

Université de Montréal

Les émotions évoquées par la musique chez les enfants présentant une épilepsie

Par Delphine Fargues

Département de psychologie, Faculté des arts et des sciences

Essai doctoral présenté en vue de l'obtention du grade de doctorante en psychologie (D.Psy.),

option neuropsychologie clinique

sous la direction de Nathalie Gosselin et la codirection d'Anne Gallagher

Août 2017

© Delphine Fargues, 2017

Résumé

L'objectif principal de la présente étude est d'explorer l'influence de l'épilepsie pédiatrique sur le traitement des émotions musicales. Plus particulièrement, cette recherche vise à investiguer les capacités des jeunes avec épilepsie à catégoriser la gaieté, la tristesse et la peur ainsi qu'à juger le caractère relaxant ou excitant (activation) et agréable ou désagréable (valence) de la musique. La perception musicale a été évaluée également. Pour cela, les performances des jeunes avec épilepsie à des tâches de catégorisation et de jugements émotionnels ont été comparées à celles de jeunes sans troubles neurologiques. De plus, une tâche contrôle de détection d'erreurs a permis de vérifier que la perception mélodique et temporelle des deux groupes était similaire. Les résultats indiquent que les jeunes avec et sans épilepsie catégorisent les émotions musicales de la même manière. Cependant, les jeunes avec épilepsie jugent la musique triste moins relaxante et la musique gaie moins excitante que les contrôles. Par ailleurs, les jeunes avec épilepsie jugent la musique évoquant la peur anormalement agréable. Ces données diffèrent de celles disponibles chez l'adulte avec épilepsie et suggèrent la présence de mécanismes de réorganisation des réseaux neuronaux associés aux émotions musicales chez l'enfant. Ainsi, cette étude contribue à mieux comprendre le développement des capacités de reconnaissance des émotions qui pourraient être perturbées dans le contexte d'épilepsie de l'enfant.

Mots-clés : émotions musicales, émotion, musique, épilepsie, développement, enfant, reconnaissance des émotions, niveau d'activation, valence émotionnelle, perception musicale

Abstract

The main goal of this study is to investigate the impact of childhood epilepsy on the recognition of emotions evoked by music. More specifically, this research explores how children with epilepsy categorize joy, sadness and fear as well as their ability to judge relaxing or exciting (arousal) and pleasant or unpleasant (valence) feature of music. Musical perception was also assessed. To do so, the performances of children with epilepsy on categorization and emotional judgments tasks were compared with a control group of neurotypical children. In addition, an error detection task allowed to verify if pitch and time perception in music were similar between both groups. Results reveal that young individuals with and without epilepsy categorize emotions conveyed by music similarly. However, children with epilepsy judge arousal of sadness less relaxing and joy less exciting than controls. Moreover, children with epilepsy judge the emotional valence of fear abnormally pleasant. These results differ from the data available in adults with epilepsy and suggest that reorganization of neuronal networks associated with musical emotions might have take place in children with epilepsy. Thus, this study provides a better understanding of the development of emotional recognition skills that could be disturbed in the context of childhood epilepsy.

Keywords: emotions conveyed by music, emotions, music, epilepsy, development, children, emotion recognition, arousal, valence, musical perception

Table des matières

Résumé	I
Abstract.....	II
Liste des tableaux	IV
Liste des figures.....	V
Liste des sigles et des abréviations	VI
Remerciements	VII
INTRODUCTION	1
I. L'épilepsie	2
II. Les émotions évoquées par la musique.....	4
III. Les substrats neuronaux associés aux émotions musicales.....	7
IV. Les émotions musicales au cours du développement de l'enfant	12
IV.1. Catégorisation des émotions musicales	12
IV.2. Jugements des dimensions émotionnelles	13
V. Effet de l'épilepsie pédiatrique sur la reconnaissance des émotions et la perception musicale.....	14
V.1. La reconnaissance des émotions chez les enfants avec épilepsie	14
V.2. Les habiletés de perception musicale chez les enfants avec épilepsie	17
OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES.....	17
MÉTHODOLOGIE	19
Participants	19
Déroulement général.....	20
Tâche de reconnaissance des émotions musicales	21
Tâche contrôle de détection d'erreurs.....	24
Analyses statistiques	26
RÉSULTATS.....	27
Description des participants.....	27
Tâche de reconnaissance des émotions musicales	28
Tâche contrôle de détection d'erreurs.....	33
DISCUSSION.....	34
CONCLUSION.....	44
RÉFÉRENCES	45

