analyse de la variance</i>
BMEA / MBEA	Batterie de Montréal d'Évaluation de l'Amusie / <i>Montreal Battery of Evaluation of Amusia</i>
dB	Décibels / <i>Decibels</i>
EEG	Électroencéphalographie / <i>Electroencephalography</i>
ERP	<i>Event-related potential / Potentiels évoqués</i>
ÉT / SD	Écarts-Types / <i>Standard deviations</i>
Hz	Hertz
IOI	<i>Inter-onset interval /</i> intervalle entre le début de chaque temps de note noire
IRM	Imagerie par résonance magnétique
MBEMA	<i>Montreal Battery of Evaluation of Musical Abilities /</i> Batterie de Montréal d'Évaluation des Hâbiletés Musicales
MMN	Négativité de discordance / <i>Mismatch negativity</i>
msec	Millisecondes / <i>Milliseconds</i>
SPL	Niveau de pression acoustique / <i>Sound pressure level</i>
μV	Microvolt

À ma famille.

Remerciements

Lorsqu'Isabelle Peretz m'a ouvert les portes de son laboratoire, je ne mesurais pas encore tout à fait à quel point notre collaboration allait changer ma vie. Au fil de mon long parcours en tant que candidate au Ph.D. /RI, j'ai appris à connaître une femme de tête et une pionnière dans son domaine. Je mesure aujourd'hui la chance que j'ai eu de pouvoir bénéficier de discussions inspirantes auprès d'elle et d'avoir profité de ses conseils avisés. Grâce à elle, j'ai énormément appris et j'ai beaucoup grandi, tant sur le plan personnel que professionnel. Malgré les épreuves particulièrement éprouvantes que j'ai rencontrées et en dépit de mon parcours académique atypique, Dre Peretz est restée à mes côtés jusqu'à la fin. Je lui en suis grandement reconnaissante.

Par ailleurs, mon chemin parfois sinueux fut embelli de rencontres enrichissantes et motivantes, dont certaines ont eu un impact majeur dans ma vie. Je tiens donc à remercier tout le personnel du BRAMS et, plus particulièrement, monsieur Bernard Bouchard qui a su m'aider et persévérer dans la résolution de divers problèmes techniques. Messieurs Nathanaël Lécaudé et Olivier Piché pour leur soutien concernant les divers aléas informatiques rencontrés. En outre, je m'en voudrais de ne pas souligner la contribution du Dr. Simone Dalla Bella, qui m'a aidée avec les analyses acoustiques. Merci à madame Thérèse Lauzé qui trouve toujours des réponses à nos questions. Merci à Dr. Denis Cousineau, qui a senti très tôt le potentiel en moi et qui m'a soutenue lors de mes demandes de bourses et de subventions. J'ai également évidemment une pensée spéciale pour mes collègues. Merci à Patricia pour sa franchise et son enthousiasme. Merci à Philippe pour ses nombreux conseils et son support moral. Merci à Andréane, Mariève, Geneviève et Sébastien d'avoir contribué à rendre cette

expérience encore plus agréable. Finalement, un merci tout particulier à Dr. Stephan Kennepohl, que j'ai connu d'avantage au cours de mon cheminement clinique, mais dont les encouragements et les conseils se sont sans aucun doute répercutés dans ma démarche en recherche. Il a sans contredit fait partie des gens qui ont fait une réelle différence dans ma vie au cours des dernières années.

Finalement, comment oublier à quel point ma famille et mes amies ont contribué à l'atteinte de mes objectifs. Merci à mes parents, Denis et Francine, qui n'ont jamais douté et qui m'ont soutenue toutes ces années. Sans eux, je n'y serais pas arrivé. Merci à Gab et à Ariane qui ont su me motiver dans les moments de remise en question. Merci à Roch, l'homme qui a tout de suite cru en moi et qui a choisi de partager sa vie avec une doctorante durant plusieurs années. Merci à ma fille Clara, qui m'a montré ce qu'est le vrai courage. Mon amour, tu m'as donné la force de terminer. Finalement, merci au petit dernier qui m'a grandement motivée à terminer cette thèse avant son arrivée.

1. Introduction

1.1. Introduction générale

La musique est omniprésente. Même sans la rechercher, elle fait partie de nos vies : au marché, dans la voiture, dans l'ascenseur, au cinéma, etc. Il semblerait que l'être humain soit programmé pour être en mesure de l'apprécier, et ce spontanément, sans formation musicale explicite. Plusieurs chercheurs croient que la musique aurait des fonctions bien précises. Pour certains, elle aurait une utilité quant à la reproduction de l'espèce. Le fait que la musique puisse servir à courtiser le sexe opposé serait une explication plausible à la réplication probable des gènes liés à la capacité de perception et de production de la musique (Balter, 2004). Certains chercheurs émettent aussi l'hypothèse que la musique prédispose l'humain positivement envers les autres, lui permettant ainsi coopération et survie. Le chant, par exemple, est une activité de groupe plaisante qui encouragerait la cohésion entre les individus (Mithen, 2005; Wallin, Merker & Brown, 2000). En outre, on a montré que le chant maternel pouvait aussi avoir une utilité bien précise. En effet, il s'agirait d'un moyen de communication privilégié entre la mère et son petit lui permettant de le calmer et le rassurer (Sloboda & O'Neil, 2001; Zillman, 1988).

Ces théories différentes ont un point commun : la musique semble être importante pour l'espèce humaine. Cette présomption est soutenue par le fait que la musique peut activer dans le cerveau les mêmes zones que celles qui sont activées pour des activités aussi importantes pour l'être humain que de manger et de se reproduire. Dans une étude utilisant la technique de tomographie par émission de positons (Blood & Zatorre, 2001), on a montré que l'écoute d'une musique donnant des frissons faisait varier le flot sanguin dans le striatum ventral, le

mésencéphale, l'amygdale, le cortex orbitofrontal et le cortex préfrontal ventromédian, des régions du cerveau associées aux récompenses, à la motivation, aux émotions et à l'activation générale. Les zones ainsi identifiées sont connues pour répondre aussi à d'autres stimuli suscitant l'euphorie tels que la nourriture et l'activité sexuelle, tel que démontré dans différentes études effectuées sur des animaux (Bardo, 1998; Berridge & Tobinson, 1998; Pfaus, Damsma, Wenkstern, & Fibiger, 1995; Gardner & Vorel, 1998; Schilstrom, Svensson, Svensson, & Nomikos, 1998) et chez l'humain (Small, Zatorre, Dagher, Evans & Jones-Gotman, 2001). Ces chercheurs font donc un lien entre musique et survie de l'espèce, étant donné que les parties du cerveau recrutées lors de l'écoute étaient aussi celles impliquées pour le plaisir et les récompenses.

Le fait que les enfants développent très jeunes des aptitudes spécifiques au traitement perceptif de la musique, sans lien apparent avec le développement du langage et en l'absence de formation explicite, suggère que l'enfant est prédisposé à traiter la musique. Or, il est possible que l'enfant soit aussi prédisposé à produire de la musique par le biais du chant. Le chant est le moyen d'expression musicale le plus répandu et le plus accessible à tous. Il représente une immense source d'informations sur la façon dont la musique est traitée par le cerveau à tous les âges de la vie. Les études sur le développement du chant normal et anormal sont plutôt rares en neuropsychologie et ce, malgré le fait que les enfants répondraient probablement mieux que les adultes à une intervention précoce, puisque les cerveaux jeunes sont plus plastiques et plus malléables.

C'est dans ce contexte que furent menées les deux études présentées plus loin. Dans un premier temps, le but était d'étudier objectivement la façon dont le chant se développe normalement chez les enfants d'âge scolaire. Dans un second temps, la visée était de documenter le chant anormal et la perception musicale altérée d'un enfant atteint d'amusie congénitale. Les objectifs et hypothèses liés à ces deux études seront posés dans la deuxième section de ce manuscrit et les résultats issus de la réalisation de ces objectifs seront présentés dans la troisième section de cet ouvrage. Les répercussions des avancées encourues par ces travaux seront discutées plus en profondeur dans la quatrième section. La première section, qui fait office d'introduction, présente une revue de littérature qui porte sur le développement normal de la perception musicale, de même que sur la maturation du chant et sur les facteurs susceptibles d'en influencer la qualité. De plus, les caractéristiques associées à l'amusie congénitale, un trouble affectant spécifiquement la perception musicale, seront décrites.

1.2. Perception musicale

1.2.1. Développement normal

La musique et le langage sont souvent comparés dans le domaine de la recherche en neuropsychologie de la musique. Tous deux sont des moyens de communication universels comportant des éléments spécifiques à la culture, qui véhiculent des émotions, qui sont organisés sur le plan temporel et qui impliquent des variations de fréquences, soit les contours musicaux dans le cas de la musique et la prosodie dans le cas du langage. Certains suggèrent même que les deux fonctions pourraient partager quelques fondements développementaux

communs (McMullen & Saffran, 2004). Il est également possible que, comme dans le cas du langage, nous soyons prédisposés à traiter la musique.

Le développement d'un système neuronal complexe propre au traitement de la musique semble débiter très tôt dans la vie, soit dès la naissance, ou même avant, au cours du développement intra-utérin. Selon certaines études (Bertoncini, Morais, Bijeljac-Babic, McAdams, Peretz & Mehler, 1989; Best, Hoffman & Glanville, 1982), avant même qu'ils ne comprennent le langage, les enfants montrent des préférences hémisphériques du côté gauche pour la parole et du côté droit pour la musique. Une étude utilisant la technique d'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (Perani et al., 2010) a aussi montré qu'à à peine quelques heures de vie (24 à 36 heures), les nouveau-nés présentent déjà une spécialisation hémisphérique pour le traitement de la musique et que l'architecture neuronale qui sous-tend le traitement de la musique chez les nourrissons est sensible aux altérations des clés ainsi qu'à la différence entre consonance et dissonance. En outre, dès huit mois, on constate une supériorité de l'hémisphère gauche pour l'analyse des intervalles et de l'hémisphère droit pour l'analyse des contours musicaux (Balaban, Anderson & Wisniewski, 1998), tout comme chez les adultes (Peretz, 1990). Au sein de la population adulte, certaines parties plus spécifiques du cerveau ont été identifiées comme étant nécessaires à une analyse adéquate des différentes composantes de la musique, ce qui suggère que, suite au développement, le cerveau semble organisé de façon à ce que tous puissent apprécier la musique. Par exemple, il a été constaté (Ayotte, Peretz & Hyde, 2002; Hyde & Peretz, 2005; Peretz, 2001; Stewart, Von Kriegstein, Warren, Griffiths, 2006) que certains patients cérébrolésés n'arrivent plus à différencier la musique tonale de la musique atonale ou à

déterminer si une note cadre ou non dans un contexte mélodique, alors que la capacité de percevoir correctement les distances entre les tons était conservée (Peretz, 1993). La situation inverse avait aussi déjà été notée (Tramo, Bharucha, & Musiek, 1990). Par ailleurs, certaines études (Maess, Koelsch, Gunter & Friederici, 2001; Tillmann, Janata & Bharucha, 2003) ont établi un lien entre le gyrus inférieur frontal et la détection consciente d'incongruités tonales dans des mélodies. Ces spécificités cérébrales établissant leurs bases très tôt dans le développement appuient l'hypothèse selon laquelle l'être humain serait destiné à devenir un être musical.

Il a été montré que les capacités musicales des très jeunes enfants sont étonnamment développées et leur permettent une bonne perception de la musique, tant en regard du traitement des hauteurs que du rythme. D'ailleurs, une étude en électrophysiologie menée par He et Trainor (2009), a montré que la perception des hauteurs de notes émerge alors que le bébé est âgé entre 3 et 4 mois. Sur le plan comportemental, il a été montré que même un peu plus tôt, à partir de deux mois environ, les bébés arrivent à discriminer les intervalles musicaux consonants des intervalles dissonants (Schellenberg & Trehub, 1996). Les enfants entre 9 et 11 mois peuvent reconnaître les changements de hauteur d'une note dans une séquence (Trehub Cohen, Thorpe & Morrongiello, 1986). Les bébés détectent aussi les changements subtils d'intervalles si ceux-ci sont au sein de mélodies tonales (Cohen, Thorpe & Trehub, 1987), de même que les variations de contours (patterns musicaux ascendants ou descendants) (Chang & Trehub., 1977). La compréhension implicite des règles liées à la tonalité au sein de la musique tonale apparaît plus tardivement, soit vers l'âge de 4 ou 5 ans (Corrigall & Trainor, 2010; Trainor & Trehub, 1994). Sur le plan du rythme, les bébés de 2

mois peuvent déjà discriminer des patterns rythmiques et ce, même si les stimuli comportent aussi des changements de pitch ou de tempo (Demany, McKenzie & Vurpillot, 1977; Trehub & Thorpe, 1989). Drake (1998) a en outre montré que dès 4 mois, les bébés préfèrent déjà les musiques présentant un rythme régulier et sont en mesure de déceler de légères perturbations rythmiques. De plus, la mémoire musicale des tout petits est excellente et ceux-ci peuvent se souvenir de mélodies pour plusieurs jours, voire des semaines (Trainor, Wu & Tsang, 2004; Volkova, Trehub, Schellenberg, 2006).

Dans une revue proposée par Hannon & Trainor (2007), il est suggéré que, très tôt dans son développement, l'enfant possède des aptitudes de base universelles et communes à toutes les cultures permettant aux enfants de développer un sens musical lié à leur culture impliquant la compréhension implicite des tonalités, des hauteurs tonales et de la métrique et ce, à travers l'exposition passive à la musique. Ainsi, les enfants de toutes les cultures semblent naître avec des prédispositions pour le traitement de la musique (Trehub, 2001). Ce sont ces prédispositions qui permettront certainement la formation de systèmes cérébraux efficaces permettant d'apprécier et de produire la musique.

1.3. Le chant normal

1.3.1. Une activité pour la majorité

Au sein de la population générale, plusieurs se plaignent d'être de mauvais chanteurs. En effet, 60% des répondants à un questionnaire de pré-sélection pour une étude de Pfordresher & Brown (2007) affirmaient chanter faux. De plus, Wise & Sloboda (2008) ont

étudié des personnes qui se définissaient eux-mêmes comme étant « *tone deaf* » ou dépourvus de sens musical. Lorsqu'on demandait à ces gens sur quels arguments ils se basaient pour se définir ainsi, ils répondaient majoritairement qu'ils chantaient mal. La perception musicale des participants à cette étude a été évaluée à l'aide de la BMEA de Peretz et al. (2003). Leur production chantée a été recueillie grâce à la passation d'une batterie d'exercices vocaux et les performances furent évaluées par deux juges musiciens. Les résultats ont montré que ceux qui se déclaraient « *tone deaf* » chantaient effectivement moins bien et percevaient moins bien la musique, de façon générale, que les participants ne se proclamant pas « *tone deaf* ». Cependant, leur déficit n'était pas aussi marqué qu'il ne l'est généralement pour les sujets amusiques congénitaux. Selon les auteurs, les participants qui se déclaraient « *tone deaf* » ne sont pas devant des difficultés insurmontables et s'amélioreraient si on leur fournissait un plan d'intervention approprié.

Alors que l'étude de Wise & Sloboda (2008) s'est penchée sur le chant d'un échantillon composé de personnes s'identifiant comme dépourvus de sens musical et ayant un chant présumé anormal, une étude de Dalla Bella, Giguère & Peretz (2007) portait sur les compétences chantées au sein de la population adulte en général. Cette étude sur le chant normal dans la population en général montre que de la perception de participants s'identifiant comme de piètres chanteurs dans les études précédemment mentionnées est probablement souvent erronée. En effet, le chant est une activité accessible à la majorité, et la plupart de gens chantent relativement bien. Les chercheurs ont demandé aux participants de chanter une chanson d'anniversaire familière sur l'air de la chanson « Gens du Pays » de Vigneault & Rochon (1976). Les performances chantées furent évaluées par des pairs, analysées

acoustiquement en termes de hauteurs et de rythme, et comparées aux performances de chanteurs professionnels. Il est à noter que cette étude avait l'avantage de se pencher sur le traitement du rythme. En effet, malgré le fait qu'un traitement rythmique approprié est nécessaire à produire une performance chantée adéquate, les études sur le chant se penchent plus souvent sur la justesse des notes chantées que sur l'acuité rythmique.

En s'attardant aux résultats obtenus par Dalla Bella et al. (2007), il est possible de constater que les chanteurs occasionnels ont tendance à chanter plus rapidement et à faire plus d'erreurs de justesse que les chanteurs professionnels. Lorsqu'on a demandé à une quinzaine de chanteurs occasionnels de chanter à un tempo plus lent, leurs performances sont devenues équivalentes à celles des chanteurs professionnels. Les auteurs suggèrent donc que le chant est une aptitude universelle chez l'humain. Cependant, même avec un tempo plus lent, deux chanteurs occasionnels sur 15 ont fait une grande quantité d'erreurs de justesse et ce, malgré une perception musicale normale.

Cette proportion (2/15) rejoint les estimations de Pfordresher & Brown (2007), qui suggèrent que la prévalence de piètres chanteurs se situe autour de 10 à 15% chez l'adulte. En effet, après avoir demandé à des étudiants ayant une perception musicale intacte d'écouter, puis d'imiter vocalement un air de quatre notes, les auteurs ont constaté qu'un nombre non négligeable d'entre eux chantaient faux, avec un écart moyen d'au moins un demi ton entre les notes produites et les notes attendues. Toutefois, lors d'une étude de Hutchins et al. (2012) dans laquelle il était demandé aux participants adultes d'imiter des notes isolées créées pour que leur timbre ressemble à la voix humaine, on estime à 40% le pourcentage de piètres

chanteurs. Les auteurs expliquent la différence entre leurs résultats et ceux de l'étude de Pfordresher et Brown (2007) en émettant l'hypothèse que leur tâche était potentiellement plus difficile, entre autres parce que le type de stimuli utilisés étaient peut-être plus complexes et que leur timbre était sans doute plus difficile à imiter. Ainsi, bien que la majorité des gens soient en mesure de chanter correctement, la proportion de chanteurs peu doués semble relativement élevée dans certaines circonstances.

1.3.2. Le développement et la maturation

Il a été montré, entre autres, que les enfants chantent spontanément dès l'âge d'un an et que vers 18 mois, ils sont en mesure de générer eux-mêmes des chansons reconnaissables que l'on peut reproduire (Ostwald, 1973). Vers trois ans, les enfants seraient en mesure d'imiter correctement le chant d'un adulte qui fait varier différentes caractéristiques (lent, doux, rapide, énergique) des airs présentés, ce qui implique que les tout-petits arrivent non seulement à discriminer ces caractéristiques, mais aussi à les reproduire (Sims, 1990; Sims, 1991).

La qualité des performances chantées des enfants semble liée à la maturation générale des enfants. Quelques modèles théoriques ont été émis, basés sur l'idée que le développement du chant évolue suivant différentes étapes (Rutkowski, 1996; Welch, 1986/2002). Proposé en 1986 et révisé en 2002, le modèle de Welch, qui est probablement le plus connu, s'appuie sur une revue de littérature et propose que le développement du chant chez les enfants d'âge préscolaire évolue dans un ordre précis. Selon cette théorie, la priorité est d'abord accordée aux paroles de la chanson. Ainsi, les enfants plus jeunes rapportent les paroles correctement, mais les notes sont imprécises et beaucoup d'erreurs de justesse sont commises. Par la suite,

l'attention est portée vers le rythme (Welch, 1994), puis vers les éléments mélodiques plus globaux, tels que le contour (montée ou descente des intervalles), qui serait maîtrisé vers deux ans selon Dowling (1999), et les règles associées à la tonalité. Ainsi, à ce stade, l'enfant arriverait à produire le squelette musical global de la chanson, manquant toutefois de précision. Avec le temps (le moment exact n'est pas précisé dans le modèle), la forme de la mélodie est de plus en plus ressemblante et de plus en plus juste, même si certaines erreurs de tonalité peuvent persister. Finalement, en dernier lieu, la maîtrise des intervalles est atteinte et le nombre d'erreurs de justesse est limité. Welch, l'auteur de ce modèle, suggère que les enfants éprouvant des difficultés à chanter stagnent à l'une ou l'autre de ces étapes alors que leurs compères poursuivent leur évolution. Selon lui, tous les enfants peuvent faire des progrès s'ils ont accès à une formation appropriée, et ainsi évoluer d'une étape plus primaire, vers une étape plus mature.

Plusieurs études suggèrent que le chant continue de gagner en justesse à mesure que les enfants avancent en âge au cours des premières années d'école (Fyk, 1985; Goetze, 1985/1986; Goetze and Horii, 1989; Green, 1994; Mang, 2006; Welch, 1986) et ce, même si l'entrée au primaire implique probablement une diminution de la pratique de cette activité pour la majorité des enfants. En effet, dans nos cultures occidentales, l'entrée à l'école entraîne un plus grand investissement d'énergie et de temps dans les matières académiques, ainsi qu'une diminution graduelle des activités de chant (comptines, berceuses) en groupe. Pourtant, la littérature suggère que les aptitudes pour le chant semblent évoluer au fil du temps et, bien que certaines bases soient probablement acquises avant l'âge scolaire, certaines habiletés poursuivent possiblement leur évolution après 6 ans.

Malheureusement, peu d'études se sont penchées de manière objective et systématique sur les trajectoires développementales normales liées au chant. Bien que les chercheurs issus du domaine de l'éducation musicale se soient beaucoup intéressés au chant chez l'enfant, le moment de la maîtrise des contours, des intervalles et du rythme dans le chant sont toujours flous. Ainsi, il apparaît approprié de documenter de manière rigoureuse et objective l'évolution du chant normal afin de mieux comprendre le neurodéveloppement qui y est associé, de mieux identifier et qualifier le chant déficitaire chez l'enfant et ainsi, de mieux cibler les interventions appropriées.

1.3.3. Facteurs influençant la qualité du chant au cours du développement

La maturation semble donc être un enjeu majeur lorsqu'il est question d'identifier les déterminants pouvant contribuer à prédire la qualité du chant. Différents autres facteurs ont été identifiés comme pouvant affecter la qualité des performances de l'enfant. Toutefois, les études recensées ne permettent pas d'établir l'évolution de leur influence à travers le développement. Pourtant, le cerveau est en constante évolution, particulièrement au cours de l'enfance. Il serait donc normal que le chant des enfants soit influencé pas ces facteurs spécifiques de manière différente au fil du temps. La première étude présentée dans la seconde section de ce manuscrit se penchera sur cette question.

D'abord, les caractéristiques personnelles de l'enfant telles que son genre et ses aptitudes concernant la perception musicale peuvent influencer la qualité de son chant. Par

ailleurs, les caractéristiques inhérentes à la tâche, telles que la présence de texte et le modèle à imiter ont, elles aussi, une importance déterminante.

1.3.3.1. Le genre

Il semble, dans nos cultures occidentales, que le chant soit une activité perçue comme s'adressant davantage aux filles. C'est d'ailleurs, selon une étude de Warzecha (2013), la perception de la majorité des jeunes de sexe masculin. Voilà qui explique peut-être pourquoi les directeurs de chorale rencontrent tant de difficultés à recruter et à garder les participants masculins (Demorest, 2000; Harrison, 2007; Mizener, 1993). De son côté, Mizener (1993) a montré que les garçons sont moins enclins à déclarer qu'ils aiment chanter.

Par ailleurs, l'effet du genre sur la qualité des performances vocales des enfants a plusieurs fois été investigué au cours des recherches qui se sont penchées sur le chant des enfants. La plupart des études tendent à montrer que les filles produisent mieux les chansons que les garçons. Green (1987) n'a toutefois pas relevé cette supériorité souvent attribuée à la gent féminine lors de tâches de reproduction de simples hauteurs tonales. Les études plus récentes suggèrent qu'il y a bien une différence entre la qualité des performances des deux sexes, les filles surpassant les garçons lorsqu'il est question de produire des chansons, mais non lorsqu'il est question de simple reproduction de hauteurs (Leighton & Lamont, 2006; Welch, 1997). La question demeure toutefois à savoir si cet effet de genre sur la qualité de production de chansons est stable à travers le développement ou si le genre prédit les performances de manière différente selon l'âge des participants.

1.3.3.2. La perception musicale

Il est assez intuitif de penser que pour chanter adéquatement, il est nécessaire de posséder de bonnes capacités de perception auditive et musicale. Dans cet ordre d'idées, certains auteurs ayant étudié le chant chez l'adulte suggèrent que, pour chanter juste, il est nécessaire d'entendre un feedback auditif fiable de notre voix (Pfordresher & Varco, 2010). Berkowska & Dalla Bella (2009a) ont proposé un modèle explicatif des processus impliqués dans le chant faisant référence à l'existence d'une boucle sensorimotrice (*sensorymotor loop model*). D'ailleurs, Tsang et al. (2011) ont écrit une revue de littérature sur le développement du chant, revisitée à travers la théorie de la boucle sensorimotrice de Berkowska et Dalla Bella (2009a). Ce modèle implique que le contrôle vocal exige une perception correcte de notre propre voix, afin d'ajuster notre production. De plus, Tsang et al. (2011) proposent entre autres que l'existence de l'impact de l'entraînement sur le chant des enfants est compatible avec le modèle de Berkowska et Dalla Bella (2009a), puisque la pratique permettrait d'établir et de renforcer les liens entre la perception (du feedback de notre propre voix et de la perception d'un accompagnement, par exemple), le contrôle moteur et la production. Par ailleurs, ce modèle explicatif des processus inhérents au chant implique des fonctions telles que la mémoire et le contrôle moteur. Sachant que celles-ci poursuivent leur développement durant l'enfance, Tsang et al. (2011) suggèrent que les améliorations du chant liées à l'âge pourraient entre autres être dues à la maturation de ces fonctions. En suivant la même logique, la maturation des habiletés liées à la perception devrait aussi influencer la qualité du chant.

Malheureusement, de manière plutôt surprenante, peu d'études se sont penchées sur le lien entre la perception musicale et la production du chant au sein de la population infantile.

Les recherches portant sur le développement de différentes aptitudes impliquées dans la perception musicale chez les enfants d'âge scolaire montrent une évolution liée à l'âge. En effet, il semble que les habiletés de perception musicale poursuivent leur évolution au cours de l'enfance. D'ailleurs, Peretz, Gosselin, Nan, Caron-Caplette, Trehub & Béland (2013) ont montré que la perception des intervalles, des contours et du rythme connaît toujours des améliorations entre 6 et 8 ans. Par ailleurs, Faucourt, Dick & Stewart (2013) ont quant à eux démontré que les capacités de détection de changement de notes des enfants rejoignent celles des adultes autour de 7 ans, ce qui concorde avec les résultats d'études précédentes (Jensen & Neff, 1993; Olsho, 1984; Thompson, Cranford & Hoyer, 1999; Trehub et al., 1986). La discrimination des contours atteindrait sa pleine maturité plus tardivement, environ vers 11 ans. Ainsi, si le développement de la perception musicale et du chant sont bel et bien liés, la qualité du chant devrait elle aussi continuer à progresser après 6 ans.

