

Université de Montréal

Les locuteurs d'une langue tonale sont-ils de meilleurs musiciens ?

**--Effet potentiel de la connaissance native d'une langue à tons sur la perception du
contraste du *pitch***

Par Na Li

Département de linguistique et de traduction, Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures en vue de l'obtention du grade de
maîtrise ès arts en Linguistique

Août, 2016

© Na Li, 2016

Résumé

Ce mémoire consiste à offrir un survol des études neuropsychologiques et électrophysiologiques concernant l'interaction possible entre le traitement du langage et la musique. Le but principal est de déterminer les raisons possibles pour lesquelles des locuteurs d'une langue à tons auraient une meilleure capacité dans la perception du contraste du *pitch* en musique par rapport aux individus qui ont pour langue maternelle une langue à intonation. Dans un premier temps, nous discutons du traitement neuronal de la prosodie et de la musique, tentant de montrer le chevauchement du traitement cérébral des deux domaines. Ensuite, nous présentons des notions d'une langue tonale ainsi que le traitement neuronal des tons lexicaux. Après, nous discutons des effets de transfert de la capacité du traitement du *pitch* en linguistique et en musique, en nous focalisant sur l'influence de la connaissance native d'une langue tonale sur la perception musicale. Pour ce faire, l'encodage du *pitch* et la localisation hémisphérique du traitement des tons lexicaux et la musique seront discutés.

Mots-clés : encodage du *pitch*, langue tonale, localisation hémisphérique, musique, prosodie, traitement neuronal

Abstract

This thesis gives an overview of neuropsychological and electrophysiological studies about the possible interaction between the processing of language and music. Our main purpose is to examine the possible reasons for which tone language speakers have a better capacity in perceiving pitch contrast in music than native speakers of an intonational language. First, we discuss the neural processing of prosody and music, attempting to show an overlap between the two domains. Next, we present the concept of a tone language and the neural processing of lexical tones. Afterwards, we discuss the transfer effects of the processing capacity of pitch in linguistic and music by focusing on the influence of a knowledge of a tone language on the musical perception. To do this, the encoding of pitch and the hemispheric specialization will be discussed.

Keywords : encoding of pitch, tone language, hemispheric specialization, music, prosody, neural processing

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Table des matières	iii
Liste des abréviations	v
Liste des figures	vi
Remerciements	vii
Note au lecteur	viii
Introduction générale	1
Chapitre 1 La prosodie de la parole et la musique dans le cerveau	2
1.1. Avant-propos.....	2
1.2. Régions cérébrales impliquées dans le traitement de la prosodie et de la musique.....	3
1.2.1 La prosodie.....	3
1.2.1.1. Définition	3
1.2.2. Traitement neuronal de la musique.....	16
Chapitre 2 Langues à tons vs musique	21
2.1. Langue à tons	21
2.1.1. Définition & typologie.....	21
2.1.2. Le <i>pitch</i> dans la perception des tons	25
2.1.3. Le traitement neuronal des tons	25
2.2. Organisation du système tonal occidental.....	33
2.2.1. Les notes, les tonalités, les intervalles et les accords.....	34
Chapitre 3 L'influence de l'expérience native d'une langue tonale sur la perception du contraste du <i>pitch</i> en musique : une revue de littérature	36
3.1. Méthodologie	36
3.1.1. Neurosciences	36
3.2. La connaissance d'une langue à tons et la perception du <i>pitch</i> en musique : des effets potentiels d'inter-domaine?	39
3.2.1. Le <i>pitch</i> en tant que lien entre le langage et la musique	39
3.2.2. Des effets de transfert d'inter-domaine: des preuves.....	40
3.2.3. La plasticité dépendant de l'expérience et l'encodage du <i>pitch</i>	51

3.2.4. Du point de vue de la latéralisation cérébrale.....	59
Chapitre 4 Discussion générale.....	62
4.1. La question de l'oreille absolue chez les locuteurs d'une langue à tons	62
4.2. Une question en suspense: la connaissance d'une langue tonale d'Afrique vs la perception du pitch musical	64
Conclusion	65
Références.....	68

Liste des abréviations

AVC : accident vasculaire cérébral

EEG : électroencéphalographie

FFR : Frequency Following Response (la « réponse d'adoption de fréquence »)

GSM : gyrus supramarginal

HD : hémisphère droit

HG : hémisphère gauche

IRMf : imagerie par résonance magnétique fonctionnelle

MEG : magnétoencéphalographie

MMN : mismatch negativity (la « négativité de discordance »)

M3 : la tierce majeure

PE : potentiel évoqué

TEP : tomographie par émission de positron

Liste des figures

Figure 1. Délimitation des lobes cérébraux.....	5
Figure 2. Gyrus de face externe de l'hémisphère gauche et droit.....	5
Figure 3. Vue latérale de l'hémisphère gauche et droit.....	6
Figure 4. Face inféro-interne de l'hémisphère droit.....	12
Figure 5. La voie auditive de la cochlée au cortex auditif.....	17
Figure 6. Le cortex auditif.....	18
Figure 7. La MMN.....	39
Figure 8. Les « taux de réussite » de la discrimination du pitch et de l'intervalle.....	43
Figure 9. Effet du changement dans la discrimination du pitch.....	44
Figure 10. L'exemple dans les tâches d'imitation du <i>pitch</i> musical.....	46
Figure 11. L'exemple dans les tâches de discrimination du <i>pitch</i> musical.....	47

Remerciements

En tout premier lieu, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur, M. Daniel Valois. Je le remercie pour son soutien, sa patience immense et la confiance qu'il m'a témoignée pendant la rédaction de ce mémoire. Sans lui, la découverte de ce sujet intéressant aurait été impossible.

Un immense merci à Catherine Fleurent pour sa lecture de chaque partie et ses merveilleuses idées sur l'orthographe de ce travail.

Pour leurs encouragements soutenus après que j'ai perdu ma chère grand-mère et les bons moments de ma vie, un grand merci à Max, Chiquitta et Pamela.

Finalement, je tiens à remercier ma famille pour leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

Note au lecteur

Le terme *pitch* se trouve tout au long de ce mémoire. D'une manière générale, il représente la hauteur tonale d'un son, soit de la parole soit de la musique, correspondant à une fréquence particulière et est donc mesurable de manière acoustique. Dans les travaux en français que nous avons consultés, aucun équivalent précis au terme *pitch* n'a été trouvé, la traduction la plus adéquate est « hauteur sonore », mais nous conserverons ce terme en anglais pour des fins d'unification théorique. En linguistique, le *pitch* est le principal corrélat acoustique du ton et de l'intonation. En musique, le *pitch* se réfère aux « notes ».

Introduction générale

Ce travail de mémoire porte sur l'interaction possible entre le traitement linguistique et le traitement musical, en se focalisant sur l'influence de la connaissance native d'une langue à tons sur la perception des contrastes du *pitch* (« la hauteur sonore ») dans la musique. Le principal but est d'interroger les raisons possibles pour lesquelles des locuteurs d'une langue tonale auraient une meilleure capacité dans la perception du contraste du *pitch* par rapport à ceux qui ont comme langue maternelle une langue à intonation, tel que démontré dans les recherches récentes (Deutsch, Henthorn, Marvin & Xu, 2006; Hove & Sutherland, 2010 ; Krishnan, Gandour, Bidelman & Swaminathan, 2009 ; Pfordresher & Brown, 2009). Ce travail consiste à offrir un survol ainsi qu'une évaluation critique d'un ensemble d'ouvrages liés au sujet de ce mémoire. Commenant avec un panorama de la recherche en expliquant la raison de notre choix de ce sujet, nous discuterons, dans le premier chapitre, de ce que l'on sait du traitement de la prosodie et de la musique dans le cerveau. Ensuite, nous élaborerons le travail en abordant la littérature sur des langues à tons, y compris leur traitement neuronal, ainsi que l'organisation du système tonal de la musique occidentale. Dans le troisième chapitre, le rapport entre langage et musique sera exploré par le biais des résultats d'études neuropsychologiques et électrophysiologiques et nous présenterons certaines critiques en nous fondant sur les résultats déjà obtenus sur l'effet de la connaissance native d'une langue tonale sur la perception du *pitch*. Cela nous amènera à notre discussion générale et à une conclusion dans lesquelles nous proposerons une hypothèse qui permettra une ouverture possible des recherches futures.

Chapitre 1 La prosodie de la parole et la musique dans le cerveau

1.1. Avant-propos

Deux habiletés cognitives complexes spécifiques de l'espèce humaine, le langage et la musique, possèdent de nombreuses similarités, de l'organisation structurelle de leurs éléments de base au traitement sensoriel et cognitif. Dû au développement récent en neuropsychologie et en électrophysiologie, de plus en plus de données ont montré que des mécanismes cérébraux dédiés au traitement de la musique et du langage interagissent les uns sur les autres au moins dans certains cas et qu'il existerait un partage des ressources neuronales entre les deux domaines (Bidelman, Gandour & Krishnan, 2011a; Koelsch, Gunter, Cramon, Zysset, Lohmann & Friederici, 2002; Maess, Koelsch, Gunter & Friederici, 2001; Patel, 2008). Certains ont même proposé des effets de transfert d'apprentissage entre musique et langage parlé (Besson, Schön, Moreno, Santos & Magne, 2007; Delogu, Lampis & Belardinelli, 2006; Pfordresher & Brown, 2009). Des effets de transfert de la musique vers le langage sont même présentés chez les personnes qui ont un trouble du langage résultant de lésions cérébrales (Belin, Van Eckhout, Zilbovicius, Remy, François, Guillaume, Chain, Rancurel & Samson, 1996; Conklyn, Novak, Boissy, Bethoux, Chemai, 2012) ou de maladies neurologiques telles que Parkinson, Alzheimer, etc. (Gómez Gallego & Gómez García, 2016). Certes, alors que la plupart des recherches ont été effectuées en vue de démontrer l'influence de la musique sur le langage, très peu de preuves des effets de transfert du langage sur la musique ont été apportées et même celles qui existent présentement sont contradictoires. Étant donné leur relation avec le *pitch* et la prosodie, les tons des langues tonales ont été, au cours de

ces dernières décennies, introduits dans la recherche sur la relation entre musique et langage et y jouent un rôle de plus en plus important.

Une langue qui utilise le *pitch* pour distinguer le sens lexical ou grammatical s'appelle *langue à tons* ou *langue tonale* (Yip, 2002). La plupart des langues en Asie de l'Est (mandarin, cantonais, min, hakka, thaï, vietnamien, etc.) et en Afrique au sud du Sahara (luo, nubian, zulu, etc.) sont des langues à tons. Le corrélat auditif des tons est le *pitch*, ce qui signifie que les langues tonales fournissent une occasion d'interroger comment la prosodie de parole est traitée dans le cerveau de l'être humain. Des études récentes ont montré que des habilités cognitives comme la connaissance d'une langue tonale ou l'expertise musicale des musiciens influencent l'encodage du *pitch* au niveau du tronc cérébral¹ (Bidelman, Gandour & Krishnan, 2011a, 2011b; Wong, Skoe, Russo, Dees & Kraus, 2007). Certaines études ont également montré que l'expérience native d'une langue à tons pourrait renforcer la capacité à percevoir et à catégoriser des tons linguistiques ou non linguistiques (par exemple, la musique) et que les locuteurs d'une langue tonale ont une meilleure capacité dans la perception du *pitch* que ceux qui ont pour langue maternelle une langue non tonale (Deutsch, Henthorn, Marvin & Xu, 2006; Krishnan, Swaminathan & Gandour, 2009). Ceci ouvre une nouvelle fenêtre pour la recherche sur la relation entre musique et langage.

1.2. Régions cérébrales impliquées dans le traitement de la prosodie et de la musique

1.2.1 La prosodie

1.2.1.1. Définition

¹ Voir note 23 à la page 51.

« Le terme de prosodie désigne une branche de la linguistique consacrée à la description factuelle (aspects phonétiques) et à l'analyse formelle (aspects phonologiques) des éléments systématiques de l'expression phonique non-coextensifs aux phonèmes, tels que les accents, les tons, l'intonation et la quantité, dont les manifestations concrètes, dans la production de la parole, sont associées aux variations des paramètres physiques de la fréquence fondamentale² (F0), de la durée et de l'intensité qui représentent les paramètres objectifs de la prosodie. Ces variations sont perçues par l'auditeur comme des changements de hauteur (ou de mélodie), de longueur et de sonie, qui constituent les paramètres subjectifs de la prosodie. Les éléments prosodiques exercent au niveau du mot (prosodie lexicale) et au-delà de ce dernier (prosodie supra-lexicale ou post-lexicale) un faisceau de fonctions grammaticales, para-grammaticales et extra-grammaticales, qui se rapportent à « ce qui est dit », à « la façon dont cela est dit », ainsi qu'à « l'identité du sujet parlant », et qui s'avèrent déterminantes pour signaler la structure des énoncés et du discours et pour procéder à leur interprétation sémantique et pragmatique » (Di Cristo, 2004, p.88-89).

La prosodie de la parole concerne les caractéristiques mélodiques et suprasegmentales d'un énoncé qui pourraient remplir diverses fonctions linguistiques et paralinguistiques (Lehiste, 1996). Traditionnellement on distingue la prosodie linguistique et la prosodie affective (Monrad-Krohn, 1947). En linguistique, la prosodie est l'étude des caractéristiques phonétiques suprasegmentales, y compris des phénomènes de l'accentuation et de l'intonation, c'est-à-dire la variation de durée, d'intensité, de quantité

² La fréquence (F) est le nombre de répétitions d'un phénomène périodique pendant une seconde, elle est perçue comme le *pitch* (la hauteur sonore d'un son). La fréquence fondamentale (F0) est la fréquence la plus basse. En acoustique, la F0 est l'harmonie de premier rang d'un son.

et de hauteur du son. La prosodie affective, quant à elle, permet de transmettre les affects tels que les émotions et les attitudes du locuteur (Pihan, 2006; Wildgruber, Ackermann, Kreifelts & Ethofer, 2006). Bien que la prosodie linguistique se distingue de la prosodie affective par sa fonction, elles dépendent d'une série de signaux acoustiques communs reliés au *pitch*, à la sonie et au tempo et à la qualité de voix (Fonagy, 1978 ; Juslin & Laukka, 2003). Les paramètres partagés par ces deux types de prosodies suggèrent une interdépendance à un système commun de la perception du *pitch*.

1.2.1.2. Traitement neuronal de la prosodie de la parole

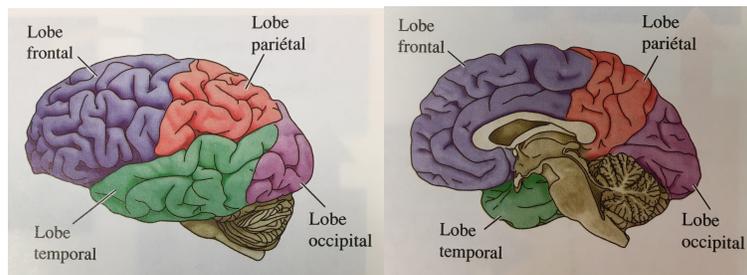


Figure 1. Délimitation des lobes cérébraux sur une vue latérale (à gauche) et sur une coupe sagittale médiane (à droite) (Purves, Augustine, Fitzpatrick, Hall, LaMantia, & McNamara 2005, p.19)

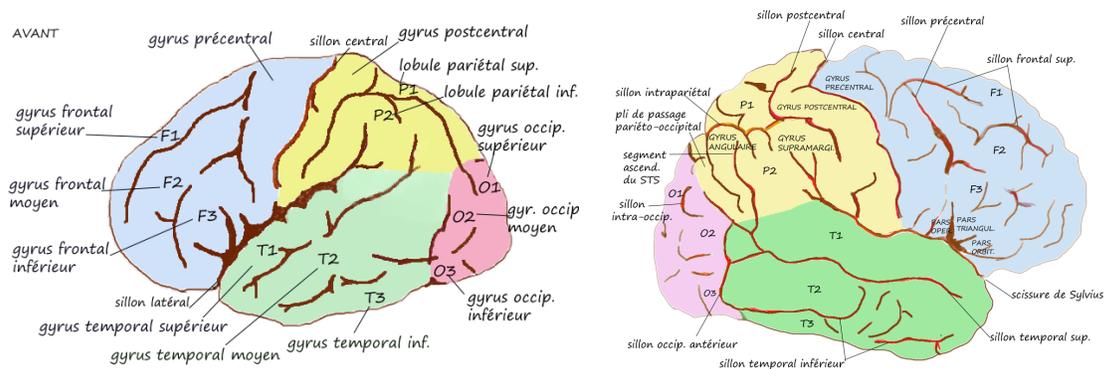


Figure 2. Gyri de la face externe de l'hémisphère gauche et droit

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Circonvolution_cérébrale#Gyri_du_lobe_frontal)

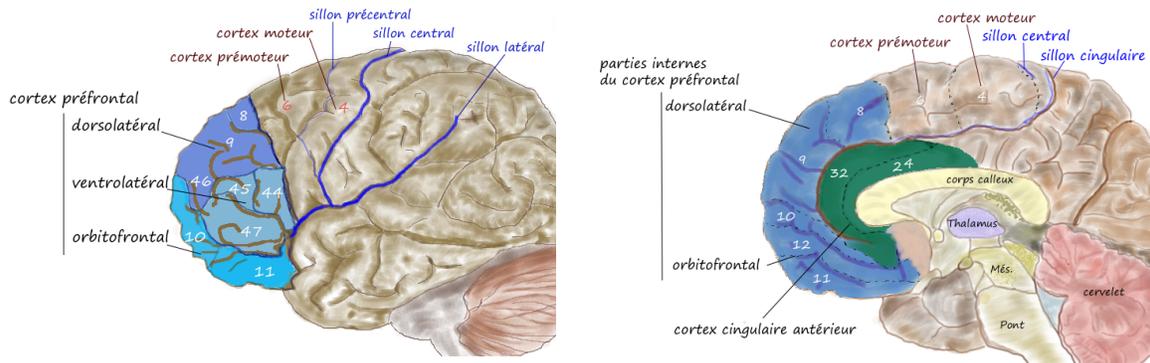


Figure 3. Vue latérale de l'hémisphère gauche et droit

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Cortex_préfrontal)

Au cours des dernières décennies, de grand corpus ont été constitués sur le traitement de la prosodie dans le cerveau, la question centrale étant de savoir s'il existe une latéralisation hémisphérique pour la perception des deux types de prosodies mentionnées ci-dessus et quel mécanisme conduit cette asymétrie hémisphérique. Alors qu'un grand nombre de preuves en faveur du rôle de l'hémisphère droit dans la perception de la prosodie au niveau de la phrase ont été obtenues dans les études de l'écoute dichotique³, des lésions et de l'imagerie cérébrale (Baum & Pell, 1999; Gandour, Dziedzic, Wong, Lowe, Tong, Hsieh, Sathamnuwong & Lurito, 2003; Shipley-Brown, Dingwall, Berlin, Yeni-Komshian, Gordon-Salant, 1988), la dominance de l'hémisphère gauche dans la perception de la prosodie au niveau de la syllabe ou du mot a également trouvé soutien à l'aide des trois approches d'études (Eng, Obler, Harris & Abramson, 1996 ; Gandour, Wong, Hsieh, Weinzapfel, Van Lancker & Hutchins, 2000; Gandour, Dziedzic, Wong, Lowe, Tong, Hsieh, Sathamnuwong & Lurito, 2003; Wang, Jongman & Sereno, 2001).

³ En anglais *dichotic listening*, un paradigme expérimental utilisé dans les études sur l'attention et la perception auditive et consistant à diffuser simultanément deux stimuli différents dans chaque oreille.

Des mécanismes précis responsables de l'asymétrie fonctionnelle dédiés à la perception de la prosodie de la parole font encore l'objet de débats. En général, il existe quatre hypothèses différentes.

(1) L'hypothèse de la latéralisation dans l'hémisphère droit propose que tous les aspects prosodiques soient traités indépendamment et directement dans l'hémisphère droit pour ensuite être intégrés avec l'information linguistique (qui est traitée dans l'hémisphère gauche) par des connexions inter-hémisphériques (par exemple, des fibres du corps calleux⁴) (Blumstein & Cooper, 1974 ; Klouda, Robin, Graff-Radford & Cooper, 1988). Cette hypothèse provient initialement des premières études examinant l'activité neuronale des patients qui avaient subi un accident vasculaire cérébral (AVC). Par exemple, dans l'une des premières études sur la production de la prosodie affective, Tucker, Watson & Heilman (1977) ont examiné la compétence de 8 patients avec lésion dans l'hémisphère droit et de 8 sujets normaux dans une tâche de répétition de phrases neutres⁵ en ajoutant des tons émotionnels. La production de tous les sujets a été jugée par trois auditeurs à qui on demandait d'identifier les émotions transmises dans les phrases. Selon les résultats, la production des sujets avec lésion dans l'hémisphère droit a moins véhiculé l'émotion prévue que celle du groupe contrôle. Cela suggère l'implication de l'hémisphère droit dans la production de la prosodie affective. De la même façon, dans des recherches effectuées sur des locuteurs de l'anglais, Ross (1981, 1993) a documenté la dominance de l'hémisphère droit dans le contrôle de la prosodie affective. De plus, il a proposé un système pour les déficits de la prosodie affective (aprosodie) semblable à celui pour les patients aphasiques avec une lésion dans l'hémisphère gauche. Dans son système, il

⁴ L'ensemble des fibres nerveuses unissant les deux hémisphères.