Liste des tableaux

- Tableau 1.** Caractéristiques des participants avec épilepsie. TDA/H= Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité ; SGT= Syndrome de Gilles de la Tourette. L'astérisque simple montre un niveau léger, l'astérisque double un niveau modéré et la triple un niveau sévère de symptômes d'anxiété ou de dépression. 20
- Tableau 2.** Présentation des données démographiques et neuropsychologiques des participants avec épilepsie et contrôles. La moyenne et l'écart-type sont présentés pour l'âge, la scolarité, l'expertise musicale, le quotient intellectuel, l'anxiété et la dépression en fonction des groupes. L'astérisque indique une différence significative ($p < .05$) entre les groupes. 28
- Tableau 3.** Les pourcentages moyens de catégorisations correctes (et les écarts-types) sont présentés en gras en fonction des groupes et des catégories d'émotion. Les pourcentages d'erreurs sont également illustrés en fonction des émotions pour chaque groupe. 29
- Tableau 4.** Les pourcentages moyens (et l'étendue des résultats) de cibles moins les pourcentages moyens de fausses alarmes sont présentés selon les conditions et les groupes. . 33

Liste des figures

<i>Figure 1.</i> Représentation intégrative des catégories d'émotions et des dimensions d'activation et de valence émotionnelle accompagnées des paramètres musicaux (figure adaptée de Vieillard et al., 2008).	6
<i>Figure 2.</i> Déroulement général de l'expérience.....	21
<i>Figure 3.</i> Les moyennes des jugements d'activation et de valence émotionnelle pour chaque jeune (petits symboles) ainsi que les moyennes des jugements par groupe (grands symboles) sont représentées selon les catégories d'émotions. Les participants contrôles sont représentés avec des symboles noirs et les participants avec épilepsie avec des symboles blancs.	30

Liste des sigles et des abréviations

Bmp	Battements par minute
CHU	Centre Hospitalier Universitaire
Mm	Millimètre
Mp3	Moving picture experts group-1/2 Audio Layer
SGT	Syndrome de Gilles de la Tourette
TDA/H	Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité
WASI	Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier chaleureusement ma directrice de recherche, Dre Nathalie Gosselin, de m'avoir permis de réaliser ce projet de recherche qui me stimulait tant. Durant ces deux années, j'ai pu bénéficier pleinement de ton expertise, de tes précieux conseils et de ta passion pour la recherche clinique. Au-delà de la chercheuse, enseignante et brillante clinicienne, j'ai aussi eu la chance d'apprendre à connaître Nathalie, une femme généreuse, chaleureuse, empathique et qui a à cœur de prendre soin de ses étudiants. Je te remercie infiniment pour ton soutien et ta bonne humeur en toutes circonstances. Ce fut un grand plaisir d'intégrer ton laboratoire.

Je souhaite également remercier Dre Anne Gallagher, ma codirectrice de recherche. Tu m'as accueillie dans ton laboratoire et m'a permis de bénéficier d'un environnement stimulant à l'hôpital Sainte Justine. Je te remercie pour ta disponibilité, tes conseils toujours judicieux, tes encouragements et ton aide précieuse sans laquelle le projet n'aurait pas vu le jour.

Mes remerciements également au laboratoire LION, et plus particulièrement à Kathya Martel, Alejandra Hüsser et Cléa Girard pour leur aide dans le recrutement des participants. Nous avons partagé de beaux moments auprès des enfants, à la fois joyeux, émouvants et j'ai beaucoup apprécié notre travail d'équipe.