Les résultats des quelques rares études qui se sont penchées sur le lien entre la perception et le chant ne permettent pas de tirer de conclusion claire quant au lien entre perception et production chez l'enfant. Dans une étude menée en 1983, Geringer a demandé à des enfants de 4-5 ans et de 4^e années du primaire (9-10ans) de déterminer si des paires de notes étaient identiques ou si la seconde note de la dyade était différente de la première. Suite à l'épreuve de perception, les enfants de chaque groupe d'âge (âge préscolaire ou 4^e année) étaient classés, selon leurs résultats, dans l'une des 3 catégories qualifiant leurs aptitudes (bonnes, moyennes, faibles). Il fut aussi demandé aux enfants de reproduire la dernière note d'une chanson qui leur était présentée par le biais d'un modèle féminin préenregistré. Les résultats ont montré que les aptitudes pour l'imitation vocale sont meilleures chez les enfants

plus âgés. Par ailleurs, il n'y avait pas de lien entre les aptitudes perceptives des enfants et leurs performances aux évaluations des compétences vocales, à part pour les enfants les plus doués sur le plan de la perception au sein du groupe de 4^e année.

D'autres auteurs croient que la qualité de la performance des jeunes chanteurs est probablement à tout le moins partiellement dépendante de leurs capacités de perception. Demorest & Clemens (2007), qui ont trouvé un lien entre la perception et la production chez les adolescents masculins (âgés environ entre 11 et 14 ans; 6^e à 9^e année), suggèrent que la corrélation entre perception et chant pourrait varier à travers le temps, devenant plus importante chez les enfants plus âgés. Cette hypothèse demeure insondée jusqu'ici.

1.3.3.3. L'accompagnement

1.3.3.3.1. Effet de la présence d'un accompagnement

En éducation musicale, l'apprentissage du chant en groupe est le plus courant. Cette méthode est certainement plus motivante que l'apprentissage individuel, mais on peut se questionner à savoir si elle est plus efficace. En 1989, une étude de Goetze & Horii, a suggéré que chanter seul améliore la qualité du chant des enfants. Cent enfants de garderie, 1^{ère} et 3^e année se sont d'abord familiarisés avec les chansons qui servaient à l'évaluation. Chaque enfant a chanté seul et accompagné de 5 autres enfants et de l'expérimentateur. Les performances chantées étaient enregistrées. Les résultats ont montré que le chant individuel permettait aux enfants de produire une performance significativement meilleure que le chant en groupe. Malheureusement, comme la chanson utilisée pour évaluer le chant en groupe était

quatre fois plus longue que celle utilisée pour le chant individuel, et puisqu'on en évaluait qu'une partie, les résultats obtenus à partir de cette étude sont discutables.

Une étude de Green, menée en 1994 auprès de 241 enfants de 1^{ère}, 2^e, 3^e, 5^e année, a contredit les conclusions de Goetze et Horii (1989). Les jeunes participants ont appris la même chanson (17 notes différentes et 16 intervalles) pendant leur cours de musique. Ils ont été enregistrés alors qu'ils chantaient seuls et en groupe de 4 enfants. Une personne a ensuite évalué chaque performance et accordait une note à chacune de celles-ci. Les résultats étaient meilleurs lorsque les enfants chantaient en groupe. La question quant à l'influence de la présence d'un accompagnement demeure donc non résolue au sein de la population infantile.

Au sein de la population adulte, Wise & Sloboda (2008) ont trouvé que tous les participants imitaient mieux les hauteurs de notes lorsqu'ils étaient accompagnés d'un autre chanteur que lorsqu'ils chantaient seuls. Par ailleurs, une étude de Tremblay-Champoux, Dalla Bella, Phillips-Silver, Lebrun & Peretz (2011) suggère que les amusiques congénitaux obtenaient de meilleurs résultats lors de la production d'une chanson familière, ce qui n'était pas le cas pour les sujets non amusiques de cette même étude, qui n'étaient pas aidés par l'ajout d'un accompagnement. Le fait que les personnes amusiques soient aidées par la présence d'un modèle à suivre a alors été expliqué comme étant dû au fait que le chant à l'unisson réduit la charge mnésique de la tâche. En effet, la présence de l'accompagnement peut pallier, du moins en partie, les difficultés des participants amusiques sur le plan de la mémoire musical.

Ainsi, l'influence de la présence d'un accompagnement sur la qualité du chant demeure incertaine. De plus, il est possible que cette influence évolue et change au cours du développement. En effet, le chant à l'unisson pourrait favoriser une meilleure performance en réduisant la charge mnésique de la tâche, tel que ce fut le cas pour les participants amusiques dans l'étude de Tremblay-Champoux et al. (2011). Toutefois, il est aussi possible que l'adaptation à un accompagnement représente un certain défi pour les enfants, puisqu'elle pourrait exiger d'avoir recours aux fonctions exécutives (contrôle de l'attention entre sa production personnelle et celle du modèle, planification de la production en conséquence, adaptation/autorégulation de sa performance, etc), dont le développement s'achève seulement vers la fin de l'adolescence ou au début de l'âge adulte (Best, Miller, Jones 2009; Luna, Garver, Urban, Lazar, Sweeney, 2004).

1.3.3.3.2. Impact du timbre et la hauteur de la voix du modèle

Green (1987) a montré que les enfants du primaire ont plus de facilité à reproduire des airs interprétés par d'autres enfants que par des femmes. En outre, les modèles masculins seraient les plus difficiles à reproduire pour eux. Selon les études de Sims, Moore & Kuhn (1982) et de Smith (1963), les enfants seraient meilleurs quand les modèles possèdent le même timbre et les mêmes hauteurs que leur propre voix. Une étude effectuée chez les adultes (Hutchins & Peretz, 2012) semble aller dans le même sens. En effet, les auteurs ont montré que les participants avaient plus de facilité à imiter les notes chantées par leur propre voix que les notes chantées par une voix synthétisée. Les auteurs suggèrent que ces résultats sont attribuables au fait que la comparaison et la transposition entre le timbre artificiel (perçu) et timbre naturel (produit) exigent un effort supplémentaire.

1.3.3.4. Les paroles

Souvent, les chansons apprises dans la vie quotidienne et lors d'activités de chant choral comportent des paroles. Or, la présence de texte dans la chanson à reproduire est un autre facteur qui pourrait faire varier la performance des enfants. Les données disponibles jusqu'ici suggèrent que la présence de paroles pourrait nuire à la performance. D'ailleurs, il a été montré que les enfants de moins de 5 ans, de 1^{ère} année et de 3^e année chantent plus juste en utilisant la syllabe « loo » plutôt que des mots lorsqu'ils doivent reproduire un air musical (Goetze, 1986). L'auteur de cette étude a alors supposé que cette situation était due au fait que la présence de mots pouvait solliciter l'attention des enfants (qui s'attacheraient au sens littéral de ce qu'ils chantent plutôt qu'à la mélodie) aux dépens de la performance purement musicale.

Cette hypothèse semble appuyée par les résultats d'une étude parue en 2007 et menée par Morton & Trehub. Les auteurs ont demandé à un groupe d'enfants et à un groupe d'adultes de juger les sentiments de l'interprète des chansons. Les chansons à juger étaient toujours composées d'indices expressifs fournis par la performance de l'interprète (tempo, hauteurs tonales, intonation). La présence ou l'absence de paroles intelligibles variaient : parfois les chansons comprenaient des paroles, et parfois elles n'étaient composées que de syllabes dépourvues de sens. Généralement les enfants sont en mesure d'interpréter les deux types d'information (les indices expressifs fournis par la performance et les paroles). Cependant, il s'est avéré qu'en présence des deux types d'indices, les enfants basaient leurs jugements des sentiments de l'interprète sur les paroles, contrairement aux adultes qui s'attardaient aux indices expressifs fournis par la performance. Ainsi, les enfants âgés entre 5

et 10 ans accorderaient plus d'importance aux paroles qu'aux indices expressifs fournis par la performance lorsqu'ils écoutent une chanson.

Selon plusieurs chercheurs (Levinowitz, 1989; Rutkowski, 1996; Welch, 1986/2002; Welch, 1994) la priorité est d'abord accordée aux paroles lors de l'apprentissage du chant au cours du développement de l'enfant. Toutefois, certains (Levinowitz, 1998; Sims et al., 1982) n'ont trouvé aucune différence entre les performances chantées avec et sans paroles avec des enfants d'âge préscolaire. Ainsi, malgré quelques dissidences, les recherches menées auprès des enfants tendent généralement à suggérer que chanter avec des paroles représenterait un plus grand défi.

Les recherches effectuées auprès des adultes peuvent aussi fournir certaines pistes de réponses. Par exemple, il fut montré que le traitement du langage et celui de la musique se font de façon séparée. En effet, l'hypothèse que le chant comporte deux tâches distinctes, l'une impliquant le traitement de la mélodie et l'autre impliquant le traitement des paroles, fut confirmée entre autres par une étude menée auprès d'étudiants universitaires (Racette & Peretz, 2007). Dans une condition de cette étude, les participants devaient écouter une chanson inconnue avec des paroles, et la chanter à leur tour. Dans une autre condition, les participants devaient écouter une chanson inconnue avec des paroles, et répéter seulement les paroles, sans la mélodie. Dans la dernière condition, les participants devaient écouter la version divisée (paroles parlées et air fredonné en arrière-plan) de la chanson inconnue, et répéter les paroles seulement, sans mélodie. Chaque participant a appris une chanson dans chaque condition, pour un total de trois chansons différentes. Les résultats ont montré que

plutôt que d'aider au rappel des paroles, la musique faisait interférence. Les participants se rappelaient de moins de mots lorsqu'ils chantaient que lorsqu'ils récitaient les paroles et ce, même si le chant permettait une articulation plus lente des paroles. Dans une autre expérimentation décrite dans cet article, les auteurs ont comparé le rappel du texte et de la mélodie indépendamment et combinés. De manière générale, les auteurs ont conclu que, tant sur le plan de l'encodage que de la réponse, la musique n'aide pas au rappel de texte. Le traitement mémoriel de la musique et des paroles dans le chant se fait de façon séparée et le chant avec des paroles implique une double tâche recrutant des réseaux neuronaux différents. Par ailleurs, il a aussi été démontré qu'il existe une double dissociation entre le chant de l'aphasique, dans lequel le traitement du langage est altéré et le traitement de la musique est préservé (Peretz, Gagnon, Hébert, & Macoir, 2004; Hébert, Racette, Gagnon, & Peretz, 2003), et le chant de l'amusique, dans lequel le traitement de la musique est altéré sans atteinte des compétences langagières (Dalla Bella, Giguère, & Peretz, 2009). Étant donné qu'effectuer une double tâche est plus exigeant sur le plan cognitif, il est légitime de croire qu'il est plus aisé d'accomplir une tâche simple, comme chanter sans paroles, en utilisant une syllabe dépourvue de sens.

En fait, des études de Berkowska et Dalla Bella (2009b; 2013) ont clairement montré, que les chanteurs occasionnels adultes obtiennent de meilleurs résultats lorsqu'ils chantent en utilisant la syllabe « la » plutôt qu'en utilisant des paroles. Les auteurs proposent que ces résultats sont dus au fait que le chant sans paroles est moins exigeant cognitivement, particulièrement sur le plan de la mémoire linguistique. En effet, selon eux, chanter avec les paroles demande de récupérer en mémoire les notes et les paroles à produire, alors que chanter

sans paroles permet de se concentrer sur la récupération de la mélodie seulement. Par contre, une étude effectuée auprès d'adultes amusiques a montré que ces derniers réussissaient à produire une chanson familière lorsqu'ils bénéficiaient de l'aide des paroles. En fait, les participants amusiques étaient souvent incapable de produire la chanson en entier lorsqu'ils devaient avoir recours à la syllabe « la » plutôt qu'aux paroles (Tremblay-Champoux et al., 2011). Cette situation pourrait s'expliquer par le fait que les participants amusiques éprouvent des difficulté plus marquées que la moyenne de gens sur le plan de la mémoire musicale. Pour eux, les mots aident entre autres à avoir une indication du nombre de notes contenues dans la mélodie. Ainsi, lorsque le traitement musical est intact, nous pouvons nous attendre à ce que la présence de paroles nuise à la performance. Toutefois, si le traitement des mélodies et la mémoire musicale représentent un défi, la présence de paroles peut s'avérer un support appréciable.

Comme nous l'avons suggéré plus tôt, les capacités des enfants en regard du traitement de la musique sont en constante évolution. De la même façon, leurs fonctions mnésiques se développent au fil des années. Bien qu'il soit probable que la présence de paroles nuise à la performance des enfants, il est difficile de prévoir comment celle-ci en influence la qualité. S'agit-il d'une fonction linéaire ou le poids de l'influence de ce facteur varie-t-il en fonction de la maturation cognitive? Ces questions jusqu'ici non résolues seront abordées plus loin, dans le premier article présenté en section 3.

1.4. L'analyse acoustique par ordinateur

Souvent, la qualité du chant est évaluée par des juges, musiciens ou non. Toutefois, nous savons aujourd'hui qu'il est très difficile, même pour les oreilles d'experts, de départager les qualités mélodiques et rythmiques d'une performance musicale (Jones & Pfordresher, 1997; Peretz & Kolinsky, 1993). Les juges sont souvent en mesure de ne donner qu'une appréciation générale, sans pouvoir décortiquer et objectiver les raisons pour lesquelles une note précise a été accordée à une performance donnée. Par ailleurs, il arrive qu'il y ait des divergences entre évaluations de certains juges (voir Kinsella et al., 1988; Prior et al., 1990).

Une méthode qui représente une alternative systématique et objective à la technique des jugements est celle de l'analyse acoustique par ordinateur. L'idée générale de ce procédé implique d'enregistrer les performances sur ordinateur et d'utiliser des programmes informatiques permettant d'extraire les hauteurs des notes chantées et d'identifier le moment auquel chaque note est produite afin d'en tirer différentes informations mélodiques et rythmiques. Cette méthode a été démontrée valide et efficace pour étudier différentes caractéristiques du chant chez l'adulte issu de la population générale (Dalla Bella et al., 2007). À l'aide du logiciel Praat et de scripts y ayant été implémentés, Dalla Bella et al. (2007) ont pu segmenter les extraits audio (consulter l'Annexe 1 pour voir une image illustrant le fonctionnement de la segmentation dans Praat). La hauteur tonale en Hertz (Hz), de chaque voyelle chantée est déterminée. Une fois l'extraction des hauteurs de notes accomplie, ces données sont transmises dans le programme Matlab afin d'y être analysées. Des scripts créés par les auteurs ont permis de calculer les différents renseignements sur les aspects mélodiques et rythmiques du chant des participants (la fréquence de la première note, le nombre d'erreurs

de contours, le nombre d'erreurs d'intervalles, leur taille moyenne, le nombre d'erreurs rythmiques, leur tailles moyennes, le tempo, etc). La technique peut sembler laborieuse et est relativement coûteuse en termes d'investissement de temps. Toutefois, elle permet l'accès à un nombre effarant d'informations précises et fiables.

Au sein de la population infantile, l'analyse acoustique par ordinateur n'a jusqu'ici été que très peu utilisée et n'a servi qu'à évaluer la justesse des notes chantées (Goetze & Horii, 1989; Leighton & Lamont, 2006), délaissant plusieurs autres aspects du chant. Pourtant, l'avantage majeur de cette technique est de permettre de décortiquer de manière fiable et objective les performances en divers aspects tels que la maîtrise des contours, le nombre d'erreurs d'intervalles, la taille de ces erreurs, le respect du rythme, la taille des erreurs rythmiques, etc (Dalla Bella et al., 2007; Dalla Bella et al., 2009).

1.5. Amusie congénitale

1.5.1. Outils diagnostics et prévalence

Bien que l'être humain semble être biologiquement prédisposé pour pouvoir apprécier la musique, certaines personnes, enfants comme adultes, n'ont pourtant pas de bonnes capacités musicales et ce, probablement depuis leur naissance. Certains individus souffrent en effet de déficits de perception musicale, issus d'une anomalie développementale, qui ne peuvent être attribués à d'autres troubles tels que le retard mental, l'autisme, la surdité ou un manque d'exposition à la musique. On appelle ce phénomène, qui touche environ 2 à 3% de la population (Provost, 2011), l'amusie congénitale. Le terme « congénitale » signifie que le

trouble est présent dès la naissance, et suggère par conséquent qu'il est identifiable tant chez l'enfant que chez l'adulte. L'amusie est couramment identifiée chez l'adulte à l'aide de la Batterie de Montréal d'Évaluation de l'Amusie, ou BMEA (Peretz, Champod & Hyde, 2003; consulter l'Annexe 2 pour voir un exemple des stimuli contenus dans la batterie). Cette batterie évalue efficacement la perception et la mémoire de la musique selon des dimensions mélodiques et temporelles. Deux nouvelles versions de cette batterie (une longue, l'autre abrégée) vouées à l'évaluation des habiletés musicales des enfants ont aussi récemment été validées auprès d'enfants de 6 à 8 ans (MBEMA; Peretz, Gosselin, Nan, Caron-Capelette, Trehub & Béland, 2013).

La version longue de la batterie pour enfants comprend 5 sous-tests évaluant la capacité de l'enfant à comparer deux mélodies et à déterminer si celles-ci sont identiques ou si la seconde diffère légèrement de la première. Les 4 premiers sous-tests contiennent chacun 20 items présentés sous forme de paires de mélodies. Pour la moitié des items, une différence a été insérée dans la seconde mélodie de la paire. Selon le sous-test, la mélodie altérée peut contenir une note qui ne respecte pas la tonalité de la gamme dans laquelle la mélodie a été créée, peut présenter un contour altéré (la mélodie peut contenir une montée au lieu d'une descente, ou inversement), peut impliquer que la taille d'un intervalle soit modifié ou peut comporter une modification rythmique. Dans le dernier sous-test, le cinquième, visant à évaluer la mémoire musicale implicite, une vingtaine de mélodies sont présentées et il est demandé à l'enfant de déterminer s'il a entendu chacune d'elles plus tôt au cours des quatre premiers sous-tests. Cette batterie s'est avérée efficace, mais coûteuse en temps, puisqu'elle demande entre 45 minutes à une heure à administrer. Voilà pourquoi la version abrégée de

cette batterie fut créée. Vingt minutes suffisent pour la passation de cette version créée à partir des items les plus discriminants de la version longue de la MBEMA pour enfants. Ce test comporte 60 items, soit 20 items par sous-test, pour un total de 3 sous-tests : le mélodique (combinant des items contenant des altérations à la tonalité, au contour et à un intervalle), le rythmique, de même que le mnésique. Le plus souvent, un enfant est considéré amusique s'il obtient un score global se situant à deux écart-types ou plus sous la moyenne des résultats des enfants de son groupe d'âge. Ce critère statistique implique logiquement que 2,5% de la population sera identifiée comme étant amusique. Chez les adultes, certains sous-tests de la BMEA sont considérés comme étant davantage liés aux capacités réelles de perception musicale. Ainsi, en se basant seulement sur les sous-tests mélodiques, par exemple, pour identifier les personnes atteintes du trouble, la prévalence est légèrement augmentée (autour de 3%, tel que mentionné plus tôt). Chez l'enfant, cette situation ne semble pas se répliquer, et le critère se basant sur le score global à la batterie est tout à fait approprié.

1.5.2. Fonctionnement cérébral et différences anatomiques

L'amusie congénitale est associée à un déficit de la perception fine des hauteurs (Foxton, Dean, Gee, Peretz, Griffiths, 2004; Hyde & Peretz, 2004; Peretz et al., 2002). En effet, il a été démontré que les adultes amusiques ne peuvent détecter les différences de hauteurs inférieures à un demi ton et ne s'améliorent pas avec l'entraînement (Hyde & Peretz, 2004). Ce déficit se reflète par des réponses cérébrales électriques anormales lorsque l'on étudie la composante P300, une onde cérébrale étudiée en potentiels évoqués, typiquement associée au caractère nouveau procuré par la rareté d'apparition d'un stimulus déviant dans une tâche de oddball (Peretz, Brattico & Tervaniemi, 2005). Ainsi, les données suggèrent que

dans une série de sons au sein de laquelle la hauteur de l'un d'eux est occasionnellement altérée, les réseaux neuronaux des amusiques ne réagissent pas normalement au caractère nouveau du son modifié si celui-ci n'est que légèrement changé (augmentation ou diminution de hauteur d'un demi ton ou moins). Toutefois, un pattern de négativité de discordance (MMN; reflétant la détection pré-attentive d'un changement; Näätänen, 1992) normal a été découvert chez les participants amusiques, même pour les fines différences de hauteurs (Moreau, Jolicoeur & Peretz, 2009), ce qui suggère que celles-ci sont perçues au niveau pré-attentionnel. Ces résultats permettent de supposer que les anomalies cérébrales liés à l'amusie chez l'adulte arrivent plus tard au cours du processus de perception musicale, lorsque les perceptions rejoignent le niveau de la conscience.

En 2006 et 2007, deux études de volumétrie (Hyde, Lerch, Zatorre, Griffiths, Evans & Peretz, 2007; Hyde, Zatorre, Griffiths, Lerch & Peretz, 2006) ont permis d'identifier les différences anatomiques entre les cerveaux des personnes amusiques et les cerveaux des personnes n'éprouvant aucune difficulté avec la musique. Ces études ont montré que la région du gyrus frontal antérieur est impliquée dans l'encodage des hauteurs tonales et dans la mémorisation de celles-ci. Elles ont aussi montré que l'intégrité de la matière blanche dans la région frontale droite est très importante pour l'acquisition de compétences musicales normales. On observe en outre une plus grande quantité de matière grise dans la région du gyrus frontal antérieur droit du cerveau des personnes amusiques que dans le cerveau des personnes n'ayant pas de déficit musical. La région du gyrus frontal antérieur droit du cerveau semble donc être un élément clé pour le traitement normal de la musique, tant en ce qui concerne la matière blanche que la matière grise. Par ailleurs, Hyde, Zatorre & Peretz (2011)

ont identifié une connectivité anormale entre le cortex auditif et le gyrus inférieur frontal droits des amusiques. De plus, Loui, Alsop et Schlaug (2009) ont découvert par le biais d'une étude utilisant une technique d'imagerie par résonance magnétique (IRM du tenseur de diffusion), que le fascicule arqué, qui est généralement connu pour faire le lien entre perception et production dans le langage, présente une connectivité réduite chez les personnes atteintes d'amusie. En outre, les auteurs ont trouvé des liens entre les branches supérieures et inférieures du fascicule arqué et certaines mesures de perception de hauteurs de notes et de sons. Suite à ces découvertes, Loui et collaborateurs (2009) suggèrent que cette réduction de connectivité est reliée aux difficultés de perception musicale identifiées chez les personnes amusiques. Ainsi, le trouble, couramment diagnostiqué par le biais de tests et d'indices comportementaux se constate aussi à l'aide d'indices morphologiques.

1.5.3. Étiologie : des composantes génétiques

L'étiologie de l'amusie congénitale a été étudiée pour la première fois dans une étude de Peretz, Cummings & Dubé (2007). Les résultats suggèrent que le trouble aurait une origine héréditaire. En effet, dans les familles connues pour comporter au moins un membre amusique, on retrouve 39% d'individus atteints par le trouble alors que dans les familles contrôles, qui n'étaient pas d'emblée connues comme ayant des membres amusiques, seulement 3% des individus étaient atteints, ce qui correspond environ à la prévalence dans la population. Ainsi, une personne issue d'une famille comprenant certains membres atteints serait beaucoup plus prédisposée à développer des signes d'amusie qu'une personne provenant d'une famille dont les membres ne sont pas touchés. Le caractère héréditaire de l'amusie congénitale corrobore la possibilité qu'une anomalie génétique affecte le développement

neurologique dès la petite enfance et justifie l'intérêt de documenter les trajectoires développementales impliquées dans l'apparition phénotypique du trouble.

1.5.4. Percées dans la population infantile

Par définition, l'amusie congénitale devrait être présente dès la naissance et perdurer dans l'enfance. Malheureusement, très peu d'informations sont disponibles concernant la façon dont se présente ce trouble chez l'enfant. Une étude de Mignault-Goulet, Moreau, Robitaille & Peretz (2012) a montré que les profils de 8 enfants amusiques de 10 à 13 ans ressemblent beaucoup à celui retrouvé chez les adultes. En effet, les jeunes présentaient eux aussi des difficultés sur le plan de la perception des mélodies et, bien que dans une moindre mesure, sur le plan de la perception rythmique. Par ailleurs, ces déficits étaient associés à une importante difficulté à percevoir consciemment les fines variations de hauteur. Comme dans le cas des adultes, ces difficultés relevées aux tests comportementaux se reflètent dans les résultats aux investigations neurophysiologiques par une absence de P300 normale. Par ailleurs, les résultats des enfants aux tests comportementaux et neurophysiologiques sont demeurés inchangés malgré une exposition régulière à la musique durant une période de 4 semaines.

Avant l'étude menée dans le cadre de cette thèse et présentée plus loin dans ce manuscrit, l'amusie congénitale chez l'enfant n'avait jamais été documentée. Ce n'est que subséquentement à la publication de l'article présenté ci-après que Mignault-Goulet et al. (2012) ont entrepris de poursuivre des recherches afin de mieux comprendre le neurodéveloppement des enfants aux prises avec ce déficit musical et de tenter une

intervention précoce auprès des enfants, qui sont plus susceptibles de répondre positivement à un programme de remédiation. Les résultats de l'étude de Mignault-Goulet et al. (2012) ont montré qu'une exposition musicale quotidienne de trente minutes par jour durant un mois ne modifie pas les réponses comportementales et électrophysiologiques des enfants atteints d'amusie congénitale. L'absence de résultats concluants suite au programme d'intervention n'est pas un échec en soi puisque ce dernier a permis d'avoir accès à de nouvelles informations et de susciter de nouveaux questionnements.

1.5.5. Le chant des amusiques

Souvent, le chant des personnes atteintes de ce trouble de perception musicale est, lui aussi, déficitaire. En effet, des études effectuées chez l'adulte ont montré que la plupart des amusiques chantent faux et commettent plusieurs erreurs d'intervalles et de contours (Dalla Bella, Giguère & Peretz, 2009; Tremblay-Champoux et al., 2011). La moitié d'entre eux arrivent à chanter en rythme. Toutefois, l'étude menée par Dalla Bella et ses collègues (2009) a permis d'identifier certains amusiques qui arrivent à chanter relativement correctement, ce qui suggère l'existence de réseaux neuronaux différents pour la perception consciente et la production. D'ailleurs, les résultats d'une étude de Loui, Guenther, Mathys & Schlaug (2008) semblent aussi aller dans ce sens. En effet, les auteurs ont montré une dissociation entre la capacité à discriminer les contours musicaux et la capacité à les reproduire. En effet, les amusiques, qui étaient incapables de déterminer si un intervalle était montant ou descendant, arrivaient à chanter les intervalles dans la bonne direction.