⁵ En anglais *neutral sentences*, ce sont des phrases qui ne portent pas d'émotion positive (contentement) ou négative (tristesse).

propose que certains symptômes soient reliés à des zones de lésion particulières. Par exemple, le trouble de la compréhension affective serait dû à des lésions du lobe temporal droit, alors que les troubles de la compréhension auditive seraient notamment dus aux lésions au lobe temporal gauche ; d'autre part, les troubles de la production spontanée affective résultent de lésions au lobe frontal inférieur droit, similaire aux troubles de la production de parole liés aux lésions dans l'aire de Broca.

Néanmoins, des données appuyant cette hypothèse sont très contestables (Sidits & Van Lancker Sidits, 2003). Dans la plupart des études qui proposent la dominance absolue de l'hémisphère droit dans la perception des informations prosodiques, des patients avec lésion dans l'hémisphère gauche n'ont pas été examinés. Lorsqu'on l'a fait (suivant les mêmes méthodes), on a trouvé des troubles prosodiques dans l'hémisphère gauche (Ross, Anderson & Morgan-Fisher, 1989).

(2) L'hypothèse du traitement sous cortical propose que toutes les informations prosodiques soient traitées au niveau sous cortical et qu'il n'y a pas de latéralisation hémisphérique (Cancelliere & Kertesz, 1990). Peu d'évidences appuyant cette hypothèse sont citées dans la littérature.

(3) L'hypothèse de la latéralisation basée sur des signaux acoustiques (*cue-dependent lateralization hypotheses*) suggère que le traitement prosodique dépend non d'une unité globale mais des caractéristiques auditives/acoustiques essentielles pour l'extraction du sens : l'hémisphère gauche est responsable du traitement de l'information temporelle, alors que l'hémisphère droit est meilleur pour traiter l'information spectrale, ainsi, la durée, le *pitch* et l'intensité sont indépendamment latéralisés (Van Lancker & Sidits,

1992). De ce point de vue, ceci a fourni une explication pour la dominance de l'hémisphère droit au traitement de la prosodie affective, car des paramètres spectraux apparaissent importants en particulier pour le décodage de la prosodie affective (Scherer, 2003).

(4) L'hypothèse de la latéralisation fonctionnelle (*functional lateralization hypothesis*) soutient que la latéralisation hémisphérique repose sur la fonction communicative de la prosodie, autrement dit, des caractéristiques acoustiques et prosodiques fonctionnellement utilisées au niveau du phonème, de la syllabe, du mot ou de la phrase sont latéralisées dans l'hémisphère gauche, alors que celles impliquées dans des aspects attitudinaux ou émotionnels sont traitées dans l'hémisphère droit (Van Lancker, 1980). Ceci est conforme à l'idée que le traitement du langage soit (en majeure partie) latéralisé dans l'hémisphère gauche. Selon cette hypothèse, il existe un continuum entre les fonctions linguistiques et affectives de la prosodie, et le traitement se déplacerait entre l'hémisphère gauche (pour les aspects plus linguistiques) et l'hémisphère droit (pour les aspects plus affectifs) (Dapretto, Hariri, Bialik & Bookheimer, 1999). D'autres soutiennent que la prosodie linguistique est probablement subdivisée en prosodie au niveau de la phrase et de la syllabe, avec une dominance de l'hémisphère gauche dans les fenêtres temporelles courtes (syllabe) et une dominance de l'hémisphère droit dans les fenêtres plus larges (phrase) (Gandour, Ponglorpisit, Khunadorn, Dechongkit, Boongird, Boonklam & Potisuk, 1992). Des preuves de l'importance de la fonction communicative de la prosodie pour la latéralisation du traitement prosodique procèdent initialement des études sur la compréhension des stimuli linguistiques tonaux avec des locuteurs d'une langue tonale, soit normaux soit avec une lésion cérébrale (Ryalls & Reinvang,

1986 ;Van Lancker & Fromkin, 1973, 1978). De ce point de vue, les tons linguistiques nous donnent une occasion d'explorer la représentation de la prosodie dans le système nerveux central. Ceci sera discuté au chapitre 2.

Par rapport aux trois autres hypothèses, celle de la latéralisation fonctionnelle semble préférable et a été appuyée par de nombreuses études (Dapretto, Hariri, Bialik & Bookheimer, 1999 ; Van Lancker, 1980 ; Van Lancker Sidtis, Pachana, Cumming & Sidtis, 2006). Il n'en demeure pas moins qu'il existe certaines études qui montrent que le traitement de la prosodie, soit linguistique soit affective, implique les deux hémisphères.

Les premières données ont été obtenues dans les études sur les lésions cérébrales où il a été constaté qu'une lésion dans l'hémisphère gauche ainsi qu'une dans l'hémisphère droit pourraient, toutes les deux, perturber le traitement de la prosodie linguistique ou affective (Cancelliere & Kertesz, 1990 ; Van Lancker & Sidtis, 1992). Par exemple, Van Lancker & Sidits (1992) ont observé qu'il n'y avait pas de différence entre des patients avec une lésion dans l'hémisphère gauche et ceux avec une lésion dans l'hémisphère droit dans les tâches d'identification des émotions des signaux prosodiques, la performance de ces deux groupes étant réduites par rapport à celle du groupe de contrôle. De plus, des troubles de perception de la prosodie linguistique ont été observés autant chez les patients qui ont une lésion dans l'hémisphère gauche (Pell & Baum, 1997) que ceux qui ont une lésion dans l'hémisphère droit (Weintraub, Mesulam & Karner, 1981). De la même façon, dans une méta-analyse de Witteman, van Ijzendoorn, van de Velde, van Heuven & Schiler (2011), il a été constaté que la prosodie linguistique et affective peuvent être, toutes deux, affectées par une lésion de l'un des deux hémisphères, celle de l'hémisphère droit ayant un plus important impact sur la prosodie affective. Selon les auteurs, ceci suggère une

latéralisation relative de l'hémisphère droit pour la perception de la prosodie affective. En ce qui concerne la prosodie linguistique, elle serait traitée par un processus bilatéral. Dans une autre étude de Witteman, Goerlich-Dobre, Martens, Aleman, Van Heuven & Schiller (2014), des effets de la latéralisation fonctionnelle n'ont pas été trouvés : les deux hémisphères sont donc impliqués.

À l'exception des études sur des lésions hémisphériques, celles en imagerie cérébrale ont également démontré un traitement temporofrontal et bilatéral de la prosodie linguistique et affective, la plupart d'entre elles ont relevé plus d'activation dans l'hémisphère droit que dans l'hémisphère gauche lors de la perception des aspects émotionnels. Par exemple, dans une étude sur la détection des prosodies émotionnelle et linguistique avec l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Buchanan, Lutz, Mirzazade, Specht, Shah, Zille & Jäncke (2000) ont observé d'importantes activations bilatérales en particulier aux lobes frontal et temporal, la détection de l'émotion résultant en une activation additionnelle au lobe frontal inférieur droit et celle des composants phonémiques montrant une activation additionnelle au lobe frontal inférieur gauche. Plus précisément, comparée à la détection des éléments phonémiques, la détection de l'émotion « Tristesse » montre une importante activation du gyrus frontal moyen postérieur ainsi que du gyrus cingulaire⁶ (Figure 4) dans l'hémisphère droit, mais la détection des éléments phonémiques relève une importante activation du gyrus frontal inférieur antérieur dans l'hémisphère gauche ainsi qu'au lobule lingual et au cuneus (Figure 4) dans l'hémisphère droit ; par rapport à la détection des éléments phonémiques, celle de l'émotion « Contentement » résulte en une importante activation à la jonction

⁶ Un gyrus situé à la face interne des hémisphères cérébraux et autour du corps calleux.

entre le lobe temporal supérieur et le cortex pariétal inférieur. La détection des éléments phonémiques, quant à elle, montre une activation du gyrus temporal supérieur et du gyrus précentral dans l'hémisphère gauche. Donc, la détection des émotions implique des activités du lobe frontal inférieur droit, du gyrus cingulaire gauche et du lobe pariétal inférieur droit, alors que la détection des composantes phonémiques, des activités du lobe frontal inférieur gauche, du gyrus temporal moyen gauche et du cortex extrastrié⁷ droit incluant le lobule lingual et le cuneus (Figure 4).

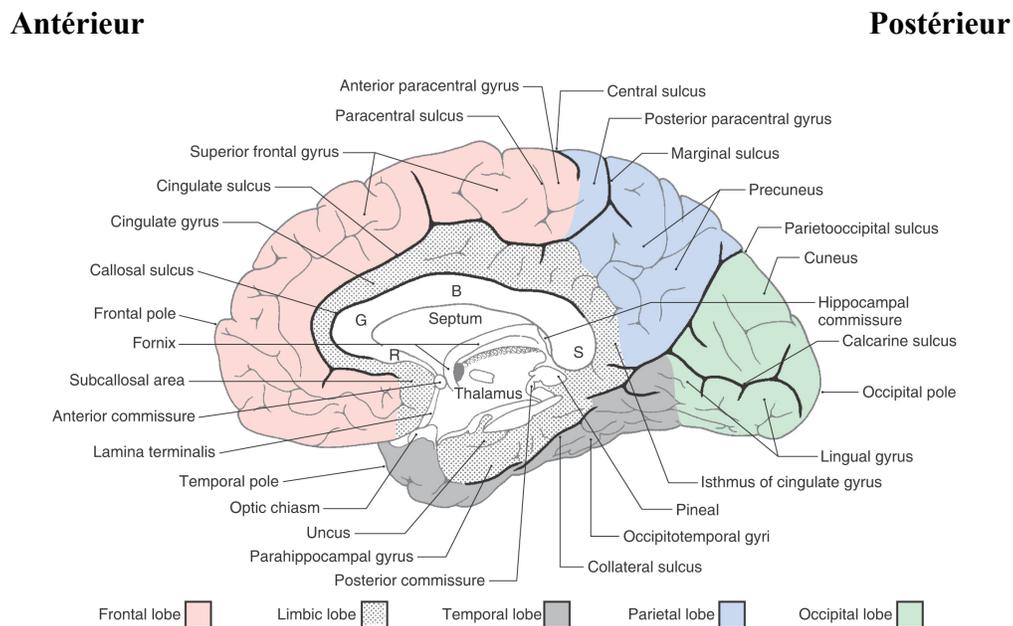


Figure 4. Face inféro-interne de l'hémisphère droit (<http://clinicalgate.com/wp-content/uploads/2015/06/f16-04-9781437702941.jpg>)

De même, dans une tâche d'identification de la prosodie affective (Ethofer, Anders, Erb, Herbert, Wiethoff, Kissler, Grodd & Wildgruber, 2006), des activations dans le cortex temporal postérieur droit (gyrus temporaux moyens postérieur/sillons temporaux supérieurs) et des régions frontales bilatérales (cortex frontal moyen/inférieur) ont été

⁷ Une aire du cortex occipital qui traite l'information visuelle autour de l'aire visuelle primaire.

observées. Dans une autre étude sur la latéralisation de la prosodie émotionnelle avec l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Kotz, Meyer, Alter, Besson, Yves von Cramon & Friederici (2003) ont comparé des effets des émotions positives (« Contentement ») et négatives (« Colère ») sur des paroles normales ainsi que des paroles prosodiques dans lesquelles des signaux de la parole avaient été filtrés aux fins d'enlever des informations segmentales et lexicales et de garder des informations suprasegmentales intactes. Dans des conditions de parole normale, les auteurs ont constaté des activations bilatérales mais plus élevées dans l'hémisphère gauche dans les régions temporale et sous corticale (le putamen⁸ et le thalamus⁹) ainsi que des activations dans des régions frontales inférieures gauches ; dans des conditions de parole prosodique, des activations sont bilatérales dans les régions frontale, préfrontal et sous corticale mais plus élevées dans l'hémisphère gauche, ce qui remet en question l'hypothèse de la dominance de l'hémisphère droit dans la perception de la prosodie affective.

En ce qui concerne la perception des aspects linguistiques de la prosodie, certaines études ont montré des activations plus élevées dans l'hémisphère gauche (Aleman, Formisano, Koppenhagen, Hagoort, de Haan & Kahn, 2005 ; Wildgruber, Hertrich, Riecker, Erb, Anders, Grodd, Ackermann, 2004), alors que d'autres dans l'hémisphère droit (Meyer, Alter, Friederici, Lohmann & von Cramon, 2002 ; Plante, Creusere & Sabin, 2002 ; Strelnikov, Vorobyev, Chernigovskaya & Medvedev, 2006 ; Witteman, van Ijzendoorn, van de velde, van Heuven, Schiler, 2011). Par exemple, selon Wildgruber, Hertrich, Riecker, Erb, Anders, Grodd & Ackermann (2004), la discrimination de la prosodie linguistique serait prise en charge par la partie latérale inférieure frontale gauche, mais

⁸ Une structure ronde située sur le côté du noyau lenticulaire, en dessous des hémisphères cérébraux.

⁹ Une paire de noyaux gris cérébraux située en position intermédiaire entre le cortex et le tronc cérébral.

une activation dominante dans le cortex frontal dorsolatéral (DLFC) dans l'hémisphère droit a été observée. Ceci est intéressant, car en général cette région est responsable des fonctions supérieures telles que la planification, la mémoire de travail, le maintien de l'attention ou la régulation de l'action. Ainsi, il se pourrait qu'un système de stockage à court terme du *pitch* intervienne dans le traitement de la prosodie linguistique et que le besoin de capacités de mémoire verbale augmente pendant ce processus (Wildgruber, Hertrich, Riecker, Erb, Anders, Grodd & Ackermann, 2004). L'activation dans la même région a également été observée dans la discrimination de la prosodie affective. De plus, dans les deux tâches, il y a une latéralisation bilatérale dans le gyrus temporal supérieur, le thalamus et le cervelet, le traitement de la prosodie affective résultant une activation additionnelle importante dans le cortex frontal orbito-basal bilatéral, celui de la prosodie linguistique dans le gyrus inférieur gauche.

Dans une étude récente en imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Kreitewolf, Friederici & von Kriegstein (2004) ont proposé que le traitement de la prosodie linguistique implique des fonctions différentes des deux hémisphères et que la perception de la prosodie linguistique est basée sur un mécanisme inter-hémisphérique qui exige la sensibilité de l'hémisphère droit pour l'information du *pitch* ainsi que la dominance de l'hémisphère gauche pour le traitement de la parole. L'hémisphère droit serait responsable de l'analyse de l'information suprasegmentale, alors que l'hémisphère gauche serait principalement impliqué dans l'analyse de l'information segmentale (par exemple, la reconnaissance de phonème). Dans les deux hémisphères, l'activation est principalement dans les aires temporale et frontale, ce qui est conforme aux études précédentes dans lesquelles certaines aires sont considérées comme formant un réseau

pour le traitement des fonctions du langage, y compris celui de la prosodie (Friederici, 2002, 2011 ; Hickok & Poeppel, 2007). De plus, les auteurs ont constaté que le gyrus supramarginal (GSM, l'aire 40 de Brodmann)¹⁰ au lobe pariétal et le cervelet sont impliqués dans le traitement de la prosodie linguistique et que l'activation du cervelet est toujours dans l'hémisphère controlatéral par rapport à l'activation temporo-frontale. Autrement dit, lorsque ce dernier est dans l'hémisphère gauche, elle serait dans l'hémisphère droit ; lorsque l'activation temporo-frontale est dans l'hémisphère droit, elle serait dans l'hémisphère gauche. Cela, selon les auteurs, est en adéquation avec la proposition de la latéralisation controlatérale des circuits fronto-cérébelleux (Krienen & Buckner, 2009). Il est particulièrement remarquable que le gyrus supramarginal (GSM) soit également impliqué dans la perception et le fredonnement des séquences tonales musicales (Hickok, Buchsbaum, Humphries & Muftuler, 2003). Ceci démontrerait l'existence d'un chevauchement neuronal du traitement de la prosodie de la parole et de la musique.

En nous fondant sur des hypothèses qui demeurent parfois contradictoires, nous devons conclure que le traitement de la prosodie de la parole est bilatéral dans le cerveau. Au lieu de s'accomplir dans une seule région ou dans un hémisphère spécifique, il implique de multiples aires constituant un réseau spatialement distribué dans deux hémisphères qui ont de différents rôles et fonctions au traitement de la prosodie. Alors que l'hémisphère droit est responsable des signaux auditifs complexes dans le traitement du *pitch*,

¹⁰ Le gyrus supramarginal (GSM) est un gyrus du lobe pariétal du cortex cérébral. Il est situé à l'intérieur du lobule pariétal inférieur (voir Figure 2 au début de cette section) et impliqué dans le processus phonologique et articulatoire.

l'hémisphère gauche est impliqué dans le traitement de l'information catégorique en supportant le traitement phonologique.

1.2.2. Traitement neuronal de la musique

Le traitement de la musique fascine les neuroscientistes depuis plus d'un siècle (Critchley & Henson 1977). Ce n'est cependant que dans ces dernières décennies qu'il est devenu un domaine d'étude intense et systématique. L'une des fonctions fondamentales du cerveau, la musique nous donne une occasion exceptionnelle pour mieux comprendre l'organisation cérébrale de l'être humain. Il est intéressant de noter que seulement une minorité d'individus deviennent musiciens experts à la suite d'un entraînement explicite. Ceci confère à la musique un rôle privilégié dans l'exploration de la nature et de l'étendue de la plasticité du cerveau qui peut être modifiée par l'apprentissage et la pratique de la musique, le degré de cette modification variant d'un individu à l'autre. L'étude de l'organisation cérébrale, en revanche, nous offre un outil unique pour relever les mécanismes internes du traitement de la musique. Par exemple, certaines anomalies cérébrales pourraient révéler dans quelle mesure et à quel niveau le traitement musical applique des réseaux neuronaux qui sont séparés de ceux impliqués dans d'autres fonctions auditives et vocales, par exemple, le langage. La musique et tous les autres types de sons partagent la plupart des étapes de traitement à travers le neuraxi auditif¹¹. Pourtant, certaines données indiquent un certain degré de séparation fonctionnelle dans le traitement musical, ce qui serait dû au rôle important du traitement du *pitch* de la musique. Dans un sens traditionnel, on dirait que des aspects mélodiques (basés sur le *pitch*) et

¹¹ En anglais *auditory neuraxis*, c'est la voie du traitement de l'information auditive dans le système nerveux qui transmet l'information entre la cochlée et le cortex (Figure 4).

temporels (basés sur le temps)¹² de la musique sont traités séparément (Justus & Bharucha, 2002; Krumhansl, 2000). De ce point de vue, les structures mélodiques et temporelles sont traitées de façon indépendante, ce qui signifie qu'une lésion cérébrale peut intervenir dans la discrimination du *pitch* sans influencer l'interprétation des aspects basés sur le temps (Ayotte et al. 2000; Vignolo, 2003).

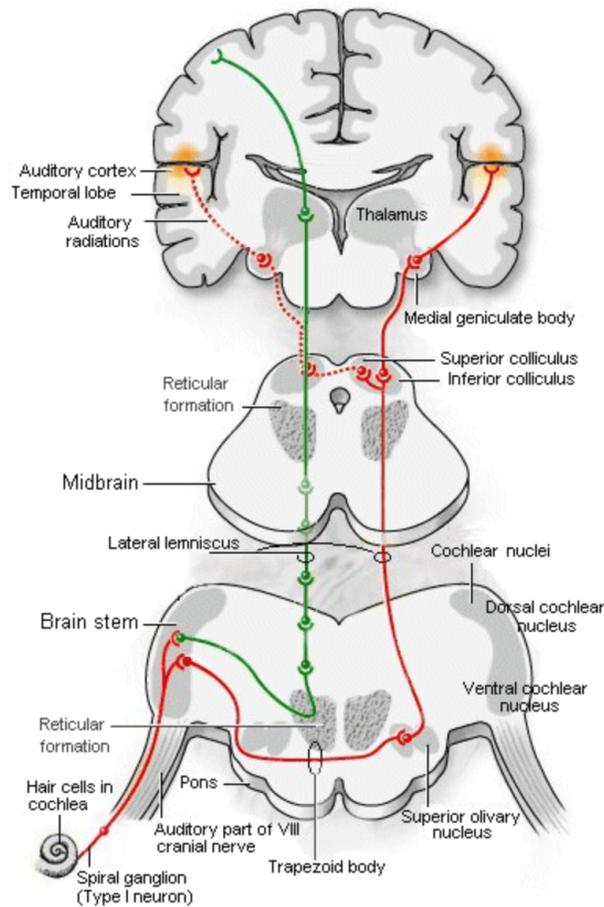


Figure 5. La voie auditive de la cochlée au cortex auditif

(<http://firstyears.org/anatomy/ear.htm>)

¹² Étant donné le sujet de ce mémoire, nous ne discutons que le traitement des aspects basés sur le pitch, mais celui des aspects temporels est ignoré.