Mes pensées également à mes collègues du laboratoire MUSEC et BRAMS pour leurs rétroactions toujours pertinentes, leur esprit d'équipe et leur convivialité.

Je souhaite également adresser mes remerciements à l'ensemble des enfants et de leurs parents, qui ont participé avec enthousiasme à cette recherche et qui nous ont réservé de beaux moments !

Je ne saurais trouver les mots pour remercier mes fidèles amis et plus particulièrement Amélie, Romain, Aurélien, Virginie, Nolwenn, Solène et Nicolas. Votre amitié, votre humour et authenticité me sont précieux. Merci pour tous vos encouragements, je suis heureuse de vous avoir dans ma vie.

Enfin, je tiens à dire un grand merci à mes parents et à mon frère Vincent qui m'ont toujours soutenue et encouragée dans mon parcours académique. Je sais que vous êtes fiers de mes accomplissements, mais c'est aussi grâce à votre soutien et au fait que vous ayez cru en moi que j'ai pu arriver là où je suis aujourd'hui.

INTRODUCTION

Les auditeurs rapportent écouter de la musique en raison de sa capacité à exprimer et induire des émotions (Schäfer, Sedlmeier, Städtler et Huron, 2013). D'ailleurs, la musique occupe une place importante dans le quotidien des adolescents (Zillmann et Gan, 1997). En effet, elle permet de soutenir le développement identitaire, de développer le sentiment d'appartenance à un groupe social et de réguler les émotions (Lonsdale et North, 2011; North, Hargreaves et O'Neill, 2000; Tarrant, North et Hargreaves, 2000). Malgré la croyance populaire que les réponses émotionnelles envers la musique sont très variables entre les individus, il a été démontré que la gaieté, la tristesse et la peur exprimées par la musique peuvent être reconnues de façon similaire par les adultes (Bresin et Friberg, 2011; Fritz et al., 2009; Peretz, Blood, Penhune et Zatorre, 2001; Vieillard et al., 2008). Par ailleurs, les enfants sont capables d'identifier les musiques comme étant gaies ou tristes dès l'âge de 4 ans (Dolgin et Adelson, 1990; Terwogt et Grinsven, 1991). L'émergence précoce de la reconnaissance des émotions musicales s'explique possiblement en partie par le fait qu'elle repose sur des régions cérébrales dédiées au traitement émotionnel (Koelsch, 2014). Par exemple, l'écoute de musique évoquant la peur est associée à l'activation de l'amygdale (Koelsch, Fritz, Schulze, Alsop et Schlaug, 2005), une région bien connue pour son rôle dans le traitement de la peur (LeDoux, 2003). Les études réalisées auprès d'adultes avec épilepsie ayant subi une résection du lobe temporal médian, une chirurgie incluant l'amygdale (Gosselin et al., 2005, 2006, 2011) ont confirmé que cette région est essentielle chez l'adulte pour reconnaître la peur évoquée par la musique. On ignore toutefois si l'épilepsie, survenant au cours du développement de l'enfant, nuit également à la reconnaissance des émotions évoquées par la musique. L'objectif central du présent essai doctoral est d'explorer l'influence de l'épilepsie sur la reconnaissance des émotions

musicales chez des jeunes avec épilepsie. Pour cela, des jeunes présentant une épilepsie et leurs contrôles appariés selon l'âge compléteront des tâches mesurant le traitement des émotions musicales. Dans ce qui suit, nous allons décrire l'épilepsie puis les émotions musicales et leurs substrats neuronaux, découverts grâce aux études en imagerie cérébrale et en neuropsychologie chez l'adulte avec épilepsie, et enfin la reconnaissance des émotions dans le développement typique et chez l'enfant présentant une épilepsie.