Par ailleurs, Hutchins & Peretz (2013) ont montré que les amusiques peuvent adapter leur chant en fonction du feedback auditif qu'ils perçoivent. Ils modifient leur chant même si le feedback de leur propre voix n'est que très légèrement altéré (25 cents). Par ailleurs, l'habileté des amusiques à s'adapter aux variations de feedback est liée à leurs capacités à reproduire des intervalles plutôt qu'à leurs scores aux tests de perception musicale. Ici encore, les auteurs suggèrent l'existence de deux réseaux impliqués dans le traitement des hauteurs. L'un associé davantage à la perception consciente, et l'autre à la production du chant.

Ainsi, même au sein d'une population sévèrement handicapée sur le plan de la perception musicale, il existe certains individus étant en mesure de chanter. Puisque l'amusie congénitale n'a pratiquement pas été étudiée chez l'enfant, nous ne disposons d'aucune information sur le développement du chant chez l'enfant amusique.

2. Objectifs et hypothèses

Les études présentées dans la section 3 ont été menées afin de permettre une meilleure compréhension du développement du chant chez les enfants issus de la population générale et de décrire pour la première fois comment se présente le chant et les capacités perceptives chez l'enfant amusique.

2.1. Première étude

La première étude s'intéressera au chant des enfants de 6 à 11 ans, au sein de la population générale. Les analyses acoustiques permettront de travailler avec des données fiables et quantifiables. Les effets de la maturation seront étudiés en priorité. D'autres caractéristiques personnelles, tels que le genre de l'enfant et ses habiletés quant à sa perception musicale, seront aussi examinées. L'influence des caractéristiques mêmes de la tâche sera aussi prise en compte. Notons que ces facteurs personnels et contextuels seront toujours mis en lien avec la maturation de l'enfant. En d'autres mots, l'impact de ces facteurs sera toujours étudié à travers le développement.

L'hypothèse de base est que tous les facteurs cités ci-dessus auront un impact sur la qualité du chant et que la maturation sera l'élément le plus déterminant. En effet, le chant des enfants devrait s'améliorer à mesure qu'ils avancent en âge. Suivant le modèle de Welch (1986/2002), le rythme sera probablement maîtrisé avant la justesse. Sur le plan mélodique, les enfants maîtriseront les contours avant de maîtriser les intervalles. En d'autres mots, le squelette global de la mélodie sera acquis avant que les enfants ne puissent produire précisément les intervalles.

Par ailleurs, puisque la tâche implique la production d'une chanson, et non l'imitation de hauteurs isolées, les filles devraient obtenir une meilleure performance que les garçons, du moins sur le plan de la justesse. Toutefois, il est présentement impossible de déterminer si cet avantage des filles sur les garçons sera stable à travers le développement.

On peut aussi penser que les aptitudes de perception musicale des enfants auront certainement une influence sur la qualité du chant. La perception mélodique sera peut-être liée à la justesse de la performance, alors que la perception rythmique sera probablement liée d'avantage à l'aspect temporel du chant. Il est en outre possible que le lien entre perception et production soit plus important chez les enfants plus âgés, tel que suggéré par Demorest & Clemens (2007).

Par ailleurs, puisque la chanson utilisée comme stimulus sera une chanson familière pour les enfants et puisque les enfants testés auront une perception musicale a priori normale (ce qui sera confirmé par un test de perception musicale), il serait surprenant que ceux-ci bénéficient du chant à l'unisson pour les aider sur le plan mnésique. Au mieux, chanter à l'unisson ne produira aucune différence sur leur performance en comparaison au chant par imitation (après un modèle). Au pire, le chant à l'unisson nuira à leur performance, recrutant d'avantage les fonctions perceptives et exécutives.

Finalement, la présence de paroles dans la chanson à produire devrait nuire à la performance. En effet, chanter en utilisant la syllabe « la » réduira la demande cognitive et permettra aux enfants de se concentrer sur la mélodie à produire. Ce profil de résultats, qui a

été trouvé chez les adultes issus de la population générale, devrait se dégager aussi chez l'enfant.

2.2. Seconde étude

Une fois les caractéristiques du chant normal décrites, le chant déficitaire chez une enfant amusic nous ayant été référée par son directeur de choral sera étudié. Son profil perceptif sera également examiné afin de documenter pour la première fois la présentation de l'amusie congénitale chez l'enfant.

En se basant sur les études effectuées chez les amusiques adultes, il est probable que la fillette produira d'avantage d'erreurs de justesse (de contours et erreurs d'intervalles) que les participantes contrôles appariées, et que la taille de ses déviations d'intervalles sera plus importante. Par ailleurs, elle commettra, peut-être dans une moindre mesure, des erreurs rythmiques. Celles-ci seront probablement plus fréquentes et plus importantes en comparaison aux productions des participantes contrôles.

En outre, si le profil de l'enfant s'apparente au profil des adultes amusiques, elle devrait obtenir des résultats très faibles au test de perception musical (MBEMA). Les résultats représentant la perception mélodique seront probablement les plus pauvres, loin derrière ceux des enfants qui seront sujets contrôles. La perception rythmique sera possiblement elle aussi déficitaire, peut-être dans une moindre mesure. De plus, la mémoire musicale souffrira certainement des déficits perceptifs.

Par ailleurs, lors des tests comportementaux évaluant la perception des fines différences de hauteurs, la jeune amusique devrait percevoir les différences de hauteur de 200 cents (ou d'un ton, ce qui correspond à la distance entre deux notes blanches sur le clavier d'un piano), mais non celles de 25 cents (1/8^e de ton). Ces prédictions sont en accord avec les résultats trouvés chez l'adulte amusique (Moreau, Jolicoeur & Peretz, 2013) et, chez un petit groupe d'enfants amusiques (Mignault-Goulet et al., 2012).

Finalement, il est fort probable que les déficits perceptifs soient liés à des anomalies neurophysiologiques. Les résultats devraient corroborer l'hypothèse d'un déficit de perception des fines différences de hauteur plus tardif. Ainsi, les mécanismes neuronaux plus précoces devraient être intacts, tel que reflété par une MMN normale pour les différences de 25 cents et de 200 cents.

3. Méthodologie et résultats

3.1. Article I

Normal Developmental Trajectories for Singing Abilities in School-Aged Children

Marie-Andrée Lebrun^{1,2,3}, Simone Dalla Bella^{4,5}, Sandra Trehub^{2,6}, and Isabelle Peretz^{1,2,3}

¹Department of Psychology, Université de Montréal

²The International Laboratory for Brain Music and Sound Research (BRAMS), University of
Montréal, Montréal, Québec, Canada

³Centre for Research on Brain, Language and Music (CRBLM), McGill University, Montréal,
QC, Canada

⁴Movement to Health Laboratory (EuroMov),
University of Montpellier1, Montpellier, France

⁵Institut Universitaire de France, Paris, France

⁶Department of Psychology, University of Toronto Mississauga, Mississauga, Ontario, Canada

Article en préparation

Running page heading: SINGING DEVELOPMENT

Corresponding author:

Isabelle Peretz

Abstract

The development of singing abilities starts very early in childhood. Nevertheless, relatively little is known about its time course and about how performance is influenced by personal characteristics and task demands. Here we examine, through computer-assisted analysis, several melodic and rhythmic aspects of the sung productions of children between 6 and 11 years of age. Each child sang a familiar song in different conditions: with and without lyrics, in unison and after a model's production. Results show that some of the basic melodic singing skills are still developing in the first school years. In contrast, the rhythmic aspects of singing are mastered before the age of six and, in some conditions, children perform even better than adults. The results also show that girls make less and smaller pitch interval errors than boys, independently of their age. Singing with lyrics is more challenging than singing on /la/, and singing in unison is harder than singing alone, suggesting that both linguistic memory and executive abilities play a role in the development of singing skills. Furthermore, all of the singing production measures are related to one or more of the musical perception measures (i.e. melodic, rhythmic and/or global musical perception). In general, melodic production tends to be more correlated with melodic perception, and rhythmic production with rhythm perception. In sum, objective measures of singing abilities show that singing development is not completed before elementary school and reaches adult proficiency much later, between 9 and 11 years of age in the most challenging conditions.

Keywords: Singing development, lyrics, accompaniment, perception, gender, acoustical analyses.

Introduction

Children master the basic skills of their mother tongue at around 5 or 6 years of age, after having gone through different ontogenetic milestones (Gerard, 1997). Singing being an activity as natural as speaking, it is likely that children master singing abilities around the same moment as speech.

One aspect of language that is close to singing, namely prosody, is not mastered before 7 years of age (Patel & Grigos, 2006). According to these authors, before that age, children lack the motor coordination to produce pitch correctly in some prosodic features (e.g., rising of the F₀ at the end of questions), as well as the access to linguistic and cognitive resources that may be necessary to generate an adult-like prosodic pattern. In their study, younger children (4 years of age) used syllable duration solely to distinguish questions from statements in their speech productions, while older children additionally relied on the rising pitch at the end of the question to mark the contrast, suggesting that timing, in prosody, is an important feature used by children very early on. Accordingly, one could suppose that timing, in singing, may be mastered earlier than contour production.

Prosody and singing may involve shared, as well as independent, cognitive processes and neural substrates (Zatorre & Baum, 2012). For example, perceiving and producing the correct prosodic/intonational pattern requires the encoding and the production of pitch contours, but not of precise pitch intervals, which is necessary for proficient singing. Thus, it can be predicted that pitch contour, in the development of singing abilities, should be mastered around 7 years of age, as is prosody. Studies by Welch and collaborators (1996-1997-1998) suggest that, in contrast to other skills (e.g.: single pitches, glides or fragments), pitch accuracy in song would be mastered after the age of 7. Different studies (Green, 1994;

Rutkowski, 1990; Welch, 1986) also suggest that singing skills are still developing during the first years of elementary school.

In adulthood, 85-90% of the population can sing in tune, typically reproducing pitches and melodies accurately (Dalla Bella, Giguère, & Peretz, 2007; Pfordresher and Brown, 2007; but see Pfordresher, Brown, Meier, Belyk, & Liotti, 2010, for a lower estimate when considering precision instead of accuracy). Although many people claim that they have singing difficulties (60% of the participants in a screening questionnaire; Pfordresher & Brown, 2007), studies have shown that most occasional singers can sing accurately, and that most adults are proficient singers (Berkowska & Dalla Bella, 2013; Dalla Bella & Berkowska, 2009; Dalla Bella et al., 2007; Pfordresher & Brown, 2007).

Rutkowski (1996) and Welch (1986/2002) suggest that adult singing proficiency would be achieved through succeeding stages of development. For instance, Welch's (1986/2002) model of preschool singing skill acquisition, which is based on a literature review, posits that the processing of song lyrics is prioritized. Attention is then extended to rhythmic characteristics (in Welch, 1994) and, after, to the global melodic aspects of the song (such as contour, which is mastered at around 2 years of age, according to Dowling, 1999). Children then achieve accuracy for the production of precise pitch intervals, as well as the melodic form. The final step involves singing in a stable key and mastering melodic and pitch characteristics more fully. According to this perspective, poor singers are trapped in a prior stage of development and should thus benefit from instruction and musical education. In the same vein, Rutkowski (1996) found that inadequate teaching methods in 5-year-old children can bring the development of singing abilities to a halt and lead to a decrease in performance.

Prioritization of lyric processing is predicted by both Rutkowski's and Welch's models. Furthermore, different studies suggest that children are more in tune when they sing without lyrics (on a single syllable) than with lyrics (Goetze, 1986; Levinowitz, 1989; Welch, Sergeant & White, 1996), but this difference in performance is not systematically found in preschool-aged children (Smale, 1988; Sims, Moore & Kuhn, 1982). Moreover, studies carried out among adult occasional singers also show enhanced pitch accuracy when singing on a single syllable instead of lyrics (Berkowska and Dalla Bella, 2009a; 2013). The authors suggest that, despite singing with lyrics being a more familiar task than singing without, it remains more demanding cognitively. Indeed, it implies the retrieval of both the words and the melody, while singing without lyrics only requires retrieving the melody. It thus constitutes a dual task (Racette & Peretz, 2007). Considering this, and although melodies are usually learned with lyrics in everyday life, we predict that singing without lyrics will be an easier task for children.

Individual differences in music perception abilities may also influence singing performance. Surprisingly, this relationship has rarely been studied empirically in children. In one study, Geringer (1983) asked preschool and fourth-grade students to complete both a pitch-discrimination and a vocal pitch-matching task. He found that vocal pitch-matching abilities differed between age-groups, but that they were not correlated with pitch discrimination skills, except in the most skilled (on the pitch discrimination task) children of the oldest group. Other authors suggest that accurate vocal control is at least partially dependent on pitch-discrimination abilities in adolescent boys (grades 6 to 9; Demorest and Clemens, 2007). They propose that perception and production abilities may not evolve at the same rate over time, and that the correlation between both may grow stronger with age.

Incidentally, the ability to perceive scale, contour, pitch intervals and rhythm improves in children between the ages of 6 and 8 (Peretz, Gosselin, Nan, Caron-Caplette, Trehub, & Béland, 2013). Therefore, one can predict that perception abilities will have an influence on singing performance during the first years of schooling.

Furthermore, singing performance is influenced by the presence and type of auditory feedback (Pfordresher & Varco 2010). A sensorimotor loop model (Berkowska and Dalla Bella, 2009b; Dalla Bella, Berkowska & Sowinski, 2011; Zarate, 2013) suggests that, in order to adjust pitch production, the perception of the voice's feedback is necessary while singing (see Tsang et al., 2011, for a review). One of the factors that could interfere with auditory feedback, and thus with singing performance, is the presence of other people singing at the same time. Indeed, when singing in unison with another person, the perception of the feedback of one's voice is attenuated by the presence of a competing percept. Also, it may be more demanding for the brain's executive skills, since both the singer's and the other person's voice has to be processed at the same time, and the performance adjusted consequently. Nevertheless, children usually learn to sing in groups, at school or in choirs. Mixed results arise from the literature when looking at the impact of the presence of a vocal accompaniment. For instance, Green (1994) proposes that singing in unison is easier for children, while Goetze and Horii (1989) describe better performances when singing alone. However, in the latter study, singing materials were not equivalent between conditions, the group condition's song being four times longer (and only partly analysed) than the alone condition's. Moreover, in an adult population, performances were similar when singing a familiar song alone following a model's production, as when singing it at the same time as the model (Tremblay-Champoux, Dalla Bella, Phillips-Silver, Lebrun, & Peretz, 2011). Further conflicting results are found in

studies using pitch-matching tasks. Indeed, Pfordresher and Brown (2007) found that hearing the correct sequence at the same time as producing it hindered poor singers' performances, while it helped good singers. Wise and Sloboda (2008) found that singing in unison improved all participants' (self-declared tone deaf and not tone deaf) performances. The difference between these two studies may lie in the use of synthesized (Pfordresher & Brown, 2007) versus real (Wise & Sloboda, 2008) voices as stimuli. Indeed, Hutchins and Peretz (2012) found that the timbre used to create the stimuli had an impact on the precision of vocal reproductions.

One major difference between the studies conducted with adults and children is the use of computer-based assessment. Human judgements tend to integrate pitch and time information, when embedded in a musical context (Jones and Pfordresher, 1997; Peretz and Kolinsky, 1993). Moreover, there sometimes are discrepancies between raters in their evaluation of singing proficiency (e.g., see Kinsella *et al.*, 1988; Prior *et al.*, 1990). A more objective alternative to this methodology is the acoustically-based analysis of sung performances. In children population, computerized analysis of singing performance has only been used to evaluate pitch accuracy of single tones (Goetze & Horii, 1989; Leighton & Lamont, 2006), neglecting more global aspects of singing, such as pitch contour.

Over the last few years, the study of singing proficiency in the adult population has been blooming. The reasons for this interest are quite obvious. Singing is the most accessible means of studying musical expression and represents an endless source of information about the way the brain processes music, perception and production-wise. In the children population, a vast literature can be found in the field of musical education, but the conclusions are difficult to interpret because the methods are inconsistent, which often leads to conflicting results. Yet,

a better understanding of the mechanisms involved in the development of singing abilities would allow educators to have realistic expectations and to intervene precociously, in order to improve or compensate the difficulties as much as possible, while the brain is still very malleable.

The goal of the present study is to shed light on the development of singing abilities in elementary-school-aged children. Despite the interest sparked by this topic, many questions remain unanswered. Namely, what is the influence of gender, musical perception abilities and task demands on singing performance, and more importantly, how does it compare between the different age groups? These questions will be answered by examining many aspects of singing performance, such as pitch interval, contour and rhythm accuracy, using an objective method based on computer-generated acoustical analyses.

Method

Participants

Eighty children, 57 girls and 23 boys, between the ages of 6 and 11 (M: 8.92 years, SD: 1.62; refer to Table 1 for the description of each age group) were tested in a quiet room at their elementary school, which is a typical middle-class public school located in Montreal (cf: Commission Scolaire de Montréal, École Louis-Colin; Indice de défavorisation 2012-2013. <http://www.mels.gouv.qc.ca/references/publications/resultats-de-la-recherche/detail/article/carte-des-unites-de-peuplement2003/>). To ensure that children met the inclusion criteria, parents filled out a short questionnaire beforehand. All of the participants attended mandatory music classes at school for one hour a week. Twenty-five of them also took extracurricular music lessons (15.64 months of experience on average; SD: 12.42). There

was no correlation between the age of the children and the length of their extracurricular musical experience ($p > .05$).

Most of the children (71 of them) spoke only French at home, while five spoke French as well as another language, and four spoke only another language. All of them spoke French at school. To be included in the study, children had to be familiar beforehand, with the stimulus song used (i.e. be able to sing it from memory easily), as acknowledged by the parents and verified by the experimenter. Indeed, this was evaluated by having the children sing the song from memory, as well as following a model's production. The results were compared to ensure that the song was familiar enough, so that no differences would be found between conditions. A repeated measure ANOVA was run on the different performance measures (i.e. pitch of the first note, number of contour errors, number of interval errors, size of pitch interval deviations, tempo, number of time errors, temporal variability). There were no significant differences between conditions (all $ps > .05$), which confirmed that the song was familiar enough. No language impairments, hearing losses or neuropsychological disorders were reported by the parents. Finally, the children's musical perception abilities were evaluated with the reduced form of the child version of the MBEMA (Montreal Battery for Evaluation of Musical Abilities; Peretz et al., 2013; see next section), to ensure that none of the children were amusic. One child was identified as potentially amusic and was excluded from the study.

{Inset Table 1 around here}

Materials and procedures

The reduced form of the child version of the Montreal Battery of Evaluation of Musical Abilities (MBEMA) was used to ensure that none of the children had musical perception deficits that could affect their singing performances. This version of the MBEMA has been assessed and validated in a previous study on a group of 85 children between the ages of 6 and 8 (Peretz et al., 2013). It includes three different tasks that evaluate melody discrimination, rhythm discrimination and incidental memory. It lasts around 20 minutes. On the melody discrimination and rhythm discrimination tasks, the participant is asked to decide if a series of two melodies are the same or different. On the incidental memory task, the participant is asked to decide if each melody had been presented before or not, during the two discrimination tasks. Participants, whom are tested individually, write their answers on a record sheet with same/different symbols. Stimuli were presented through speakers on a personal computer, using Windows Media Player.

Afterwards, participants took part in a short warm-up exercise, in which they were asked to produce an exaggerated speech contour. They were instructed to imagine that they were playing hide and seek and that they had to ask their hidden friend “Où es-tu?” (Where are you?), as expressively as possible. They were then asked to make their voice glide up and down their full vocal range. These exercises allowed the participants to get familiar with the material and the experimental context, as well as smoothly transitioning from speaking to singing. In addition, it allowed the experimenter to verify that they were all able to make the pitch of their voice vary.

The experimental phase then begun. Participants were asked to sing a birthday song which is very well known in Quebec (i.e. the chorus of *Gens du Pays* by Vigneault & Rochon,

1976, with slightly different lyrics). There are 32 notes (16 measures) which are all associated with a syllable. The pitch range lies within a major sixth (nine semitones; see Figure 1).

{Insert Figure 1 around here}

There were four different conditions in which the participants had to sing the same song: 1) at the time as a same-sex model production, with the traditional birthday lyrics, 2) at the same time as the model production, with a single syllable (i.e. /la/) instead of the lyrics, 3) following the model production, with the lyrics, 4) following the model production, with a single syllable. A “spontaneous singing” condition (with lyrics and with a single syllable) was also included in the protocol, to ensure that children mastered the song, even when singing from memory. All participants took part in all 6 conditions and the order was counterbalanced. Periods of two to three minutes of small talk were inserted between each condition, in order to avoid influencing subsequent conditions. No effect of order was statistically identified. The use of these conditions allowed a better understanding of the role of memory and accompaniment on singing performance. It also allowed comparing children and adults’ performances. There were two pre-recorded model productions; one sung by a 9-year-old girl and one sung by a 9-year-old boy at around 120 beats per minute. The productions were within the participants’ vocal range. The performances were not perfect (see Table 2), but were considered very ecological representations of children singing a familiar song.

{Insert Table 2 around here}

Participants heard the model productions via Beyerdynamic DT770 Pro headphones. In both the conditions in which the participants had to sing at the same time as the model

production, they heard their own voice's playback in one ear and the model production in the other ear, in order to promote the use of self-monitoring. Performances were recorded through a Shure microphone, using Adobe Audition software. Although most adults find being recorded while singing very uncomfortable, almost none of the children reported being nervous and they all asserted having loved their experience.

Acoustical analyses of sung performances.

Firstly, a semi-automatic procedure using EasyAlign (Goldman, 2007) as implemented in Praat software (Boersma & Weenink, 2007), was used to compute *note onset time* and *pitch height*, for each note of the sung productions, based on the median of the fundamental frequencies found within each vowel. Vowels were chosen for the analysis because they are known to carry the maximum stable pitch information (Murayama, Kashiwagi, Kashiwagi, & Mimura, 2004). Secondly, these two measures were compared, for each note, to what is prescribed by the musical notation, using a program developed by Dalla Bella et al. (2007, 2009), implemented in Matlab. It automatically computed several measures of pitch and time accuracy which will be described in turn.

There were four different melodic variables. First of all, the *Starting pitch* is the first note's median frequency, in Hz. Secondly, the *Number of contour errors* represents the number of produced intervals which have a different direction than their respective notated intervals. Pitch direction was only considered as ascending or descending when the produced interval was larger than one semitone. Thirdly, the *Number of pitch interval errors* indicates the number of intervals which were at least a semitone larger or smaller than the awaited

interval, prescribed by the musical notation of the song. Finally, *Interval deviations* represents the average of the absolute distance between produced and awaited interval, in semitones.

Furthermore, there were three different rhythmic variables. The *Tempo* (i.e. the quarter note's mean inter-onset interval duration, or IOI, in msec), the *Number of time errors*, or the number of produced notes' durations which were 25% longer or shorter than the ones prescribed by the musical notation, and lastly, the *Temporal variability*, which is the coefficient of variation of the quarter-note inter-onset intervals (i.e. ratio of the *IOI standard deviation* over the *mean IOI*), were compiled for each production. For *Number of time errors*, the first and last notes were not analyzed.

Around four percent of the excerpts were unanalyzable (i.e. some frequencies could not be analyzed via Praat) and around four percent were incomplete (i.e. one or more notes were missing). For the latter, missing notes were considered as errors, and only *Number of contour errors*, *Number of interval errors* and *Number of time errors* could be compiled. Unanalyzable excerpts however, were excluded completely from the statistical analyses. When comparing the conditions in which participants had to sing with lyrics to those in which they had to sing with a single syllable, the number of unanalyzable excerpts was similar (Lyrics = 11, Syllable = 9, for a total of 20 unanalyzable excerpts over 237), but the number of missing notes was greater in the syllable conditions (16 versus 2 for the Lyrics conditions, for a total of 18 missing notes over 237 excerpts). Overall, of the 474 excerpts considered, 38 were not entirely analyzed.

Results

Vocal range, speaking range, comfortable speech frequency

The warm-up procedure was initially included to allow children to familiarize with the material and the experimental context. It also provided measures of full vocal range, natural speaking range and comfortable speech frequency. Indeed, the highest and the lowest pitches produced by each child during the warm-up exercise, with an ascending and a descending glide, were measured, and used to estimate the full vocal range (lowest pitch: $M = 184.84$ Hz, $SD = 30.04$ Hz; highest pitch: $M = 939.40$ Hz, $SD = 344.71$ Hz; average pitch: $M = 754.56$ Hz, $SD = 342.78$ Hz). Moreover, the mean frequency of each word in the question “Où es-tu” was measured, and the highest and lowest pitches were used to estimate the natural speaking range (lowest pitch: $M = 293.15$ Hz, $SD = 53.68$ Hz; highest pitch: $M = 362.63$ Hz, $SD = 55.95$ Hz). The comfortable speech frequency was inferred by averaging the vowels’ frequencies from the question’s three words ($M: 329.71$ Hz, $SD: 48.60$ Hz). Full vocal range (i.e. highest minus lowest pitch produced during the ascending and descending glide exercise) was then correlated with the different melodic variables described previously. None of the analyses were significant (all $ps > .05$). Moreover, neither the children’s speaking range, nor the comfortable speech frequency was correlated with the number of pitch interval errors or the interval deviations. Besides, the distance between the comfortable speech frequency and the model production’s starting pitch was not correlated with any of the melodic variables (all $ps > 0.05$). Thus, the participants’ full vocal range and speaking range did not seem to have an impact on their melodic singing performances.

Impact of different personal and task characteristics on singing performances

Standard multiple regressions were conducted on the melodic and rhythmic variables mentioned earlier, in order to understand to what extent different factors are related to singing performance. The potential influence of age, gender, musical perception abilities, presence of lyrics (singing with lyrics versus a single syllable) and of vocal accompaniment (singing at the same time versus after the model production), on *Number of contour errors*, *Number of interval errors*, *Interval deviations*, *Tempo*, *Number of time errors* and *Temporal variability* was thus investigated. The results of this analysis then allowed us to have a closer look at these factors, concentrating only on the specific affected variables. The four conditions (with and without lyrics, each time in unison and following the model production) were considered for the analysis. Table 3 presents the influence of each factor on every variable of interest (measure of singing quality).