Sur le plan du traitement des relations basées sur le *pitch*, le néocortex temporal de l'hémisphère droit joue un rôle important, ce qui a été initialement révélé dans une étude sur les patients qui avaient subi l'excision de l'aire spécifique avec une lésion focale¹³ (Milner, 1962) dans cet hémisphère, il a été démontré qu'une lésion temporale droite entraîne un plus grand déficit dans la discrimination du patron du *pitch* mélodique qu'une lésion temporale gauche. Cette découverte est renforcée par d'autres études (parmi lesquelles Zatorre, 1985; Zatorre, 1988; Samson & Zatorre, 1998; Liégeois-Chauvel, Peretz, Babī, Laguitton, Chauvel, 1998). Ceci n'est pas étonnant car le néocortex temporal contient le cortex auditif primaire (aire 41 de Brodmann). De plus, les déficits de certains aspects du traitement du *pitch* ont été observés particulièrement après une lésion dans la région antérolatérale du gyrus de Heschl (Figure 5) dans l'hémisphère droit.

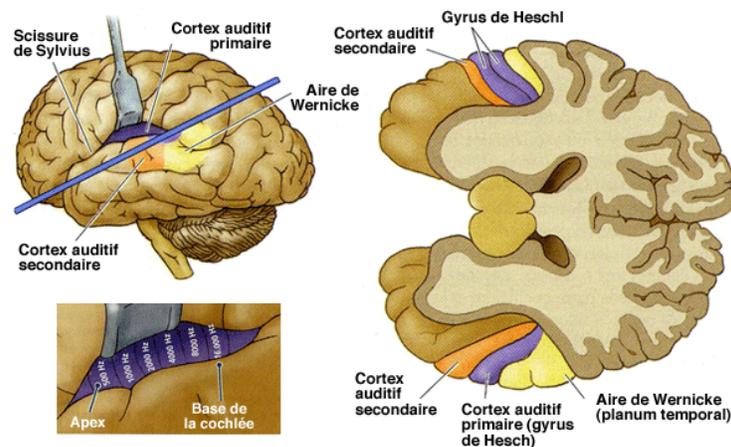


Figure 6. Le cortex auditif (<http://tpe-effets-musique-sur-homme.e-monsite.com/pages/i/3-du-nerf-auditif-au-cerveau/>)

¹³ En général, l'on classe des lésions cérébrales en deux catégories : diffuses et focales. Des lésions diffuses sont des lésions principales et peuvent être plus ou moins étendues, alors des lésions focales se trouvent souvent dans la location spécifique liée à l'impact du cerveau contre des obstacles durs.

Le gyrus de Heschl est un gyrus du lobe temporal du cortex cérébral et situé sur la face supérieure du gyrus temporal supérieur, il est considéré comme le cortex auditif primaire (Figure 5) dans le cerveau sur la base de leurs connexions avec le noyau genouillé médian, qui est responsable de la discrimination des fréquences et des intensités des sons avant de les acheminer vers les aires corticales, ainsi que le potentiel évoqué en réponse à la stimulation auditive (Penfield & Perot, 1963; Celesia, 1976). Les patients avec une lésion dans l'aire latérale droite du gyrus de Heschl ont montré un trouble accru dans la perception du *pitch* des tons complexes avec une fondamentale manquante¹⁴ par rapport à ceux qui ont une lésion dans d'autres zones du cerveau ou dans l'hémisphère gauche (Zatorre, 1988). Par ailleurs, dans la discrimination de la direction du changement du *pitch* (plus haut/plus bas), les patients avec une lésion au gyrus de Heschl dans l'hémisphère droit ont un seuil perceptif plus élevé par rapport aux sujets qui n'ont aucune lésion dans les deux hémisphères ou qui ont des lésions dans l'hémisphère gauche (Johnsrude, Penhune & Zatorre, 2000). Étant donné que le seuil perceptif indique la plus petite valeur physique qui déclenche une sensation psychologique, ceci suggère que les patients avec une lésion au gyrus de Heschl dans l'hémisphère droit ont des problèmes de traitement de la direction du *pitch*.

Ainsi, le gyrus de Heschl du cortex auditif dans l'hémisphère droit joue un rôle particulier dans l'analyse de l'information du *pitch* (Tramo, Shah & Braida, 2002). Par ailleurs, de

¹⁴ En générale, le *pitch* que l'on perçoit correspond à la fréquence fondamentale, même si ce dernier est faible, masqué par d'autres sons, ou absent. Ce phénomène s'appelle un *fundamental absent*, en anglais *missing fundamental*, il est considéré comme le mécanisme avec lequel le système neuronal remplit l'information absente. Ce phénomène est utilisé dans de grand nombre d'expérience, y compris celles qui examinent des substrats neuronaux du traitement du *pitch*.

plus en plus d'études en imagerie ont montré que le cortex auditif secondaire (ou aires associatives auditives, aire de Brodmann 42) (Figure 5), qui se trouve autour du cortex auditif primaire, de l'hémisphère droit serait également impliqué dans l'analyse du changement du *pitch*, en particulier quand les changements sont minimaux. Dans les différentes comparaisons des tons complexes contenant la modulation de la fréquence ou de l'amplitude et des changements spectraux, l'activation de cette aire a été observée (Hall, Johnstrude, Haggard, Palmer, Akeroyd & Summerfield, 2002; Hart, Palmer & Hall, 2003). Ainsi, le cortex auditif secondaire serait responsable des aspects plus complexes du traitement perceptif, ce qui est semblable au traitement de la prosodie parole dont les signaux auditifs complexes sont traités dans l'hémisphère droit.

En conclusion, le traitement de la musique se réalise principalement au niveau des aires auditives primaires (gyrus de Heschl) et associatives situées dans la partie supérieure du lobe temporal droit (hémisphère droit). On pourrait donc conclure qu'il y a un chevauchement du traitement de la prosodie de la parole et de la musique, alors que la musique est principalement traitée dans l'hémisphère droit, le traitement de la prosodie de la parole, soit linguistique, soit affective, implique les deux hémisphères. Le lobe temporal droit, mis à part sa fonction au traitement de la musique, est également responsable de la perception de la prosodie de la parole.

Chapitre 2 Langues à tons vs musique

2.1. Langue à tons

2.1.1. Définition & typologie

En fonction de l'usage du *pitch*, les langues du monde se divisent en deux catégories : les langues à tons et les langues à intonation (Yip, 2002). D'une manière générale, lorsqu'on définit une langue à tons ou tonale, on décrit une langue dans laquelle la prononciation des syllabes d'un mot est soumise à un ton précis, autrement dit, la phonation de la voix des syllabes est soumise à un *pitch* relatif déterminé et la hauteur et/ou le contour de ce *pitch* véhicule le sens lexical du mot. Une modification de ce ton amène donc un mot différent avec des sens complètement différents. Par exemple, en mandarin, la syllabe *ma* peut être associée à au moins quatre sens différents en fonction du ton qu'elle porte : mère (*mā*), chanvre (*má*), cheval (*mǎ*), pester (*mà*).

Contrairement à sa fonction dans les langues tonales, le *pitch* dans les langues à intonation sert à transmettre des informations telles que l'accent syllabique, le rhème d'un énoncé, l'attitude du locuteur, etc.

Bien qu'elles soient exotiques pour des locuteurs du français ou de l'anglais par exemple, les langues à tons sont très répandues, la majorité (à peu près 60%-70%) des langues parlées dans le monde sont des langues tonales (Yip, 2002). Elles se regroupent géographiquement. En Asie, par exemple, le chinois (y compris le mandarin, le cantonais et plusieurs dialectes tels que le min, le gan, le hakka, etc.), le thaï, le lao, le birman et le vietnamien en font partie. En Afrique, de nombreuses langues telles que le bambara, le

yoruba, le moré, le zoulou, etc. portent également des tons. En Amérique, il existe un certain nombre de langues tonales amérindiennes telles que les langues oto-mangues, certaines langues mayas et certaines langues athapascanes. En Europe, les langues indo-germaniques constituent des exemples rares de langues tonales.

Selon la typologie tonale proposée par Pike (1948), deux types de systèmes se présentent : l'un repose sur les tons simples (les tons « ponctuels », *level tones*) défini par un niveau discret de hauteur relative, ou par une séquence de niveau ; l'autre repose sur des tons complexes (les tons « modulés », *contour tones*) défini par une certaine modulation de la hauteur au cours de la syllabe. Alors que les systèmes des tons ponctuels dominent dans les langues africaines, les systèmes des tons complexes sont plus courants dans les langues asiatiques. Ainsi, dans les langues tonales asiatiques, l'information lexicale est transmise par les contours du *pitch*, dans d'autres langues tonales d'Afrique, c'est la hauteur plutôt que les contours en-soi qui véhicule le sens lexical du mot (Yip, 2002), car à l'opposé des tons des langues asiatiques, ceux des langues d'Afrique ont des *pitchs* à l'état stationnaire (*steady-state pitches*), ils se distinguent par une hauteur relativement plus haute ou basse.

Parmi les langues tonales, les tons des langues asiatiques (en particulier le chinois et le thaï) sont sans doute plus connus du grand public et sont également plus courants dans les recherches neuropsychologiques et électrophysiologiques. Tel que mentionné ci-dessus, le chinois ou le thaï contiennent des tons « modulés », c'est-à-dire des tons montants, descendants, descendant-montants, etc. Le nombre de tons varie selon les langues.

En général, les grammairiens traditionnels du mandarin distinguent quatre tons principaux¹⁵:

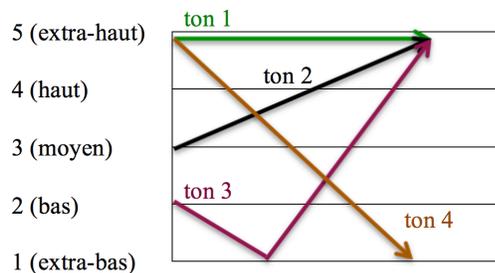
(1) Premier ton : haut et plat (阴平 yīn píng, littéralement : niveau *yin*)

(2) Deuxième ton : montant (阳平 yáng píng, littéralement : niveau *yang*)

(3) Troisième ton : descendant-montant (上声 shǎng shēng, littéralement : « ton haut »)

(4) Quatrième ton, descendant (去声 qù shēng, littéralement : « ton lointain » ou haut-tombant)

Étant donné que le ton est une hauteur ou une courbe mélodique (donc, une propriété du fondamental) associée à une syllabe, le contour du *pitch* des quatre tons en mandarin peut s'expliquer par cinq niveaux du *pitch* de la voix (*vocal range*) de l'être humain : (1) extra-bas; (2) bas; (3) moyen; (4) haut; (5) extra-haut. Les quatre tons peuvent se représenter dans un schéma, disons les courbes tonales (Chao, 1968) :



Représentation schématique des quatre tons du mandarin

15. En effet, à part des quatre tons essentiels, il existe un cinquième ton : le ton « neutre » ou zéro (轻声 qīng shēng, littéralement: « ton léger »). Néanmoins, jusqu'à présent, le cinquième ton est encore controversé, car selon certains linguistes, il n'apparaît qu'au sens sémantique et il ne peut pas être classifié dans la catégorie des quatre tons principaux.

Basés sur les courbes tonales, les quatre tons de la syllabe *ma* peuvent se représenter comme suit (notons que l'on donne au minimum deux chiffres à chaque syllabe même si le ton qu'elle porte est un ton haut et plat, par exemple le premier ton (5-5), le premier chiffre représentant le début du contour du *pitch* et le dernier la fin du contour du *pitch*; lorsqu'une syllabe porte trois chiffres, par exemple quand elle porte le troisième ton (2-1-4), cela veut dire que la direction du contour du *pitch* de ce ton change au milieu de la syllabe, le *pitch* du sommet ou du creux doit alors être indiqué) :

mā (5-5) 'mère'

má (3-5) 'chanvre'

mǎ (2-1-4) 'cheval'

mà (5-1) 'pester'

Tel que mentionné ci-dessus, à l'inverse des langues asiatiques, les langues tonales africaines ne comportent que des tons « ponctuels », qui sont caractérisés par une hauteur et non par un mouvement mélodique (Rialland, 1998). Par exemple, dans les systèmes africains, les trois marques d'accent : aiguë (´), grave (˘) et plat (ˉ) sont principalement utilisées pour représenter respectivement les tons haut, bas et moyen. « L'étude des systèmes prosodiques africains, surtout des systèmes tonals, a donné lieu à de nombreux travaux et des concepts, tels que ceux de 'downstep' ou de tons 'flottants', originellement formés pour décrire des faits africains, sont actuellement utilisés dans l'analyse de langues de familles diverses y compris indo-européennes » (Rialland, 1998). Pourtant, dans la littérature en neuroscience, il y a très peu de recherches neuropsychologiques et

électrophysiologiques sur ces langues (en fait, nous n'en avons pas trouvées). Il semble qu'il s'agit d'une lacune dans le domaine en question.

2.1.2. Le *pitch* dans la perception des tons

Étant donnée la fonction du *pitch* dans les langues tonales, la connaissance d'une telle langue exige des locuteurs d'établir un rapport étroit entre le *pitch* et le sens du mot lors de la production et de la perception de la parole. Cependant, dans les langues à intonation telle que l'anglais, le *mapping* entre le *pitch* et le sens lexical est plus granuleux que dans le cas des langues tonales, étant donné que le *pitch* s'applique à véhiculer des sens reliés à l'intonation et à la pragmatique dans la phrase plutôt que des sens lexicaux au niveau du mot (Cruttenden, 1997 ; Wennerstrom, 2001).

En se fondant sur l'usage du *pitch* des deux types de langues, certains ont proposé que des différences individuelles concernant le traitement du *pitch* pourraient varier en fonction de la langue maternelle et ont supposé que la compétence exigée de la production et de la perception précise du *pitch* dans une langue à tons pourrait être transférée en contexte non linguistique, comme ce qui a été montré par une performance améliorée des locuteurs d'une langue tonale dans les tâches de production/imitation et de perception/discrimination du *pitch* musical (Pfordresher & Brown, 2009).

2.1.3. Le traitement neuronal des tons

En tant que modulation partielle¹⁶ de la fréquence fondamentale, les tons composent une partie de la prosodie du langage humain. Il sera donc intéressant de savoir quel hémisphère est responsable de leur traitement dans le système nerveux central. D'une part,

¹⁶ En anglais *local modulation*.

les tons sont utilisés pour expliquer des contrastes phonémiques, ceci est considéré comme une fonction de l'hémisphère gauche ; d'autre part, la modulation de la fréquence fondamentale est présumée exister généralement dans l'hémisphère droit (Ryalls & Reinvang, 1986).

Tel que mentionné au premier chapitre, la plupart des arguments soutenant le rôle de la fonction dans la latéralisation de la prosodie dérivent originellement des études sur des langues tonales. En utilisant l'écoute dichotique, Van Lancker et Fromkin (1973) ont comparé des préférences auditives des locuteurs du thaï et de l'anglais pour trois séries de stimuli : (1) des stimuli linguistiques avec des changements de *pitch* (cinq mots du thaï qui se distinguent par le ton qu'ils portent) ; (2) des stimuli linguistiques sans changement de *pitch* (cinq mots du thaï portant le même ton mais dont la première consonne est différente) ; (3) des stimuli contenant des changements de *pitch* mais pas d'information segmentale (des fredonnements/*humming*s de cinq tons du thaï). Selon les résultats, les locuteurs du thaï ont montré une préférence auditive de l'oreille droite pour tous les stimuli linguistiques, peu importe qu'ils contiennent le changement du *pitch* ou pas, alors que dans la perception des fredonnements/*humming*s des tons du thaï, ils n'ont montré aucune préférence auditive. À l'opposé, les locuteurs de l'anglais ont une préférence auditive de l'oreille droite seulement pour la deuxième série de stimuli : les cinq mots qui portent le même ton mais qui se distinguent par la première consonne. Selon les auteurs, la discrimination du *pitch* est latéralisée dans l'hémisphère gauche pour les locuteurs du thaï lorsque les différences de *pitch* sont traitées linguistiquement. Pour les locuteurs de l'anglais pourtant, la distinction des tons n'existe pas dans leur langue maternelle (elle n'est pas traitée de façon linguistique), alors le traitement n'est pas principalement

latéralisé dans l'hémisphère gauche. Selon Van Lancker (1980), les contrastes de *pitch* très structurés¹⁷ sont reliés au traitement cérébral de l'hémisphère gauche, alors que les moins structurés sont traités dans l'hémisphère droit. Selon cette proposition, la latéralisation dépend de la fonction des corrélats physique/acoustique du langage. Autrement dit, le cerveau reconnaît des contextes dans lesquels des signaux physiques se représentent (Wong, 2002). Cette hypothèse prédit que le traitement des tons est latéralisé dans l'hémisphère gauche. En suivant cette hypothèse, de nombreuses recherches sur le traitement neuronal des tons ont été effectuées avec des approches de l'écoute dichotique, de la lésion, et de l'imagerie cérébrale.

Dans une étude en perception dichotique de deux tons du norvégien (Moen, 1993), une langue tonale, des locuteurs ont montré une préférence auditive de l'oreille droite. Cela suggère une latéralisation de la distinction tonale du norvégien dans l'hémisphère gauche. Bien que ce résultat soit conforme à la proposition de Van Lancker (1980), il est peut-être imprudent de le généraliser à d'autres langues tonales, car à l'opposé des langues chinoises et thaïlandaises qui ont plusieurs différents contrastes du *pitch*, le norvégien n'en contient que deux : le ton simple qui est caractérisé « par une hausse de la voix entre le milieu de la voyelle accentuée et la fin du mot » ainsi que le ton double caractérisé « par une baisse de la voix dans la seconde moitié de la syllabe accentuée, suivie d'une brusque hausse jusqu'à la fin du mot » (Renaud & Buscall, 1996). De plus, le domaine du

¹⁷ Selon Van Lancker (1980), du point de la structure linguistique, le contraste du *pitch* dans la langue parlée est classifié en différents niveaux dans une échelle hiérarchique fonctionnelle. Le premier niveau (le moins structuré) est celui de la qualité vocale ; le deuxième niveau (considéré comme étant paralinguistique) concerne le contour d'intonation qui reflète les caractéristiques de la personnalité et l'état émotionnel ; le troisième niveau (considéré comme étant linguistique) l'intonation qui reflète l'attitude et l'émotion du locuteur ; le quatrième niveau est l'usage syntaxique d'intonation pour indiquer différents types de phrases (question/affirmation) ou de propositions (appositive/déterminative). Le dernier niveau (le plus structuré) concerne l'usage du *pitch* dans les domaines phonologique et lexical.

contraste du pitch en norvégien couvre deux syllabes et des morphèmes monosyllabiques ne portent pas d'assignation du *pitch*. De ce point de vue, l'assignation du ton en norvégien est liée à la morphologie (Moen, 1993).

Dans une autre étude effectuée sur la perception dichotique de tons en mandarin (Wang, 2001), la latéralisation du traitement des tons lexicaux a été examinée auprès de 20 locuteurs du chinois et de 20 américains qui n'ont aucune expérience tonale. Dans les tâches qui consistaient à distinguer les tons entendus, les locuteurs du mandarin ont montré une préférence auditive importante de l'oreille droite, ce qui n'a pas été observé dans le groupe des locuteurs de l'anglais américain. Cela suggère que pour les locuteurs natifs du mandarin, les tons seraient traités principalement dans l'hémisphère gauche. Pour des locuteurs qui n'ont pas de connaissance native de cette langue pourtant, le traitement des tons serait bilatéral dans les deux hémisphères (Klein, Zatorre, Milner & Zhao, 2001). Ce résultat est conforme à ceux dans les deux études de l'écoute dichotique sur la perception des tons du thaï et du norvégien, suggérant la supériorité de l'hémisphère gauche pour le traitement des tons lexicaux lorsque ce dernier fait partie du système linguistique du locuteur.

Alors que les études de l'écoute dichotique tentent d'examiner quel hémisphère présenterait un avantage vis-à-vis du traitement des tons, les études sur les lésions hémisphériques nous ont montré lequel hémisphère serait *nécessaire*. Dans une étude d'identification des contrastes des tons de la langue Thaï avec des patients aphasiques (Gandour & Dardarananda, 1983), il a été observé que la performance des sujets avec une lésion dans l'hémisphère gauche différait considérablement de celle du contrôle normal (il n'y a qu'un sujet normal) ; le sujet ayant une lésion de l'hémisphère droit (il n'y a

qu'un sujet avec une lésion de HD), de son côté, présentait une performance similaire à celle du contrôle. De la même façon, aucun sujet avec une lésion de l'hémisphère droit n'a de trouble dans la production des cinq tons du thaï (Gandour, Ponglorpisit, Khunadom, Dechongkit, Boogird, Boonklam & Potisuk, 1992).

Dans une autre étude de l'aprosodie sur des locuteurs du mandarin (Hughes, Chan & Su, 1993), il a été constaté que, par rapport à la performance du groupe contrôle, celle des patients avec une lésion dans l'hémisphère droit était réduite dans la perception et dans la production de la prosodie affective, mais leur capacité d'identifier les tons linguistiques demeurait intacte. Conformément à d'autres recherches mentionnées ci-dessus, celle-ci a montré que des lésions dans l'hémisphère gauche auraient une influence sur la perception des tons, alors que celles de l'hémisphère droit n'auraient pas d'effets sur la capacité de distinguer ces contrastes.