I. L'épilepsie

L'épilepsie est définie comme une maladie neurologique qui comporte les manifestations suivantes : 1- Au moins deux crises non provoquées (ou réflexes) espacées de plus de 24 heures ; 2- Une crise non provoquée (ou réflexe) et une probabilité de survenue de crises ultérieures au cours des 10 années suivantes similaire au risque général de récurrence observé après deux crises non provoquées ; 3- Diagnostic d'un syndrome¹ épileptique (Fisher et al., 2014). Les crises d'épilepsie sont la manifestation clinique d'une activité électrique paroxystique² et hypersynchrone³ d'un groupe plus ou moins étendu de neurones et de son éventuelle propagation sur le cortex cérébral. L'épilepsie a un impact délétère sur divers aspects du fonctionnement (p. ex., cognitif, comportemental) incluant la sphère socioémotionnelle (Rudzinski et Meador, 2013). En effet, environ 25% des jeunes avec épilepsie souffriraient de dépression (Dunn, Austin, et Huster, 1999; Mitchell, Scheier et Baker, 1994) et entre 23

¹ L'utilisation du terme syndrome a été préférée à celle de maladie et réfère à un syndrome électroclinique qui identifie de manière fiable des entités cliniques, en raison d'une association non fortuite de signes et symptômes électrocliniques (Berg et al., 2010).

² L'évènement paroxystique est créé par une dépolarisation massive qui génère des bouffées de potentiels d'action au sein d'une population de neurones. Ce phénomène pathologique est caractéristique de l'épilepsie (Sghier Ahmed, 2014).

³ L'hypersynchronie est définie comme la propriété d'un groupe de neurones à générer de façon synchrone des trains de potentiels (Sghier Ahmed, 2014).

(Williams et al., 2003) et 48,5% (Alwash, Hussein, et Matloub, 2000) de troubles anxieux. Les perturbations de l'humeur seraient notamment liées au dysfonctionnement des structures temporales mésiales, en particulier l'amygdale et l'hippocampe (Hixson et Kirsch, 2009), aux effets des traitements et à la stigmatisation dont sont souvent victimes ces patients (Hermann, Seidenberg et Bell, 2000). Par ailleurs, en plus de la localisation du foyer épileptique et de l'efficacité du traitement, les autres variables liées à l'épilepsie comme la fréquence des crises, l'âge de début et la durée de la maladie, seraient des facteurs qui influenceraient également le fonctionnement émotionnel (Monti et Meletti, 2015). De plus, il a été montré que les épilepsies précoces (apparaissant avant l'âge de 5 ans) et/ou de longue durée (plusieurs années, ce qui est assez fréquent) entraînent des atteintes sévères de la reconnaissance des émotions faciales (Golouboff et al., 2008; Meletti et al., 2003). Toutefois, on ne sait pas si ces troubles de reconnaissance des expressions faciales touchent également la reconnaissance des émotions dans d'autres domaines comme la musique chez l'enfant.

En plus de mener à une appréciation plus profonde de la musique (Goodman, 1968), la qualité du traitement des émotions musicales pourrait refléter l'intégrité des mécanismes de sensibilité émotionnelle, qui sont nécessaires pour un fonctionnement social adéquat (Taruffi, Allen, Downing et Heaton, 2017). Ainsi, une meilleure connaissance de la relation entre la présence d'épilepsie et la reconnaissance des émotions musicales chez les enfants avec épilepsie pourrait permettre de mieux comprendre les difficultés sociales et émotionnelles qui sont parfois présentes chez ces enfants.