{Insert Table 3 around here}

As can be seen in Table 3, age, melodic perception abilities and presence of vocal accompaniment significantly contribute to predicting the number of interval and contour errors. Gender further contributes to predicting the number of interval errors and rhythmic perception abilities further contributes to predicting the number of contour errors. Twenty-six and twenty-three percent of the variance of the number of interval (adjusted $R^2=.26$, $F(7,303)=16.75$, $p<.001$) and contour (adjusted $R^2=.23$, $F(7,303) =14.30$, $p<.001$) errors are respectively explained. The presence of lyrics does not seem to have an influence on either variables. The *Interval deviations* variable has a different outcome. It seems to be less

influenced by musical perception abilities, but more by the presence of lyrics. Indeed, age, gender, presence of lyrics and of vocal accompaniment contribute to explaining 18% of its variance (adjusted $R^2=.18$, $F(7,303)=10.75$, $p<.001$).

Rhythmic perception abilities, presence of lyrics and of vocal accompaniment all contributed to predicting the variance of both *Number of time errors* (26% of the variance explained; adjusted $R^2=.26$, $F(7,278)=15.32$, $p<.001$) and *Temporal variability* (10% of the variance explained; adjusted $R^2=.10$, $F(7,303)=6.17$, $p<0.001$). Finally, only the presence of singing accompaniment seems to have a small influence on *Tempo* (4% of the variance explained; adjusted $R^2=.04$, $F(7,303)=2.87$, $p<.01$).

Thus, globally, age, musical perception abilities (especially melodic and rhythmic perception skills), presence of an accompaniment, gender, and to a smaller extent, presence of lyrics, partly predict melodic singing performance variables. On the other hand, the rhythmic variables are generally influenced by the rhythmic perception skills, the presence of lyrics and of accompaniment. In the following sections, we will take a closer look at the impact of these determinant factors. Since the development of singing abilities is the present study's main focus, the impact of age will be addressed throughout each section.

Gender

In the multiple regression analyses, gender was identified as having an influence on the variance of *Number of interval errors* and *Interval deviations*, girls tending to perform better than boys. Indeed, girls made 9.70 (SD: 5.83) interval errors, and their pitch interval deviations were, on average, .89 semitones (SD: .40), while boys made 12.02 (SD: 4.26) errors and the size of their pitch interval errors was, on average, 1.16 semitones (SD: .32).

These results allow us to investigate the evolution of the impact of gender throughout the age groups, by correlating age and both melodic variables, for both genders separately. These correlations were compared between genders with a Fisher r-to-z transformation.

For the girls, the correlations between age and *Number of pitch interval errors* ($r=-.51$, $p<.01$) as well as *Interval deviations* ($r=-.48$, $p<.01$) are significant. For the boys, age is also significantly correlated with *Number of pitch interval errors* ($r=-.48$, $p<.05$) and *Interval deviations* ($r=-.41$, $p<.05$). In other words, for both genders, both measures of melodic singing performance improve over time. There is no significant difference between the correlation coefficients for boys and girls on both variables ($ps>.05$), meaning that melodic singing skills develop at similar rates for boys and girls over time, although overall, girls perform better than boys.

Perception abilities

Another factor that was identified as having an impact on the production measures, was the musical perception abilities. Indeed, in the multiple regression analyses, melodic and rhythmic perception abilities explained some of the variance of melodic and rhythmic performance variables (number of contour, interval and time errors, as well as temporal variability). In order to know if this relationship between perception and production variables evolves throughout the development, the sample was separated into two groups: the young (6, 7, 8 year olds) and the old (10 and 11 year olds). The 9 year-old age group was discarded from this analysis because the N was different from the other groups'. The previously mentioned variables (averaged through the four experimental conditions) were correlated with perception abilities, in both age groups separately. The only variable presenting significant correlations

with melodic perception abilities, for both the young and the old group, was *Number of interval errors* (young: $r=-.50$, $p<.05$; old: $r=-.37$, $p<.05$). The correlations were similar between the groups (Fisher r-to-z transformation; $ps>.05$), which suggests that the relationship between perception and production evolves at a stable rate over time. The other singing performance variables (*Number of contour errors*, *Number of time errors*, *Temporal variability*) were not significantly correlated with the melodic and rhythmic perception skills, neither in the young nor the old group (all $ps>.05$).

In short, the relationship between perception and production variables seems to be more manifest when looking at the results of all age groups pooled together. This could be attributable to differences in statistical power (i.e. greater N for the multiple regression analyses). It was thus decided to explore the pooled data further by correlating the singing production variables (i.e. *Number of contour errors*, *Number of pitch interval errors*, *Interval deviations*, *Number of time errors* and *Temporal variability*) with the MBEMA global score. All of the melodic singing production variables were significantly correlated to the global perception score ($r=-.43$, $p<0.001$; $r=-.44$, $p<0.001$; $r=-.42$, $p<0.001$ for *Number of contour errors*, *Number of pitch interval errors* and *Interval deviations* respectively). *Number of time errors* was also correlated to the MBEMA global score ($r=-.25$ $p<.05$), but not *Temporal variability* ($r= -.21$, $p>.05$).

Interesting observations were made when looking at the individual data. Indeed, one 8 year-old child achieved a very good global score on the MBEMA (96.57%; norms for the age group: $79.6\% \pm 6.6$, Peretz et al. 2013) but very poor results on the melodic production measures (e.g.: *Number of interval errors*: $M = 21.00$; average for this age group: 12.21 ± 5.38). The opposite profile, although less pronounced, was also observed. Indeed, another 8

year-old child showed very good vocal performances (e.g.: *Number of interval errors*: $M = 4.25$; average for this age group: 12.21 ± 5.38) but a below-average MBEMA global score (73.33%; norms for this age group: $79.6\% \pm 6.6$). Therefore, even though globally, perception abilities are clearly correlated with production abilities, there are some rare cases in which they are relatively independent.

Presence of lyrics

The multiple regressions analyses suggest that the presence of lyrics has an impact on some of the performance variables (i.e. *Interval deviations*, *Number of time errors* and *Temporal variability*). Indeed, children's productions comprised larger pitch interval deviations ($M: .99$, $SD: .42$ versus $M: .93$, $SD: .41$), more time errors ($M: 3.67$, $SD: 2.01$ versus $M: 3.03$, $SD: 2.57$) and were more variable temporally ($M: .18$, $SD: .05$ versus $M: .14$, $SD: .08$) when they sang with lyrics then without, making the former a more challenging task.

In the “with lyrics” conditions, age is significantly correlated with *Interval deviations* ($r = -.44$, $p < .01$), but not with *Number of time errors* ($r = -.13$, $p > .05$), nor *Temporal variability* ($r = -.19$, $p > .05$). Similarly, in the “without lyrics” conditions, age is significantly correlated with *Interval deviations* ($r = -.37$, $p < .01$), but not with *Number of time errors* ($r = -.07$, $p > .05$), nor *Temporal variability* ($r = -.07$, $p > .05$). In short, regardless of the presence or absence of lyrics, the size of pitch interval deviations significantly decreases with age and the rhythmic variables are stable over time.

In order to know if pitch accuracy develops at a similar rate when singing with and without lyrics, the correlations between age and *Interval deviations* in the “with lyrics” and “without lyrics” conditions were compared with a Fisher r-to-z transformation. No significant

differences were found between the correlation coefficients ($p > .05$), which suggests that pitch accuracy evolves at a similar rate for singing with and without lyrics, the former being always more challenging than the latter. On the other hand, the rhythmic variables do not evolve throughout the age groups, and singing with lyrics is always more challenging than singing without.

Singing in unison versus singing alone

The multiple regressions analyses suggest an impact of the presence of an accompaniment on all the variables (i.e. *Number of contour errors*, *Number of interval errors*, *Interval deviations*, *Tempo*, *Number of time errors* and *Temporal variability*). As can be seen in Table 4, singing in unison seems to be more challenging than singing alone, following a model production.

{Insert Table 4 around here}

In order to understand better the impact of the accompaniment on children's performances through development, age was correlated with the different variables and the coefficients were compared between the "in unison" and the "after a model" conditions. As can be seen in Table 4, for all the melodic variables, singing in unison is more challenging than singing after a model production and this situation is stable over time even if, globally, these skills tend to improve with age. Tempo is slower when singing in unison and there is no correlation with age in neither conditions. For the other rhythmic variables, however,

performance improves with age in the “after a model” condition but not in the “in unison” condition.

Comparison to adult performances and prevalence

Since the present study’s main goal is to document the development of singing, the next step would be to investigate at what moment the different singing skills are mastered and reach adult-like performances. This procedure will also reveal if, as suggested by different authors, some vocal skills are mastered before others. Adults’ singing performances were thus compared to the children’s, using Tremblay-Champoux et al.’s (2011) control group of ten occasional adult singers. Their vocal performances were recorded in the laboratory in the same experimental conditions and using a methodology very similar to ours (see Tremblay-Champoux et al., 2011 for details). The models were a female and a male adult’s recorded performance (see Table 5 for the descriptions).

{Insert Table 5 around here}

The different variables were entered in oneway ANOVAS comparing the children of the different age groups to the adults, for the four different conditions separately. Bilateral Dunnett post hoc tests were used to investigate where the differences lied when the ANOVA was significant. A Bonferroni correction for multiple comparisons was applied to the significance thresholds. Table 6 presents the results for the “without lyrics, after a model” condition.

{Insert Table 6 around here}

In this condition, all variables reach the adults' level before the age of 6. Interestingly, the older children even perform better than adults for the temporal variability (for the 9 to 11 year olds) and the number of time errors (for the 11 year olds). For tempo, a difference is only found between the 8 year-old group and the adults.

Nonetheless, singing without lyrics, after a model production, is, as demonstrated earlier, the most favorable condition for children. Table 7 presents the results for the “with lyrics, after a model” condition.

{Insert Table 7 around here}

The pattern of results in this condition is relatively similar to the one described before. The adults' performance on the number of contour and interval errors is achieved before 6 and at the age of 7 respectively. Six year-old children statistically perform as well as adults, when it comes to the size of interval deviations. Once again, older children are less variable temporally (for the 7 to 11 year olds) than adults and make fewer time errors (for the 9 to 11 year olds). Tempo is similar for the children and adults. Next, Table 8 presents the results for the “with lyrics, in unison” condition.

{Insert Table 8 around here}

As in previous conditions, the rhythmic variables are mastered before the age of 6. However, in this more challenging condition (for the children that is), the children are not more proficient than the adults. Children seem to sing more slowly than adults, but this could simply be the effect of the model used. The number of contour errors reaches an adult level at the age of 7, while the number of interval errors reaches the adults' performance at the age of 9. The size of interval deviations in children has already reached that of the adults' at 6 years of age. Finally, Table 9 presents the results for the "without lyrics, in unison" condition.

{Insert Table 9 around here}

As in the previous conditions, except for the first one, contour is mastered before pitch accuracy (number of interval errors), but the adults' level of performance is reached in an older age group (i.e. 10 and 11 years old respectively). Moreover, as in the previous conditions, rhythmic variables are mastered before the age of 6.

Finally, the prevalence of poor pitch singers in the children population was estimated by identifying individuals who were out of tune by one or more semitones on average, in the easiest condition, that is "without lyrics, after a model". The sample was separated into two groups: the young (6, 7 and 8 years old) and the old (10 and 11 years old), in order to have similar Ns. The young group held a majority of poor singers (55%; 16 children out of 29), while the prevalence in the old group was 21% (6 children out of 29). The latter result is very close to the adults' in the same condition (20%; 2 participants out of 10).

Discussion

The results show that there are differences between age groups in singing proficiency, even after the age of 6. The gender, the musical perception abilities, as well as the presence of lyrics and of a vocal accompaniment all have an impact on singing productions. Both melodic and rhythmic aspects of singing are affected by these factors, in different ways throughout the age groups.

When singing a familiar song, children master contour before interval production and reach an adult level of performance before the age of 6, at least when singing alone with a single syllable, which is their easiest condition. However, when singing in unison with a single syllable, the performance becomes equivalent to that of the adults only at 10 years of age for contour and at 11 years of age for intervals. Rhythm is mastered before the age of 6, and children even outperform adults in some conditions. This finding may reflect the early acquisition of musical rhythm perception. Indeed, 7 month-old infants are able to code rhythm via body movement (Phillips-Silver & Trainor, 2005). Phillips-Silver (2009) reviewed different studies suggesting that infants can discriminate between different tempi and grouping patterns, and that they are familiar with the metrical structure of their musical culture. Because of these perceptual skills, two and a half year-old children can synchronise their movements to the beat of an auditory stimulus when interacting with a partner (Kirschner & Tomasello, 2009). Accordingly, one could legitimately hypothesize that synchronisation to beat while singing would also be achieved around the same period. Even then, the better rhythmic results in children's singing performances, as compared to the adults', remain unexplained.

This rhythmic superiority effect found in children cannot be due to the model they were imitating because the children's models were more variable temporally and included

more rhythmic errors than the adults'. Moreover, the advantage disappears in the conditions in which they have to sing in unison. A plausible hypothesis is that adults may sing more freely when singing alone and use *rubato* more than children. For instance, they might have added a *ritardendo* at the end of their production, as is customary when singing this song in social occasions, thus inducing a greater temporal variability as well as more rhythmic errors. Children may have more conservative productions, even when singing alone. Therefore, the disappearance of the children's rhythmic advantage in the « in unison » conditions would be explained by the fact that in these conditions, children, as well as adults, don't have the choice of the tempo and must follow the model's, which is stable and does not include any *rubato*.

Nonetheless, children's performances are better when singing after a model than in unison. Indeed, results on the melodic variables, both in the "with lyrics" and "without lyrics" conditions, improve progressively over the age groups, as suggested by the correlational analyses, but are always better in the "after a model" condition. This could stem from the greater cognitive demands of singing in unison versus after a model, particularly in regards to executive functions that are still developing in 6 to 11 year-old children (Best, Miller, Jones 2009; Luna, Garver, Urban, Lazar, Sweeney, 2004). Indeed, executive functions are necessary in order to divide attention between the singer's and the model's production, as well as to adapt and regulate the production consequently. The effect is expressed differently in the rhythmic variables. Rhythm improves throughout the age groups in the "after a model" conditions, as expected, but not in the "in unison" conditions. This may reflect the observation that children of all ages seem to hesitate more in the "in unison" condition, reflecting their difficulty in dividing their attention. This would induce a greater temporal variability as well as more rhythmic errors. Adults, having reached their full executive potential, are able to

divide their attention adequately and regulate their production at the same time, making the task much less challenging. We can speculate that the improvement in rhythmic performance in the “in unison” condition would occur during adolescence, after the age of 11.

As expected, children of all ages, like adults, sing better without lyrics. This is probably due to the reduced cognitive demands, especially the lighter linguistic memory load of singing with a single syllable (Berkowska & Dalla Bella, 2009a; Berkowska & Dalla Bella, 2013). When singing without lyrics, children can focus on the recovery of melodic information, allowing a more accurate production of pitch intervals and pitch directions. Memory is thus an important factor to consider. There are substantial age-related changes in memory functions during childhood and singing from memory or after a model involves not only retrieving musical information, but also motor sequences, as well as linguistic information, from long-term memory. In the present study, we measured incidental long-term memory for novel musical excerpts (with the MBEMA’s memory task) and found no significant correlations with any of the singing variables. However, the memory task entails the recognition of instrumental novel melodies. Future studies should perhaps evaluate memory for songs.

The present study could have an impact on musical education methods. For instance, even if singing songs with lyrics in a group is a pleasurable experience, it is not the best way to achieve pitch accuracy. Moreover, boys may require more attention than girls who sing more accurately across age groups. This may be due to motivation and practice differences. Boys’ perception of singing is often feminine-gendered (Warzecha, 2013). This is probably why music educators have trouble recruiting and retaining boys in choral programs (Demorest, 2000; Harrison, 2007; Mizener, 1993). Mizener (1993) found that boys were less likely to

admit that they enjoyed singing, although they stated that singing is an appropriate activity for both genders. In the context of our study, we noticed that less boys than girls volunteered to join the project. Yet, participants of both genders who spontaneously agreed to contribute to our research claimed that they enjoyed their experience, thus eliminating the possible motivation effect, and leaving the practice effect as a plausible justification for the intersex differences.

Our data also show that both music perception and production abilities progress with maturation. They seem to evolve at the same rate during elementary school years. Indeed, perceptions skills and production abilities are correlated, equally so in older and younger children. Our results are compatible with the sensorimotor loop model proposed by Berkowska and Dalla Bella (2009b) and Dalla Bella et al. (2011). As predicted by this model, there is a relationship between perception and production, but it does not explain all singing accuracy differences, leaving room for other contributing factors. For example, one child was identified as having very high perception skills but was unable to sing in tune. It would be interesting to have a closer look at this kind of profile, with the hypothesis of an auditory-motor mapping deficit or a motor planning weakness, in accordance with the sensorimotor loop model. The case of a child having poor results in the musical perception tests (although not being amusic) and good singing performances was also reported in this study. Similar cases have previously been described in adults (Dalla Bella et al., 2009; Hutchins & Peretz, 2013; Loui, Guenther, Mathys & Schlaug, 2008). These studies propose that even in the absence of a correct feedback from conscious music perception, one can use covert perceived musical information to plan and adjust singing production. These results suggest the existence of distinct pathways involved in pitch processing, one involving the identification of melodic

information, and the other relying on a vocal-motor code, allowing melodic imitation/production.

Our results also give an estimate of poor singing prevalence in middle-class city-dwelling children. The semitone error criterion was used to allow us to compare them to the adults. At 10-11 years old, the ratio of poor singers approximately reaches that of the adults (around 20%). However, this criterion may not be the most appropriate in identifying poor singers in children, since interval accuracy improves over the age groups. Thus, in the future, it may be more appropriate to set norms for every age group, based on a larger and more representative sample, allowing to identify the poor singers according to their age (e.g. using a two standard-deviation cut-off).

Now that the normal developmental trajectories in singing are described, abnormal singing should be explored in children populations. Future research should eventually investigate the effect of re-education programs on children who are identified as poor singers in order to test if, as musical educator often suggest, every child can benefit from an adequate training program. We suggest that a developmental disorder specific to singing production would hinder learning of singing, the child not benefitting as much from training.

Acknowledgements

This work was supported by a Grammy Foundation Grant and by the Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada. We would like to thank Sean Hutchins, Philippe Fournier and Andréane McNally-Gagnon for their insightful comments and advice.

References

- Berkowska, M., & Dalla Bella, S. (2009a). Reducing linguistic information enhances singing proficiency in occasional singers. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 108-111.
- Berkowska, M., & Dalla Bella, S. (2009b). Acquired and congenital disorders of sung performance: A review. *Advances in Cognitive Psychology*, 5, 69-83.
- Berkowska, M., & Dalla Bella, S. (2013). Uncovering phenotypes of poor-pitch singing: the Sung Performance Battery (SPB). *Frontiers in Psychology*, 4, 714.
- Best, J.R., Miller, P.H., Jones, L.L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29 (3), 180-200.
- Dalla Bella, S., Berkowska, M., & Sowinski, J. (2011). Disorders of pitch production in tone deafness. *Frontiers in Psychology*, 2, 164.
- Dalla Bella S, Giguère, J-F, and Peretz I. (2007). Singing proficiency in the general population. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121, 1182-1189.
- Dalla Bella S, Giguère J-F, and Peretz I. (2009). Singing in congenital amusia. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126 (1), 414-424.
- Demorest, S. M. (2000). Encouraging male participation in chorus. *Music Educators Journal*, 86 (4), 38-41.
- Demorest, S. M., & Clements, A. (2007). Factors influencing the pitch matching of junior high boys. *Journal of Research in Music Education*, 55, 190-203.

Dowling, W. (1999). The development of music perception and cognition. In D. Deutsch (ed), *The psychology of music, 2d ed.* (pp.603-627). San Diego, CA: Academic Press.

Gerard, C.-L. (1997). Acquisition normale du langage parlé. *Approche neuropsychologique des apprentissages chez l'enfant (ANAE)*, 9, 46-47.

Geringer, J. M. (1983). The relationship of pitch matching and pitch discrimination abilities of preschool and fourth grade students. *Journal of Research in Music Education*, 31, 93-99.

Goetze, M. (1986). Factors affecting accuracy in children's signing. (Dissertation doctoral, Université du Colorado, 1985). *Dissertation Abstracts International*, 46, 2955A.

Goetze, M. & Horii, Y. (1989). A comparison of the pitch accuracy of group and individual singing in young children. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 99, 57-73.

Green, G. A. (1987). The effect of vocal modeling on pitch-matching accuracy of children in grade one through six. *Dissertation Abstracts International*, 48, 1410A.

Green, G. A. (1994). Unison versus individual singing and elementary students' vocal pitch accuracy. *Journal of Research in Music Education*, 42 (2), 105-114.

Hannon, E.E., & Trehub, S.E. (2005). Metrical categories in infancy and adulthood. *Psychological Science*, 16, 48-55.

Harrison, S. D. (2007). A perennial problem in gendered participation in music: What's happening to the boys?. *British Journal of Music Education*, 24, 267-280.

Hutchins, S. & Peretz, I. (2012). A Frog in Your Throat or in Your Ear? Searching for the Causes of Poor Singing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141, 76-97.

Hutchins, S. & Peretz, I. (2013). Vocal pitch shift in congenital amusia (pitch deafness). *Brain and Language*, 125, 106-117.

Jones, M.R. & Pfordresher, P.Q. (1997). Tracking melodic events using Joint Accent Structure. *The Canadian Journal of Experimental Psychology*, 51, 271-291.

Kinsella, G., Prior, M. R., and Murray, G. (1988). Singing ability after right and left sided brain damage. A research note, *Cortex*, 24, 165-169.

Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102 (3), 299–314.

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.

Leighton, G. L. & Lamont, A. (2006). Exploring children's singing development: do experiences in early schooling help or hinder? *Music Education Research*, 8, 311–330.

Levinowitz, L. M. (1989). An investigation of preschool children's comparative ability to sing songs with and without words. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 100, 14-19.

Loui, P., Guenther, F.H., Mathys, C., Schlaug, G. (2008). Action-perception mismatch in tone deafness. *Current Biology*. R331-R332.

Luna, B., Garver, K. R., Urban, T. A., Lazar, NA., Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75 (5), 1357-1372.

Mignault-Goulet, G., Moreau, P., Robitaille, N. & Peretz, I. (2012). Congenital Amusia Persists in the Developing Brain after Daily Music Listening. *Plos One*, 7(5), e36860.

Mizener, C. P. (1993). Attitudes of children toward singing and choir participation and assessed singing skill. *Journal of Research in Music Education*, 41, 233–245.

Patel, R. & Grigos, M.I. (2006). Acoustic characterization of the question-statement contrast in 4, 7 and 11 year old children. *Speech Communication*, 48, 1308-1318.

Peretz, I., Gosselin, N., Nan, Y., Caron-Caplette, E., Trehub, S. & Béland, R. (2013). A novel tool for evaluating children's musical abilities across age and culture. *Frontiers in system Neuroscience*, 7.

Peretz, I. & Kolinsky, R. (1993). Boundaries of separability between melody and rhythm in music discrimination: A neuropsychological perspective. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46A, 301-325.

Pfordresher, P.Q. & Brown, S. (2007). Poor-pitch singing in the absence of "tone deafness". *Music Perception*, 25, 95-115.

Pfordresher, P. Q., Brown, S., Meier, K. M., Belyk, M., and Liotti, M. (2010). Imprecise singing is widespread. *The Journal Acoustical Society of America*, 128, 2182-2190.

Pfordresher, P. Q., & Varco, T. (2010). Altered auditory feedback effects on keyboard and singing performance. In S. M. Demorest, S. J. Morrison, & P. S. Campbell (Eds). *Proceedings of the 11th International Conference on Music Perception and Cognition* (pp. 474-477). University of Washington: Seattle, Washington.

Phillips-Silver, J. (2009). Rhythm, music and motion in body and mind. In Woitas and Hartmann, Eds, *The Internal and External Motor Activity of Strawinsky's Stage Works*, Epodium Verlag Publishers.

Phillips-Silver, J., Toiviainen, P., Gosselin, N., Piché, O., Nozaradan, S., Palmer, C. & Peretz, I. (2011). Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia*, 49, 961-969.

Phillips-Silver, J., & Trainor, L.J. (2005). Feeling the beat in music: movement influences rhythm perception in infants. *Science*, 308, 1430.

Prior, M., Kinsella, G., and Giese, J. (1990). Assessment of musical processing in brain-damaged patients: Implications for laterality of music. *Journal of Clinical and Experimental Psychology*. 12, 301-312.

Racette, A. & Peretz, I. (2007). *Learning lyrics: to sing or not to sing? Memory & Cognition*. 35(2), 242-253.

Rutkowski, J. (1990). The measurement and evaluation of children's singing voice development. *The Quarterly: Center for Research in Music Learning and Teaching*, 1 (1.2), 81-95.

Rutkowski, J. (1996). The effectiveness of individual/small group singing activities on kindergartners' use of singing voice and developmental musical aptitude. *Journal of Research in Music Education*, 44 (4), 353-368.

Sims, W. L., Moore, R. S. & Kuhn, T. L. (1982). Effect of male and female vocal stimuli, tonal pattern length, and age on vocal pitch-matching abilities of young children from England and the United-States. *Psychology of Music*, 10 (1), 104-108.

Smale M. J. (1988). An investigation of pitch accuracy of four- and five-years-old signers. (Dissertation doctorale, Université du Minnesota, 1987). *Dissertation Abstracts International*, 48, 2013A.

Tremblay-Champoux, A., Dalla Bella, S., Phillips-Silver, J., Lebrun, M-A. & Peretz, I. (2011). Singing proficiency in congenital amusia: Imitation helps. *Cognitive Neuropsychology*, 27, 463-476.

Tsang, C.D., Friendly, R.H., Trainor, L.J. (2012). Singing development as a sensorimotor interaction problem, *Psychomusicology: Music, Mind & Brain*, 21, 31-44.

Warzecha, M. (2013). Boys' Perceptions of Singing: A Review of the Literature. *Update: Applications of Research in Music Education*, 32, 43-51.

Welch, G. F. (1986). A developmental view of children's singing. *British Journal of Music Education*, 3 (3), 295-303.

Welch, G.F. (1994). The Assessment of Singing. *Psychology of Music*, 22 (1), 3-19.

Welch, G. F. (2002). Early childhood musical development. In L. Bresler & C. Thompson (Eds.), *The Arts in Children's Lives: Context, Culture and Curriculum* (pp. 113-128). Dordrecht, NL: Kluwer.

Welch, G. F., Sergeant, D. C. & White, P. J. (1996). The singing competencies of five-year-old developing singers. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 127, 155-162.

Welch, G. F., Sergeant, D. C. & White, P. J. (1997). Age, sex and vocal task factors in singing 'in tune' during the first years of schooling. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 133, 133-160.

Welch, G. F., Sergeant, D. C. & White, P. J. (1998). The role of linguistic dominance in the acquisition of a song. *Research Studies in Education*, 10, 67-74.

Wise, K. J. & Sloboda, J. A. (2008). Establishing an empirical profile of self-defined 'tone deafness': Perception, singing performance and self-assessment. *Musicae Scientiae*. 12(1). 3-26.