Par rapport aux études de l'écoute dichotique et des lésions - qui mettent l'accent sur la latéralisation hémisphérique - celles avec l'imagerie cérébrale nous permettent d'avoir accès aux *mécanismes* cérébraux impliqués dans le traitement des tons. Dans l'une des premières études sur le traitement du *pitch* des syllabes du thaï avec tomographie par émission de positron (TEP), Gandour, Wong & Hutchins (1998) ont constaté que par rapport à des locuteurs de l'anglais américain, seulement ceux du thaï avaient montré une activation dans le cortex frontal gauche, ce qui suggère une activation des centres spécialisés du langage dans l'hémisphère gauche lorsque des stimuli sont traités d'une manière linguistique. Dans une autre étude sur la perception des tons du thaï avec tomographie par émission de positron (Gandour, Wong, Hsieh, Weinzapfel & Van Lancker, 2000), l'activation à la région frontale gauche n'a été observée que dans le

groupe de locuteurs du thaï. Cependant, dans les groupes de locuteurs du chinois et de l'anglais, il y avait une activation importante dans la région de l'Insula antérieure, une structure du cortex cérébral située entre le lobe temporal et le lobe frontal qui joue un rôle important dans les émotions positives et négatives. Le résultat est conforme à celui des études de la lésion avec des patients qui parlent une langue tonale et qui ont une dominance de l'hémisphère gauche pour le langage (Naeser& Chan, 1980, Packard, 1986).

Toutes les études mentionnées ci-dessus semblent suggérer une dominance de l'hémisphère gauche quant au traitement des tons lexicaux. Cependant, nous constatons que dans la plupart des études de lésion qui soutiennent cet argument, seul des patients avec une lésion dans l'hémisphère gauche ont été examinés ; même dans certaines études comprenant des patients avec une lésion de l'hémisphère droit, le nombre des sujets est très petit. Le nombre de sujet du groupe contrôle est aussi limité. De plus, dans des études inter-linguistiques auxquelles la performance des locuteurs d'une langue tonale et non tonale a été comparée, il est difficile de prédire si des activations dans l'hémisphère gauche sont particulièrement reliées au traitement des tons ou plus généralement au système linguistique et si la connaissance du ton influence son traitement hémisphérique.

Avec un paradigme similaire paradigme en écoute dichotique, Baudoin-Chial (1986) a fait une recherche sur la latéralisation hémisphérique du mandarin avec des locuteurs de cette langue tonale et ceux qui parlent français comme langue maternelle. En vue d'examiner si le résultat obtenu dans la recherche de Van Lancker et Fromkin (1973) pourrait être généralisé dans d'autres langues tonales, ils ont choisi trois séries de stimuli semblables, sauf que les mots et les tons sont en mandarin. Donc, les stimuli contiennent :

(1) quatre mots qui se distinguent par le ton qu'ils portent ; (2) quatre mots portant le même ton mais dont la première consonne est différente et (3) le fredonnement/*humming* des quatre tons du mandarin sans information segmentale. Dans la perception dichotique des trois séries de stimuli, les locuteurs du mandarin n'ont montré aucune préférence auditive importante. Néanmoins, les locuteurs du français présentaient une préférence auditive de l'oreille droite dans la discrimination des mots qui se distinguent par la première consonne ainsi qu'une préférence auditive de l'oreille gauche dans la distinction des mots qui se distinguent par le ton porté. Aucune préférence auditive n'a été observée dans la discrimination du fredonnement/*humming* des tons. Selon ce résultat, le traitement des tons lexicaux du mandarin serait bilatéral pour des locuteurs de cette langue mais latéralisé dans l'hémisphère droit pour des locuteurs du français. De ce point de vue, cette étude n'a pas appuyé l'hypothèse de la latéralisation de tons dans l'hémisphère gauche proposée par Van Lancker (1980). Ainsi, il se pourrait que des différences du traitement hémisphérique des tons entre des locuteurs du thaï et ceux du mandarin résultent de leur système du langage (Baudoin-Chial, 1986).

Dans une étude inter-linguistique sur la perception des tons du mandarin avec TEP (Klein, Zatorre, Milner & Zhao, 2001), l'activation de l'hémisphère droit dans le groupe des locuteurs du mandarin n'a pas été observée. Dans leur étude, 12 locuteurs du mandarin et 12 locuteurs de l'anglais sont inclus, et des stimuli contiennent de vrais mots pour ce premier groupe mais pas pour ce dernier. Les deux groupes ont montré une augmentation de débit sanguin cérébral (*cerebral blood flow, CBF*) dans certaines régions communes (gyrus temporel supérieur, cervelet, thalamus), sauf que les locuteurs du mandarin montraient une activation additionnelle dans les régions frontale, pariétale et pariéto-

occipitale dans l'hémisphère gauche. Ceci suggère, selon les auteurs, que l'expérience langagière pourrait influencer le système de circuits cérébraux lors du traitement des signaux auditifs. Au contraire, le groupe de locuteurs de l'anglais a montré une activation additionnelle dans le cortex inférieur frontal de l'hémisphère droit, ce qui supporte l'hypothèse de la latéralisation de l'hémisphère droit pour la perception du *pitch*, car pour eux, les tons du mandarin n'existent pas dans leur langue maternelle et donc ne sont pas traités d'une manière linguistique. Le fait que seuls les locuteurs du mandarin aient une activation supplémentaire dans certaines régions de l'hémisphère gauche suggère son importance quant au traitement du *pitch* en contexte linguistique. Le résultat est conforme à ceux des études sur d'autres langues tonales avec la même approche de l'écoute dichotique (Van Lancker & Fromkin, 1973) et d'autres études en aphasie (Naeser & Chan, 1980, Gandour & Dardarananda, 1983) dans lesquelles les tons sont essentiellement traités dans l'hémisphère gauche lorsqu'ils forment une partie du système linguistique du locuteur. Ainsi, le traitement des tons du mandarin serait principalement réalisé dans l'hémisphère gauche pour les locuteurs natifs, mais bilatéralement pour les locuteurs de l'anglais qui n'ont aucune expérience préalable des tons (Wang, Jongman & Sereno, 2001).

Dans une autre recherche inter-linguistique sur la perception des tons et de l'intonation en mandarin, il a été montré que le traitement de tous les aspects prosodiques n'est pas latéralisé dans l'hémisphère gauche (Gandour, Tong, Wong, Talavage, Dzemic, Xu, Li & Lowe, 2004). Selon les auteurs, les différences inter-linguistiques de la latéralité des régions particulières du cerveau dépendent de la connaissance implicite de la relation entre des caractéristiques des stimuli extérieurs (acoustique/auditif) et des représentations

conceptuelles internes (linguistique/prosodique). Alors qu'une activation aux lobes temporal et frontal de l'hémisphère droit a été observée parmi les locuteurs du mandarin et de l'anglais, celle aux lobes temporal, frontal et pariétal de l'hémisphère gauche a été observée seulement dans le groupe des locuteurs du mandarin. Les auteurs ont donc conclu que la latéralisation de l'hémisphère gauche renvoie le traitement des représentations internes des tons et de l'intonation du mandarin, alors que la latéralité de l'hémisphère droit le traitement des stimuli auditifs complexes.

En bref, une partie de la prosodie, les tons d'une langue tonale ne sont pas traités seulement dans l'hémisphère gauche ou droit. Alors que certaines données ont appuyé la latéralisation de l'hémisphère gauche, d'autres ont supporté l'importance de l'hémisphère droit. Ceci pourrait être attribué aux différents facteurs tels que le nombre et la sélection des sujets, la complexité des stimuli, l'influence de la langue maternelle, la méthodologie, etc. D'une manière générale, les deux hémisphères sont impliqués dans la perception des tons lexicaux. La question qui reste en suspens est si la latéralisation de l'hémisphère gauche chez les locuteurs d'une langue tonale est spécialement le résultat du traitement des tons ou généralement du système linguistique.

2.2. Organisation du système tonal occidental

Le *pitch* joue un rôle important non seulement dans le langage mais aussi en musique où il est le principal élément qui permet d'observer la présence d'une structure hiérarchique entre les notes et les accords qui constituent une pièce musicale. Ceci se reflète dans le système tonal occidental qui désigne l'ensemble des principes et des lois qui régissent la notation de l'intonation ainsi que le fonctionnement et la mise en mouvement de la

structure musicale occidentale tonale dans ses deux dimensions : mélodique et harmonique. Mis en place à partir de la Renaissance, le système tonal occidental est utilisé de façon quasi exclusive depuis le 17^e jusqu'à la fin du 19^e siècle, et est encore dominant dans l'environnement musical aujourd'hui.

2.2.1. Les notes, les tonalités, les intervalles et les accords

Dans la musique occidentale, les sons sont catégorisés en 12 notes disponibles (do, do#/réb, ré, ré#/mib, mi, fa, fa#/solb, sol, sol#/lab, la, la#/sib, si), chacun constituant un *pitch*. Les notes en musique sont donc considérées comme une sorte d'équivalent des tons lexicaux en langage. De manière générale, la musique tonale est organisée autour de sous-ensembles de 7 notes parmi ces douze, chacun de ces sous-ensembles permettant d'établir une tonalité précise entre les degrés. Par exemple, le sous-ensemble {do, ré, mi, fa, sol, la, si} définit la tonalité de *Do Majeur*. Ces sept notes peuvent se succéder dans l'ordre ascendant (do, ré, mi, fa, sol, la, si, do) ou descendant (do, si, la, sol, fa, mi, ré, do), constituant une gamme diatonique et spécifique d'une tonalité donnée qui est définie par la tonique de la gamme. Généralement, on définit chaque note d'une gamme comme un degré : la première note de la gamme est le 1^{er} degré, la deuxième note le 2^{ème} degré...jusqu'au *Si* qui est le 7^{ème} degré, chacun portant un nom : tonique, sus-tonique, médiante, sous-dominante, dominante, sus-dominante, sensible.



La gamme de *Do majeur*

La distance entre deux notes de hauteurs différentes se définit comme un intervalle, qui peut être classifié en deux catégories : intervalle mélodique (les deux sons sont émis successivement) et intervalle harmonique (les deux sons sont émis simultanément). En fonction du nombre de degrés qu'ils contiennent, les intervalles se nomment la seconde, la tierce, la quarte, la quinte, la sixte, la septième et l'octave. Les intervalles entre les notes de la gamme diatonique caractérisent le mode de la tonalité : majeur ou mineur. En reposant sur des notes de la chromatique, l'on peut construire 12 tonalités majeures et 12 mineures.

La musique tonale organise aussi les notes en accords, c'est-à-dire un ensemble de notes (au moins 3) jouées simultanément. Alors qu'une suite d'intervalles mélodiques forme une mélodie, qui représente la dimension horizontale de la musique, les intervalles harmoniques sont la base de la formation des accords constituant la dimension verticale de la musique.

Dans le système tonal occidental, il existe une hiérarchisation entre les notes et accords constitutifs d'une tonalité. Ceci reflète des fonctions différentes entre ces éléments musicaux, dont chacun portant une importance différente. Afin de percevoir les fonctions et les différents rapports que ces éléments musicaux entretiennent entre eux, l'auditeur doit être capable de percevoir la tonalité d'une œuvre.

Chapitre 3 L'influence de l'expérience native d'une langue tonale sur la perception du contraste du *pitch* en musique : une revue de littérature

3.1. Méthodologie

3.1.1. Neurosciences

Deux habiletés cognitives de l'être humain, le langage et la musique ainsi que leur relation sont des sujets de recherches particulièrement intéressants en neurosciences. En effet, un examen des réponses physiologiques du cerveau avec des outils de l'imagerie fonctionnelle tels que l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), la tomographie par émissions de positrons (TEP), l'électroencéphalographie (EEG) et la magnétoencéphalographie (MEG), permet non seulement de détecter les aires cérébrales activées dans diverses tâches cognitives mais aussi de décrire les mécanismes neuronaux impliqués dans la représentation cérébrale et le traitement des informations nécessaires au cours de ces tâches (Delbé, 2009). De façon générale, l'étude du fonctionnement cérébral régional se réalise par l'observation du flux sanguin dans une zone donnée et des potentiels de champs électromagnétiques générés par les neurones.

Lorsqu'une région cérébrale s'active, le cerveau doit alimenter cette région en sang frais qui apporte l'oxygène transporté par l'hémoglobine. La tomographie par émissions de positrons (TEP) et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf) sont les plus courantes pour déterminer la localisation des aires cérébrales et nous permettent d'observer des aires activées en enregistrant les changements de flux sanguin dans le cerveau ; la TEP mesure les modifications du débit sanguin cérébral¹⁸, alors que l'IRMf

¹⁸ En anglais *cerebral blood flow*, CBF, c'est le volume du sang arrivant au cerveau par unité du temps.

enregistre le signal BOLD¹⁹, appelé aussi la réponse hémodynamique. Bien que ces deux méthodes ne fournissent pas une mesure directe de l'activité neuronale et que leur résolution temporelle soit limitée (l'activité neuronale étant un phénomène électrique très rapide et qu'il existe toujours un délai entre l'activation et sa mesure - les pics de réponses apparaissent au minimum deux secondes et au maximum quatre après le début de l'activation d'une région cérébrale), elles offrent une grande résolution spatiale et sont donc les outils principaux pour localiser les fonctions cognitives.

À l'opposé de la TEP et de l'IRMf, l'électroencéphalographie (EEG) et la magnétoencéphalographie (MEG) sont des mesures directes de l'activité neuronale, permettant l'étude des propriétés temporelles fines des réponses neuronales dans certaines tâches cognitives. La première méthode de neuroimagerie non invasive et la première approche consistant à mesurer des potentiels évoqués (PE)²⁰, l'électroencéphalographie (EEG) permet d'enregistrer des champs électriques générés à la surface du scalp par l'activité de larges populations de neurones. Pendant l'enregistrement électroencéphalographique, une même stimulation serait présentée de nombreuses fois (30-1000). Ceci permet de mettre en exergue des ondes positives et négatives caractéristiques des différentes étapes au processus du traitement de l'information. La moyenne des ondes positives et négatives résultante a pour résultat la forme d'onde typique qui reflète la réponse cérébrale, ce qui est appelé potentiel évoqué (PE). Généralement, on décrit le PE avec la polarité P (positive) ou N (négative) et la

¹⁹ En anglais *blood-oxygen-level dependent signal*, signal « dépendant du niveau d'oxygène sanguin », c'est le signal qui indique l'arrivée locale et transitoire d'hémoglobine oxygénée lorsqu'une région cérébrale est activée.

²⁰ Un potentiel évoqué (en anglais *Event-Related Potential*) désigne la modification de l'activité électrique du système nerveux en réponse à une stimulation externe visuelle ou auditive (un son, une image, etc.) ainsi qu'à un événement interne tel que des activités cognitives. Généralement, il se représente sous la forme d'une onde cérébrale (potentiel électrique) générée en réponse à la présentation de stimuli acoustiques.

latence de la déflexion dans la forme d'onde. Par exemple, P300 (appelé aussi P3) signifie une onde d'amplitude positive dont le pic apparaît 300ms après le début du stimulus. Contrairement à l'électroencéphalographie (EEG), qui mesure les champs électriques de l'activité cérébrale, la magnétoencéphalographie (MEG) mesure les très faibles champs magnétiques, provoqués par l'activité électromagnétique des neurones. Cette méthode permet de découvrir les régions actives et le moment des activités dans diverses situations.

La négativité de discordance (*mismatch negativity*, MMN) est une composante du potentiel évoqué (donc une onde cérébrale observée en EEG) générée en réponse aux changements discriminables des stimuli auditifs qui représentent un traitement sensoriel précoce (Näätänen & Alho, 1997). Une mesure induite par la représentation d'un stimulus déviant qui est inséré dans une suite de stimuli standards (Näätänen, Gaillard & Mäntysalo, 1978), la MMN est le résultat de la soustraction de l'onde engendrée par la réponse aux stimuli standards à celle de la réponse induite par la présentation des stimuli déviants (Figure 4). D'une manière générale, la MMN apparaît lorsqu'il y a des changements de fréquence, d'intensité, de durée, de timbre, de la source ainsi que de la complexité du son (normalement elle apparaît environ entre 100-250ms après le stimulus). Étant donné qu'elle se représente comme une négativité présente dans l'aire fronto-central, la MMN est un excellent outil pour examiner le traitement automatique de l'information suprasegmentale de la parole (Chandrasekaran, Krishnan & Gandour, 2009), en particulier au niveau cortical.

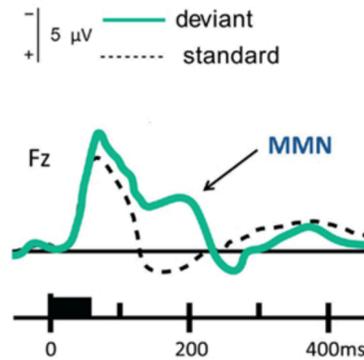


Figure 7. La MMN (http://republic.pink/negativite-discordance_3037521.html)

La « réponse d'adoption de fréquence » (*Frequency Following Response*, FFR) est un potentiel évoqué généré par des stimuli périodiques ou quasi-périodiques qui reflètent l'activité neuronale soutenue des éléments neuronaux. En neurosciences, la FFR est utilisée pour évaluer le rôle de verrouillage de phase²¹ dans l'encodage des sons complexes, l'encodage du *pitch*, l'audition binaurale ainsi que dans l'évaluation des caractéristiques neuronales de la non linéarité²² de la cochlée (Burkard, Don & Eggermont, 2007).

3.2. La connaissance d'une langue à tons et la perception du *pitch* en musique : des effets potentiels d'inter-domaine ?

3.2.1. Le *pitch* en tant que lien entre le langage et la musique

La hauteur tonale d'un son qui résonne à une fréquence particulière, le *pitch*, joue un rôle important dans la musique et le langage. Dans la musique, le *pitch* véhicule l'information de la tonalité (Krumhansl, 1990), des changements harmoniques (Holleran, Jones &

²¹ Le verrouillage de phase (*phase-locking*) décrit la capacité d'un neurone à allumer le potentiel d'action (appelé aussi influx nerveux) en synchronie avec la phase de l'événement de stimulus.

²² Dans les oreilles normales, la réponse de la membrane basilaire au son est non linéaire, autrement dit, il y a y des distorsions.

Bulter, 1995), de la frontière des phrases (Deliège, 1987), du rythme et de la mesure (Jones, 1987), ainsi que de la probabilité des événements à venir (Narmour, 1990). Dans la parole, il transmet l'information de l'accent tonique, de l'accent de la parole, de l'attitude et de l'émotion du locuteur (Cruttenden, 1997). Dans une langue à ton telles que le mandarin, le cantonais, le thaï, etc., le *pitch* transmet également de l'information concernant le sens lexical du mot (Yip, 2002). Sur le plan des neurosciences, le *pitch* est un attribut perceptuel essentiel au traitement cérébral du langage et de la musique (Oxenham, 2012). Il serait donc intéressant d'interroger dans quelle mesure des individus varient-ils dans leur capacité de la production et de la perception du *pitch* ainsi que comment des activités neuronales concernant le *pitch* seraient traitées dans les étapes sensorielle et cognitive dans un réseau hiérarchique qui peut être modifié par la plasticité dépendant de l'expérience (*experience-dependent plasticity*). En revanche, la recherche sur le *pitch* nous donne de bonne occasion d'explorer la relation entre la musique et le langage parlé.

3.2.2. Des effets de transfert d'inter-domaine : des preuves

L'usage précis du *pitch* pour des musiciens et des locuteurs pose une question de savoir si le traitement du *pitch* dans un domaine est relié à celui dans l'autre (Wong, Ciocca, Chan, Ha, Tan & Peretz, 2012). Il a été mis en évidence que la capacité musicale peut être transférée dans la perception des tons linguistiques (Musacchia, Sams, Skoe & Kraus, 2007 ; Wong, Skoe, Russo, Dees & Kraus, 2007). Par exemple, par rapport aux non-musiciens, des musiciens présentent une performance plus rapide et plus précise dans les tâches d'identification et de discrimination des tons lexicaux du mandarin, même si ces deux groupes ont l'anglais comme langue maternelle (Alexander, Wong & Bradlow,

2005). Cela suggère que des musiciens pourraient transférer la compétence du traitement du *pitch* en musique dans les tâches linguistiques concernant le *pitch* des tons lexicaux. Dans une recherche de Delogu, Lampis & Olivetti Belardinelli (2006), bien que tous les sujets ayant l'italien comme langue maternelle éprouvent des difficultés dans la discrimination des variations tonales du mandarin, ceux qui ont une compétence mélodique plus avancée montrent une meilleure performance dans les tâches. Wong, Skow, Russo, Dees & Kraus (2007) ont même montré que l'expertise musicale renforce l'encodage du *pitch* des tons isolés dans le système neuronal. Bien qu'ils n'aient pas été exposés auparavant à des tons lexicaux, des musiciens ont montré une réponse d'adoption de fréquence (FFR) plus robuste évoquée par la perception des syllabes de Mandarin que des non-musiciens. D'autres évidences neuropsychologiques ont suggéré que l'entraînement musical facilite le traitement du *pitch* en linguistique (Musacchia, Sam, Skow & Kraus, 2007; Magne, Schon & Besson, 2006; Schon, Magne, Besson, 2004).