II. Les émotions évoquées par la musique

Dans la littérature, deux principales approches théoriques sont proposées pour décrire les émotions : l'approche catégorielle et l'approche dimensionnelle. Selon l'approche catégorielle, les émotions sont conceptualisées comme des déclencheurs de comportements adaptatifs de base. L'étude des émotions selon des catégories est issue des travaux d'Ekman (1992) qui a montré que les expressions faciales émotionnelles, composées d'un ensemble de caractéristiques faciales spécifiques à une émotion (p. ex., le sourire pour la gaieté), sont universellement reconnaissables. D'après cette perspective, les émotions de base ou primaires, comme la gaieté, la tristesse ou la peur ont la particularité d'être reconnues à travers les différentes cultures. L'approche catégorielle repose donc sur le postulat d'un substrat biologique commun et inné qui permet de reconnaître les émotions (Panksepp, 1998; Peretz, 2010). Comme les expressions faciales, la musique est un vecteur de communication non verbale et peut exprimer des émotions par des caractéristiques structurelles similaires selon les cultures (Peretz, 2001). En effet, les compositeurs expriment généralement les émotions en ayant recours à une combinaison de paramètres spécifiques. Il a été montré que dans la musique occidentale, le tempo est le principal paramètre musical qui permet de distinguer la gaieté (rapide) et la tristesse (lent; Dalla Bella et al., 2001 ; Gagnon et Peretz, 2003 ; Hevner, 1937). De plus, le mode majeur est fortement associé à la gaieté alors que le mode mineur est caractéristique de la tristesse (Crowder, 1984; Eerola, Friberg et Bresin, 2013; Gabrielsson et Lindström, 2001; Hevner, 1935). En somme, la gaieté est évoquée par un tempo⁴ rapide et un mode majeur (Gabrielsson et Lindström, 2001; Hevner, 1935; Peretz, Gagnon et Bouchard, 1998) alors que la tristesse est associée à un tempo

⁴ Le tempo est la vitesse de la pulsation (Gabrielsson et Lindström, 2001)

lent et un mode mineur. La peur, quant à elle, est souvent caractérisée par un tempo rapide ou variable (Mohn, Argstatter et Wilker, 2011) et un mode mineur (Juslin et Sloboda, 2011).

Selon l'approche dimensionnelle, toutes les gammes d'émotions sont représentées selon un nombre restreint de dimensions dont les deux principales sont le niveau d'activation (*arousal*) et la valence émotionnelle (Russell, 1980). Le niveau d'activation réfère à un continuum qui varie de « calme » à « excitant », ou de relaxant à excitant (ces derniers termes étant souvent utilisées dans le domaine musical, Wedin, 1972) alors que la valence émotionnelle varie d'« agréable » à « désagréable » ou de positif à négatif (Bradley et Lang, 1994). Ces deux dimensions sont généralement illustrées sur des axes horizontal et vertical (voir Figure 1) sur lesquels les catégories d'émotions (p. ex., la gaieté, la tristesse et la peur) peuvent être représentées. Ainsi, dans les domaines des visages et de la musique, la gaieté est décrite comme étant excitante et positive alors que la peur est excitante et négative (Russell, 1980 pour les expressions faciales; Vieillard et al., 2008 pour la musique). Contrairement à d'autres domaines comme celui des visages, la musique triste peut être jugée désagréable ou agréable (Vieillard et al., 2008), car elle peut évoquer tendresse et compassion chez certains auditeurs (Huron, 2015). Par ailleurs, il a été montré que les manipulations de tempo affecteraient spécifiquement le jugement du niveau d'activation sans affecter les jugements de la valence émotionnelle ; alors que les manipulations du mode affecteraient la manière dont la valence est jugée et aurait un léger effet sur l'activation (Dalla Bella et al., 2001 ; Husain, Thompson et Schellenberg, 2002). Enfin, la peur est parfois exprimée musicalement par la dissonance, qui peut être créée par une combinaison de deux tons ou demi-tons simultanément (p. ex., deux touches consécutives sur

un piano), produisant une sorte d'inégalité perçue comme étant désagréable (Peretz, 2010; Zentner et Kagan, 1998).