Zarate, J.M. (2013). Cortical mechanisms of integrating auditory feedback with vocal pitch regulation control. *Proceedings of Meetings on Acoustics*, 19, DOI: 10.1121/1.4799854.

Zatorre R.J., Baum S.R. (2012). Musical melody and speech intonation: Singing a different tune. *PLoS Biol* 10: e1001372. doi: 10.1371/journal.pbio.1001372.

TABLES

Table 1. Description of the participants.

Age	N	Gender	Handedness	Musical experience	Abbreviated MBEMA: global score M(SD)
6	9	7F, 2M	9R, 0L, 0A	6 No, 3 Yes (M: 15 months; SD: 18)	78.89 (5.95)
7	9	6F, 3M	6R, 2L, 1A	8 No, 1 Yes (M: 6 months; SD: --)	78.70 (7.81)
8	11	8F, 3M	9R, 2L, 0A	8 No, 3 Yes (M: 12 months; SD:10)	83.79 (10.62)
9	19	12F, 7M	15R, 2L, 1A 1 unknown	12 No, 6 Yes 1 unknown (M: 11 months; SD:8)	89.12 (8.86)
10	15	9F, 6M	14R, 1R, 0A	9 No, 6 Yes (M: 20 months; SD:16)	89.55 (3.91)
11	16	14F, 2M	14R, 2L, 0A	10 No, 6 Yes (M: 20 months; SD:10)	85.72 (5.87)
Total :	79	56F, 23M	67R, 9L, 2A 1 unknown	53 No, 25 Yes 1 Unknown (M: 15.64 months; SD: 12)	85.42 (8.30)

Table 2. Acoustical analysis of the models' performances.

	Girl model		Boy model	
	With lyrics	With a single syllable	With lyrics	With a single syllable
Starting pitch	248.58	256.98	247.62	256.29
Number of contour errors	0	0	0	0
Number of pitch interval errors	0	0	0	0
Pitch Interval deviations (semitones)	.26	.16	.37	.24
Temporal variability	.12	.09	.15	.06
Number of time errors	3	1	3	2
Tempo (msec)	522	476	558	479

Table 3. Influence of each predictor (Beta) on the different variables.

	Melodic variables									Rhythmic variables								
	N. of interval errors			N. of contour errors			Interval deviations			Temporal variability			N. of time errors			Tempo		
	B	SE (B)	β	B	SE (B)	β	B	SE (B)	β	B	SE (B)	β	B	SE (B)	β	B	SE (B)	β
Age	-1.33	.22	-.33**	-.76	.13	-.31**	-.07	.02	-.21**	-.00	.00	-.05	-.06	.10	-.03	.02	.01	.11
Gender	-2.84	.73	-.13**	-.70	.44	-.08	-.26	.06	-.23**	-.00	.01	-.01	.06	.33	.01	.02	-.04	.02
Musical perception																		
Melodic	-.09	.03	-.16**	-.06	.02	-.18**	-.00	.00	-.06	.00	.00	.03	.00	.01	.02	-.00	.00	-.06
Rhythmic	-.04	.04	-.07	-.05	.02	-.13**	-.00	.00	-.08	-.00	.00	-.19**	-.05	.02	-.17**	.00	.00	-.01
Memory	-.02	.03	-.04	.01	.02	.02	-.00	.00	-.01	-.00	.00	.02	-.00	.02	-.01	-.00	.00	-.03
Lyrics	-1.24	.64	-.10	-.39	.39	-.05	-.12	.05	-.12*	-.03	.01	-.20**	-.88	.29	-.16**	-.07	.04	-.11
Accompaniment	2.83	.64	.22**	1.19	.39	.15**	.21	.05	.21**	.07	.01	.45**	1.41	.29	.26**	.13	.04	.20**
Adjusted R ²		.26			.23			.18			.26			.10			.04	
F for change in R ²		19.63**			9.40**			15.93**			77.57**			23.58**			8.70**	

Table 4: Comparison of the production variables’ means (SD) for the “in unison” and “after a model” conditions (with and without lyrics averaged); Correlations between age and the production variables; Comparison of the correlation coefficients.

Variables	After model		In unison		Fisher r-to-z transformation
	Mean (SD)	r	Mean (SD)	r	<i>p</i>
Number of contour errors	3.82 (3.59)	-.49**	5.26 (3.30)	-.45**	Not significant
Number of interval errors	8.75 (5.93)	-.50**	12.08 (5.56)	-.45**	Not significant
Interval deviation	.85 (.41)	-.45**	1.08 (.43)	-.35**	Not significant
Tempo	417.87 (46.57)	-.01	546.04 (314.95)	.18	Not significant
N. of time errors	2.56 (1.96)	-.32**	4.07 (2.32)	.09	Significant**
Temporal variability	.12 (.04)	-.44**	.20 (.07)	.06	Significant**

p* < .05. *p* < .01

Table 5: Acoustical analysis of the adult models' performances.

	Female model		Male model	
	With lyrics	With a single syllable	With lyrics	With a single syllable
Starting pitch	186.01	187.60	228.39	231.45
Number of contour errors	1	0	0	0
Number of pitch interval errors	2	0	0	1
Pitch Interval deviations (semitones)	.93	.19	.27	.34
Temporal variability	.07	.06	.05	.06
Number of time errors	0	0	1	0
Tempo (msec)	498	500	499	500

Table 6. Comparison of adult’s and children’s performances in the “without lyrics, after a model” condition. Marginal means (SD).

	Significant global effect of age?	6 years old	7 years old	8 years old	9 years old	10 years old	11 years old	Adults : Occasional singers
Mean n. of contour errors (SD)	Yes (<i>p</i> <.01)	*6.78 (1.29)	*7.89 (1.29)	3.80 (1.23)	3.22 (.91)	1.57 (1.04)	1.87 (1.00)	2.20 (1.23)
Mean n. of interval errors (SD)	Yes (<i>p</i> <.01)	*12.78 (1.94)	*13.33 (1.94)	8.20 (1.84)	8.28 (1.37)	4.36 (1.56)	5.27 (1.51)	4.80 (1.84)
Mean interval deviations (semitones) (SD)	No (<i>p</i> >.05)	1.04 (.16)	1.09 (.19)	.83 (.14)	.77 (.11)	.69 (.12)	.59 (.12)	.67 (.14)
Mean temporal variability (SD)	Yes (<i>p</i> <.01)	.14 (.03)	*.11 (.04)	*.11 (.03)	**10 (.02)	**11 (.02)	**09 (.02)	.23 (.03)
Mean number of time errors (SD)	Yes (<i>p</i> <.05)	3.13 (1.08)	3.89 (1.02)	*1.40 (.97)	*2.06 (.74)	*1.86 (.82)	**1.47 (.79)	5.50 (.97)
Mean Tempo (msec) (SD)	Yes (<i>p</i> <.01)	422.10 (17.09)	444.78 (19.73)	**379.34 (15.28)	*403.98 (12.08)	*409.41 (12.92)	422.71 (12.48)	462.69 (15.28)

p* < .05. *p* < .008 (Bonferroni-corrected *p*)

Table 7. Comparison of adults' and children's performances in the "with lyrics, after a model" condition. Marginal means (SD).

	Significant effect of age?	6 years old	7 years old	8 years old	9 years old	10 years old	11 years old	Adults : Occasional singers
Mean n. of contour errors (SD)	Yes ($p < .01$)	*6.44 (1.06)	6.25 (1.12)	5.64 (.96)	3.32 (.73)	1.87 (.82)	2.47 (.82)	.70 (1.00)
Mean n. of interval errors (SD)	Yes ($p < .01$)	**14.44 (1.71)	*14.00 (1.81)	11.91 (1.55)	9.11 (1.18)	4.73 (1.32)	6.53 (1.32)	6.60 (1.62)
Mean interval deviations (semitones) (SD)	Yes ($p < .01$)	1.24 (.13)	1.19 (.13)	1.01 (.11)	.84 (.09)	.64 (.10)	.68 (.10)	.92 (1.12)
Mean temporal variability (SD)	Yes ($p < .01$)	.20 (.02)	** .14 (.03)	** .15 (.02)	** .14 (.02)	** .13 (.02)	** .10 (.02)	.26 (1.02)
Mean number of time errors (SD)	Yes ($p < .01$)	4.00 (.78)	3.13 (.82)	3.82 (.70)	**2.58 (.53)	**2.40 (.60)	**2.20 (.60)	5.70 (1.74)
Mean Tempo (msec) (SD)	No ($p > .05$)	467.89 (18.35)	419.61 (19.46)	405.21 (16.59)	408.89 (12.63)	443.11 (14.21)	429.30 (14.21)	433.29 (12.40)

* $p < .05$. ** $p < .0008$ (Bonferroni-corrected p)

Table 8. Comparison of adults’ and children’s performances in the “with lyrics, in unison” condition. Marginal means (SD).

	Significant effect of age?	6 years old	7 years old	8 years old	9 years old	10 years old	11 years old	Adults : Occasional singers
Mean n. of contour errors (SD)	Yes ($p < .01$)	**9.56 (1.15)	7.33 (1.41)	6.55 (1.04)	4.26 (.79)	4.93 (.92)	3.56 (.86)	3.00 (1.09)
Mean n. of interval errors (SD)	Yes ($p < .01$)	**18.00 (1.93)	**15.83 (2.36)	**14.64 (1.74)	11.42 (1.33)	11.71 (1.56)	8.50 (1.46)	6.50 (1.83)
Mean interval deviations (semitones) (SD)	Yes ($p < .01$)	*1.61 (.15)	1.27 (.19)	1.13 (.15)	1.08 (.11)	1.08 (.12)	.85 (.12)	.99 (.15)
Mean temporal variability (SD)	No ($p > .05$)	.20 (.02)	.21 (.03)	.23 (.02)	.21 (.02)	.21 (.02)	.23 (.02)	.21 (.02)
Mean number of time errors (SD)	No ($p > .05$)	3.56 (.87)	4.67 (1.06)	5.18 (.78)	4.21 (.60)	4.79 (.69)	4.82 (.65)	4.50 (.82)
Mean Tempo (msec) (SD)	Yes ($p < .05$)	*531.56 (8.89)	*536.83 (10.89)	*533.02 (8.44)	**533.83 (6.12)	**536.09 (7.13)	**532.69 (6.67)	498.73 (8.44)

* $p < .05$. ** $p < .008$ (Bonferroni-corrected p)

Table 9. Comparison of adults' and children's performances in the "without lyrics, in unison" condition. Marginal means (SD).

	Significant effect of age?	6 years old	7 years old	8 years old	9 years old	10 years old	11 years old	Adults : Occasional singers
Mean n. of contour errors (SD)	Yes (<i>p</i> <.01)	**7.78 (1.05)	**6.00 (1.05)	**5.67 (1.05)	**5.47 (.72)	3.92 (.87)	2.88 (.79)	.80 (1.00)
Mean n. of interval errors (SD)	Yes (<i>p</i> <.01)	**17.44 (1.63)	**12.44 (1.63)	**12.44 (1.63)	**11.53 (1.12)	**10.31 (1.35)	*8.19 (1.22)	2.50 (1.54)
Mean interval deviations (semitones) (SD)	Yes (<i>p</i> <.01)	**1.44 (.14)	**1.06 (.16)	.92 (.09)	**1.07 (.11)	**1.11 (.12)	.82 (.10)	.43 (.13)
Mean temporal variability (SD)	No (<i>p</i> >.05)	.15 (.04)	.13 (.04)	.19 (.04)	.22 (.03)	.19 (.03)	.16 (.03)	.19 (.03)
Mean number of time errors (SD)	No (<i>p</i> >.05)	3.11 (1.02)	2.00 (1.02)	4.11 (1.02)	4.58 (.71)	4.46 (.85)	3.06 (.77)	4.90 (.97)
Mean Tempo (msec) (SD)	No (<i>p</i> >.05)	483.60 (7.16)	479.09 (8.11)	480.91 (8.11)	486.28 (4.93)	497.55 (6.20)	483.87 (5.37)	491.89 (6.79)

p* < .05. *p* < .008 (Bonferroni-corrected *p*)

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. Musical notation of the birthday version (i.e. *Mon cher Michel*) of the song “*Gens du Pays*” by Vigneault & Rochon, 1976.

FIGURE

Figure 1

Mon cher Mi- chel C'est-à- ton tour de te lais - ser par - ler d'a - mour

Mon cher Mi- chel C'est-à- ton tour de te lais - ser par - ler d'a - mour

a

a'

3.2. Article II

Congenital Amusia in Childhood: A Case Study.

Marie-Andrée Lebrun^{1,2}, Patricia Moreau^{1,2}, Andréane McNally-Gagnon^{1,2}, Geneviève Mignault Goulet^{1,2}, and Isabelle Peretz^{1,2}

¹Department of psychology, Université de Montréal

²The International Laboratory for Brain Music and Sound Research (BRAMS), Université de Montréal, Pavillon 1420 Boul. Mont-Royal, CP 6128, Succ. Centre-ville, Montréal, Québec, Canada, H3C 3J7

Article publié dans: Cortex (2012) 48, 683-688

Running page heading: CONGENITAL AMUSIA IN CHILDHOOD

Corresponding author:

Isabelle Peretz

Abstract

Here we describe the first documented case of congenital amusia in childhood. AS is a 10-year-old girl who was referred to us by her choir director for persisting difficulties in singing. We tested her with the child version of the Montreal Battery for the Evaluation of Amusia (MBEA) which confirmed AS's severe problems with melodic and rhythmic discrimination and memory for melodies. The disorder appears to be limited to music since her audiometry as well as her intellectual and language skills are normal. Furthermore, the musical disorder is associated to a severe deficit in detecting small pitch changes. The electrical brain responses point to an anomaly in the early stages of auditory processing, such as reflected by an abnormal mismatch negativity (MMN) response to small pitch changes. When singing, AS's pitch production and rhythm production are also impaired, the later to a smaller extent. Thus, despite frequent and regular musical practice, AS's profile is similar to the adult form of congenital amusia.

Keywords: Congenital amusia, childhood, pitch perception deficit, pitch production deficit, case study.

1. Introduction

Congenital amusia is a disorder preventing afflicted individuals from perceiving music normally. It is currently diagnosed with the help of the Montreal Battery of Evaluation of Amusia (MBEA; Peretz et al., 2003). This battery distinguishes between people with congenital amusia and the general population by assessing the discrimination of melody, rhythm and meter, as well as incidental memory for short musical excerpts. Amusia is defined as a severe impairment in most of these tests, particularly in the discrimination of pitch variations (Peretz, 2008).

Congenital amusia may originate from a deficit in fine-grained pitch perception (Foxton et al., 2004; Hyde and Peretz, 2004; Peretz et al., 2002). For example, amusic adults cannot detect pitch changes smaller than a semitone in odd ball tasks, and show no sign of improvement with practice, as opposed to normal adults (Hyde and Peretz, 2004). In contrast, in a similar context, amusics can detect time changes as well as controls (Hyde and Peretz, 2004). The pitch discrimination deficit found in amusia can be tied to abnormal electrical brain responses, as reflected by the absence of a normal P300 (Peretz et al., 2005). Yet, amusics seem to exhibit normal early automatic brain responses, by displaying a normal mismatch negativity (MMN) even for pitch deviations of half a semitone (Moreau et al., 2009; Peretz et al., 2009). These results suggest that amusic adults' auditory cortices have developed normally and that the problem underlying the pitch deficit occurs later along the auditory pathway, as the perception of pitch differences reaches awareness.

This pitch deficit may also manifest itself in poor singing (Dalla Bella et al., 2009). Most amusics sing out of tune by making anomalously high number of pitch interval and contour errors. Rhythm seems less impaired, with more than half of the amusics singing in-time.

In sum, in adults, congenital amusia is characterized by impaired pitch discrimination abilities that may compromise music perception and production. Until now, this disorder has been documented in the adult population only. Considering that adult amusics report musical failures as far as they can remember and that a number of key musical skills are acquired before the age of six in normal development (Hannon and Trainor, 2007), one would expect to find evidence of amusia in school-age children. Here we report such a case.

2. Case History

AS is a left-handed 10-year-old girl who was referred to us by her choir director for persisting difficulties in singing. In more than 30 years of career, the choir director has never encountered such an enduring difficulty in helping a child improve her musical skills despite considerable efforts invested by both parties.

AS was evaluated at the end of fourth grade at elementary school. She is an only-child, shy tempered, whose first language is Russian; she learned French upon arrival in Quebec, Canada, at the age of six and a half. She speaks French at school but not at home.

When AS lived in Moscow, she had group music lessons in kindergarten and later, group music lessons in elementary school in Quebec. Her mother, who highly values music, used to play Mozart recordings frequently and in different situations (during meals, at bed time, etc.) as AS was growing up. Ever since they moved to Canada, AS and her mother attended numerous classical music concerts. AS attends approximately 10 to 12 concerts per year. Above all, AS has been actively involved in a choir since September 2008 (about 20 months prior to testing), which requires her to take part in two-hour practice sessions twice a week and four concerts a year.

AS was born without complications at the end of a normal pregnancy. Her weight at birth as well as the development of language and motor skills, such as walking, were normal. According to her mother, she has never contracted any serious disease and has never had any brain injury.

At school, AS performs in the normal range when compared to her classmates in English (AS=90%, group average = 79%), Mathematics (AS=79%, group average= 79%), French (AS=75%, group average= 78%), even though it is not her first language, and Arts classes (AS=80%, group average= 80%). Surprisingly, AS's results in music are also in the average range (AS=84%, average= 84%).

In the present study, we compared AS with three controls (CP, GBT, MA) matched for gender, age and schooling (see Table 1). Like AS, the matched controls took part in group music lessons at school. In addition, two of them had just started singing in extra-curricular

activities (choir rehearsals once a week for CP, and private singing lessons once a week for GBT) two months before testing. Thus, AS has more musical experience than her matched controls. The fact that AS is left-handed, while the controls are right-handed, may not account for her lower musical scores, as group studies indicate that left-handers perform better than right-handers in pitch discrimination (Deutsch , 1978; Deutsch,1980), memory for tonal sequences and timbre recognition (Byrne and Sinclair, 1979).

[Insert Table 1 about here]

3. General auditory and cognitive abilities

3.1. Audiometry

AS's hearing level is normal for her age group with thresholds below or at 20 dB HL (Cunningham and Cox., 2003; see Table 2).

[Insert Table 2 about here]

3.2. Intellectual functions

AS's intelligence score is average. Her intellectual global score is 102, as measured by the Wechsler Intelligence Scale for Children, fourth edition (WISC-IV; Wechsler, 2003), which corresponds to the 55th percentile of her age group. Her profile is homogeneous, with average perceptual (39th percentile), verbal (36th percentile), working memory (58th percentile) and processing speed abilities (27th percentile). These results might be slightly under-

estimated because AS was evaluated in her second language (French). Nevertheless, the WISC-IV results globally match her school performance.

3.3. Language

AS's language abilities are also normal. Her performance on the French version of the Expressive One-Word Picture Vocabulary Test (EOWPVT; Brownell, 2000), commonly used to evaluate expressive language in children, is average (Standard Score: 95, 37th percentile). She also completed the French version of the Peabody Picture Vocabulary Test (PPVT) - Revised (Dunn et al., 1993), which is frequently used to evaluate receptive language abilities. AS's results on this task are in the low average, with a standard score of 86 (16th percentile). Even though lower than the others, this score is not alarming since it is still in the normal range and could be explained by the normal intra-individual variability commonly found in any neuropsychological evaluation. Moreover, it is important to remember that French is a recently acquired language for AS, as she has been living in Quebec, Canada, for only three and a half years, and that she only speaks French in school. Her verbal abilities are therefore considered normal, as estimated by the WISC-IV, her average marks in French at school and her performance on the receptive and expressive language tests, all evaluated in her second language.

3.4. Attention

AS has very good attention capacities, according to her results on the French version of the Test of Every Day Attention for Children (TEA-CH) (Manly et al., 2006). She completed different tasks evaluating visual attention, auditory attention and divided attention (i.e.,

completing two tasks at the same time). Her results on these tasks were in the average range or above (*Recherche dans le ciel*, visual attention score = 55th percentile; *Coups de fusils*, auditory attention score = 100th percentile; *Faire deux choses à la fois*, divided attention = 35th percentile).

4. Musical tests: results and comments

4.1. Is AS amusic?

In order to assess AS's musical abilities, we used the reduced child version of the Montreal Battery for the Evaluation of Amusia (MBEA). Like in the adult version of the MBEA, the tasks are quite simple. Children are asked to compare a target melody to a standard melody and to decide if they are the same or different. They also have to complete a yes-no recognition task in the memory test. However, the adult version of the MBEA comprises six tests (180 trials) and takes about 1.5 hour to complete for a normal adult. This duration far exceeds the average attention capacity of a child. To make the MBEA more child-friendly, we adjusted it in two steps. In the first step, we reduced both the length of the melodies to be discriminated (mean duration: 3.5 s; mean number of notes: 7.1) and the number of trials per test (20 trials, 10 different). In a second step, we reduced the five tests (scale, contour, interval, rhythm and memory) to three tests only, assessing the discrimination of melodic changes (scale, contour and intervals) in a single melody test, rhythm discrimination and memory. This reduced version has been assessed and validated in 86 children residing in Montreal (the norms will soon be available at www.brams.umontreal.ca/plab/publications).

AS's musical perception was evaluated with the short version of the MBEA for children, involving the three tests that evaluate melody discrimination, rhythm discrimination and memory, in less than 25 minutes. The melodies have been adapted from the MBEA for adults (see Figure 1) and are presented with different timbres (Pizzicato violin, Trumpet, Marimba, Vibraphone, Flute, Guitar, Oboe, Harp, Clarinet, and Piano). The melody timbre is kept constant in a given trial. In the melody test, 10 pairs of stimuli are made of identical melodies and 10 pairs are made of slightly different melodies. When different, the second melody of the pair contains either a) a key change by modifying one note of the melody by another note that is out of key in three trials; b) a contour change by changing the pitch direction of one note while maintaining the key in four trials; and c) an interval change by changing one note while maintaining the same contour and key in three trials. The rhythm discrimination task also consists of 20 pairs of melodies, in which half of the trials contain a rhythmic modification in changing the duration values of two adjacent tones while keeping meter and number of notes unchanged. An example of stimuli is presented in Figure 1. For the two tests of melody and rhythm discrimination, the participant has to decide if the two melodies are the same or different. The third test evaluates incidental memory for music. Among the 20 stimuli of the task, 10 are novel melodies, and 10 are melodies that were presented in the first two tests. For each item of this memory task, the participant has to decide if the melody was presented before or not. The participants had to write their answers on a sheet with symbols as shown in Figure 1 (as is the case in the adult version of the MBEA). The stimuli were presented through speakers on a personal computer with the software Windows Media Player.

[Insert Figure 1 about here]

AS's performance on the MBEA is at chance (see Table 1). Her global score averaged across the three tests is 48% of correct answers (Hits, indicating the percentage of "different" responses to a different melody": 46.7%, False alarms, reflecting "different" responses to identical trials : 50%), which is clearly impaired as compared to the three control subjects (CP, GBT, and MA; Table 1). The control subjects' performance (mean: 91.3%; range: 86.7- 95) is similar to that of a group of 20 children with no established musical deficiencies (fourteen 10-year old girls and six 10-year old boys) with a global score of 89.3% (SD=3.9). On the melody discrimination test, AS's score was below those of controls (90%, range:85-95, and 86.1%, SD=9.5 for the 3 matched controls and the other 20 normal children, respectively) with 35% of correct answers (Hits: 30%, False-Alarms: 60%). On the rhythm discrimination test, AS also performed at chance level, with 50% of correct answers (Hits: 50%, False-Alarms: 50%), while the controls obtained scores of 95.0% (range:85-100), and 95.3% (SD=4.9). On the memory test, AS's score was 60% correct (Hits: 60%, False Alarms: 40%) while the matched controls and normal children obtained scores of 88.3% (range:85-90) and 86.7% (SD=7.5) respectively. Thus, compared to children of her age, AS shows a severe impairment in music discrimination and recognition.

4.2. Is the musical impairment due to poor pitch discrimination?

AS's pitch discrimination was evaluated through an oddball task similar to the one previously used with adult amusics (Hyde and Peretz, 2004). She was presented with five tone sequences and was requested to evaluate if the fourth tone differed in pitch when

compared to the other four tones. She had to press the "change" key if she detected a pitch difference and the "no change" key if she did not. Two-hundred and forty sequences were presented. Half the sequences comprised five identical repetitive tones (i.e. the standard) and half included a fourth pitch-displaced tone (by 25 or 200 cents up or down, 100 cents corresponding to one semitone). The tones were 100 msec long synthesized piano notes and the standard tone corresponded to C6 (1047Hz). Within a sequence, the inter-stimulus interval was 400 msec and a two second answer time period was allowed. In order to make sure that the participants understood the task and were comfortable with the material, they were given 10 practice trials (two standards, two 200-cent-up differences, two 200-cent-down differences, two 25-cent-up differences, and two 25-cent-down differences, in this order). If the child did not seem to understand the task, the practice trials could be repeated. Neither AS nor the controls needed more than two series of practice trials.

The results were calculated in terms of hits and false alarms. A hit was scored when the child pressed the "change" button when a change was present (either 25 or 200 cents) in the five tone sequence. A false alarm was scored when the child pressed the "change" button when no change was present. The results indicate that AS's fine-grained pitch discrimination is impaired (see Table 3). For the 25 cent pitch differences, she performed at chance level. In contrast, for the 200 cent pitch differences, her performance was normal. Thus, AS's musical difficulties seem to be associated with a deficit in fine-grained pitch discrimination, as observed in the amusic adult population (Hyde and Peretz, 2004; Peretz, Brattico, Tervaniemi, 2005).

[Insert Table 3 about here]

4.3. AS's brain responses.

AS's electrical brain responses to sounds (presented binaurally in headphones; 70 dB SPL) were recorded while she was instructed to ignore them and to watch a self-selected silent subtitled movie. Her brain responses were compared to those of five controls, 1 boy and 4 girls, of approximately the same age (mean=11.3 years). The stimuli were the same tones as used in the pitch discrimination task but, instead of being organised in five tones sequences, they were presented in a continuous sequence with a tone onset to onset interval of 500 msec, for a total of 3040 tones, with 90% of the tones being standard and 10% being pitch deviant tones (with 152 deviations of 25 cents and 152 deviations of 200 cents).

AS's electroencephalography (EEG) responses were recorded using a 66 channel cap with a Neuroscan system (Compumedics Neuroscan, El Paso, Tx) at a recording frequency of 250 Hz. After the recording session, the data were corrected for eye movement and epoched in 600 msec windows. A baseline correction with a time window of 100 msec prior to stimulus onset and an artefact rejection (-100 to 100 μ V) were conducted. As a result of the artefact rejection, for AS, 11% of the 25 cent deviant tones and 13% of the 200 cent deviant tones were rejected. In controls, 21 % of the 25 cent and 22 % of the 200 cent deviant tones were rejected, on average.