En ce qui concerne l'effet de transfert de la connaissance d'une langue tonale vers la perception du *pitch* en musique, peu de recherches ont été effectuées et certaines données existantes sont limitées et contradictoires. Dans les études, certains ont proposé que des locuteurs d'une langue tonale utilisent des réseaux neuronaux séparés pour la perception du *pitch* dans les deux domaines (Gandour, Wong, Hsieh, Weizapfel, Van Lancker & Hutchins, 2000) et que le traitement du *pitch* s'accomplit dans les modules spécifiques et indépendants, selon le contexte dans lequel apparaît le *pitch* (Peretz & Coltherat, 2003), alors que d'autres ont fourni des données appuyant l'avantage perceptuel des locuteurs d'une langue à tons dans la perception du contraste du *pitch* en domaine non linguistique

et ont proposé que l'expérience native d'une langue à tons puisse renforcer la capacité de percevoir et de catégoriser des tons linguistiques ou non-linguistiques (la musique) (Deutsch, Henthorn, Marvin & Xu, 2006 ; Krishnan, Gandour, Bidelman & Swaminathan, 2009). Par exemple, par rapport aux individus qui ont l'anglais comme langue maternelle, les locuteurs natifs du mandarin, dont la signification lexicale du mot dépend de la hauteur du *pitch* ainsi que du changement du *pitch* (le contour mélodique), semblent meilleurs pour distinguer des intervalles du *pitch* en musique (Pfordresher & Brown, 2009; Hove & Sutherland, 2010). Selon Bidelman, Hutka & Moreno (2013), les locuteurs d'une langue tonale et les musiciens partagent une meilleure capacité perceptuelle et cognitive pour le *pitch* en musique dans les tâches qui consistent à mesurer l'acuité auditive du *pitch*, la perception musicale et la capacité cognitive générale. En quoi contribue la connaissance d'une langue tonale dans la perception du *pitch* et dans quelle mesure joue-t-elle son rôle ? Est-ce que le *pitch* dans une langue tonale et celui dans la musique sont traités par des mécanismes cérébraux communs ?

Afin de savoir si l'avantage perceptuel chez les locuteurs d'une langue tonale résulte des dynamiques temporelles correspondantes des processus neuronaux dans la perception du *pitch* et si cette compétence peut être transférée dans la perception des stimuli non linguistiques tels que les tons purs, Giuliano, Pfordresher, Stanley, Narayana & Wicha (2011) ont comparé la performance de locuteurs natifs du mandarin avec celle de locuteurs de l'anglais dans deux tâches de distinction auditive, dont l'une concerne la discrimination du *pitch* simple et où l'autre concerne la discrimination de l'intervalle de *pitch*. En enregistrant des potentiels évoqués, ils ont constaté que par rapport au groupe des locuteurs de l'anglais (qui n'a aucune expérience des tons), celui des locuteurs du

mandarin montrait une meilleure performance. Ils étaient plus précis dans la détection des changements de la hauteur et de la distance d'intervalle du *pitch* (Figure 8), et leur potentiel évoqué a montré une réponse plus précoce lors de la distinction du changement et du non-changement (Figure 9).

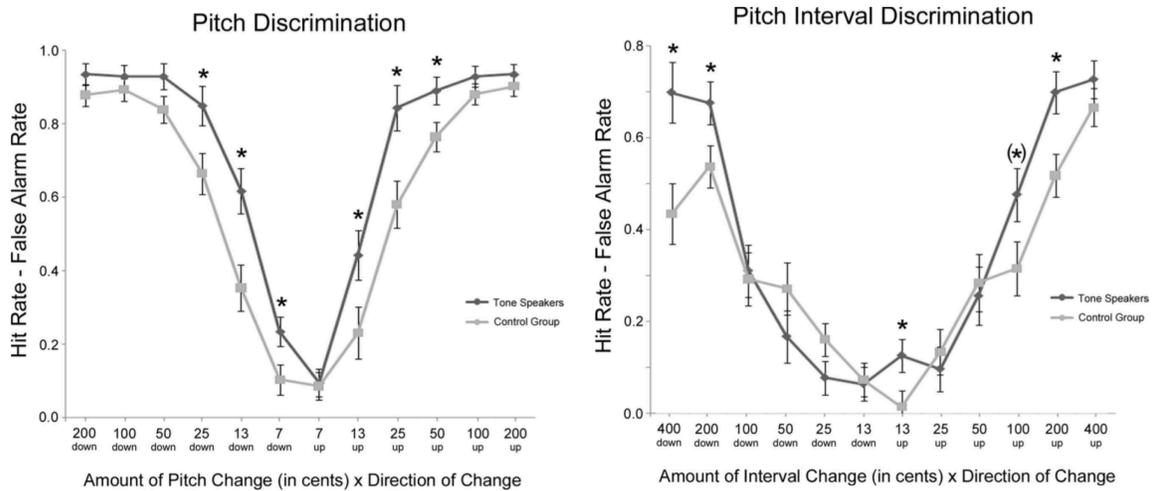


Figure 8. Le taux de réussite de la discrimination du pitch (gauche) et de l'intervalle (droit). Nous voyons que le « taux de réussite » est plus élevé dans le groupe des locuteurs du mandarin que dans le groupe de contrôle. (Giuliano, Pfordresher, Stanley, Narayana & Wicha, 2011)

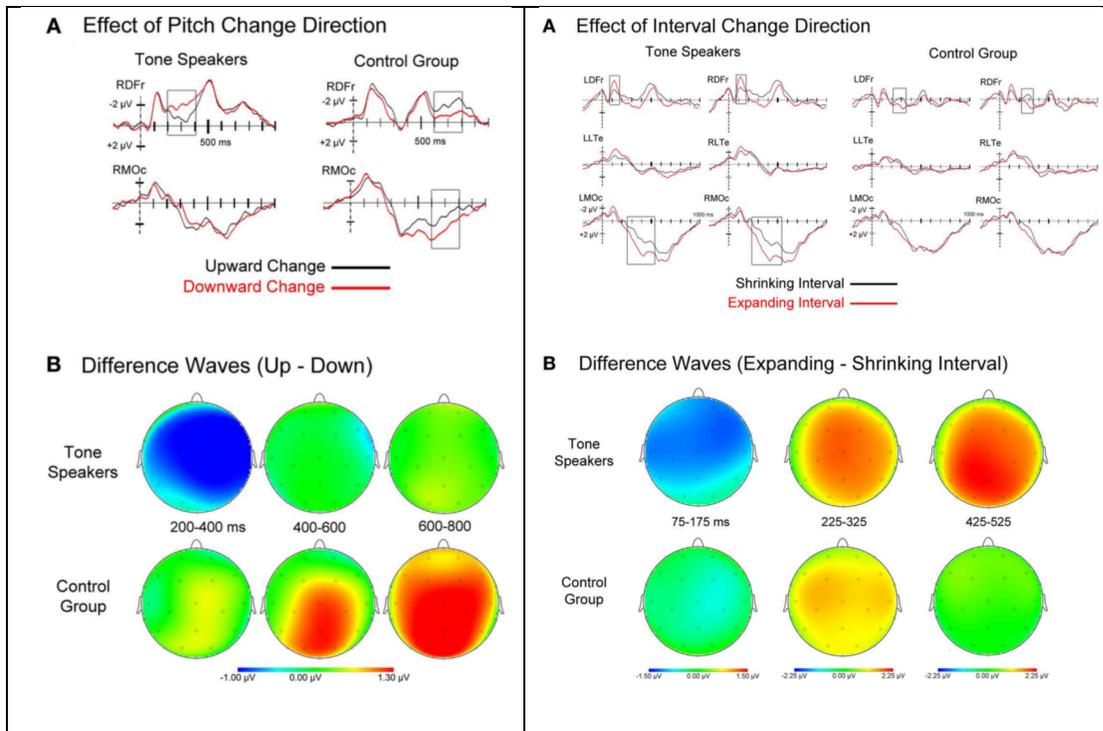


Figure 9. Effet du changement du *pitch*. Dans la discrimination du *pitch* simple, les locuteurs du mandarin ont montré une réponse à la direction du changement du *pitch* 200-400ms après le début de stimuli, alors que le groupe de contrôle distingue le changement 400ms après le début de stimuli; dans la discrimination de l'intervalle, la réponse au changement de l'intervalle apparaît vers 75-125 ms après le début de stimuli, alors que celle du groupe de contrôle se présente 225 ms après le début de stimuli (Giuliano, Pfordresher, Stanley, Narayana & Wicha, 2011)

Dans la tâche de la discrimination des tons simples, un réseau neuronal plus largement distribué a été observé dans le cerveau des locuteurs de l'anglais, ce qui suggère que la tâche soit plus difficile pour eux à cause de leur inexpérience des tons du mandarin. La réponse plus précoce des locuteurs du mandarin dans les tâches a appuyé l'effet positif de l'expérience native d'une langue tonale sur la perception du *pitch* en musique. Ceci serait dû à leur capacité de traiter le *pitch* qui facilite des réponses cérébrales aux stimuli auditifs dans les étapes précoces du traitement. D'ailleurs, les auteurs ont trouvé que les locuteurs du mandarin avaient montré une plus grande sensibilité aux informations

concernant la hauteur du *pitch*, même lorsqu'ils étaient exposés aux tons qui ne ressemblent pas directement à ceux dans leur langue maternelle. Cela est conforme à l'idée que la hauteur et le contour du *pitch* soient séparément traités lors de la perception des tons lexicaux du mandarin (Massaro, Cohen & Tseng, 1985) et que l'expérience native d'une langue à tons entraîne un renforcement général au traitement du *pitch* de l'input non linguistique (Deutsch & Henthorn, 2004). Finalement, les locuteurs du mandarin ont montré une plus grande sensibilité à la direction du changement de *pitch* et le taux de réussite des changements « vers le bas » (*downward changes*, c'est-à-dire le *pitch* plus bas) est plus élevé que « vers le haut » (*upward changes*, c'est-à-dire le *pitch* plus haut). Selon les auteurs, ceci résulterait de leur expérience langagière car en mandarin, les tons descendants apparaissent plus fréquemment que les tons montants ; les locuteurs ont donc plus d'expériences dans la détection des changements « vers le bas » du *pitch*. Cela suggère que certaines caractéristiques spécifiques des sons auxquels est exposé le locuteur ait de l'influence sur des effets de transfert entre des stimuli linguistiques et non linguistiques (Giuliano, Pfordresher, Stanley, Narayana & Wicha, 2011). Autrement dit, la sensibilité des locuteurs dépend des stimuli qui font partie du système linguistique de leur langue maternel. De ce point de vue, ce résultat pose des problèmes sur la sensibilité plus grande chez les locuteurs du mandarin à la hauteur du *pitch* des tons, même si ce dernier n'existe pas directement dans leur langue maternelle. Rappelons qu'il se pourrait que la hauteur et le contour de *pitch* du mandarin soient séparément traités lors de la perception des tons lexicaux, nous pourrions supposer que l'expérience du contour du *pitch* et celle de la hauteur du *pitch* influencent, de façon différente, la sensibilité des informations respectivement reliées à ces deux aspects du

pitch du mandarin. Effectivement, il a été mis en évidence que des locuteurs du mandarin montrent des localisations hémisphériques différentes du traitement cortical du contour et de l'intervalle du *pitch* (Bidelman & Chung, 2015). Mis à part ce problème, les résultats montrent que la connaissance native d'une langue tonale influence de manière positive, la compétence du locuteur au traitement des informations non linguistiques (lors de la discrimination du *pitch* simple et de l'intervalle, ils ont montré une réponse plus précise et plus précoce que des individus qui ont pour langue maternelle une langue à intonation), ce qui reflète l'effet d'inter-domaine du langage et la perception musicale.

Pfordresher & Brown (2009) ont examiné si l'expérience du *pitch* dans la langue maternelle influence la compétence à traiter le *pitch* en contexte musical. À l'opposé d'autres études antécédentes, cette recherche concerne non seulement la perception mais aussi la production (en particulier l'imitation) du *pitch* (Figure 10, 11). En plus, ils

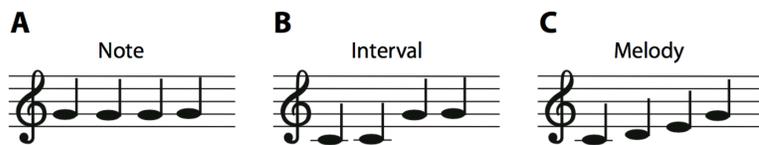


Figure 10. L'exemple dans les tâches d'imitation du *pitch* musical (A. séquence de quatre notes individuelles ; B. séquence d'intervalle avec un changement du *pitch* ; C. séquence mélodique composée de quatre notes) (Pfordresher & Brown, 2009)

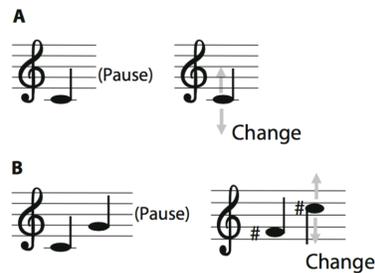


Figure 11. L'exemple dans les tâches de discrimination du *pitch* musical (A. deux notes séparées par une pause, la fréquence de la deuxième note est soit pareille à celle de la première soit plus basse/haute ; B. séquences d'intervalles séparées par une pause, la fréquence du dernier pitch dans la deuxième séquence soit plus basse/haute) (Pfordresher & Brown, 2009)

ont fait une analyse du traitement de deux différentes représentations du *pitch* musical : l'oreille absolue liée à la faculté d'imiter ou de distinguer des notes individuelles sur la base de leur échelle de hauteur, sans tenir compte de leur rapport avec les notes qui les entourent ainsi que l'oreille relative concernant la faculté d'identifier un intervalle entre deux notes, c'est-à-dire la distance entre deux sons successifs. Dans leur première expérience, en comparant la performance de la perception et de la production musicale entre les individus qui ont pour langue maternelle une langue tonale (y compris le mandarin, le cantonais et le vietnamien) et des locuteurs de l'anglais, les auteurs ont constaté que ces premiers avaient montré un avantage évident dans la production et la perception des intervalles musicaux. En ce qui concerne le *pitch* individuel, cet avantage devient insignifiant dans la production et n'existe pas dans la discrimination. Selon eux, l'avantage des locuteurs d'une langue à tons dans la production du *pitch* dépend de la complexité, ils sont meilleurs pour représenter les rapports séquentiels complexes entre des *pitchs* successifs. La deuxième expérience ressemble à la première, sauf que tous les sujets dans le groupe de la langue tonale sont des locuteurs du mandarin. Par rapport aux individus qui ont pour langue maternelle une langue à intonation, ils ont montré une meilleure compétence dans l'imitation du *pitch* individuel et dans la discrimination des intervalles du *pitch*. Il est remarquable que dans les deux expériences, l'avantage

perceptuel des locuteurs du mandarin n'est pas influencé par le bilinguisme et n'est pas lié aux différences de la voix ou de l'aptitude cognitive générale non plus. Dans l'ensemble, les résultats sont conformes à l'hypothèse des auteurs, selon laquelle la connaissance d'une langue à ton renforce la compétence du locuteur dans la production et la perception du *pitch* en musique dû au traitement du *pitch* exigé dans cette langue. Autrement dit, l'usage de *pitch* pour véhiculer des informations lexicales dans une langue tonale facilite celui-là en contextes non linguistiques. Les résultats de cette recherche suggèrent une certaine intégration neuronale de la musique et du langage, à l'opposé du modèle qui pose des modules spécifiques pour le traitement de la parole et de la musique (Liberman & Mattingly, 1985; Peretz & Coltherat, 2003).

Selon les auteurs, les résultats obtenus dans cette recherche peuvent s'expliquer par l'association entre le *pitch* et les catégories lexicales pendant l'acquisition du langage. Effectivement, dans une langue à intonation, le *pitch* est utilisé au niveau de la phrase au lieu de la syllabe, son association avec le sens lexical est donc faible, alors que dans une langue tonale, le changement du *pitch* a pour résultat de différents sens lexicaux, ce qui engendre un renforcement de la perception catégorique des tons lexicaux pour les locuteurs d'une langue tonale (Xu, Gandour & Francis, 2006) et ce renforcement affiné pourrait être transféré en contextes non linguistiques. Étant donné le rôle particulier du *pitch* dans les langues tonales, les locuteurs sont en général plus sensibles aux informations reliées à la dimension du *pitch* et par conséquent ont une meilleure compétence pour les traiter.

Dans une autre recherche récente, Bidelman, Hutka & Moreno (2013) ont comparé la performance de locuteurs du cantonais et celle de locuteurs de l'anglais, y compris des

musiciens ainsi que des non-musiciens qui n'ont aucune expérience musicale, dans les tâches de mesure de l'acuité auditive du *pitch*, la perception musicale et la capacité cognitive générale, en postulant que, en tant que musiciens, les locuteurs du cantonais auraient une meilleure compétence auditive et une meilleure capacité à percevoir des contrastes du *pitch*. En regard de cette hypothèse, des résultats ont montré que les musiciens faisaient montre d'une meilleure performance dans toutes les tâches et les locuteurs du cantonais montraient une meilleure performance dans la discrimination du *pitch* simple, la mémoire tonale ainsi que la perception mélodique par rapport aux non-musiciens. Comme les musiciens, ils ont aussi une plus grande sensibilité et efficacité au traitement des informations du *pitch* requises pour écouter la musique. En plus, il existe un rapport important entre la durée d'exposition à la musique ou à une langue tonale et la compétence de la perception du *pitch* en musique. Cette forte correspondance entre la performance perceptuelle et l'expérience d'une langue à tons ou l'entraînement musical suggère donc que cet avantage perceptuel pour le traitement du *pitch* en musique est influencé par le degré de plasticité acquis dans l'exposition à long terme aux activités auditives dans les deux domaines. Certes, étant donné que les auteurs n'ont pas vérifié si l'avantage des Cantonais et des musiciens au traitement du *pitch* résultait de leur expérience langagière ou musicale, il se pourrait que d'autres différences préexistantes dans les deux groupes telles que la culture innée, la génétique et les facteurs sociaux aient une influence potentielle sur la compétence perceptuelle-cognitive (Bidelman, Hutka & Moreno, 2013). Des études longitudinales seront nécessaires dans le futur pour vérifier cela. À l'exception de leur avantage perceptuel, les locuteurs du cantonais et les musiciens ont montré une supériorité cognitive au traitement auditif qui exige des « opérations d'ordre

supérieur » (*high-order operations*) telles que la mémoire de travail. Ainsi, la compétence auditive dont on dispose dans une langue à tons ou dans la musique renforce le traitement du *pitch* aux multiples niveaux, en influençant les mécanismes sensoriels-perceptuels (Musacchia, Strait & Kraus, 2008 ; Wong, Skoe , Russo, Dees & Kraus, 2007; Strait, Kraus, Skoe & Ashly, 2009) et cognitifs d'« ordre supérieur » (Bialystok & Depape, 2009; Moreno, Bialystok, Barac, Schellenberg, Cepeda & Chau, 2011; Hyde, Lerch, Norton, Forgeard, Winner, Evans & Schlaug, 2009). Enfin, la performance semblable des locuteurs du cantonais et des musiciens fait preuve des effets de transfert bidirectionnels entre musique et langage, autrement dit, le renforcement de sensibilité aux caractéristiques acoustiques des sons musicaux pourrait être transféré au traitement des sons linguistiques et vice versa. Certes, nous constatons qu'il existe certaines différences dans les deux groupes, le degré d'influence de l'un des deux domaines sur l'autre varierait donc en fonction de la complexité du traitement, du contexte et de la pertinence fonctionnelle du signal auditif en question ainsi que du niveau d'expertise spécifique de l'auditeur, etc. (Bidelman, Hutka & Moreno, 2013). Par conséquent, les auteurs ont proposé que dans les études futures, il nous faudrait savoir comment la connaissance d'une langue tonale ou de la musique contribue à la capacité perceptuelle, ainsi que de catégoriser le rôle d'une telle expérience et l'influence culturelle sur les activités sensorielle et cognitive. Inspirés par cette idée, nous nous demandons si l'expérience de différentes langues tonales influence la perception du *pitch* en musique dans différents degrés, car le nombre de tons varie d'une langue à l'autre, le renforcement du traitement du *pitch* pourrait alors être différent, mais, pour autant que nous le sachions, aucune recherche concernant spécifiquement ce sujet n'a été effectuée.

3.2.3. La plasticité dépendant de l'expérience et l'encodage du *pitch*

Tel que mentionné ci-dessus, certaines données ont montré que l'expérience native d'une langue tonale améliore la capacité cognitive pour la perception du contraste du *pitch* en musique. Il reste à savoir dans quelle mesure une telle expérience pourrait influencer, de façon positive, le traitement du *pitch* ainsi que les mécanismes cérébraux responsables de cette influence. Dans les chapitres précédents, nous avons discuté de la localisation hémisphérique pour le traitement de la prosodie, de la musique ainsi que des tons dans les langues tonales et avons constaté un chevauchement du traitement langagier et musical dans le cerveau. La question qui se pose dans cette partie est de savoir si l'avantage perceptuel des locuteurs d'une langue à tons dans la perception du *pitch* en musique se produit directement dans ces mécanismes cérébraux de chevauchement ou s'il résulte d'autres processus spécialisés dans le cerveau.