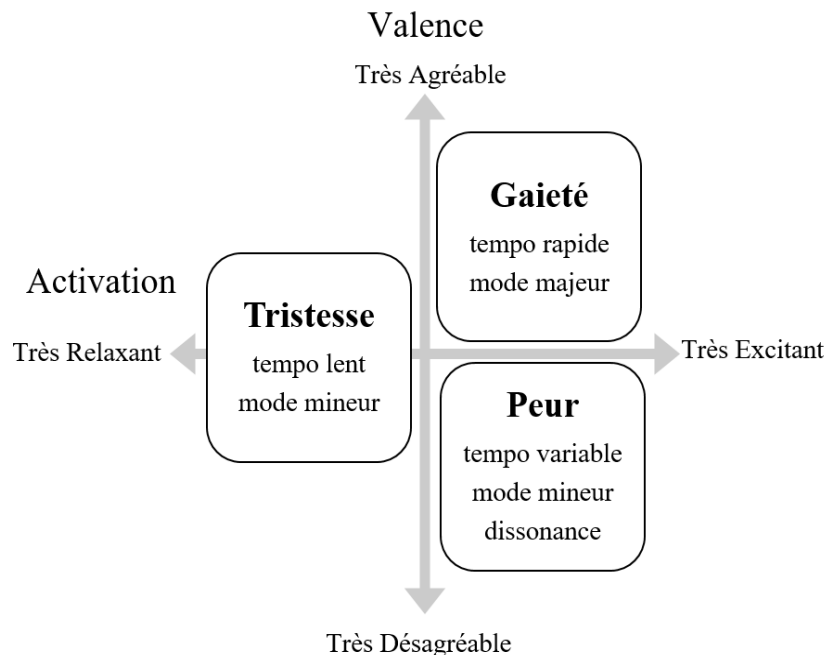


Figure 1. Représentation intégrative des catégories d'émotions et des dimensions d'activation et de valence émotionnelle accompagnées des paramètres musicaux (figure adaptée de Vieillard et al., 2008).

En somme, dans le domaine musical, les approches catégorielles et dimensionnelles sont communément utilisées, car elles permettent à la fois d'explorer les émotions de base tout en prenant en considération la complexité des émotions musicales (p. ex., le paradoxe de la musique triste qui peut être jugée agréable grâce à l'approche dimensionnelle). Ainsi, ces deux approches seront intégrées dans la présente étude de façon similaire à Vieillard et al., (2008). Cet article présente la validation d'extraits instrumentaux spécifiquement composés pour exprimer la gaieté, la tristesse et la peur selon les paramètres musicaux évoqués précédemment et les jugements catégoriels et dimensionnels d'adultes sans troubles neurologiques. Leurs résultats ont démontré que ces extraits sont facilement discriminables tant sur le plan de la catégorisation émotionnelle que des dimensions d'activation et de valence. Par conséquent, ces

stimuli évoquent la gaieté, la tristesse et la peur avec peu d'ambiguïté. De surcroît, les extraits musicaux de Vieillard et al., (2008) ne sont pas familiers puisqu'ils ont été spécifiquement composés pour l'étude des émotions musicales. Or, ce contrôle est important afin d'éviter que les musiques ne soient associées à des souvenirs personnels pouvant influencer le jugement émotionnel (Juslin, 2009). En effet, la familiarité envers une musique peut augmenter l'intensité de la réponse émotionnelle et influencer la catégorisation émotionnelle subséquente des extraits. Pour toutes ces raisons, nous utiliserons ici les stimuli de Vieillard et al., (2008), un choix également adopté par plusieurs recherches d'imagerie cérébrale effectuées chez des adultes neurotypiques ainsi que les études neuropsychologiques réalisées auprès de patients cérébro-lésés, ce qui facilite les comparaisons entre les études (Armony, Aubé, Angulo-Perkins, Peretz et Concha, 2015; Baird et Samson, 2009; Fritz et al., 2009; Gosselin et al., 2005; Kornreich et al., 2016; Lima et Castro, 2011; Rigoulot et Armony, 2016; Weisgerber et al., 2015).

III. Les substrats neuronaux associés aux émotions musicales

Le traitement des émotions musicales engage un réseau étendu de structures distribuées dans le cerveau, notamment les circuits limbique et paralimbique (pour une revue, voir Koelsch, 2014). Certaines de ces structures telles que l'amygdale, le cortex parahippocampique, l'hippocampe, le cortex préfrontal ventromédian, le noyau accumbens et le cortex orbitofrontal seront plus particulièrement abordées ci-dessous en raison de leur implication fréquente et connue dans les réseaux épileptogènes.