Here, we focus on the mismatch negativity (MMN) which is an event-related potential (ERP) component that usually peaks between 100 and 250 msec and that is known to reflect

pre-attentive change detection (Näätänen, 1992). As can be seen in Figure 2, a MMN is observed in AS for the 200 cent deviations but not for the 25 cent deviations, whereas a MMN can be observed for both pitch deviations in the control group. AS's MMN amplitude was $-4.1 \mu\text{V}$ with a latency of 224 msec for the 200 cent deviations, which is comparable to the MMN of the controls (with an average amplitude of $-3.9 \mu\text{V}$; range: $-2.99 \mu\text{V}$ to $-4.95 \mu\text{V}$, and a mean latency of 197 msec; range: 160 to 200 msec). For the 25 cent deviations, there was no measurable ERP in AS, whereas in the controls, the MMN amplitude was $-2.85 \mu\text{V}$ (range: $-0.40 \mu\text{V}$ to $-6.033 \mu\text{V}$) with a latency of 285 msec (range: 228 to 340 msec). Finally, the differences observed in both amplitude and latency of the MMN in controls for the 25 and 200 cent pitch distances likely reflect a difference in discriminability between the deviants and the standard (e.g., Näätänen and Picton, 1987).

[Insert Figure 2 about here]

4.4. Is singing impaired?

AS sang two songs from memory. She chose “Frère Jacques” (the French version of “Brother John”) and “Bonne Fête” (the French version of “Happy Birthday”). “Frère Jacques” is composed of 32 notes (31 intervals) and has a range of 14 semitones. “Bonne Fête” contains 26 notes (25 intervals) and its range is of one octave (12 semitones). We asked the three previously presented matched controls (CP, GBT, and MA) to sing the same two songs.

AS's and controls' productions were recorded in a quiet environment in the presence of the experimenter only. A personal computer, a Sure microphone, and the Adobe Audition 1.0

software were used to record the productions. The software Praat as well as scripts developed for another study (Hébert et al., 2008) were used for the acoustical analysis of the songs. The pitch tracking function of the software Praat was used to calculate the mean frequency of sung tones. Pitch interval and contour errors were then compiled. For the rhythm dimension, the program calculated inter-onset intervals (IOI) which allowed the identification of rhythm errors.

The self-chosen tempi were 171 beats per minute (bpm) for AS, 129 for CP, 125 for GBT and 171 for MA for the song “Frère Jacques”. AS sang “Bonne Fête” at a tempo of 111 bpm, while CP, GBT, and MA sang it at tempi of 129, 138, 108 bpm, respectively. Since AS omitted to sing the first six notes of “Bonne Fête”, these were excluded from the data analyses in all four participants. Results are averaged across the two songs.

[Insert Table 4 about here]

4.4.1. Pitch. As no starting pitch was imposed to the participants, their singing was analysed in a relative way by measuring intervals instead of absolute pitch heights. Sung intervals were compared to target intervals as prescribed by the musical notation of the songs. An interval was considered as erroneous when its size was one semitone larger or smaller than the target interval (as in Dalla Bella et al., 2007). The number of interval errors was compiled. In addition, in order to examine if the interval errors were in- or out-of-key, the mean frequencies of the produced tones calculated via the software Praat (as in Hébert et al., 2008) were approximated to the closest notes of the chromatic scale. The sung melody’s key was

then inferred from the starting pitch and each erroneous note (i.e. presenting an interval error) was evaluated as being part of the corresponding key or not (as in Dalla Bella et al., 2009). Finally, the average size of the interval deviations (i.e. the average distance between the sung and the target interval in semitones) was also calculated.

Out of the 50 pitch intervals sung, AS made 20 interval errors whereas CP, GBT, and MA made respectively 14, 1, and 11 errors. The number of out-of-key interval errors made by AS is comparable to the controls' (Table 4). AS also produced larger pitch deviations than the controls, with an average of 1.5 semitones as compared to .6 for the controls (d of Cohen=.86, Effect size = .4). When examining deviations as a function of interval size (intervals of 0, 2, 3, 4, 5, 7, 8 and 12 semitones), we noted that AS is more impaired on large than on small pitch intervals. There was a significant correlation between the size of the target interval and the size of the pitch deviation for AS ($r=.90$; $p<.01$), but not for the controls ($r=.32$, $n.s.$). Thus, AS seems more affected than controls by the size of the target interval.

4.4.2. Contour. Pitch direction was considered as ascending or descending when the interval was larger than one semitone. A contour error was counted when the produced and the target interval direction differed. AS did not make more contour errors than the controls. She produced 3 contour errors whereas CP, GBT and MA made 1, 0 and 3 errors, respectively. Thus, AS's contour production is normal.

4.4.3. Rhythm. A time error was computed when the sung note's duration was 25% longer or shorter than its predicted value as prescribed by musical notation. The number of

time errors was calculated. Furthermore, temporal variability (coefficient of variation of the quarter-note inter-onset intervals) was estimated by calculating the quarter notes inter-onset-intervals (IOIs) and dividing the standard deviation by the mean IOI for each song, thus eliminating the confounding effect of tempo variability among the participants and songs (as in Dalla Bella et al., 2009).

Overall, AS made 6 time errors, whereas CP, GBT and MA made 0, 3 and 3 errors, respectively. AS's performance on "Bonne Fête" was as good as that of the controls, with only 1 time error (CP=0; GBT=1; MA=1 time errors). Nevertheless, for "Frère Jacques", AS performed more poorly than the controls, with 5 time errors (CP=0; GBT=2; MA=2 time errors). Furthermore, AS's production of "Frère Jacques" was slightly more variable than the controls', with an index of .23 versus .16, .15 and .16, for CP, GBT and MA respectively. For "Bonne Fête", AS's temporal variability was similar to that of the controls with an index of .15 (.14, .18 and .14 for CP, GBT and MA respectively). Thus, AS's rhythm production seems to be slightly affected as compared to the controls, but not nearly as much as pitch production.

5. General Discussion

AS's case study suggests that congenital amusia can be observed in childhood and presents itself in a very similar manner as in amusic adults. AS has severe problems in perceiving, memorizing, and producing music. Since the child has normal audiometric results and does not have any cognitive or language impairment, the deficit seems to be isolated and specific to music. In addition, her amusic profile cannot be explained by lack of exposure or

motivation since she was raised in a musically enriched environment and had regular extra-curricular choir practice sessions.

Like in the adult form of amusia, AS exhibits a deficit in fine-grained pitch perception. This deficit may account for the abnormal development of her musical competences considering her age (Peretz, 2008). AS's electrical brain responses also point to an anomaly in detecting small pitch deviations. AS did not display a normal MMN for the 25 cent pitch deviations but did so for the 200 cent deviations. These results suggest that, unlike adults, AS's brain fails to respond to the fine-grained pitch variations which may reflect a delay in maturation of the auditory cortex. Thus, the present ERP results suggest a possible difference between the presentation of AS' amusic profile and the established phenotype of amusic adults.

When singing, AS is able to maintain the general contour of the song, without being able to sing its precise intervals. This preserved ability to sing pitch directions associated to impaired discrimination of pitch contour, is consistent with recent studies conducted on amusic adults who were able to reproduce pitch intervals in the correct direction (but not with the correct interval size) while being unable to report whether the interval was going "up" or "down" (Loui et al., 2008; Dalla Bella et al., 2009). This dissociation suggests that some aspects of singing may be spared despite impaired perception.

In sum, AS's congenital amusia is fully expressed and is similar to its adult form despite extensive musical training. In order to address the putative contribution of musical lessons on

amusia manifestation, one needs to train a cohort of children at risk of developing congenital amusia. The problem with the recruitment of potentially amusic children is that these cases go unnoticed or are extremely rare. It is worth emphasizing here that AS was diagnosed by a music teacher and later confirmed by objective testing. As it is unlikely that the educational system will identify further amusic children in sufficient numbers, we will need to diagnose them on the basis of their scores on the MBEA (Peretz et al., 2003) or on its online version (Peretz et al., 2008). It remains to be determined if further cases of amusic children can be identified on the basis of the child version of the MBEA and if these poor-performing children will exhibit a similar profile as AS.

To conclude, the current single case study shows that congenital amusia can be uncovered in childhood. To date, AS is the only childhood case of congenital amusia, while there is a rapidly increasing number of amusic adult studies in the literature. Thus, we have as yet little understanding of the developmental trajectory of this apparently common developmental disorder. We hope that our study encourages further research aimed at delineating the profile of the childhood form of congenital amusia and at developing interventions that may improve these children's musical skills.

Acknowledgements

This work was supported by grants from the Canadian Institutes of Health Research and a Canada Research Chair, and by a Grammy Foundation Grant. We would like to thank Mihaela Felezeu for her help with the analysis of the electrical brain responses, and Stéphanie Villeneuve, who created the stimuli for the short version of the MBEA for children.

References

- Ayotte J, Peretz I, and Hyde K. Congenital amusia: A group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain: A Journal of Neurology*, 125 (2): 238-251, 2002.
- Brownell R. *Expressive One-word picture Vocabulary Test (EOWVPT)*. Novato, California: Academic Therapy Publication, 2000.
- Byrne B and Sinclair J. Memory for tonal sequence and timbre: a correlation with familial handedness. *Neuropsychologia*, 17 (5): 539-542, 1979.
- Cunningham M and Cox EO. Hearing assessment in infants and children: Recommendations beyond neonatal screening. *AAP news / American Academy of Pediatrics*, 111 (2): 436-440, 2003.
- Dalla Bella S, Giguère J-F, and Peretz I. Singing proficiency in the general population. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 121 (2): 1182-1189, 2007.
- Dalla Bella S, Giguère J-F, and Peretz I. Singing in congenital amusia. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126 (1): 414-424, 2009.
- Deutsch D. Handedness and memory for tonal pitch. In Herron J (Ed.), *Neuropsychology of Lefthandedness*. Academic Press, 263-272, 1980.
- Deutsch D. Pitch memory: An advantage for the lefthanded. *Science*, 199: 559-560, 1978.
- Dunn LM, Thériault-Whalen CM, and Dunn LM. *Échelle de vocabulaire en images Peabody : Adaptation française du Peabody Picture Vocabulary Test-Revised*. Toronto : PSYCAN, 1993.
- Foxton JM, Desn, JL, Gee R, Peretz I, and Griffiths TD. Characterization of deficits in pitch perception underlying ‘tone deafness’. *Brain: A Journal of Neurology*, 127 (4): 801-810, 2004.

- Hannon EE and Trainor LJ. Music acquisition : effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*, 31 (11): 466-72, 2007.
- Hébert S, Béland R, Beckett C, Cuddy LL, Peretz I, and Wolforth J. A case study of music and text dyslexia. *Music Perception*, 25 (4): 369-381, 2008.
- Hyde KL and Peretz I. Brains that are out of tune but in time. *Psychological Science*, 15 (5): 56-360, 2004.
- Loui, P, Guenther, F, Mathys, C, and Schlaug G. Action perception mismatch in tone-deafness. *Current Biology*, 18 (8): R331–R332, 2008.
- Manly T, Robertson IH, Anderson V, and Mimmo-Smith I. *Test d'Évaluation de l'Attention Chez l'Enfant*. Paris : ECPA - Editions du Centre de Psychologie Appliquée, 2006.
- Moreau P, Jolicoeur P, and Peretz I. Automatic Brain Responses to Pitch Changes in Congenital Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169: 191-194, 2009.
- Näätänen R. *Attention and Brain Function*. Hillsdale, NJ: Erlbaum, 1992.
- Peretz I. Musical Disorders: From Behavior to Genes. *Current Directions in Psychological Science*, 17 (5): 329-333, 2008.
- Näätänen R and Picton T. The N1 wave of the human electric and magnetic response to sound : A review and analysis of the component structure. *Psychophysiology*, 24 (4): 375-425, 1987.
- Peretz I, Ayotte J, Zatorre R, Mehler J, Ahad P, Penhune V, and Jutras B. Congenital amusia: A disorder of fine-grained pitch discrimination. *Neuron*, 33: 185-191, 2002.
- Peretz I, Brattico E, Järvenpää M, and Tervaniemi M. The amusic brain: in tune, out of key, and unaware. *Brain: A Journal of Neurology*, 132 (5): 1277-1286, 2009.

- Peretz I, Brattico E, and Tervaniemi M. Abnormal Electrical Brain Responses to Pitch in Congenital Amusia. *Annals of Neurology*, 58 (3): 478-482, 2005.
- Peretz I, Champod AS, and Hyde K. Varieties of musical disorders: The Montreal battery of evaluation of amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999: 58-75, 2003.
- Peretz I, Gosselin N, Tillmann B, Cuddy L, Gagnon B, Trimmer C, Paquette S, and Bouchard B. On-line identification of congenital amusia. *Music Perception*, 25 (4): 331-343, 2008.
- Wechsler D. *Wechsler Intelligence Scale for Children - Fourth Edition (WISC-IV)*. San Antonio, Texas: The Psychological Corporation, 2003.

TABLES

Table 1.

Characteristics of children and obtained scores for the child version of the MBEA (short version) for the amusic case –AS (in bold)- and her three matched controls (CP, GBT , MA), along with a further group of 20 children for comparison

	AS	CP	GBT	MA	Comparison group
Gender	F	F	F	F	14 F; 6M
Age	10	10	10	10	10
Education (grade)	4	4	4	4	4
Handedness	L	R	R	R	18R; 2L
Melody, total (/20)	7	19	17	18	17.2
Scale (/3)	0	3	2	2	
Contour (/4)	2	4	4	4	
Intervals (/3)	1	2	2	2	
Rhythm (/20)	10	20	20	17	19.0
Memory (/20)	12	18	18	17	17.4
Composite score (/60)	29	57	55	52	53.4

Table 2.

AS' thresholds in audiometry for each ear and frequency

	Left ear	Right ear
	(dB HL)	(dB HL)
.5 KHz	10	10
1 KHz	5	0
2 KHz	0	0
3 KHz	5	0
4 KHz	0	0
6 KHz	20	10
8 KHz	20	5

Table 3.

Percentages of hits and false alarms (F.A.) in the detection of 25 and 200 cent changes in the amusic case –AS (in bold) and her three matched controls (CP, GBT, MA)

		AS	CP	GBT	MA
25 cents	Hits	13.3%	100%	100.0%	98.4%
	F.A.	6.7%	7.5%	1.7%	2.5%
200 cents	Hits	96.7%	98.33%	100.0%	98,3%
	F.A.	6.7%	7.5%	1.7%	2.5%

Table 4.

Acoustical analysis of singing in the amusic case –AS (in bold)- and her three matched controls (CP, GBT, MA)

	AS	CP	GBT	MA
Number of Interval Errors	20	14	1	11
Number of out-of -key errors	9	3	1	8
Interval Deviation (semitones)	1.5	.6	.3	.8
Number of Contour Errors	3	1	0	3
Number of Time Errors	6	0	3	3
Time Deviations (%)	14.2%	9.6%	12.3%	9.5%
Temporal Variability index	.19	.15	.17	.15

FIGURE CAPTIONS

Figure 1. Example of a stimulus used in the child version of the Montreal Battery for the Evaluation of Amusia. The original stimulus is presented in A, its scale alternate in B, its contour alternate in C, its interval alternate in D, and its rhythm alternate in E. Asterisks indicate the changed note. The symbols provided on the response sheet are presented on the right.

Figure 2. MMN subtracted waveforms (deviant minus standard) recorded at Fz for the amusic case –AS- and five matched controls.

FIGURES

Figure 1.

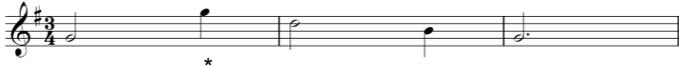
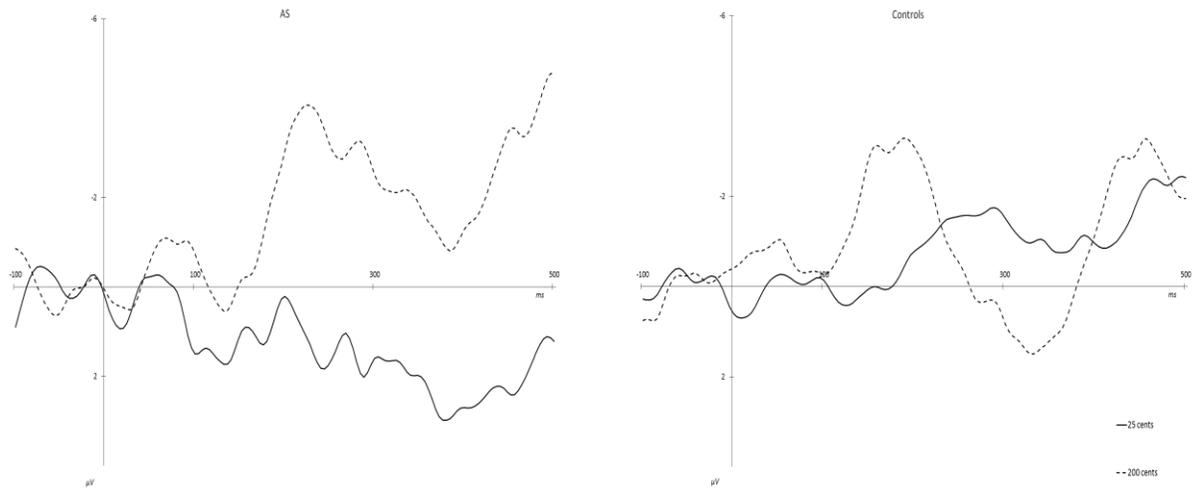
	Stimuli	Response choice
(A)		
(B)		
(C)		
(D)		
(E)		

Figure 2.



4. Discussion

4.1. Discussion générale

Les objectifs de cette thèse étaient d'étudier le développement du chant chez l'enfant issu de la population générale et de décrire le profil d'un enfant atteint d'amusie congénitale en termes de perception musicale et de production du chant.

Ainsi, une étude sur chant des enfants de 6 à 11 ans a d'abord été présentée (section 3). Celle-ci a établi que différentes caractéristiques du chant s'améliorent encore après l'âge de 6 ans. En fait, alors que la production rythmique dans le chant est maîtrisée avant cet âge, les résultats aux différentes mesures mélodiques montrent que la qualité du chant des enfants rejoint celle des adultes au plus tard à 11 ans. En fait l'âge auquel le niveau de performance des enfants atteint celui des adultes varie selon les conditions examinées. Il a été démontré que les caractéristiques personnelles (âge, genre, perception musicale) des participants et les caractéristiques de la tâche (présence de paroles et d'un co-chanteur) ont une influence sur le chant des enfants du primaire et ce, à des degrés différents selon les groupes d'âge.

La seconde étude présentée dans cette thèse décrit pour la première fois, le profil d'une enfant de 10 ans atteinte d'amusie congénitale. La jeune fille montre clairement des déficits sur le plan de la perception musicale et des fines différences de hauteurs. Son chant est également affecté par le trouble. Globalement, les résultats permettent de conclure que l'amusie congénitale chez cette enfant se présente, en plusieurs points, de façon similaire à l'amusie congénitale chez l'adulte.

Les résultats de ces recherches seront discutés plus en détails dans les pages qui suivent. Les limites de chacune des études seront établies et des suggestions pour les recherches à venir seront offertes afin de pousser davantage notre compréhension des questions abordées dans cette thèse.

4.2. Le chant de l'enfant de la population générale

Tel que suggéré par plusieurs auteurs issus du domaine de l'éducation musicale (Fyk, 1985; Goetze, 1986; Goetze and Horii, 1989; Green, 1994; Mang, 2006; Welch, 1986), les aptitudes des enfants pour le chant poursuivent leur développement après l'âge de 6 ans. De manière intéressante, les résultats obtenus lors de la première étude présenté dans ce manuscrit corroborent en partie le modèle de Welch (1986/2002) présenté plus tôt, puisque le rythme, de même que les contours (ou le profil global des mélodies) sont généralement maîtrisés plus tôt que les intervalles. De plus, tel que prédit, la nature de la tâche et les caractéristiques personnelles des participants ont des impacts importants sur les résultats.

4.2.1. L'influence de la tâche

En ce qui a trait à la maîtrise des aspects mélodiques du chant, le moment auquel les résultats des enfants rejoignent ceux des adultes varie en fonction des exigences de la tâche. Ainsi, lorsque celle-ci n'implique pas de chanter à l'unisson, les enfants de 7 ans et plus chantent aussi bien que les adultes. Par contre, quand la tâche demande de chanter avec un modèle, les enfants rejoignent les adultes plus tard : 9 ans pour la condition « avec paroles, à l'unisson » et après 10 ans pour la condition « sans paroles, à l'unisson ».

Par ailleurs, de manière générale, le rythme dans le chant est maîtrisé très tôt, certainement avant 6 ans, reflétant peut-être le fait que la perception du rythme et de la métrique établit ses bases très tôt dans le développement (voir Bergeson and Trehub, 2006; Hannon and Trehub, 2005; Trehub and Hannon, 2009 ; Winkler, Háden, Ladinig, Sziller, & Honing, 2009). D'ailleurs, Winkler et collaborateurs (2009) ont montré que même les nouveau-nés présentent des attentes lorsqu'ils sont en présence de cycles rythmiques répétitifs. En effet, chez les nourrissons, une violation rythmique au sein de cycles répétitifs est détectée au niveau cérébral. En outre, Phillips-Silver (2009) rapporte les résultats d'études qui ont démontré que les bébés de moins d'un an peuvent faire la différence entre différents tempi et différents patterns de regroupements temporels. De plus, dès 7 mois, les bébés sont en mesure d'encoder un pattern rythmique par le biais du mouvement sur des pulsations (Phillips-Silver & Trainor, 2005). Un peu plus tard, soit dès 2 ans et demi, les enfants arrivent à synchroniser leurs mouvements en rythme, avec un partenaire, en suivant un stimulus auditif (Kirschner & Tomasello, 2009). En se basant sur ces informations, il est possible de supposer que les enfants pourraient aussi synchroniser leur chant environ au même âge.

Dans l'étude présentée en section 3, on remarque que les enfants obtiennent même des performances rythmiques supérieures à celles des adultes lorsqu'ils ne doivent pas chanter à l'unisson. Toutefois, il est possible que cette situation soit simplement due au fait que les adultes s'accordent peut-être plus de liberté lors du chant par imitation (après un modèle), ajoutant à la fin de leur production un ralentissement de tempo (*ritardendo*) induisant une plus grande variabilité temporelle et le calcul de plus nombreuses erreurs rythmiques. Les enfants, quant à eux gardent peut-être des interprétations plus conservatrices au niveau rythmique,

même lorsqu'ils ne chantent pas accompagnés. Ainsi, la disparition de l'avantage rythmique des enfants lors du chant à l'unisson pourrait s'expliquer par le fait que les adultes et les enfants sont tenus, dans ces conditions, de suivre un modèle chantant à un tempo stable et prédéterminé.

En observant l'impact de la présence d'un co-chanteur à travers les groupes d'âges des enfants, il est possible de constater que le chant à l'unisson nuit à la performance des enfants, alors que ce n'est pas le cas pour les adultes (Tremblay-Champoux et al., 2011). En effet, les erreurs mélodiques des enfants (nombre d'erreurs de contours, nombre d'erreurs d'intervalles et taille des déviations d'intervalles) sont plus importantes lors du chant à l'unisson que lors du chant par imitation et ce, de manière constante à travers les groupes d'âges. Ce phénomène pourrait être lié au fait que le chant à l'unisson implique de recourir à davantage de ressources cognitives, en particulier aux fonctions exécutives, qui sont toujours en développement chez les enfants de 6 à 11 ans (Best, Miller, Jones 2009; Luna, Garver, Urban, Lazar, Sweeney, 2004). En effet, contrairement au chant par imitation (après un modèle), chanter accompagné d'un modèle exige que l'enfant soit en mesure de contrôler son attention pour la partager adéquatement entre sa production personnelle et celle du modèle, de planifier la production des prochaines notes en conséquence, etc. En d'autres mots, l'enfant doit adapter et autoréguler sa performance en temps réel, en fonction de sa production et de celle du modèle.

Les exigences exécutives accrues semblent influencer différemment les performances rythmiques des enfants. En effet, la quantité d'erreurs de rythme et la taille des déviations temporelles demeurent stables à travers le développement lorsque les enfants chantent à

l'unisson, alors qu'elles tendent à diminuer avec l'âge lorsque les enfants chantent par imitation. Qualitativement, la stagnation des résultats liés au rythme lors du chant à l'unisson semble attribuable au fait que les enfants de tous âges tendent parfois à s'arrêter brièvement pour écouter le modèle avant de se presser pour le rattraper, ce qui peut refléter des difficultés à partager leur attention et à réguler leur performance. Ainsi, la présence d'un co-chanteur a clairement une influence négative sur la qualité des performances des enfants et le recours aux fonctions exécutives exigé par la tâche de chant à l'unisson entraîne une stagnation de l'évolution des performances rythmiques en fonction de l'âge dans cette condition.

Outre la maturation des fonctions exécutives, l'évolution d'autres ressources cognitives a peut-être aussi influencé nos résultats. Par exemple, nos données démontrent que la présence de paroles dans la chanson à produire nuit aussi à la performance et ce, pour tous les groupes d'âge. Or, produire une chanson familière avec des paroles implique de récupérer en mémoire à long terme l'information sur la mélodie à chanter et l'information concernant le texte. Chanter en utilisant la syllabe « la » réduit donc la demande cognitive, particulièrement en ce qui a trait à la mémoire linguistique, et permet aux enfants de se concentrer sur la mélodie à produire. Les résultats obtenus ici corroborent ceux obtenus au chez les enfants de maternelle, première et troisième année par Goetze (1986), et rejoint les résultats rapportés chez les adultes de la population générale (Berkowska & Dalla Bella, 2009b; Berkowska & Dalla Bella, 2013). Dans le cadre de futures recherches, il serait intéressant de vérifier le lien entre la maturation de la mémoire linguistique et l'amélioration des performances dans les conditions de chant avec paroles à travers les différents groupes d'âge.

Ainsi, tel que nous venons de le voir, la nature de la tâche peut avoir des répercussions sur la performance des enfants. En effet, la présence d'un modèle à des fins d'accompagnement, de même que la présence de paroles, nuisent aux performances des enfants. Cette réalité devrait idéalement être prise en compte lors des futures recherches sur le chant, lors des tentatives de rééducation, et dans la pratique quotidienne des professeurs œuvrant dans le domaine de l'éducation musicale.

La plupart du temps, les enfants comme les adultes apprennent l'air et les paroles de nouvelles chansons en même temps. Par ailleurs, l'enseignement du chant en groupe, plus courant, est certainement une approche plus motivante et moins coûteuse que l'enseignement individuel. Il est donc paradoxal de constater qu'il est plus difficile de chanter dans ces conditions. Si l'atteinte du potentiel maximal de l'enfant est visée, ces techniques ne sont pas les plus appropriées. Le chant individuel de mélodies dépourvues de paroles est sans contredit la meilleure façon d'accéder aux pleines capacités vocales des enfants.