Avec les techniques de l'imagerie cérébrale fonctionnelle, certains ont fourni des évidences sur le traitement hiérarchique du *pitch* (Kumar, Stephan, Warren, Friston & Friffiths, 2007). Selon les données disponibles actuellement, la première étape du traitement du *pitch* se déroule au système auditif périphérique (la cochlée et le nerf auditif) et au tronc cérébral, alors que la deuxième étape se produit au cortex cérébral (Griffiths, Uppenkamp, Johnstrude, Josephs & Patterson, 2001; Bendor et Wang, 2006), la musique et les langues tonales nous donnent alors une occasion d'étudier des effets dépendants de l'expérience du traitement hiérarchique du *pitch* au niveau sous cortical²³ et cortical.

²³ Étant donné que ce travail concerne le traitement du *pitch* dans le cerveau, nous ne discutons que de l'encodage au niveau du tronc cérébral quand il s'agit du traitement sous cortical du *pitch*. Pourtant, il faut noter que quand il s'agit de l'encodage au niveau du tronc cérébral, ce n'est pas le même phénomène que le traitement néocortical.

Au sujet du traitement sous cortical précoce du *pitch*, le système auditif est malléable en conséquence des interactions entre des processus sensoriels et cognitifs. Cela veut dire que le traitement auditif peut être influencé par une expérience, un environnement culturel et un entraînement actif (Kraus & Banai, 2007). Effectivement, les données empiriques récentes ont relevé que les représentations neuronales du *pitch* reliées aux tons lexicaux ou à la musique au niveau cortical ainsi que sous cortical peuvent être influencées par une expérience langagière ou musicale (Krishnan & Gandour, 2009; Krishnan, Gandour & Bidelman, 2012; Kraus & Banai, 2007; Munte, Altenmüller & Jancke, 2002; Patel & Iversen, 2007; Patel & Zatorre, Belin & Penhune, 2002; Zatorre & Gandour, 2008). Par exemple, il a été mis en évidence que l'expérience musicale pourrait moduler le traitement du contour du *pitch* musical au niveau du cortex auditif primaire (Bosnyak, Eaton & Robert, 2004; Münte, Altenmüller & Jäncke, 2002; Pantev, Oostenveld, Engelien, Ross, Roberts & Hoke, 1998) et que l'entraînement musical pourrait améliorer l'encodage du contour mélodique (la direction du changement du *pitch*) ainsi que de la structure d'intervalle (la distance du *pitch* entre des notes successives)²⁴ (Fujioka, Trainor, Ross, Kakigi & Pantev, 2004). En ce qui concerne des effets de transfert d'inter-domaine entre musique et langage, certaines études électrophysiologiques ont montré que l'expertise ou l'entraînement musical renforce l'encodage du *pitch* linguistique au niveau du tronc cérébral (Alexander, Wong & Bradlow, 2005; Bidelman, Gandour & Krishnan, 2009; Musacchia, Sams, Skoe & Kraus, 2007) ainsi qu'au niveau cortical (Chandrasekaran, Krishnan & Gandour, 2009). Par exemple, Wong, Skoe, Russo, Dees & Kraus (2007), en mesurant la « réponse d'adoption

²⁴ D'un point de vue perceptuel, la mélodie tonale en musique contient deux types de structures de *pitch* : le contour et l'intervalle. Alors que ce premier signale la direction du changement du *pitch* (vers le haut/bas), ce dernier décrit la distance précise du *pitch* entre deux notes successives.

de la fréquence » au niveau du tronc cérébral parmi 10 musiciens et 10 non musiciens qui n'avaient été exposés à aucune langue tonale, ont trouvé que les musiciens montraient un encodage plus fort et robuste pour la représentation des tons lexicaux du mandarin par rapport aux non musiciens. Dans une autre recherche avec la « négativité de discordance »²⁵ (Chandrasekaran, Krishnan & Gandour, 2009), il a été constaté que comme les locuteurs du mandarin, les musiciens qui parlent anglais montraient une réponse plus large de la « négativité de discordance » et une meilleure performance de la discrimination du contour du *pitch* en mandarin que les non musiciens. Cela suggère un encodage amélioré par l'expérience musicale.

De la même manière que l'expertise musicale influence l'encodage du *pitch* en musique, l'expérience langagière a de l'influence positive sur l'encodage du *pitch* dans le domaine linguistique (Chandrasekaran, Krishnan & Gandour, 2009; Gandour, Wong & Hutchins, 1998; Xu, Gandour & Francis, 2006; Krishnan & Gandour, 2009; Krishnan, Xu, Gandour & Cariani, 2005; Krishnan, Gandour & Bidelman, 2012).

En utilisant la « réponse d'adoption de fréquence » (FFR), Krishnan, Gandour & Bidelman (2010) ont fait une analyse de variance des réponses neuronales du *pitch* entre les locuteurs de deux langues à tons (mandarin et thaï), en vue de savoir dans quelle mesure l'expérience langagière joue un rôle important au traitement auditif du *pitch*. Cela étant étudié pour la première fois dans les recherches relatives, une lacune a été comblée dans ce domaine. Selon eux, le choix du mandarin et du thaï offre une bonne occasion de

²⁵ Une composante du potentiel évoqué (donc une onde cérébrale observée en EEG) générée en réponse aux changements discriminables des stimuli auditifs qui représentent un traitement sensoriel précoce (Näätänen & Alho, 1997). Elle est le résultat de la soustraction de l'onde engendrée par la réponse aux stimuli standards à celle de la réponse induite par la présentation des stimuli déviants (voir sa définition à la page 38 ainsi que Figure 7. à la page 39 de ce mémoire).

comparer les langues à tons qui possèdent des systèmes phonologiques semblables du point de vue du nombre de tons (mandarin : 4 tons ; thaï : 5 tons) et du type de contour du ton (mandarin : 1 ton plat, 2 tons montants, 1 ton descendant ; thaï : 2 tons plats, 2 tons montants, 1 tons descendant). Dans leurs expériences, les tons correspondants qui représentent les trois degrés de similarité phonétique (haut, médian, bas) ont été choisis de sorte qu'ils puissent évaluer des effets de similarité phonétique de l'expérience à long terme sur la représentation du *pitch* au niveau du tronc cérébral. Afin de déterminer si tous les locuteurs d'une langue tonale, en dépit de l'identité langagière des tons lexicaux individuels, montrent une réponse FFR plus robuste que ceux qui n'ont pas de connaissance d'une telle langue, un groupe de locuteurs de l'anglais qui n'avait pas été exposé aux langues à tons est inclus dans la recherche. En conformité avec l'hypothèse des auteurs, les résultats ont relevé que la détection du *pitch* des tons dans les deux groupes de langues tonales était plus précise que celle dans le groupe des locuteurs de l'anglais. Il n'existait pas de différence importante entre les Chinois et les Thaïlandais et leurs réponses de la FFR étaient plus robustes que celles des locuteurs de l'anglais. Il se pourrait que l'expérience à long terme du mandarin et du thaï puisse être mutuellement transférée. Dans l'ensemble, les mécanismes du tronc cérébral impliqués dans la représentation de *pitch* sont plus sensibles chez les locuteurs d'une langue tonale que chez ceux d'une langue non-tonale. Peu importe le degré de similarité phonétique entre les tons correspondants en mandarin et en thaï, les locuteurs sont capables de transférer leur capacité d'encodage du *pitch* entre les langues. Ainsi, les mécanismes sous corticaux malléables et dépendants de l'expérience renforcent les propriétés des réponses des neurones impliqués dans l'extraction du *pitch* et ils sont sensibles aux besoins

prosodiques dans une langue particulière. Cela soulignerait une plasticité du système auditif induite par l'expérience langagière de tons. En reliant les résultats avec des études effectuées auparavant, les auteurs ont proposé que parmi les mécanismes sous corticaux qui sont responsables de l'encodage du *pitch*, le « système cortifuge » (*corticofugal system*)²⁶ joue un rôle important. Dans les étapes plus précoces du développement langagier dans lesquelles la plasticité est considérée comme la plus vigoureuse, ce système module la réorganisation des mécanismes relatifs à une extraction renforcée du *pitch*. Dès que cette réorganisation est terminée dans la période critique, des mécanismes au niveau du tronc cérébral sont suffisants pour extraire de façon robuste des informations du *pitch* relié au langage, sans influence du « système cortifuge ». De plus, les auteurs ont trouvé que l'extraction du *pitch* dans le tronc cérébral était déterminée par des dimensions acoustiques spécifiques ou des caractéristiques du *pitch* au lieu des catégories tonales, ce qui est conforme aux études précédentes sur les mouvements montants et descendants du *pitch*. Bien que des résultats dans cette recherche aient bien montré des effets de l'expérience d'une langue tonale sur l'encodage du *pitch* au niveau de tronc cérébral, il nous reste encore à savoir comment un signal auditif se transforme en représentation lexicale abstraite.

En ce qui concerne l'encodage du *pitch* au niveau cortical, la « négativité de discordance » (MMN) est un outil efficace pour examiner le traitement automatique des informations suprasegmentales de la parole. En mesurant la « négativité de discordance » obtenue dans la représentation neuronale des stimuli avec un contour similaire du *pitch* en linguistique, Chandrasekaran, Krishnan & Gandour (2009) ont constaté que des locuteurs

²⁶ Un faisceau de fibres projeté du cortex auditif vers le thalamus, le colliculus inférieur et l'oreille interne.

natifs du mandarin montraient une MMN plus grande par rapport à des musiciens et des non musiciens qui parlent anglais comme langue maternelle. Cela suggère que l'encodage du contour du *pitch* linguistique relié serait renforcé par l'expérience langagière à long terme. De même, des musiciens ont montré une MMN plus grande que des non musiciens, ce qui suggère que la plasticité dépendant de l'expérience en réponse du contour du *pitch* en linguistique n'est pas spécifique dans le domaine du langage. En plus, étant donné qu'un stimulus qui n'existe pas dans la parole du mandarin est inclus dans l'expérience, les auteurs ont alors conclu que la plasticité dépendant de l'expérience n'est pas non plus spécifique dans la parole, mais étant donné la différence de MMN entre des locuteurs du mandarin et des musiciens en réponse au *pitch*, ils ont proposé que la plasticité serait sensible au contexte de l'expérience à long terme (native/non native). Ceci est conforme à une autre étude récente (Krishnan & Gandour, 2014) dans laquelle l'on propose que la représentation de l'information reliée au *pitch* au tronc cérébral et le traitement au niveau du cortex sont influencés par le saillant perceptuel des caractéristiques particulières dans un domaine spécifique. Dans l'ensemble, nous pouvons dire qu'il se pourrait que l'expertise à long terme des patrons du *pitch* musical des musiciens puisse être transférée au traitement du *pitch* dans le domaine du langage (Wong & Perrachione, 2007).

Tel que mentionnée au début de ce travail, la plupart des travaux sur la relation entre la musique et le langage ont mis l'accent sur l'influence de la connaissance de celle-ci sur ce dernier et nous avons constaté que l'expérience musicale influence l'encodage du *pitch* en musique ainsi qu'en linguistique. La question en suspens est si la connaissance native d'une langue à tons a la même influence sur l'encodage du *pitch* en musique. En nous reposant sur les données appuyant l'avantage perceptuel des locuteurs d'une langue

tonale sur la perception de la musique, nous supposons que l'encodage du *pitch* musical, aux niveaux sous-cortical et cortical, peut être renforcé par l'expérience des tons lexicaux. Pourtant, peu de recherches concernant les effets de transferts du langage sur la musique ont été effectuées.

En mesurant la « réponse d'adoption de fréquence » (FFR), Bidelman, Gandour & Krishnan (2011) ont examiné la nature des effets de la musique ainsi que de l'expérience langagière sur l'encodage du *pitch* au niveau du tronc cérébral, afin de savoir si l'expérience à long terme des patrons du *pitch* spécifique dans l'un des deux domaines peut influencer, de façon différente, le traitement neuronal du *pitch* dans l'autre. Dans leur étude, des stimuli linguistiques (le deuxième ton lexical du mandarin) et musicaux (l'intervalle du *pitch* : la tierce majeure, *M3*) sont inclus, et l'encodage des contours prototypiques du *pitch* en deux domaines a été comparé parmi trois groupes de sujets : des locuteurs du mandarin, des musiciens qui parlent anglais comme langue maternelle et des non-musiciens qui sont aussi des locuteurs natifs de l'anglais. Selon les résultats, des mécanismes neuronaux dépendant de l'expérience impliqués dans la représentation du *pitch* au niveau du tronc cérébral sont plus sensibles chez les locuteurs du mandarin et chez les musiciens par rapport aux non-musiciens. Ceci se reflète dans la précision de détection et la force du *pitch* qui indique l'encodage du *pitch*. Premièrement, par rapport aux non-musiciens qui parlent anglais, les locuteurs du mandarin sont meilleurs pour la détection de la tierce majeure (*M3*) dans la tâche de la discrimination des stimuli musicaux, les musiciens sont meilleurs pour la détection du deuxième ton du mandarin dans la tâche de la discrimination des stimuli linguistiques. Selon les auteurs, bien que l'expérience du *pitch* des musiciens et celle des locuteurs du mandarin soient différentes,

les deux groupes sont capables de transférer leur aptitude de l'encodage du *pitch* d'un domaine à l'autre, autrement dit, des neurones dans le tronc cérébral sont sensibles de façon différente aux changements du *pitch* sans tenir compte du domaine ou du contexte dans lequel ils apparaissent. Deuxièmement, l'encodage du *pitch* au tronc cérébral est plus fort chez les locuteurs du mandarin et chez les musiciens (la force du *pitch* est plus grande dans les deux groupes) par rapport aux non-musiciens qui n'ont pas suivi l'entraînement musical et qui ne connaissent pas non plus l'usage du *pitch* dans une langue tonale. Ceci, selon les auteurs, suggère que l'activité à phase asservie soutenue (*sustained phase-locked activity*) au niveau du tronc cérébral serait améliorée par l'expérience à long terme du *pitch* sans tenir compte du domaine. Par conséquent, dans la perception des tons lexicaux ou des intervalles musicaux, le tronc cérébral des individus est réglé pour extraire des intervalles avec changement dynamique entre pics qui signalent des caractéristiques pertinentes linguistiquement ou musicalement de signaux auditifs. Cela est conforme aux études précédentes qui ont démontré une amélioration du traitement sous cortical du *pitch* chez les locuteurs d'une langue à tons (Krishnan, Xu, Gandour & Cariani, 2005; Krishnan, Gandour & Bidelman, 2010) ainsi que chez les individus qui ont subi un entraînement musical (Fujioka, Trainor, Ross, Kakigi & Pantev, 2004; Musacchia, Sams, Skoe & Kraus, 2007). Néanmoins, les auteurs ont proposé que même s'il existe des ressources partagées entre le traitement de la musique et du langage, des effets d'inter-domaine de l'expérience du *pitch* au niveau du tronc cérébral varient selon les stimuli et le domaine d'expertise et que l'encodage du *pitch* peut être transféré d'un domaine à l'autre dès que ce dernier montre des caractéristiques acoustiques chevauchantes avec ceux-ci auxquels les individus ont été exposés dans une expérience

langagière ou un entraînement musical à long terme. De ce point de vue, les résultats se conforment à l'idée que des effets de l'expérience langagière sur le traitement du *pitch* dans le tronc cérébral auditif varient selon la pertinence perceptuelle de ce *pitch* dans une langue particulière (Krishan & Gandour, 2009).

En nous basant sur les données existantes, nous concluons que la plasticité neuronale au niveau cortical et sous corticale pourrait être influencée par l'expérience langagière ou musicale qui renforce l'encodage du *pitch* dans le cerveau et que dû à cet « affinement » neuronal, la capacité du traitement du *pitch* pourrait être transférée entre langage et musique. Bidelman, Gandour & Krishnan (2011) ont démontré les effets de transfert de l'expérience d'une langue tonale sur l'encodage sous-cortical du *pitch* musical au niveau du tronc cérébral. Les recherches effectuées directement sur le renforcement du *pitch* musical au niveau cortical résultant de la connaissance native des tons lexicaux sont très rares et nous n'en avons pas trouvé dans les travaux consultés. Nous essaierons de chercher des preuves dans la littérature concernant la latéralisation hémisphérique du traitement des informations reliées au *pitch* dans la musique ainsi que dans les langues tonales, en postulant que l'expérience langagière a de l'influence sur l'encodage du *pitch* musical dans les mécanismes communs au niveau du cortex.

3.2.4. Du point de vue de la latéralisation cérébrale

Selon les dimensions perceptuelles acoustiques, en mandarin, les patrons du *pitch* des tons comprennent deux aspects séparés (Chandrasekaran, Gandour & Krishnan, 2007): la hauteur qui indique le niveau du *pitch* (extra-bas, bas, moyen, haut, extra-haut) ainsi que la forme et la direction qui indiquent le contour du *pitch* (plat, montant, descendant-

montant, descendant). Certains ont proposé qu'il existe une latéralisation hémisphérique pour les deux dimensions du *pitch* en mandarin : la réponse MMN pour le contraste du niveau du *pitch* étant plus forte dans l'hémisphère droit que dans l'hémisphère gauche, alors que celle pour le contraste du contour du *pitch* est plus forte dans l'hémisphère gauche que dans l'hémisphère droit (Wang, Wang & Chen, 2013). Ceci est conforme à l'argument de l'implication de deux hémisphères au traitement du *pitch* dans les langues tonales. Rappelons-nous que dans les tâches du traitement des tons lexicaux de leur langue maternelle, les locuteurs du mandarin montrent des activations aux lobes temporal et frontal de l'hémisphère droit et aux lobes temporal, frontal et pariétal de l'hémisphère gauche (Gandour, Tong, Wong, Dziedzic, Xu, Li & Lowe, 2004). Le traitement des informations reliées au *pitch* en musique se réalise principalement au niveau des aires auditives primaires (gyrus de Heschl) et associatives situées dans la partie supérieure du lobe temporal droit. Nous proposons donc qu'il existe un chevauchement du traitement des tons lexicaux et de la musique, autrement dit, il y a des mécanismes cérébraux qui sont responsables du traitement du *pitch* dans la musique et dans les langues tonales.

Dans une recherche avec l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle (IRMf), Nan & Friederici (2013) ont examiné les rôles du cortex temporal supérieur et frontal inférieur dans le traitement du *pitch* en musique ainsi qu'en mandarin avec 18 musiciennes qui sont des locutrices natives de cette langue tonale. Selon les résultats, un réseau neuronal incluant le *pars triangularis*²⁷ de l'Aire de Broca et le gyrus temporal supérieur droit est responsable du traitement du *pitch* dans les deux domaines. Ceci suggère un réseau commun pour le traitement cortical du *pitch* en musique et en langue tonale et donne

²⁷ C'est la partie triangulaire du gyrus frontal inférieur.

donc, dans une certaine mesure, des preuves pour le renforcement de l'encodage du *pitch* musical résultant de l'expérience d'une langue à tons. Néanmoins, plus d'études seront nécessaires pour vérifier ces effets potentiels de l'expérience d'une langue tonale sur le traitement du *pitch* en musique au niveau cortical.

Chapitre 4 Discussion générale

4.1. La question de l'oreille absolue chez les locuteurs d'une langue à tons

Tel que mentionné ci-dessus, les études sur les effets de transfert d'inter-domaine du langage sur la musique sont très rares, et la plupart concernent des connexions présumées entre la connaissance native d'une langue tonale et l'oreille absolue (Deutsch, Dooley, Henthorn & Head, 2009; Deutsch, Henthorn, Marvin & Xu, 2006; Dolson, 2004; Schellenberg & Trehub, 2008). Selon ces études, le taux de l'oreille absolue est plus élevé chez les locuteurs de certaines langues tonales asiatiques que chez les individus qui ont pour langue maternelle une langue à intonation. Pourtant, la connexion entre l'expérience d'une langue à tons et l'oreille absolue fait encore l'objet de débats.

L'aptitude à reconnaître ou à produire rapidement et précisément des notes isolées de musique sans référence auditive préalable, l'oreille absolue, exige la mémoire précise du *pitch* (*pitch memory*) de chaque note et la connaissance de leur nom conventionnel, c'est-à-dire la compétence de l'étiquetage du *pitch* à la note reliée (*pitch labeling*). Étant donné que l'oreille absolue est très rare même chez les musiciens, seule une personne sur 10 000 possédant ce don (Bachem, 1955; Profita & Bidder, 1988), certains ont proposé que la génétique joue un rôle important en apportant deux arguments principaux : premièrement, le taux d'oreille absolue est plus élevé chez ceux qui ont un frère ou une sœur possédant cette aptitude (Baharloo, Service, Risch, Gitschier & Freimer, 2000; Gergersen, Kowalsky, Kohn & Marvin, 2000); deuxièmement, l'oreille absolue est plus courante chez les Asiatiques que chez les non-asiatiques (Gergersen, Kowalsky, Kohn & Marvin, 1999 ; Deutsch, Henthorn, Marvin & Xu, 2006). En ce qui concerne le deuxième

argument pourtant, d'autres ont proposé que l'avantage des Asiatiques dans la reconnaissance du *pitch* pourrait également résulter des différences culturelles telles que le type d'entraînement musical, l'âge du début de l'entraînement et l'objectif pédagogique sur l'oreille absolue, etc. (Deutsch, Henthorn, Marvin & Xu, 2006). Par ailleurs, l'expérience d'une langue tonale en soi a été considérée comme une autre raison possible du taux d'oreille absolue plus élevé chez les Asiatiques (Deutsch, Henthorn & Dolson, 2004). Ceci serait raisonnable si nous considérons le lien entre le *pitch* et le sens lexical du mot. Par exemple, en mandarin, la syllabe *ma* peut être reliée à au moins quatre sens différents selon le ton qu'elle porte : mère (*mā*), chanvre (*má*), cheval (*mǎ*), pester (*mà*), lorsque le locuteur entend *mā* (la syllabe *ma* avec le premier ton) et qu'il assigne le sens *mère* à cette syllabe, il associe un *pitch* particulier et une étiquette verbale (en anglais *verbal label*). De la même façon, lorsqu'une personne possédant l'oreille absolue entend la note ré# et l'identifie comme ré#, elle associe également un *pitch* particulier avec une étiquette verbale. De ce point de vue, il existerait une certaine similarité entre le traitement des tons lexicaux et l'oreille absolue.

Néanmoins, ce qui ne peut être ignoré, c'est que même si les locuteurs d'une langue à tons sont exposés intensivement à une série limitée de *pitch* ainsi que leur nom à un âge très précoce, la plupart d'entre eux n'ont pas l'oreille absolue, bien qu'ils commencent le cours de musique dès l'enfance. Alors que certains ont proposé que la connaissance native d'une langue tonale favoriserait l'acquisition de l'oreille absolue (Deutsch, Henthorn & Dolson, 2004), d'autres n'ont pas réussi à supporter la contribution de l'usage d'une langue à tons (Schellenberg & Trehub, 2008). Nous attribuons des opinions différentes à la méthodologie de recherche, car les différents résultats pourraient se

produire à cause des stimuli, des sujets, des méthodes d'analyse, des objectifs d'étude, etc. En nous reposant sur les données existantes, nous admettons qu'il existe un certain lien entre l'acquisition de l'oreille absolue et l'expérience native d'une langue tonale asiatique, mais étant donnée la complexité de l'oreille absolue, d'autres recherches longitudinales seront nécessaires pour examiner ce rapport potentiel ainsi que le traitement du *pitch* en musique chez les individus ayant une connaissance des tons lexicaux dans leur langue maternelle.

4.2. Une question en suspens : la connaissance d'une langue tonale d'Afrique vs la perception du *pitch* musical

Alors que la plupart des langues tonales asiatiques incluent les tons « ponctuels » et « modulés » (Rattanasone, Attina, Kasisopa & Burnham, 2013), les langues tonales d'Afrique ne comprennent que les tons « ponctuels » qui sont caractérisés par une hauteur et non par un mouvement mélodique (Rialland, 1998). Par conséquent, c'est la hauteur plutôt que le contour qui véhicule le sens lexical du mot (Yip, 2002). En nous reposant sur la différence entre ces deux systèmes linguistiques, nous supposons que la connaissance native d'une langue tonale d'Afrique aurait de l'influence sur la perception du contraste du *pitch* musical, mais dans une mesure différente. Cependant, les recherches concernant ce sujet sont très rares et nous n'en avons pas trouvé dans les travaux consultés. Dans le futur, de telles études seront nécessaires pour combler cette lacune.

Conclusion

Deux facultés cognitives complexes spécifiques de l'être humain, le langage et la musique, possèdent de nombreuses similarités. Dû au développement récent en neuropsychologie et électrophysiologie, le traitement de ces deux domaines dans les mécanismes cérébraux a été exploré. Alors que la plupart des études ont été effectuées sur l'influence de la musique sur le langage, celles concernant les effets potentiels du langage sur la musique sont rares. Ce travail nous a permis, entre autres, d'examiner la connexion entre la connaissance native d'une langue tonale et la perception du contraste du *pitch* en musique. Dans le premier chapitre, nous avons discuté du traitement de la prosodie et de la musique dans le cerveau, en essayant de trouver un lien entre ces deux domaines. En ce qui concerne la latéralisation hémisphérique du traitement de la prosodie parole, il existe quatre hypothèses : (1) L'hypothèse de la latéralisation dans l'hémisphère droit ; (2) L'hypothèse du traitement sous cortical ; (3) L'hypothèse de la latéralisation basée sur des signaux acoustiques ; (4) L'hypothèse de la latéralisation fonctionnelle. Pourtant, les données obtenues dans les études de l'écoute dichotique, de la lésion ainsi que de l'imagerie cérébrale ont montré que le traitement de la prosodie est temporo-frontal et bilatéral, bien que certaines proposent un rôle plus important de l'hémisphère gauche pour des aspects linguistiques et d'autres suggèrent un rôle plus important de l'hémisphère droit pour des aspects affectifs. Au traitement des informations reliées au *pitch* en musique, le cortex temporal joue un rôle important. Nous proposons donc qu'il existe des mécanismes communs pour le traitement de la prosodie et de la musique. Ensuite, nous avons discuté, dans le deuxième chapitre, du traitement neuronal des tons lexicaux dans les langues tonales asiatiques, en particulier le mandarin et le thaï. Dans le

troisième chapitre, nous avons élaboré sur le rapport entre langage et musique, spécifiquement entre la connaissance native d'une langue tonale et la perception du *pitch* en musique. Il a été mis en évidence que les individus ayant pour langue maternelle une langue à tons ont un avantage perceptuel lors de la perception du contraste du *pitch* musical. En nous reposant sur les données neuropsychologiques et électrophysiologiques, nous avons analysé la raison possible de cet avantage en constatant qu'il existe des effets de transfert d'inter-domaine du point de vue de l'encodage du *pitch* au niveau sous cortical et cortical ainsi que de la localisation cérébrale du traitement du *pitch* dans les langues tonales et dans la musique. Alors que de nombreuses études sur l'influence de l'expertise musicale sur la perception des tons lexicaux dans une langue tonale telle que mandarin ont été effectuées, celles concernant l'effet potentiel de la connaissance native d'une langue à tons sur la perception du *pitch* en musique sont très rares. Nous proposons donc, dans les recherches futures, de mettre l'accent sur l'influence positive de l'expérience d'une langue tonale sur l'encodage du *pitch* en musique au niveau cortical dans le cerveau. Ceci nous donnerait de bonnes occasions d'explorer les mécanismes cérébraux partagés par ces deux domaines, contribuant à la recherche sur la relation entre la musique et le langage. L'aptitude spéciale et rare chez les musiciens, l'oreille absolue, et sa relation avec l'expérience d'une langue à tons ont été examinées. En général, nous croyons qu'il existe un certain lien entre la connaissance des tons lexicaux et l'oreille absolue qui, quoique rare, est plus courante chez les locuteurs natifs d'une langue tonale que chez ceux qui ont pour langue maternelle une langue à intonation. Cependant, étant donné la complexité de l'oreille absolue et les données contradictoires, plus de recherches longitudinales seront nécessaires afin d'établir un rapport précis entre cette aptitude

musicale rare et l'expérience des langues à tons, en particulier des langues asiatiques, qui possèdent un usage particulier du *pitch* dans le système linguistique. En plus, le lien entre la connaissance d'une langue tonale d'Afrique et la perception du *pitch* musical demeure encore une énigme. Nous admettons que ce premier puisse avoir des effets potentiels positifs sur ce dernier, mais de manière différente par rapport aux langues tonales asiatiques étant donné les façons différentes dont le *pitch* véhicule le sens lexical dans ces deux systèmes langagiers. Ceci, pourtant, exige plus de recherches neuropsychologiques et électrophysiologiques pour être vérifié.

Références

- Aleman, A., Formisano, E., Koppenhagen, H., Hagoort, P., de Haan, E.H.F., Kahn, R.S. (2005). The functional neuroanatomy of metrical stress evaluation of perceived and imagined spoken words. *Cerebral Cortex*, 15, 221-228.
- Alexander, J.A., Bradlow, A.R., Ashley, R.D., Wong, P.C.M. (2008). Music melody perception in tone-language and nontone-language speakers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 124 (4), 2495.
- Alexander, J.A., Wong, P.C., Bradlow, A.R. (2005). Lexical tone perception in musicians and non-musicians. In *Proceedings of the 9th European Conference on Speech Communication and Technology*. Lisbon.
- Ayotte, J., Peretz, I., Rousseau, I., Bard, C., Bojanowski, M. (2000). *Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery infarcts*. *Brain*, 123, 1926-38.
- Bachem, A. (1955). Absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America*, 27, 1180-1185.
- Baudoin-Chial, S. (1986). Hemispheric lateralization of Modern standard Chinese tone processing. *Journal of Neurolinguistics*, 2, 189-199.
- Baum, S., Pell, M. (1999). The neural bases of prosody: insights from lesion studies and neuroimaging. *Aphasiology*, 13, 581-608.
- Beach, C.M. (1991). The interpretation of prosodic patterns at points of syntactic structure ambiguity: Evidence for cue trading relations. *Journal of Memory and Language*, 30 (6), 644-663.

- Belin, P., Van Eeckhout, P., Zilbovicius, M., Remy, P., François, C., Guillaume, S., Chain, F., Rancurel, G., Samson, Y. (1996). Recovery from nonfluent aphasia after melodic intonation therapy: a PET study. *Neurology*, 47 (6), 1504-11.
- Bent, T., Bradlow, A.R., Wright, B.A. (2006). The influence of linguistic experience on the cognitive processing of pitch in speech and nonspeech sounds. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 32 (1), 97-103.
- Bernstein, J.G., Oxenham, A.J. (2003). Pitch discrimination of diotic and dichotic tone complexes: Harmonic resolvability or harmonic number? *Journal of the Acoustical Society of America*, 113 (6), 3323-3334.
- Besson, M., Schön, D., Moreno, S., Santos, A. et Magne, C. (2007). Influence of musical expertise and musical training on pitch processing in music and language. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25, 399-410.
- Bialystok, E., Depape A.M. (2009). Musical experience, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 35 : 565-574.
- Bidelman, G.M. (2011). Neural correlates of musical and linguistic pitch as revealed in the auditory brainstem. Thèse de doctorat, Purdue University.
- Bidelman, G.M., Gandour, J.T., Krishnan, A. (2009). Cross-domain effects of music and language experience on the representation of pitch in the human auditory brainstem. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 29(42), 13165-71.
- Bidelman, G.M., Gandour, J.T et Krishnan, A. (2011a). Cross-domain effects of music

- and language experience on the representation of pitch in the human auditory brainstem. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23 (2), 425-434.
- Bidelman, G.M., Gandour, J.T., Krishnan, A. (2011b). Musicians and tone-language speakers share brainstem encoding but not perceptual benefits for musical pitch. *Brain and Cognition*, 77, 1-10.
- Bidelman, G.M., Hutka, S., Moreno, S. (2013). Tone language speakers and musicians share enhanced perceptual and cognitive abilities for musical pitch : evidence for bidirectionality between the domains of language and music. *PLoS ONE* 8(4): e60676. doi:10.1371/journal.pone.0060676
- Bigand, E. (1997). Perceiving musical stability: The effect of tonal structure, rhythm, and musical expertise. *Journal of Experimental Psychology: Human perception & Performance*, 23, 808-822.
- Blumstein, S., Cooper, W. (1974). Hemispheric processing of intonation contours. *Cortex*, 10, 147-158.
- Bosnyak D.J., Eaton, R.A., Roberts, L.E. (2004). Distributed auditory cortical representations are modified when non-musicians are trained at pitch discrimination with 40 Hz amplitude modulated tones. *Cerebral Cortex*, 14(10), 1088-1099.
- Brattico, E., Näätänen, R., Tervaniemi, M. (2001). Context effects on pitch perception in musicians and nonmusicians: Evidence from event-related-potential recordings. *Music Perception*, 19, 199-222.

- Braun, B., Johnson, Elizabeth K. (2011). Question or tone 2? How language experience and linguistic function guide pitch processing. *Journal of Phonetics*, 39, 585-594.
- Bregman, A.S., Liao, C., Levitant, R. (1990). Auditory grouping based on fundamental-frequency and formant peak frequency. *Can. J. Psychol.* 44, 400-413.
- Buchanan, T.W., Lutz, K., Mirzazade, S., Specht, K., Shah, N.J., Zilles, K., Jäncke, L. (2000). Recognition of emotional prosody and verbal components of spoken language: An fMRI study. *Cognitive Brain Research*, 9, 227-238.
- Burkard, R.F., Don, M., Eggermont, J.J. (2007). *Auditory Evoked Potentials : Basic Principles and Clinical Application*. Baltimore : Lippincott Williams & Wilkins.
- Cancelliere, A., Kertesz, A. (1990). Lesion localization in acquired deficits of emotional expression and comprehension. *Brain and Cognition*, 13, 133-147.
- Celesia, G. (1976). Organization of auditory cortical areas in man. *Brain*, 99, 403-414.
- Chandrasekaran, B., Krishnan, A., Gandour, J.T. (2007a). Experience-dependent neural plasticity is sensitive to shape of pitch contours. *Neuroreport*, 18, 1963-1967.
- Chandrasekaran, B., Krishnan, A., Gandour, J.T. (2007b). Mismatch negativity to pitch contours is influenced by language experience. *Brain Res.* 1128, 148-156.
- Chandrasekaran, B., Krishnan, A., Gandour, J.T. (2009). Relative influence of musical and linguistic experience on early cortical processing of pitch contours. *Brain and Language*, 108 (1), 1-9.
- Chao, Yuen Ren. (1968). *A Grammar of Spoken Chinese* (2nd ed.). California: University of California Press.

- Cheng, C.C. (1973). A quantitative study of tone in Chinese. *J. Chin. Linguist.* 1, 93-110.
- Conklyn, D., Novak, E., Boissy, A., Bethoux, F., Chemali, K. (2012). The effects of modified melodic intonation therapy on nonfluent aphasia: a pilot study. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 55, 1463-1471.
- Critchley, M., Henson, R. (1977). *Music and the Brain. Studies in the Neurology of Music.* London: Heinemann.
- Cruttenden, A. (1997). *Intonation* (2^{ième} ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Culter, A., Chen, Hsuan-Chih (1997). Lexical tone in Cantonese spoken-word processing. *Perception and Psychophysics*, 52 (2), 165-179.
- Dapretto, M., Hariri, A., Bialik, M., Bookheimer, S. (1999). Cortical correlates of affective vs. linguistic prosody: an fMRI study. *NeuroImage*, 9(6), S1054.
- Delbé, Charles. (2009). *Musique, psychoacoustique et apprentissage implicite-vers un modèle intégré de la cognition musicale* (Thèse de Doctorat). Université de Bourgogne. Répéré à <http://leadserv.u-bourgogne.fr/IMG/pdf/Thesis1.pdf>
- Delogu, F., Lampis, G., Belardinelli, M.O. (2006). Music-to-language transfer effect : may melodic ability improve learning of tonal languages by native nontonal speakers? *Cogn. Process*, 7, 203-207.
- Deutsch, D., Dooley, K., Henthorn, T., Head, B. (2009). Absolute pitch among students in an American music conservatory: association with tone language fluency. *J. Acoust. Soc. Am.* 125, 2398-2403.
- Deutsch, A., Henthorn, T., Dolson, M. (2004). Absolute pitch, speech, and tone language:

- some experiments and a proposed framework. *Music perception, vol 21, No. 3*, 339-356.
- Deutsch, D., Henthorn, T., Marvin, E., Xu, H. (2006). Absolute pitch among American and Chinese conservatory students: prevalence differences, and evidence for a speech-related critical period. *J. Acoust. Soc. Am.* 119, 719-722.
- Deliège, I. (1987). Grouping conditions in listening to music: An approach to Lerdahl and Jackendoff's grouping preference rules. *Music Perception*, 4, 325-360.
- Di Cristo, A. (2004). La prosodie au carrefour de la phonétique, de la phonologie et de l'articulation formes-fonctions. *Travaux Interdisciplinaires du Laboratoire Parole et Langage*, 23, 67 – 221.
- Dolson, M. (2004). Absolute pitch, speech, and tone language: some experiments and a proposed framework. *Music Perception*, 21(3), 339-356.
- Drayna, D., Manichaikul, A., de Lange, M., Snieder, H., Spector, T. (2001). Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science*, 291 (5510), 1969-1972.
- Eng, N., Obler, L., Harris, K., Abramson, A. (1996). Tone perception deficits in Chinese-speaking Broca's aphasics. *Aphasiology*, 10, 649-656.
- Ethfer, T., Anders, S., Erb, M., Herbert, C., Wiethoff, S., Kissler, J., Grodd, W., Wildgruber, D. (2006). Cerebral pathways in processing of affective prosody : A dynamic causal modeling study. *NeuroImage*, 30, 580-587.
- Friederici, A.D. (2002). Towards a neural basis of auditory sentence processing. *Trends*

- Cogn. Sci.* 6, 78-84.
- Friederici, A.D. (2011). The brain basis of language processing : from structure to function. *Physiol. Rev.* 91, 1357-1392.
- Fromkin, Victoria (1978). *Tone: a linguistic survey*. New York: Academic Press.
- Fujioka, T., Trainor, L.J., Ross, B., Kakigi, R., Pantev, C. (2004). Musical training enhances automatic encoding of melodic contour and interval structure. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(6), 1010-1021.
- Gandour, J.T. (1983). Tone perception in far eastern languages. *Journal of Phonetics*, 11, 149-175.
- Gandour, J.T. (1994). Phonetics of tone. In R. Asher et J. Simpson (Eds). *The encyclopedia of language & linguistics*, Vol. 6, 3116-3123. New York: Pergamon Press.
- Gandour, J., Dardarananda, R. (1983). Identification of tonal contrast in Thai aphasic patients. *Brain Lang.*, 18, 98-114.
- Gandour, J., Dzemidzic, M., Wong, D., Lowe, M., Tong, Y., Hsieh, L., Satthamnuwong, N., Lurito, J. (2003). Temporal integration of speech prosody is shaped by language experience: an fMRI study. *Brain & Language*, 84 (3), 318-336.
- Gandour, J.T., Harshman, R.A. (1978). Crosslanguage differences in ton perception: a multidimensional scaling investigation. *Language and Speech*, 21 (1), 1-33.
- Gandour, J., Ponglorpisit, S., Khunadorn, F., Dechongkit, S., Boongird, P., Boonklam, R., Potisuk, S. (1992). Lexical tones in Thai after unilateral brain damage. *Brain and*

Language, 43, 275-307.

Gandour, J., Tong, Y., Wong, D., Talavage, T., Dziedzic, M., Xu, Y., Li, X., Lowe, M. (2004). Hemispheric roles in the perception of speech prosody. *Neuroimage, 23*, 344-357.

Gandour, J., Wong, D., Hsieh, L., Weinzapfel, B., Van Lancker, D., Hutchins, G.D. (2000). A crosslinguistic PET study of tone perception. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12 (1)*, 207-222.a

Gandour, J., Wong, D., Hutchins, G. (1998). Pitch processing in the human brain is influenced by language experience. *NeuroReport, 9*, 2115-2119.

Giuliano, R.J., Pfordresher, P.Q., Stanley, E.M., Narayana, S. and Wicha N.Y.Y. (2011). Native experience with a tone language enhances pitch discrimination and the timing of neural responses to pitch change. *Frontiers in Psychology, 2: 146.*

Gómez Gallego, M., Gómez García, J. (2016). Music therapy and Alzheimer's disease : cognitive, psychological, and behavioural effects. *Neurologia*, Doi :10.1016/j.nrl.2015.12.003.

Griffiths, T.D., Uppenkamp, S., Johnsrude, I., Josephs, O., Patterson, R.D. (2001). Encoding of the temporal regularity of sound in the human brainstem. *Nature Neuroscience. 4(6)*, 633-37.

Guessenhoven, C. (2004). *The phonology of Tone and Intonation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Hall, D.A., Johnsrude, I., Haggard, M.P., Palmer, A.R., Akeroyd, M.A., Summerfield,

- A.Q. (2002). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cereb. Cortex. 12*, 140-49.
- Hart, H.C., Palmer, A.R., Hall, D.A. (2003). Amplitude and frequency-modulated stimuli activate common regions of human auditory cortex. *Cereb. Cortex. 13*, 773-81.
- Hickok, G., Buchsbaum, B., Humphries, C., Muftuler, T. (2003). Auditory-motor interaction revealed by fMRI: speech, music and working memory in area Spt. *J. Cogn. Neurosci. 15*, 673-682.
- Hickok, G., Poeppel, D. (2007). Opinion – the cortical organization of speech processing. *Nat. Rev. Neurosci. 8*, 393-402.
- Hove, M.J., Sutherland, M.E., Krumhansl, C.L. (2010). Ethnicity effects in relative pitch. *Psychon. Bull. Rev. 17*, 310-316.
- Holleran, S., Jones, M.R., Bulter, D. (1995). Perceiving implied harmony: The influence of melodic and harmonic context. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 21*, 737-753.
- Hughes, C.P., Chan, J.L., Su, M.S. (1993). Aprosodia in Chinese patients with right cerebral hemisphere lesion. *Arch. Neurol., 40*, 732-736.
- Hutka, Stefanie et Alain, Claude. (2015). The effects of absolute pitch and tone language on pitch processing and encoding in musicians. *Music Perception, 32(4)*, 344-354.
- 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.