4.2.2. Les caractéristiques personnelles

Les recherches effectuées jusqu'ici permettent de croire qu'à partir de 6 ans, les enfants possèdent les ressources cognitives nécessaires au traitement des contours, des intervalles, des règles associées aux gammes dans lesquelles les airs sont présentés et des informations rythmiques contenues dans la musique (Hannon & Trainor, 2007; Trehub & Hannon, 2006; Stalinski & Schellenberg, 2012). Toutefois, certaines études (Faucourt et al., 2013; Peretz et al., 2013) ont montré que la perception musicale continue à se développer et à se raffiner après cet âge. Parallèlement à cette constatation, l'étude sur le chant des enfants issus de la

population générale présentée dans ce manuscrit montre que le chant des enfants poursuit lui aussi son évolution après 6 ans et établit un lien entre les capacités de perception et de production musicale. En effet, le score global obtenu à la MBEMA réduite est significativement corrélé aux variables qui qualifient les aspects mélodiques du chant. Par ailleurs, la perception mélodique est généralement associée aux aspects mélodiques du chant tels que la maîtrise des intervalles et des contours, alors que la perception rythmique est surtout liée aux aspects temporels du chant. La perception musicale et le chant semblent en outre se développer à des vitesses semblables et, contrairement aux hypothèses émises par Demorest & Clemens (2007) qui croyaient que le lien entre perception et production pourrait être plus important chez les enfants plus âgés, la corrélation entre les deux ne varie pas significativement en fonction de l'âge des enfants.

Ces résultats sont compatibles avec le modèle dans Berkowska & Dalla Bella (2009a; 2013) qui évoque l'importance d'une perception adéquate du feedback de sa propre voix pour ajuster sa production. Notons toutefois que Dalla Bella et al. (2009a), Loui et al. (2008), de même que Hutchins & Peretz (2013) ont démontré que la perception consciente, telle qu'évaluée par la MBEMA, par exemple, n'est pas toujours liée à la qualité du chant. Certains de nos résultats vont d'ailleurs dans ce sens. En effet, au sein de l'échantillon des enfants testés, deux participants ont été identifiés comme présentant une dissociation entre leurs habilités de perception musicales et leurs aptitudes en chant.

Le premier de ces enfants avait obtenu d'excellents résultats au test de perception musicale (2,5 ÉT au-dessus de la moyenne de son groupe d'âge), alors qu'il n'arrivait pas à

chanter juste (nombre d'erreurs d'intervalles : 1,6 ÉT au-dessus de la moyenne pour l'âge). Dans le cadre du modèle théorique de Berkowska et Dalla Bella (2009a et 2013), cette situation pourrait s'expliquer par un problème de « mapping » auditivo-moteur (association entre le son à produire et le mouvement à effectuer) ou une faiblesse sur le plan de la planification motrice (poussée de l'air, contrôle des muscles du larynx, etc).

Le second enfant présentant une dissociation entre perception et production avait obtenu des résultats plutôt faibles au test de perception musicale (1 ÉT sous la moyenne pour son âge) et avait produit des performances vocales étonnamment justes (nombre d'erreurs d'intervalles : 1.5 ÉT au-dessous de la moyenne pour l'âge). Ainsi, cet enfant, qui semble moins bien percevoir l'information musicale contenue dans la MBEMA, est peut-être toutefois en mesure d'accéder, lors de la pratique du chant, à certaines données lui permettant de produire une performance adéquate. Ce résultat contre-intuitif suggère qu'il est probablement possible pour l'enfant, comme pour l'adulte (Dalla Bella et al., 2009; Hutchins & Peretz, 2013; Loui, Guenther, Mathys & Schlaug, 2008), d'avoir accès à certaines informations musicales lui permettant de produire un chant correct, malgré des difficultés de perception musicale explicites.

Ainsi, la perception semble avoir, de manière générale, une influence sur la qualité du chant. Toutefois, le lien entre perception et production est complexe. En effet, il semble que l'information musicale puisse être traitée de manière non explicite afin de favoriser la production vocale. Par ailleurs, différentes étapes intermédiaires sont impliquées entre le moment où l'information musicale est perçue et le moment où la note est produite. Par

conséquent, la qualité du chant peut être entravée par le dysfonctionnement des différents mécanismes en jeu dans le processus.

En plus des aptitudes reliées à la perception musicale, d'autres caractéristiques intrinsèques peuvent avoir un impact sur la performance du chanteur. Notre étude a permis de démontrer que le genre de l'enfant, par exemple, a un lien avec la qualité de la performance. Dans notre culture occidentale le chant est souvent perçu, entre autres par les garçons (Warzecha, 2013), comme étant une activité plutôt féminine. D'ailleurs, les chorales et les cours de chant sont généralement composés de beaucoup plus de membres féminins, les garçons étant plus difficiles à recruter. Parallèlement à cette constatation, il a été démontré que les filles réussissent mieux que les garçons dans la production de chansons (Welch, Sergeant & White, 1997; Leighton & Lamont, 2006). Les résultats exposés dans le premier article présenté dans cette thèse corroborent ces conclusions. Cet avantage des filles sur les garçons semble stable à travers le développement.

Dans le contexte de notre étude, davantage de filles que de garçons se sont portées volontaires pour participer à l'expérimentation. Toutefois, étant donné l'implication délibérée des enfants, nous nous assurons que tous, garçons comme filles, étaient enthousiastes à l'idée d'entreprendre l'expérience. D'ailleurs, tous les participants ont mentionné avoir apprécié leur collaboration à l'étude. Ainsi, la différence inter-sexe ne peut être attribuée à un manque de motivation de la part des garçons de notre échantillon. Par contre, la différence entre les genres pourrait être due à la possibilité que les garçons pratiquent moins souvent le chant à

cause de la perception générale voulant que celui-ci soit un passe-temps qui leur est moins destiné.

En fait, un questionnement demeure. Les garçons chantent-ils moins bien parce qu'ils pratiquent moins ou sont-ils moins intéressés à chanter parce qu'ils se sentent moins compétents? Cette question est difficile à élucider avec certitude, parce qu'on ne peut imposer à un groupe d'enfants sélectionnés de manière complètement aléatoire de pratiquer le chant de manière équivalente. Dans un monde idéal, on s'assurerait qu'un nombre équivalent de garçons et de filles pratique le chant pour une même durée, avec le même type de stimulation et le même niveau de motivation, depuis la naissance et durant plusieurs années afin de voir si, dans ces conditions, les filles chantent toujours mieux que les garçons lors de la production de chansons. Évidemment, cette expérimentation est impossible à réaliser. Par contre, dans un même ordre d'idées, il vaudrait la peine de vérifier comment l'attitude d'autres cultures face à l'intégration des deux sexes dans les activités impliquant le chant affecte la différence de performance entre les genres. La différence de performances entre garçons et filles serait peut-être réduite au sein de cultures où la perception du chant serait moins sexuée.

4.2.3. Limites

4.2.3.1. Méthode de recrutement

Cette étude comporte quelques limites méthodologiques méritant d'être mentionnées. En effet, le fait que les enfants n'étaient pas choisis de manière aléatoire, mais que ceux-ci se portaient volontaires pour participer à la recherche implique certains désavantages. D'abord, la raison ayant poussé les participants à collaborer est inconnue. Puisque les enfants ont été

rencontrés à l'école, leur motivation était peut-être liée à l'attrait de manquer une partie des cours ou à l'envie de faire comme leurs amis, ce qui n'apparaît pas être réellement un problème en soi. Par contre, la possibilité que les enfants ayant participé soient ceux qui ressentent une meilleure confiance en leurs talents de chanteurs représente un facteur à considérer. En effet, les jeunes que nous avons rencontrés étaient peut-être les plus doués ou du moins, les plus confiants. Si tel est le cas, une généralisation de nos résultats à toute la population surestimerait peut-être légèrement les aptitudes des enfants.

Par ailleurs, cette sélection non aléatoire a eu pour conséquence que notre échantillon comprend plus de filles que de garçons, ce qui peut teinter nos résultats concernant l'influence du genre des enfants, car nos groupes sont inégaux. De plus, comme les filles semblent avoir plus de facilité à produire une chanson, il est à nouveau possible que les résultats issus de la mise en commun des données des deux genres surestime légèrement les capacités des enfants dans la population générale, puisque nos échantillons comportent plus de filles et que celles-ci sont meilleures lors de la production de chansons.

Finalement, la participation volontaire des enfants a aussi entraîné la formation de groupes d'âges de tailles inégales. Or, lors de la comparaison des performances des enfants à celles des adultes, nous avons eu recours des analyse de type ANOVA et la présence de groupes d'âges inégaux a pu contribuer à diminuer la puissance statistique de nos analyses.

Toutefois, cette méthode de recrutement a eu pour avantage de nous assurer une bonne participation de la part des enfants et nous permet aujourd'hui de croire que les moins bonnes performances ne sont pas dues à un manque de motivation.

4.2.3.2. Méthode d'analyse

L'utilisation des analyses acoustiques pour qualifier le chant est certainement plus coûteuse en temps que le recours au jugement d'un juré. L'étude portant sur le développement du chant des enfants dans la population générale, présentée dans la section 3, comprenait 79 participants ayant chanté dans 6 conditions différentes, pour un total de 474 extraits à analyser. Le travail méticuleux que la segmentation des extraits implique fut exigeant, de très nombreuses heures y ont été investies. Toutefois, la richesse des données obtenues, de même que leur qualité objective, en valent certainement l'investissement. Tel que mentionné dans l'introduction de cette thèse, les juges ne peuvent donner que leur impression générale de la performance et il arrive qu'au sein d'un même juré, il y ait des désaccords (Jones & Pfordresher, 1997; Kinsella et al., 1988; Peretz & Kolinsky, 1993; Prior et al., 1990). Les échelles sur lesquelles les jurés doivent se baser pour apprécier les performances sont parfois sujettes à interprétation et diffèrent d'une étude à l'autre, ce qui réduit la possibilité de comparer les résultats entre les différentes recherches. Dalla Bella et al. (2007) ont aussi démontré que le jugement par les pairs ne permet pas une aussi bonne discrimination entre les performances des participants. En effet, dans cette étude effectuée auprès des adultes, le juré avait tendance à dépeindre un portrait plus homogène des aptitudes en chant dans la population générale en comparaison aux résultats des analyses par ordinateur. Ainsi, bien que l'analyse acoustique par ordinateur soit coûteuse, elle génère des résultats plus précis.

Certains rappelleront toutefois que l'appréciation du chant est quelque chose de naturel, d'humain, et que par conséquent les données précises, voire mathématiques, ne sont nullement requises pour en évaluer la qualité. Cependant, en sciences, il est nécessaires d'avoir les données les plus justes et précises possibles pour mieux comprendre les phénomènes étudiés. Par ailleurs, rien n'empêche de mettre en commun les données issues de l'analyse acoustique des performances et celles issues de l'évaluation par jugement. Cette technique permet même de mieux comprendre quelles sont les composantes du chant les plus importantes dans l'appréciation du chant.

4.2.4. Directions futures

L'impact de facteurs cognitifs importants n'a pas été explicitement examiné lors de cette étude. Pourtant, il serait intéressant de connaître l'interaction entre leur maturation et le développement de la qualité du chant chez les enfants. Par exemple, comme dans le cas du langage qui nécessite le recrutement des fonctions exécutives pour l'organisation d'un discours étoffé et pour l'argumentation plus complexe, la production du chant peut, dans différents contextes, nécessiter le recours à certaines fonctions exécutives qui deviennent matures plus tard au cours du développement. Par exemple, nos résultats suggèrent que le chant à l'unisson exige peut-être de meilleures fonctions exécutives. Il pourrait donc être approprié de s'attarder davantage à l'impact de la maturation des fonctions cognitives sur la performance chantée des enfants.

Dans un même ordre d'idées, les capacités mnésiques des enfants évoluent au fil du temps et peuvent influencer sur leurs aptitudes à chanter avec des paroles. En effet, il a été

suggéré lors d'études effectuées chez l'adulte (Berkowska et Dalla Bella, 2009b; Berkowska & Dalla Bella, 2013), que la présence de paroles nuit à la production parce qu'elle implique d'avoir recours à la mémoire des paroles en plus de la mémoire de la mélodie. Il pourrait donc être pertinent de vérifier le lien entre la mémoire verbale à long terme des enfants et leurs performances lors de la production d'une chanson familière avec des paroles.

D'autre part, il serait aussi intéressant de vérifier si, effectivement, tel que suggéré par plusieurs auteurs issus du domaine de l'éducation musicale, tous les enfants peuvent être rééduqués. Dans le cas contraire, il serait pertinent de comprendre pourquoi certains ne répondent pas aux programmes d'entraînement.

Finalement, il serait intéressant de savoir s'il existe, chez l'enfant et chez l'adulte, une forme d'amusie purement vocale, liée uniquement à la production du chant. L'amusie de perception est aujourd'hui de mieux en mieux documentée, même si jusqu'ici les recherches se sont surtout attardées à la population adulte. En outre, une étude de Phillips-Silver et al. (2011) a établi l'existence d'une amusie spécifiquement liée à la danse et la perception du rythme à l'intérieur de contextes musicaux. L'hypothèse de l'existence d'une amusie exclusivement liée au chant n'est donc pas à négliger et l'investigation de cette possibilité pourrait mener à une meilleure compréhension des processus impliqués spécifiquement dans le chant.

4.3. Amusie congénitale

4.3.1. Profil de l'enfant amusique

Au cours de cet ouvrage, le profil d'une enfant amusique fut décrit pour la première fois. Au moment où cette étude de cas fut menée, il n'existait aucune donnée sur l'amusie congénitale chez l'enfant. L'outil utilisé pour dépister l'amusie de notre jeune participante n'était pas encore validé et les normes n'étaient pas encore disponibles au public (Peretz et al. 2013). Depuis, la recherche a évolué, et il convient de remettre les résultats de cet étude de cas dans le contexte des plus récentes percées.

Rappelons qu'AS, notre jeune amusique, obtenait des résultats clairement déficitaires à la version réduite de la MBEMA, avec des performances ne dépassant pas le niveau de la chance. Ces résultats ne peuvent être attribués à un manque d'exposition à la musique ou à un quelconque déficit cognitif autre que celui du traitement musical, tel qu'expliqué dans le second article présenté dans ce manuscrit. Par ailleurs, même si les normes officielles de la MBEMA réduite ne sont disponibles que pour les enfants de 6 à 8 ans alors que la participante amusique était âgée de 10 ans, il est aisé de conclure qu'AS répond tout à fait aux critères officiels de l'amusie congénitale sur le plan de la perception musicale. En effet, ses résultats se situent toujours, tant pour les différents sous-tests que pour le score global à la MBEMA, à au moins deux écart-types sous la moyenne des résultats des enfants de 8 ans. La perception de la mélodie et du rythme, de même que la mémoire musicale (peut-être dans une moindre mesure) sont donc affectés par le trouble. Ce profil est similaire à celui retrouvé chez certains enfants

amusiques de l'étude de Mignault-Goulet et al. (2012) et chez certains adultes (Peretz et al. 2003).

Sur le plan comportemental, il fut montré qu'AS ne détecte pas les légères variations de hauteurs (25 cents), alors qu'elle arrive à discriminer les différences de hauteurs plus marquées (200 cents). Un résultat similaire a été trouvé ultérieurement dans une étude sur les effets de l'entraînement sur l'amusie congénitale chez les enfants (Mignault-Goulet et al., 2012) et précédemment chez les adultes (Hyde & Peretz, 2004). Ainsi, notre étude a permis pour la première fois de confirmer que, même chez l'enfant, l'amusie congénitale est liée un déficit de perception des fines différences de hauteurs tonales. Celui-ci est d'ailleurs probablement à la source d'un développement anormal de la perception musicale chez les personnes amusiques.

Par ailleurs, contrairement aux hypothèses proposées dans la seconde section de cette thèse, les mécanismes perceptifs précoces liés à la perception pré-attentionnelles de changement de hauteurs pourraient être affectés chez l'enfant amusique, tel que suggéré par un profil de MMN anormal chez AS. Ce résultat pourrait indiquer un délai de maturation de cette composante chez les jeunes amusiques, et refléter une trajectoire neurodéveloppementale atypique ayant des répercussions sur la maturation cérébrale des régions typiquement associées au traitement des hauteurs et de la musique. Toutefois, l'étude de Mignault-Goulet et al. (2012), effectuée auprès d'un échantillon d'enfants parfois légèrement plus âgés (entre 10 et 13 ans) ne donne pas de résultats semblables. En effet, le groupe d'enfants amusiques de cette étude montre un profil de MMN normal. La différence entre nos résultats et ceux de

Mignault-Goulet et al. (2012) pourrait être attribuable au fait que l'étude de cas unique ne reflète pas exactement les profils des enfants amusiques en général, puisque l'analyse des données ERP d'une seule personne pourrait être trop bruitée pour que le résultat soit significatif. Une explication alternative serait que la MMN mature et adopte un profil relativement normal chez les enfants amusiques un peu plus âgés (10 à 13 ans). AS n'avait peut-être pas encore atteint ce stade. De plus amples recherches effectuées auprès d'enfants amusiques plus jeunes permettraient de répondre à cette question.

Finalement, comme prévu, le chant d'AS est affecté par son déficit de perception musicale et il se caractérise par de nombreuses erreurs d'intervalles en comparaison au chant des participantes contrôles appariées. La taille des déviations d'intervalles est aussi, de façon générale, plus importante chez cette enfant amusique que chez les participantes contrôles. Toutefois, la fillette arrive à reproduire correctement les contours des mélodies, bien qu'elle soit incapable de discriminer les modifications de contours au sein des mélodies qui lui sont présentées. Ce résultat concorde avec ceux trouvés chez l'adulte par Loui et al. (2008) et corrobore l'hypothèse voulant que, malgré une perception mélodique consciente altérée certaines informations mélodiques soient pourtant traitées, pouvant ainsi permettre une relative préservation de certains aspects du chant. L'aspect rythmique du chant semble moins affecté que l'aspect mélodique, bien qu'il soit légèrement plus faible chez la jeune amusique que chez les participantes contrôles. Rappelons que dans la population infantile générale, le rythme est très bien maîtrisé et ce, très tôt dans le développement (cf. Article I présenté dans la section 3). Les difficultés rythmiques de AS, bien que légères, sont donc probablement significatives.

4.3.2. Limites

Cette étude comporte certaines limites dont il faut tenir compte afin d'en apprécier correctement les résultats. Les études de cas uniques présentent des avantages indéniables. En effet, elles permettent la description de cas relativement rares de manière approfondie. Elles accordent aussi la possibilité à l'expérimentateur de s'adapter au contexte et à la personne qui participe à l'étude, encourageant ainsi un climat de collaboration rassurant et, par conséquent, souvent garant de réponses moins teintées par l'anxiété attribuable au contexte d'évaluation. Toutefois, les études de cas uniques limitent les possibilités de généralisation à la population. Ainsi, nous devons nous garder de généraliser en bloc et trop rapidement les résultats présentés plus tôt. Ceux-ci sont certainement heuristiques et devraient motiver la poursuite de la recherche dans le domaine de l'amusie chez l'enfant.

Notons aussi qu'AS a pu choisir elle-même les chansons utilisées pour l'évaluation et ce, principalement dans le but de la rendre à l'aise. L'enfant a donc chanté les chansons de mémoire, sans accompagnement et avec les paroles. Or, l'étude présentée dans l'Article I (section 3) montre que les caractéristiques mêmes de la tâche ont une influence sur la performance des enfants. Cette influence est peut-être différente chez les enfants amusiques, en comparaison aux enfants issus de la population générale. Malheureusement, aucune information n'est encore disponible à ce sujet dans la littérature. Toutefois, il a été établi que les adultes amusiques ne sont pas influencés de la même façon que les adultes issus de la population générale en ce qui concerne le chant à l'unisson et la présence de paroles. Ainsi, comme les adultes amusiques (Tremblay-Champoux et al. 2011), et contrairement aux enfants issus de la population générale, AS aurait peut-être obtenu de meilleurs résultats si elle avait

été aidée par un accompagnement, puisque cette condition pallie légèrement les limites liées à la mémoire musicale déficiente des amusiques. D'un autre côté, la présence de paroles lui a peut-être été aidante, contrairement aux autres enfants de la population générale. En effet, les paroles permettent de compenser la faible mémoire musicale des adultes amusiques en donnant, par le biais des différentes syllabes, une indication du nombre de notes à chanter (Tremblay-Champoux et al. 2011). En bref, les résultats obtenus concernant le chant de la jeune fille sont certainement fiables et représentatifs de ses difficultés réelles. Cependant, certaines conditions l'auraient peut-être aidée davantage et auraient pu donner une meilleure idée de son potentiel maximal lorsque toutes les conditions favorables sont réunies. De plus, étant donné que l'enfant nous a été référée par son directeur de chorale, l'investigation de ses performances lors du chant à l'unisson aurait été fort intéressante puisqu'elles auraient été plus représentatives de sa réalité lors de ses activités de chant en groupe.

4.3.3. Directions futures

Dans le domaine de l'amusie congénitale chez l'enfant, presque tout reste à faire. La présentation du trouble devrait être décrite par des études longitudinales auprès de petits groupes d'enfants amusiques, afin d'étudier les trajectoires développementales associées à ce trouble. Une autre alternative serait d'entreprendre des études composées d'échantillons d'enfants amusiques issus de divers groupes d'âges, afin de voir s'il y a une évolution de la présentation du trouble selon les âges. Une attention particulière devrait être portée aux caractéristiques des enfants plus jeunes, qui sont plus susceptibles de bénéficier d'interventions précoces.

L'entreprise d'un nouveau programme de rééducation pour les enfants amusiques représenterait certainement une piste de recherche séduisante. En effet, jusqu'ici, une seule tentative a été entreprise (Mignault-Goulet et al., 2012), et celle-ci s'adressait à des enfants amusiques relativement âgés. De plus, le programme n'exigeait qu'une exposition quotidienne à la musique, sur une période de temps relativement courte. Suite à cette expérience, aucune réelle amélioration n'a été constatée chez les enfants amusiques. Il serait donc pertinent de poursuivre les recherches en mettant sur pied un programme d'entraînement qui durerait plusieurs mois, auprès d'enfants plus jeunes. Celui-ci pourrait impliquer les enfants de manière plus active, comme c'est le cas lors de l'apprentissage d'un instrument de musique, par exemple. La rééducation à la perception d'éléments plus simple que des mélodies, comme la sensibilisation à la discrimination de fines hauteurs tonales, pourrait être une autre option et pourrait se faire par le biais de jeux amusants, comme des jeux vidéo créés dans cette optique, par exemple. L'avenue de l'étude des effets de la rééducation chez les jeunes amusiques semble prometteuse puisque lors d'une étude effectuée en 2009, Hyde et al. ont constaté que des enfants de 6 ans issus de la population générale ayant reçu 15 mois de cours de clavier ont présenté des changements dans certaines régions du cortex moteur et auditif. Ceux-ci étaient corrélés à la performance des enfants à différentes tâches auditives et motrices. Ainsi, la formation musicale semble avoir des effets considérables chez les enfants issus de la population générale, particulièrement lorsqu'elle a lieu tôt dans le développement (Bailey et Penhune, 2012). Son impact chez les enfants amusiques demeure inexploré. Les modifications cérébrales et comportementales touchant les aspects autres que perceptifs se produiraient peut-être de la même façon pour eux que pour les enfants qui ne sont pas atteints du trouble de perception musicale. Par contre, il est difficile de prédire l'influence de la pratique d'un

instrument de musique sur les habilités perceptives des enfants amusiques. Il est possible que l'entraînement musical chez le jeune enfant permette de remédier au trouble en modifiant les mécanismes qui étaient défectueux à l'origine. D'un autre côté, le fonctionnement différent de leur cerveau sur le plan de la perception des fines différences de hauteur entraverait peut-être le développement des modifications cérébrales normalement entraînées par la pratique d'un instrument.

Il est reconnu que la pratique d'un instrument de musique entraîne des bénéfices indéniables. Ceux-ci sont évidemment spécifiquement liés à la perception des sons et à la musique, mais ils sont également beaucoup plus larges et touchent diverses fonctions cognitives, comme la mémoire de travail, les fonctions exécutives, la conscience phonologique et l'intelligence verbale, par exemple (voir Moreno & Bidelman, 2014 pour une revue de littérature récente). Dans un même ordre d'idées, il a d'ailleurs été établi que le fait d'être musicien est lié à des différences significatives sur le plan de la morphologie cérébrales, et que celles-ci se reflètent au niveau comportemental (Moreno, 2009; Kraus and Chandrasekaran, 2010; Herholz and Zatorre, 2012). Il serait intéressant, dans le futur, de vérifier si de jeunes musiciens amusiques peuvent tirer les mêmes avantages cognitifs plus généraux que les musiciens normaux. Malheureusement, les enfants amusiques sont moins susceptibles de développer un intérêt pour la pratique d'un instrument de musique, puisqu'ils sont souvent moins attirés vers les activités musicales de manière générale. Les participants pour ce type d'étude seraient donc rares. Une chose est certaine, dans la vie de tous les jours, il est moins probable que les amusiques bénéficient des bienfaits cognitifs plus larges dont les musiciens

profitent, tout simplement parce qu'ils s'impliquent moins fréquemment dans les activités liées à l'apprentissage de la musique.

D'autre part, l'étude du chant chez les enfants amusiques pourrait être une source très riche d'informations sur la façon dont se développent la perception consciente et pré-attentionnelle de la musique, de même que sur la façon dont la perception influence la production du chant. Encore une fois, il existe une quantité ahurissante de pistes de recherche possibles auprès la population amusique infantile. L'engagement vers ces nouvelles avenues permettra certainement d'approfondir les connaissances dans le domaine de la perception et de la production vocale et mènera sans aucun doute à des découvertes toutes plus enrichissantes les unes que les autres.

Finalement, il serait intéressant d'étudier la MMN chez des enfants amusiques plus jeunes qu'AS afin de vérifier si les anomalies rapportées dans notre étude sont anecdotiques ou s'il s'agit bel et bien d'un délai de maturation de cette composante chez les enfants amusiques.

5. Conclusion

5.1. Épilogue

La musique est indéniablement une source de plaisir pour la majorité d'entre nous. Dans toutes les cultures, le chant est intégré aux événements marquants comme les mariages, les anniversaires ou les rites funéraires. Il accompagne aussi les activités de la vie quotidienne, endormir un bébé, par exemple.

Il est indispensable d'étudier le processus de développement normal du chant afin de comprendre l'évolution des mécanismes cérébraux impliqués dans la perception et la production de la musique. Par ailleurs, mieux connaître le chant normal permet d'avoir des attentes réalistes lors de l'évaluation du chant potentiellement anormal. Il a été montré plus tôt que les habilités en chant se développent tout au long de l'enfance et que la production d'une chanson familière est influencée de différentes manières selon l'âge de l'enfant, ses caractéristiques personnelles et les particularités de la tâche à accomplir. Les processus impliqués dans le développement du chant se déroulent afin que la majorité puisse chanter adéquatement à l'âge adulte.

Pourtant, tous n'arrivent pas à chanter juste et ce, pour différentes raisons. C'est entre autres le cas de la jeune amusique décrite plus tôt. En effet, celle-ci n'est pas en mesure d'apprécier ni de reproduire une mélodie de la même façon qu'un enfant qui ne serait pas atteint de ce trouble de la perception musicale. Certains demanderont peut-être « Et alors? Pourquoi est-ce si grave? Pourquoi s'y attarder? ». Au-delà de l'intérêt des chercheurs pour la compréhension des mécanismes neuronaux impliqués dans le développement de ce trouble,

il faut penser aux impacts que celui-ci peut avoir sur la vie des enfants affectés. Par exemple, tel qu'abordé plus tôt, les jeunes amusiques, qui sont peu attirés par la pratique d'un instrument de musique, sont privés de l'accès à de nombreux bienfaits sur le plan du développement cognitif plus général. Par ailleurs, nous nous devons de comprendre les enjeux sociaux liés à la problématique. Du point de vue de l'enfant, la situation peut sans contredit sembler importante. Il peut être très intimidant pour lui de devoir chanter en public, lors des anniversaires par exemple, et très agaçant de devoir vivre avec cette musique omniprésente dans les magasins, à la télévision et dans les cours d'écoles, celle-ci n'étant souvent que du bruit à ses oreilles. Par ailleurs, les adolescents non amusiques ont presque tous un I-Pod comme accessoire indispensable. Ils s'identifient beaucoup à des styles musicaux et l'intégration aux groupes d'amis passe souvent, entre autres, par la connivence au sujet des goûts musicaux. L'adolescent amusique doit certainement se sentir différent des autres dans ce contexte.

6. Références

Ayotte, J., Peretz, I., Rousseau, I., Bard, C., & Bojanowski, M. (2000). Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery artefact. *Brain*, *123*(9), 1926-1938.

Bailey, J., and Penhune, V. B. A. (2012). Sensitive period for musical training: contributions of age of onset and cognitive abilities. *Annals of the New York Academy Sciences*, *1252*, 163–170.

Balter, M. (2004). Seeking the Key to Music. *Science*, *306*, 1120-1122.

Balaban M.T., Anderson L.M. & Wisniewski A.B. (1998). Lateral asymmetries in infant melody perception. *Developmental Psychology*, *34*, 39-48.

Bardo, M.T. (1998). Neuropharmacological mechanisms of drug reward: beyond dopamine in the nucleus accumbens. *Critical Reviews in Neurobiology*. *12*, 37–67.

Bentley, A. (1976). *Musical ability in children and its measurement*. London: G.G. Harrap & Co. Ltd.

Berkowska, M., & Dalla Bella, S. (2009a). Acquired and congenital disorders of sung performance: A review. *Advances in Cognitive Psychology*, *5*, 69-83.

Berkowska, M., & Dalla Bella, S. (2009b). Reducing linguistic information enhances singing proficiency in occasional singers. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*, 108-111.

Berkowska, M., & Dalla Bella, S. (2013). Uncovering phenotypes of poor-pitch singing: the Sung Performance Battery (SPB). *Frontiers in Psychology, 4*, 714.

Bertoncini, J., Morais, j., Bijeljac-Babic, R., McAdams, S., Peretz, I. & Mehler, J. (1989). Dichotic perception and laterality in neonates. *Brain lang, 37*, 591-605.

Bergeson, T.R., & Trehub, S.E. (2006). Infants' perception of rhythmic patterns. *Music Perception, 23*, 345–360.

Berridge, K. C. & Robinson, T. E. (1998). What is the role of dopamine in reward: hedonic impact, reward learning, or incentive salience? *Brain Reseach Review, 28*, 309–369.

Best, C. T., Hoffman, H. & Glanville, B. B. (1982). Developpement of infant ear asymetries for speech and music. *Perception and Psychophysics, 31*, 75-85.

Best, J.R., Miller, P.H., Jones, L.L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review, 29*(3), 180-200.

Blood, A.J. & Zatorre, R.J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated with reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences, 98*, 11818-11823.

Bradshaw, E. & McHenry, M. A. (2005). Pitch Discrimination and Pitch Matching Abilities of Adults who Sing Inaccurately. *Journal of Voice, 19* (3), 431-439.

Chang, H. W., & Trehub, S. E. (1977). Auditory processing of relational information by young infants. *Journal of Experimental Child Psychology, 24*, 324-331.

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). Musical enculturation in preschool children: Acquisition of key and harmonic knowledge. *Music Perception, 28*, 195-200.

Dalla Bella S, Giguère J-F, & Peretz I. (2009). Singing in congenital amusia. *The Journal of the Acoustical Society of America, 126* (1): 414-424.

Dalla Bella, S., Giguère, J-F. & Peretz, I. (2007). Singing proficiency in the general population. *Journal of The Acoustical Society of America*.

Demany, L., McKenzie, B., & Vurpillot, E. (1977). Rhythm perception in early infancy. *Nature, 266*, 718-719.

Demorest, S. M. (2000). Encouraging male participation in chorus. *Music Educators Journal*, 86(4), 38–41.

Demorest, S. M., & Clements, A. (2007). Factors influencing the pitchmatching of junior high boys. *Journal of Research in Music Education*, 55, 190-203.

Drake, C. (1998). Psychological processes involved in the temporal organization of complex auditory sequences : Universal and acquired processes. *Music Perception*, 16, 11-26.

Drake, C., & Bertrand, D. (2001). The quest for universals in temporal processing in music. *Annals of the New-York Academy of Science*, 17-27.

Fancourt, A., Dick, F., & Stewart, L. (2013). Pitch-Change Detection and Pitch-Direction Discrimination in Children. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 23 (2), 73–81.

Foxton, J.M., Dean, J.L., Gee, R., Peretz, I., Griffiths, T.D. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying tone deafness. *Brain*, 127(Pt. 4), 801–810.

Fyk, J. (1985). Vocal pitch-matching ability as a function of sound duration. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 85, 76-89.

Gardner, E. L., and Vorel, S. R. (1998). Cannabinoid transmission and reward-related events. *Neurobiology of Disease*, 5(6 Pt B), 502–533.

Geringer, J. M. (1983). The relationship of pitch matching and pitch discrimination abilities of preschool and fourth grade students. *Journal of research in Music Education*, 31, 93-99.

Goetze, M. (1986). Factors affecting accuracy in children's signing. (Dissertation doctoral, Université du Colorado, 1985). *Dissertation Abstracts International*, 46, 2955A.

Goetze, M. & Horii, Y. (1989). A comparison of the pitch accuracy of group and individual singing in young children. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 99, 57-73.

Green, G. A. (1987). The effect of vocal modeling on pitch-matching accuracy of children in grade one through six. *Dissertation Abstracts International*, 48, 1410A.

Hannon, E. E. & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition : effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences*. 31(11), 466 - 472.

Hannon, E.E., & Trehub, S.E.(2005).Metrical categories in infancy and adulthood. *Psychological Science*, 16, 48–55.

Harrison, S. D. (2007). A perennial problem in gendered participation in music: What's happening to the boys? *British Journal of Music Education*, 24, 267–280.

He, C., & Trainor, L. J. (2009). Finding the pitch of the missing fundamental in infants. *The Journal of Neuroscience*, 29, 7718-7722.

Hébert, S., Racette, A., Gagnon, L. & Peretz, I. (2003). Revisiting the dissociation between singing and speaking in expressive aphasia. *Brain*, 126(8), 1838-1850.

Herholz, S.C. & Zatorre, R.J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: behavior, function, and structure. *Neuron*, 76, 486-502.

Hutchins, S. & Peretz, I. (2012). A Frog in Your Throat or in Your Ear? Searching for the Causes of Poor Singing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141, 76-97.

Hutchins, S. & Peretz, I. (2013). Vocal pitch shift in congenital amusia (pitch deafness). *Brain and Language*, 125, 106-117.

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., Lerch, J., Zatorre, R., Griffiths, T.D., Evans, A. & Peretz, I. (2007) Cortical thickness in congenital amusia: When less is better than more. *The Journal of Neuroscience*, 27, 13028-13032.

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., Zatorre, R. & Peretz, I. (2011). Functional MRI Evidence of an Abnormal Neural Network for Pitch Processing in Congenital Amusia. *Cerebral Cortex*, *21*, 292-299.

Jeffries, K. J., Fritz, J. B. & Braun A.R. (2003). Words in melody: an H2 150 PET study of brain activation during signing and speaking. *NeuroReport*, *14* (5), 749-754.

Jensen, J. K., & Neff, D. L. (1993). Development of basic auditory discrimination in preschool children. *Psychological Science*, *4*, 104–107.

Jones, M.R. & Pfordresher, P.Q. (1997). Tracking melodic events using Joint Accent Structure. *The Canadian Journal of Experimental Psychology*, *51*, 271-291.

Kinsella, G., Prior, M. R., and Murray, G. (1988). Singing ability after right and left sided brain damage: A research note, *Cortex*, *24*, 165-169.

Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, *102* (3), 299–314.

Kraus, N., Chandrasekaran, B., 2010. Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience*, *11*, 599-605.

Leighton, G. L. & Lamont, A. (2006). Exploring children's singing development: do experiences in early schooling help or hinder? *Music Education Research*, *8*, 311–330.

Levinowitz, L. M. (1989). An investigation of preschool children's comparative capability to sing songs with and without words. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, *100*, 14-19.

Liégeois-Chauvel, C., Peretz, I., Babai, M., Laguitton, V., & Chauvel, P. (1998). Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain*, *121*, 1853-1867.

Loui, P., Alsop, D., & Schlaug, G. (2009). Tone-Deafness: a Disconnection Syndrome? *Journal of Neuroscience*, *29*(33), 10215-10220.

Loui, P., Guenther, F.H., Mathys, C., Schlaug, G. (2008). Action-perception mismatch in tone deafness. *Current Biology*. R331-R332.

Luna, B., Garver, K. R., Urban, T. A., Lazar, N.A., Sweeney, J. A. (2004). Maturation of cognitive processes from late childhood to adulthood. *Child Development*, 75(5), 1357-1372.

Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T.C., & Friederici, A.D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area : An MEG study. *Nature Neuroscience*, 4, 540-545.

Mignault-Goulet, G., Moreau, P., Robitaille, N. & Peretz, I. (2012). Congenital Amusia Persists in the Developing Brain after Daily Music Listening. *Plos One*, 7(5), e36860.

Mithen, S. (2005). *The Singing Neanderthals*. Harvard U. P., Cambridge, MA.

Mizener, C. P. (1993). Attitudes of children toward singing and choir participation and assessed singing skill. *Journal of Research in Music Education*, 41, 233–245.

Moreau, P., Jolicoeur, P. & Peretz, I. (2013). Pitch discrimination without awareness in congenital amusia: Evidence from event-related potentials. *Brain and Cognition*, 81, 337-344.

Pfordresher, P. Q., & Varco, T. (2010). Altered auditory feedback effects on keyboard and singing performance. Dans S. M. Demorest, S. J. Morrison, & P. S. Campbell (Eds.) *Proceedings of the 11th International Conference on Music Perception and Cognition* (pp. 474-477). University of Washington: Seattle, Washington.

Moreno, S. (2009). Can music influence language and cognition? *Contemporary Music*, 28, 329-345.

Moreno S. & Bidelman G.M. (2014). Examining neural plasticity and cognitive benefit through the unique lens of musical training. *Hearing Research*, 308, 84-97.

Morton, J. B., & Trehub, S. E. (2007). Children's perception of emotion in song. *Psychology of Music*, 35, 629-639.

Näätänen, R. (1992). *Attention and brain function*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Olsho, L. W. (1984). Infant frequency discrimination. *Infant Behaviour and Development*, 7, 27-35.

Ostwald, P. F. (1973). Musical behavior in early childhood. *Developpemental Medecine & Chikd Neurologie*, 15, 1546-1554.

Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information in unilateral brain-damaged patients. *Brain*, 113, 1185-1205.

Peretz, I. (1993). Auditory atonalia for melodies. *Cognitive Neuropsychology*, 10, 21-56.

- Peretz, I. (1996). Can we lose memories for music? The case of music agnosia in a nonmusician. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 8(6), 481-496.
- Peretz, I., Ayotte, J., Zatorre, R., Mehler, J., Ahad, P., Penhune, V. & Jutras, B. (2002). Congenital Amusia: A Disorder of Fine-Grained Pitch Discrimination. *Neuron*, 33, 185-191.
- Peretz, I., Brattico, E. & Tervaniemi, M. (2005). Abnormal Electrical Brain Responses to Pitch in Congenital Amusia. *Annals of Neurology*, 58, 478-482.
- 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. *American Journal of Human Genetics*, 81, 582-588.
- Peretz, I., Gagnon, L., Hébert, S. & Macoir, J. (2004). Singing in the brain: Insights from cognitive neuropsychology. *Music Perception*, 21(3), 373-390.
- Peretz, I., Gosselin, N., Nan, Y., Caron-Caplette, E., Trehub, S. & Béland, R. (2013). A novel tool for evaluating children's musical abilities across age and culture. *Frontiers in System Neuroscience*, 7.

Peretz, I. & Kolinsky, R. (1993). Boundaries of separability between melody and rhythm in music discrimination : A neuropsychological perspective. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46A, 301-325.

Peretz, I., Kolinsky, R., Tramo, M., Labrecque, R., Hublet, C., Demeurisse, G., & Belleville, S. (1994). Functional dissociations following bilateral lesions of auditory cortex. *Brain*, 117, 1283-1302.

Peretz, I. & Zatorre, R.. (2005). Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, 56, 89-114.

Pfaus, Damsma, G., Wenkstern, D., & Fibiger, H.C. (1995). Sexual activity increases dopamine transmission in the nucleus accumbens and striatum of female rats. *Brain Research*, 693, 21-30.

Pfordresher, P. Q., Brown, S. (2007). Poor-pitch singing in the absence of “tone-deafness”. *Music Perception*. 25(2), 95-115.

Phillips-Silver, J. (2009). Rhythm, music and motion in body and mind. In Woitas and Hartmann, Eds, *The Internal and External Motor Activity of Strawinsky's Stage Works*, Epodium Verlag Publishers.

Phillips-Silver, J., Toiviainen, P., Gosselin, N., Piché, O., Nozaradan, S., Palmer, C. & Peretz, I. (2011). Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia*, 49, 961-969.

Phillips-Silver, J., & Trainor, L.J. (2005). Feeling the beat in music: movement influences rhythm perception in infants. *Science*, 308, 1430.

Piccirilli M., Sciarra T. & Luzzi S. (2000). Modularity of music: evidence from a case of pure amusia. *Journal of Neurology, Neurosurgery, & Psychiatry*, 69, 541-545.

Prior, M., Kinsella, G., and Giese, J. (1990). Assessment of musical processing in brain-damaged patients: Implications for laterality of music. *Journal of Clinical and Experimental Psychology*. 12, 301-312.

Provost, M. (2011). The prevalence of congenital amusia (dissertation). University of Montreal, Canada.

Racette, A. & Peretz, I. (2007). Learning lyrics: to sing or not to sing? *Memory & Cognition*. 35(2), 242-253.

Schellenberg, G.E. and Trehub, S.E. (2003). Good pitch memory is widespread. *Psychological Science*, 14(3), 262-266.

Serafine, M. L., Crowder, R. G. & Repp, B. H. (1984). Integration of melody and text in memory of songs. *Cognition*, 16, 285-303.

Sims, W. L. (1990). Characteristics of young children's music concept discrimination. *Psychomusicologie*, 9, 79-88.

Sims, W. L. (1991). Effects of instruction and task format on preschool children's music concept discrimination. *Journal of Research in Music education*, 39, 298-310.

Sims, W. L., Moore, R. S. & Kuhn, T. L. (1982). Effect of male and female vocal stimuli, tonal pattern length, and age on vocal pitch-matching abilities of young children from England and the United-States. *Psychology of Music*, 10 (1), 104-108.

Sinor, E. (1985). The singing of selected tonal patterns by preschool children (Doctoral dissertation, Indiana University, Bloomington, 1984). *Dissertation Abstracts International*, 45, 3299A.

Schilstrom, B., Svensson, H. M., Svensson, T. H. & Nomikos, G. G. (1998). Nicotine and food induced dopamine release in the nucleus accumbens of the rat : putative role of alpha7 nicotinic receptors in the ventral tegmental area. *Neuroscience*, 85, 1005-1009.

Sloboda, J. A. & O’Niell, S.A. (2001). Emotions in everyday listening to music. Dans P. N. Juslin and J. A. Sloboda (eds). *Music and Emotions: Theory and research. Series in Affective Science* (pp.415-429). London, UK: Oxford University Press.

Smale, M. J. (1988). An investigation of pitch accuracy of four- and five-years-old signers. (Dissertation doctorale, Université du Minnesota, 1987). *Dissertation Abstracts International*, 48, 2013A.

Small, D. M., Zatorre, R. J., Dagher, A., Evans, A. C. & Jones-Gotman, M. (2001). Changes in brain activity related to eating chocolate: from pleasure to aversion. *Brain*, 124, 1720–1733.

Stalinski, S. M., and Schellenberg, E.G. (2012). Music cognition: a developmental perspective. *Topics in Cognitive Science*. 4, 485-497.

Stewart, L., Von Kriegstein, K., Warren, J.D., & Griffiths, T.D. (2006). Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain*, 129 (10), 2533-2553.

Sundberg, J. Bauer-Huppmann, J. (2007). When Does a Sung Tone Start? *Journal of Voice*, 21(3), 285-293.

Thompson, N. C., Cranford, J. L., & Hoyer, E. (1999). Brief-tone frequency discrimination by children. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 42, 1061–1068.

Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha J.J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Brain research. Cognitive brain research*, 16, 145-161.

Tramo, M. J. Bharucha J. J. & Musiek F. E. (1990). Music perception and cognition following bilateral lesions of auditory cortex. *Journal of Cognitive Neurosciences*, 2 (3), 195-212.

Trainor, L. J., Wu, L., & Tsang, C. D. (2004). Long-term memory for music: Infants remember tempo and timbre. *Developmental Science*, 7, 289-296.

Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1994). Key membership and implied harmony in Western tonal music: Developmental perspectives. *Perception & Psychophysics*, 56, 125-132.

Trehub, S.E. (2001). Musical predispositions in infancy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 1-16.

Trehub, S. E. (2003). Musical predispositions in infancy: an update. Dans I. Peretz & R.J. Zatorre (eds), *The Cognitive Neuroscience of Music* (pp.3-20). Oxford: Oxford University Press.

Trehub, S. E., Cohen, A. J., Thorpe, L. A., & Morrongiello, B. A. (1986). Development of the perception of musical relations: Semitone and diatonic structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *12*, 295-301.

Trehub, S.E., Endman, M., & Thorpe, L.A. (1990). Infants perception of timbre: classification of complex tones by spectral structure. *Journal of Experimental Child Psychology*, *49*, 300–313.

Trehub, S. E. & Hannon, E. E. (2006). Infant music perception: domain-general or domain-specific mechanisms. *Cognition*, *100*, 73–99.

Trehub, S.E. & Hannon, E.E. (2009). Conventional rhythms enhance infants' and adults' perception of musical patterns. *Cortex*, *45*, 110–118.

Tremblay-Champoux, A., Dalla Bella, S., Phillips-Silver, J., Lebrun, M-A. & Peretz, I. (2011). Singing proficiency in congenital amusia: Imitation helps. *Cognitive Neuropsychology*, *27*, 463-476.

Tsang, C.D., Friendly, R.H., Trainor, L.J. (2012). Singing development as a sensorimotor interaction problem, *Psychomusicology: Music, Mind & Brain*, *21*, 31-44.

Vigneault, G., and Rochon, G. (1976). *Gens du pays*. Score Editions du vent qui tourne, Montreal.

Volkova, A., Trehub, S. E., & Schellenberg, E. G. (2006). Infants' memory for musical performances. *Developmental Science*, 9, 584-590.

Warzecha, M. (2013). Boys' Perceptions of Singing: A Review of the Literature. *Update: Applications of Research in Music Education*, 32, 43-51.

Wallin, N. L., Merker, B., and Brown, S. (2000). *The Origins of Music*. Cambridge, MA: MIT Press.

Welch, G. F. (1986). A developmental view of children's singing. *British Journal of Music Education*, 3(3), 295-303.

Welch, G.F. (1994). The Assessment of Singing. *Psychology of Music*, 22, 3-19.

Welch, G. F. (2002). Early childhood musical development. In L. Bresler & C. Thompson (Eds.), *The Arts in Children's Lives: Context, Culture and Curriculum* (pp. 113-128). Dordrecht, NL: Kluwer.

Welch, G. F., Sergeant, D. C. & White, P. J. (1997). Age, sex and vocal task factors in singing 'in tune' during the first years of schooling. *Bulletin of the Council for Research in Music Education, 133*, 133-160.

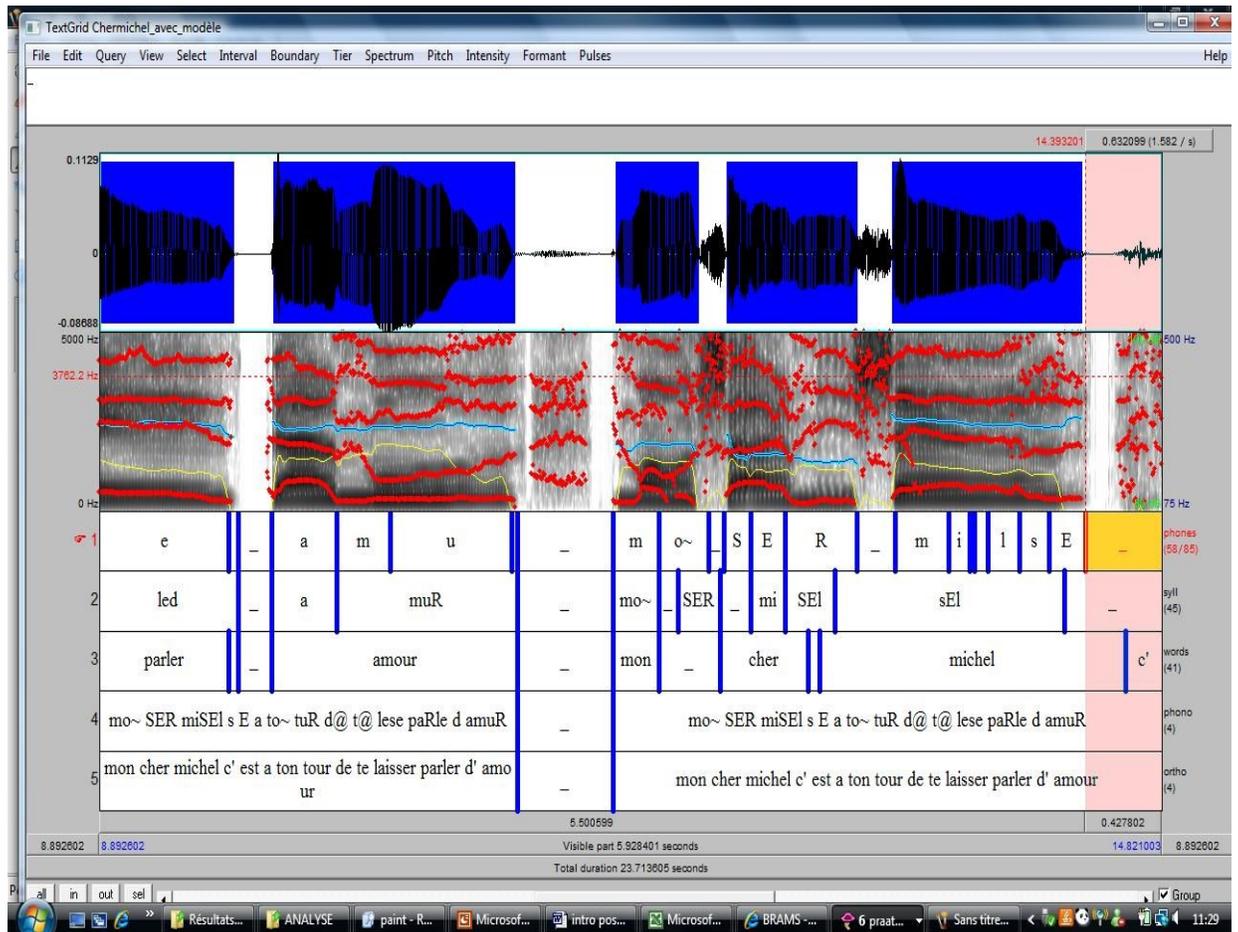
Winkler, I., Háden, G.P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H.(2009). New born infants detect the beat of music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106* (7), 2468–2471.

Wise, K. J. & Sloboda, J. A. (2008). Establishing an empirical profile of self-defined 'tone deafness': Perception, singing performance and self-assessment. *Musicae Scientiae. 12*(1). 3-26.

Zillman, D. (1988). Mood management: using entertainment to full advantage. In L. Donohew, H. E. Syhper, & E. T. Higgins (eds). *Communication, Social Congnition, and Affect* (pp.147-171). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

7. Annexes

Annexe 1. Exemple de segmentation avec le logiciel Praat.



Annexe 2. Exemple de stimuli contenus dans la BMEA pour adultes (Peretz et al. 2003).

A. Standard (mélodie initiale)



B. « Scale » ou clé altéré



C. Contour altéré



D. Intervalle altéré



E. Rythme altéré



Annexe 3. Questionnaire rempli par les parents pour l'étude sur le développement du chant normal (Article I de ce manuscrit).

Questionnaire aux parents

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 ceux directement liés à ses aptitudes musicales.

NOM ET PRÉNOM DE L'ENFANT: _____

DATE DE NAISSANCE: _____

NIVEAU SCOLAIRE: _____

MOYENNE GÉNÉRALE (À L'ÉCOLE) :

LANGUE MATERNELLE : _____

DOMINANCE MANUELLE : 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 OUI NON

D'ÉLOCUTION OUI NON

AUTRES OUI NON

SPÉCIFIEZ : _____

VOTRE ENFANT A-T-IL SUBI :

UN TRAUMATISME CRÂNIEN OUI NON

UNE ANESTHÉSIE GÉNÉRALE (DANS LA DERNIÈRE ANNÉE)
OUI NON

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 DU PARENT OU TUTEUR : _____

NUMÉROS DE TÉLÉPHONE (AFIN DE VOUS INFORMER SI L'UN DES TESTS RÉVÈLE QUOI QUE CE SOIT D'ANORMAL): JOUR _____

SOIR _____