- Jones, M.R. (1987). Dynamic pattern structure in music: Recent theory and research. *Perception & Psychophysics*, *41*, 621-634.
- Johnstrude, I., Penhune, V., Zatorre, R. (2000). Functional specificity in the right auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain*, *123*, 155-63.
- Kaan, E., Wayland, R., Bao, M.Z., Barkley, C.M. (2007). Effects of native language and training on lexical tone perception: an event-related potential study. *Brain Res.* *1148*, 113-122.
- Kaan, E., Barkley, C.M., Bao, M., Wayland, R. (2008). Thai lexical tone perception in native speakers of Thai, English and Mandarin Chinese: an event-related potentials training study. *BMC Neuroscience*. *9*, 1-17. doi: 10.1186/1471-2202-9-53.
- Klein, D., Zatorre, R.J., Milner, B., Zhao, Y. (2001). A cross-linguistic PET study of tone perception in Mandarin Chinese and English speakers. *Neuroimage*, *13*, 646-653.
- Klouda, G.V., Robin, D.A., Graff-Radford, N. R., Cooper, W.E. (1988). The role of colossal connections in speech prosody. *Brain and Language*, *35*, 154-171.
- Koelsch, S., Gunter, T.C., Cramon, D.Y., Zysset, S., Lohmann, G., Friederici, A.D. (2002). Bach speaks : A cortical “language-network” serves the processing of music. *Neuroimage*, *17*(2), 956-966.
- Kotz, S.A., Meyer, M., Alter, K., Besson, M., Yves von Cramon, Friederici, A.D. (2003). On the lateralization of emotional prosody : an event-related functional MR

- investigation. *Brain and Language*, 86, 366-376.
- Kraus, N. et Banai, K. (2007). Auditory-processing malleability: focus on language and music. *Current Directions in Psychological Science*, 16(2), 105-110.
- Kreitewolf, J., Friederici, A.D., von Kriegstein, K. (2014). Hemispheric lateralization of linguistic prosody recognition in comparison to speech and speaker recognition. *NeuroImage*, 102, 332-344.
- Krishnan, A. et Gandour, J.T. (2009). The role of the auditory brainstem in processing linguistically-relevant pitch patterns. *Brain and Language*, 110, 135-148.
- Krishnam, A., Gandour, J.T., Bidelman, G.M. et Swaminathan, J. (2009). Experience-dependent neural representation of dynamic pitch in the brainstem. *Neuroreport*, 20(4), 408-413.
- Krishnan, A., Gandour, J.T., Ananthakrishnan, S., Vijayarghavan, V. (2015). Language experience enhances early cortical pitch-dependent responses. *Journal of Neurolinguistics*, 33, 128-148.
- Krishnan, A., Gandour, J.T., Bidelman, G.M. (2010). The effects of tone language experience on pitch processing in the brainstem. *Journal of Neurolinguistics*, 23, 81-95.
- Krishnan, A., Gandour, J.T., Bidelman, G.M. (2012). Experience-dependent plasticity in pitch encoding : From brainstem to auditory cortex. *Neuroreport*, 23(8), 498-502.

- Krishnan, A., Jackson, T. G., Suresh, C.H. (2015). Pitch processing of dynamic lexical tones in the auditory cortex is influenced by sensory and extrasensory. *European Journal of Neuroscience, Vol, 41*, 1496-1504.
- Krishnan, A., Swaminathan, J., Gandour, J.T. (2009). Experience-dependent enhancement of linguistic pitch representation in the brainstem is not specific to a speech context. *J. Cogn. Neurosci, 21*, 1092-1105.
- Krishnan, A., Xu, Y., Gandour, J., Cariani, P. (2005). Encoding of pitch in the human brainstem is sensitive to language experience. *Cognitive Brain Research, 25*, 161-168.
- Krohn, K.L., Brattico, E., Valimaki, V., Tervaniemi, M. (2007). Neural representations of the hierarchical scale pitch structure. *Music Perception, 24 (3)*, 281-296.
- Krumhansl, C.L. (1990). *Cognitive foundations of musical pitch*. New York: Oxford University Press.
- Kumar, S., Stephan, K.E., Warren, J.D., Friston, K.J., Griffiths, T.D. (2007). Hierarchical processing of auditory objects in humans. *PLoS Computational Biology, 3*:e100. [PubMed :17542641]
- Ladd, D. et al. (2013). Patterns of individual differences in the perception of missing fundamental tones. *J. Exp. Psychol. Human, 39*, 1386-1397.
- Ladefoged, P. (2006). *A course in phonetics* (5th ed.). Boston, MA: Thomson Wadsworth.
- Lee, C.Y., Hung, T.H. (2008). Identification of mandarin tones by English-speaking musicians and nonmusicians. *Journal of the Acoustical Society of American, 124*

(5), 3235-3248.

Lee, C.Y., Lee, Y.F. (2010). Perception of musical pitch and lexical tones by Mandarin-speaking musicians. *Journal of the Acoustical Society of America*, 127 (1), 481-490.

Lee, Yuh-Shiow, Vakoch D.A., Lee H. Wurm (1996). Tone Perception in Cantonese and Mandarin: A Cross-Linguistic Comparison. *Journal of Psycholinguistic Research*, 25 (5), 527-542.

Lehiste, I. (1996). Suprasegmental features of speech. In N.J. Lass (Ed.), *Principles of experimental phonetics*, 226-244. St. Louis: Mosby.

Levitin, D.J., Rogers, S.E. (2005). Absolute pitch: Perception, coding, and controversies. *Trends in Cognitive Sciences*, 9 (1), 26-33.

Liberman, A.M., Cooper, F.S., Shankweiler, D.P., Studdert, K.M. (1967). Perception of the speech code. *Psychol. Rev.* 74, 431-461.

Liberman, A.M., Mattingly, I.G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, 21, 1-36.

Liberman, A.M., Mattingly, I.G. (1989). A specialization for speech perception. *Science*, 243, 489-494.

Liberman, A.M., Whalen, D.H. (2000). On the relation of speech to language. *Trends Cogn. Sci.*, 4, 187-196.

Liégeois-Chauvel, C., Peretz, I., Babī, M., Laguitton, V., Chauvel, P. (1998). Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing.

Brain, 121, 1853-67.

Magne, C., Schon, D., Besson, M. (2006). Musician children detect pitch violations in both music and language better than nonmusician children : Behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 199-211.

Marmel, F., Tillmann B., Dowling W.J. (2008). Tonal expectations influence pitch perception. *Perception & Psychophysics*, 70 (5), 841-852.

Massaro, D.W., Cohen, M.M., Tseng, C.Y. (1985). The evaluation and integration of pitch height and pitch contour in lexical tone perception in Mandarin Chinese. *J. Chin. Linguist.* 13, 267-290.

Meyer, M., Alter, K., Friederici, A.D., Lohmann, G., von Cramon, D.Y., 2002. fMRI reveals brain regions mediating slow prosodic modulations in spoken sentences. *Hum. Brain Mapp.* 17, 73-88.

Moen, I. (1993). Functional lateralization of the perception of Norwegian word tones – Evidence from a dichotic listening experiment. *Brain and Language*, 44, 400-413.

Monrad-Krohn, G.H. (1947). The prosodic quality of speech and its disorders. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 3-4, 255-69.

Moreno S., Bialystok E., Barac R., Schellenberg E.G., Cepeda N.J., Chau T. (2011). Short-term music training enhances verbal intelligence and executive function. *Psychological Science*, 22, 1425-1433.

Mouning, G. (1974). *Dictionnaire de la linguistique*. Paris : PUF, 384p.

Munte, T.F., Altenmuller, E., Jancke, L. (2002). The musician's brain as a model of

- neuroplasticity. *Nature Reviews : Neuroscience*, 3(6), 473-478.
- Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences, U.S.A*, 104, 15894-15898.
- Musacchia, G., Strait D., Kraus N. (2008). Relationships between behavior, brainstem and cortical encoding of seen and heard speech in musicians and non-musicians. *Hear Res.*, 241 : 34-42.
- Näätänen, R., Alho, K. (1997). Mismatch negativity-the measure for central sound representation accuracy. *Audiol Neuro-Otol*, 2, 341-53.
- Näätänen, R., Gaillard, A.W.K., Mäntysalo, S. (1978). Early selective-attention effect on evoked potential reinterpreted. *Acta Psychol.*, 42(4), 313-29.
- Naeser, M. A., Chan, S.W. (1980). Case study of a chinese aphasic with the Boston Diagnostic Aphasia exam. *Neuropsychologia*, 18, 389-410.
- Narmour, E. (1990). *The analysis and cognition of basic melodic structures: The implication-realization model*. Chicago: University of Chicago Press.
- Oxenham, A.J. (2012). Pitch Perception. *The Journal of Neuroscience*, 32 (39), 13335-13338.
- Packard, J. (1986). Tone production deficits in nonfluent aphasic Chinese speech. *Brain Language*, 29, 212-223.

- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L.E., Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392(6678), 811-814.
- Patel, A.D., Iversen, J.R. (2007). The linguistic benefits of musical abilities. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(9), 369-372.
- Patel, A.D., Iversen, J.R., Rosenberg, J.C. (2006). Comparing the rhythm and melody of speech and music: The case of British English and French. *Journal of the Acoustical Society of America*, 119 (5), 3034-3047.
- Pell, Marc D., Baum, Shari R. (1997). The ability to perceive and comprehend intonation in linguistic and affective contexts by brain-damaged adults. *Brain and language*, 57(1), 80-99.
- Penfield, W., Perot, P. (1963). The brain's record of auditory and visual experience : a final summary and discussion. *Brain*, 86, 595-696.
- Peretz, I., Nguyen, S. et Cummings, S. (2011). Tone language fluency impairs pitch discrimination. *Frontiers in Psychology*, 2(145), 1-5.
- Perrachione, T.K. et al. (2013). Evidence for shared cognitive processing of pitch in music and language. *PloS One*. 8, e73372.
- Petitti, Elizabeth (2013). *A fundamental residue pitch perception bias for tone language speakers*. (Mémoire de maîtrise inédit). Boston University.
- Profita, J., Bidder, T.G. (1988). Perfect pitch. *American Journal of Medical Genetics*, 29, 763-771.

- Pfordresher, P.Q., Brown, S. (2009). Enhanced production and perception of musical pitch in tone language speakers. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(6), 1385-1398.
- Pihan, H. (2006). Affective and linguistic processing of speech prosody: DC potential studies. *Progress in Brain Research*, 156, 269-284.
- Pike, K.L. (1948). *Tone Languages. A Technique for Determining the Number and Type of Pitch Contrasts in a Language, with Studies in Tonemic Substitution and Fusion*, Ann Arbor, University of Michigan Press.
- Plack, C.J., Oxenham, A.J., Fay, R.R., Popper, A.N. (Eds). (2005). *Pitch: Neural coding and perception (Vol.24)*. New York: Springer.
- Plante, E., Creusere, M., Sabin, C. (2002). Dissociation sentential prosody from sentence processing : activation interacts with task demands. *NeuroImage*, 17, 401-410.
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Hall, W.C., Lamantia, A.S & McNamara, J.O. (2005). *Neuroscience*. Bruxelles: Éditions de Boeck Université.
- Raithel, V., Hielscher-Fastabend, M. (2004). Emotional and linguistic perception of prosody. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 56, 7-13.
- Rattanasone, N.X., Attina, V., Kasisopa, B., Burnham, D. (2013). How to compare tones. *South and Southeast Asian Psycholinguistics*, 233-246. Cambridge : Cambridge University Press.
- Renaud J., Buscall, J.M. (1996). *Le Norvégien en vingt leçons*. Éditions OPHRYS, Paris.
- Ross, E. (1981). The aprosodias: functional-anatomic organization of the affective

- components of language in the right hemisphere. *Archives of Neurology*, 38, 561-569.
- Ross, E. (1993). Nonverbal aspects of language. *Behavioral Neurology*, 11, 9-22.
- Ross, E.E., Anderson, B., Morgan – Fisher, A. (1989). Crossed aprosodia in strongly dextral patients. *Arch. Neurol.* 46, 206-209.
- Rialland, Annie (1998). Systèmes prosodiques africains : une source d’inspiration majeure pour les théories phonologiques multilinéaires. *Faits de langues*, volume 6, pp. 407-428.
- Ryalls, J., Reinvang, I. (1986). Functional lateralization of linguistic tones : acoustic evidence from Norwegian. *Language and Speech*, 29, 389-398.
- Samon, S., Zatorre, R.J. (1988). Melodic and harmonic discrimination following unilateral cerebral excision. *Brain Cogn.* 7, 348-60.
- Schellenberg, E.G., Trehub, S.E. (2008). Is there an Asian advantage for pitch memory? *Music Percept.* 25, 241-252.
- Schellenberg, M. (2012). Does language determine music in tone languages? *Ethnomusicology*, 56 (2), 266-278.
- Schneider, P. et al. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl’s gyrus reflects pitch perception preference. *Nat. Neurosci.* 8. 1241-1247.
- Schön, D., Magne, C., Besson, M. (2004). The music of speech: Music training facilitates pitch processing in both music and language. *Psychophysiology*, 41, 341-349.
- Schouten, M.E. (1985). Identification and discrimination of sweep tones. *Perception and*

Psychophysics, 37 (4), 369-376.

Semal, C., Demany, L. (2006). Individual differences in the sensitivity to pitch direction.

J. Acoust. Soc. Am. 120, 3907-3915.

Shipley-Brown, F., Dingwall, W.O., Berlin, C.I., Yeni-Komshian, G., Gordon-Salant, S.

(1988). Hemispheric processing of affective and linguistic intonation contours in normal subjects. *Brain & Language*. 33 (1), 16-26.

Sidtis, J.J., Van Lanckers Sidits, D. (2003). A neurobehavioral approach to dysprosody.

Seminars in Speech and Language, 24 (2), 93-105.

Stagray, et al. (1992). Contributions of the fundamental, resolved harmonics, and

unresolved harmonics in tone-phoneme identification. *J. Speech. Hear. Res.* 35, 1406-1409.

Stagray, J.R., Downs, D. (1993). Differential sensitivity for frequency among speakers of

a tone and a nontone language. *J. Chin. Linguist.* 21, 143-163.

Stevens, C., Keller, P. et Tyler, M. (2004). Language tonality and its effects on the

perception of contour in short and musical items. In S.D. Lipscomb, R. Ashley, R. O. Gjerdingen et Webster P. (Eds), *Proceeding of the 8th international conference on music perception & cognition*. Adelaide, Australia: Causal Productions.

Strait D.L., Kraus, N., Skoe, E., Ashly R. (2009). Musical experience and neural

efficiency : Effects of training on subcortical processing of vocal expressions of emotion. *Eur J Neurosci*, 29 : 661-668.

- Strelnikov, K.N., Vorobyev, V.A., Chernigovskaya, T.V., Medvedez, S.V., 2006. Prosodic clues to syntactic processing – a PET and ERP study. *NeuroImage*, 29, 1127-1134.
- Suga, N., Ma, X., Gao, E., Sakai, M., & Chowdhury, S. A. (2003). Descending system and plasticity for auditory signal processing: neuroethological data for speech scientists. *Speech Communication*, 41(1), 189–200.
- Swaminathan, J., Krishnan, A., & Gandour, J. T. (2008). Pitch encoding in speech and nonspeech contexts in the human auditory brainstem. *Neuroreport*, 19(11), 1163–1167.
- Tervaniemi, M., Just, V., Kowlsch, S., Widmann, A., Schroger, E. (2005). Pitch discrimination accuracy in musicians vs. nonmusicians: an event-related potential and behavioral study. *Exp. Brain Res.* 161, 1-10.
- Tramo, M., Shah, G.D., Braida, L.D. (2002). Functional role of auditory cortex in frequency processing and pitch perception. *J. Neurophysiol.* 87, 122-39.
- Trehub, S.E., Schellenberg, E.G., Nakata, T. (2008). Cross-cultural perspectives on pitch memory. *J. Exp. Child. Psychol.* 100, 40-52.
- Tillmann, B., Burham, D., Nguyen, S., Grimault, N., Gosselin, N., Peretz, I. (2011). Congenital amusia (or tone-deafness) interferes with pitch processing in tone languages. *Frontiers in Psychology*, 2 (120), 1-15.
- Tucker, D., Watson, R., Heilman, K. (1977). Discrimination and evocation of affectively intoned speech in patients with right parietal disease. *Neurology*, 27, 947-950.

- Van Lancker, D. (1980). Cerebral lateralization of pitch cues in the linguistic signal. *International Journal of Human Communication, 13*, 227-277.
- Van Lancker, D., Fromkin, V. (1973). Hemispheric specialization for pitch and tone: evidence from Thai. *Journal of Phonetics, 1*, 101-109.
- Van Lancker, D., Fromkin, V. (1978). Cerebral dominance for pitch contrasts in tone language speakers and in musically untrained and trained English speakers. *Journal of Phonetics, 6*, 19-23.
- Van Lancker Sidtis, D., Pachana, N., Cumming, J.L., Sidtis, J.J. (2006). Dysprosodic speech following basal ganglia insult : toward a conceptual framework for the study of the cerebral representation of prosody. *Brain and Language, 97*, 135-153.
- Van Lancker, D., Sidtis, J.J. (1992). The identification of affective-prosodic stimuli by left- and right-hemisphere- damaged subjects: All errors are not created equal. *Journal of Speech and Hearing Research 35*, 963-970.
- Vignolo, L.A. (2003). Music agnosia and auditory agnosia. Dissociations in stroke patients. *Annals of the New York Academy of sciences, 999*, 50-57.
- Wang, Y., Jongman, A., Sereno, J.A. (2001). Dichotic perception of Mandarin tones by Chinese and American listeners. *Brain Language, 78*, 332-348.
- Wang, X.D., Wang, M., Chen, L. (2013). Hemispheric lateralization for early auditory processing of lexical tones : dependence on pitch level and pitch contour. *Neuropsychologia, 51*, 2238-2244.
- Weintraub, S., Mesulam, M., Karner, L. (1981). Disturbances in prosody: a right-

- hemisphere contribution to language. *Archives of Neurology*, 38, 742-44.
- Wennerstrom, A. (2001). *The music of everyday speech: Prosody and discourse analysis*.
New York: Oxford University Press.
- Wildgruber, D., Ackermann, H., Kreifelts, B., Ethofer, T. (2006). Cerebral processing of linguistic and emotional prosody : fMRI studies. *Progress in Brain Research*, 156, 249-268.
- Wildgruber, D., Hertrich, I., Riecker, A., Erb, M., Anders, S., Grodd, W., Ackermann, H. (2004). Distinct frontal regions subserve evaluation of linguistic and emotional aspects of speech intonation. *Cerebral Cortex*, 14, 12, 1384-1389.
- Witteman, J., van Ijzendoorn, M., van de velde, D., van Heuven, V.J.P., Schiller, N.O. (2011). The nature of hemispheric specialization for linguistic and emotional prosodic perception : a meta-analysis of the lesion literature. *Neuropsychologia*, 49, 3722-38.
- Witteman, J., Goerlich-Dobre, K.S., Martens, S., Aleman, A., Van Heuven, V.J., Schiller, N.O. (2014). The nature of hemispheric specialization for prosody perception. *Cogn. Affect Behav. Neurosci.*, 14, 1104-1114.
- Wong, P.C., Ciocca, V., Chan, A.H., Ha, L.Y., Tan, L.H., Peretz, I. (2012). Effects of culture on musical pitch perception. *PLoS One*, 7(4), e33424. doi : 10.1371/journal. phone.0033424.
- Wong, Patrick C.M. (2002). Hemispheric specialization of linguistic pitch patterns. *Brain Research Bulletin*, Vol. 59 (2), 83-95.

- Wong, Y., Jongman, A., Sereno, J., 2001. Dichotic perception of Mandarin tones by Chinese and American listeners. *Brain & Language*, 78, 332-348.
- Wong, P. C., & Perrachione, T. K. (2007). Learning pitch patterns in lexical identification by native English-speaking adults. *Applied Psycholinguistics*, 28(4), 565–585.
- Wong, P. C., Skoe, E., Russo, N. M., Dees, T., & Kraus, N. (2007). Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature Neuroscience*, 10(4), 420–422.
- Xiong, Y., Zhang, Y., & Yan, J. (2009). The neurobiology of sound-specific auditory plasticity: a core neural circuit. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 33(8), 1178-1184.
- Xu, Y. (1997). Contextual tonal variations in mandarin. *Journal of Phonetics*, 25, 61–83.
- Xu, Y., Krishnan, A., & Gandour, J. T. (2006). Specificity of experience-dependent pitch representation in the brainstem. *Neuroreport*, 17(15), 1601–1605.
- Xu, Y., Gandour, J. T., & Francis, A. L. (2006). Effects of language experience and stimulus complexity on the categorical perception of pitch direction. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120 (2), 1063–1074.
- Xu, Y., Gandour, J. T., Talavage, T., Wong, D., Dziedzic, M., Tong, Y., et al. (2006). Activation of the left planum temporale in pitch processing is shaped by language experience. *Human Brain Mapping*, 27(2), 173–183.
- Yip, M. (2002). *Tone*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Zatorre R.J. (1985). Discrimination and recognition of tonal melodies after unilateral

cerebral excisions. *Neuropsychologia*, 23, 31-41.

Zatorre, R. J. (1988). Pitch perception of complex tones and human temporal-lobe function. *J. Acoust. Soc. Am.* 84, 566-72.

Zatorre, R.J., Belin, P., Penhune, V.B. (2002). Structure and function of auditory cortex: Music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6, 37-46.

Zatorre, R.J., Gandour, J.T. (2008). Neural specializations for speech and pitch: Moving beyond the dichotomies. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences*, 363, 1087-1104.