L'amygdale, au cœur du lobe temporal, joue un rôle central au sein du réseau émotionnel (Armony et al., 2015; LeDoux, 2003). Cette structure du système limbique a de nombreuses interconnexions notamment avec le cortex auditif, répondant ainsi aux stimuli auditifs

émotionnels comme la voix et la musique (Frühholz, Trost et Grandjean, 2014). Elle est effectivement sollicitée dans les réponses aux musiques évoquant la peur (Koelsch et al., 2013). Par exemple, une étude a montré que l'écoute d'une musique évoquant la peur associée à un film neutre augmente l'activité de l'amygdale en comparaison à une condition de film présenté seul (Eldar, Ganor, Admon, Bleich, et Hendler, 2007). Certaines études retrouvent en particulier que l'activité de l'amygdale droite serait plus forte en réponse à des musiques excitantes et négatives (Trost, Frühholz, Cochrane, Cojan et Vuilleumier, 2015). Dans tous les cas, l'amygdale est sollicitée lorsque la musique présente une certaine nouveauté, un état d'alerte ou de tension (Koelsch et al., 2013). De plus, les études en neuropsychologie réalisées chez les adultes ayant eu une résection unilatérale de l'amygdale pour le traitement de l'épilepsie ont montré une atteinte de la reconnaissance de la peur et de la tristesse évoquées par la musique (Gosselin et al., 2005 ; Gosselin et al., 2007 ; Khalifa et al., 2008). En accord avec ces résultats, les données de la célèbre patiente SM, qui n'avait pas d'épilepsie, mais qui présentait une atrophie bilatérale de l'amygdale ont montré un déficit sélectif de la reconnaissance de la peur et de la tristesse évoquées par la musique (Gosselin et al., 2007). Une résection unilatérale du lobe temporal médian incluant l'amygdale serait donc suffisante pour entraîner un déficit sélectif de la reconnaissance des émotions, ce qui reflète une détérioration du réseau de neurones sous-tendant la reconnaissance du danger.

Le cortex parahippocampique se trouve dans la partie antérieure et médiane du lobe temporal situé dans le système limbique. Il serait impliqué dans le jugement émotionnel désagréable associé à la dissonance sensorielle, selon une étude réalisée auprès de patients avec épilepsie présentant une résection du cortex parahippocampique. La dissonance sensorielle est généralement perçue comme étant particulièrement désagréable, voire aversive (Blood, Zatorre,

Bermudez et Evans, 1999; Koelsch, Fritz, Cramon, Müller et Friederici, 2006; Wedin, 1972; Zentner et Kagan, 1998). Les patients ayant une résection affectant le cortex parahippocampique jugent anormalement agréables les extraits dissonants, contrairement aux contrôles ainsi qu'aux patients ayant une résection n'affectant pas cette structure. Cette recherche a donc mis en évidence le rôle crucial du cortex parahippocampique dans le jugement désagréable de la dissonance sensorielle.

Au cœur du circuit limbique se trouve également l'hippocampe, interconnecté avec l'amygdale et dont le rôle dans l'apprentissage et la mémoire est bien connu (Scoville et Milner, 1957). Il a été proposé que cette structure consoliderait la mémorisation des extraits musicaux émotionnels en produisant des associations basées sur la mémoire et le contexte (Frühholz et al., 2014). En effet, différentes études ont indiqué qu'une activité de l'hippocampe est associée à la gaieté (Mueller et al., 2011) ou à la tristesse (Mitterschiffthaler, Fu, Dalton, Andrew et Williams, 2007). D'autres études en imagerie cérébrale ont également démontré que l'activité hippocampique serait modulée par la valence émotionnelle de la musique (Eldar et al., 2007 ; Koelsch, Fritz, Cramon, Müller et Friederici, 2006). Cette structure, vulnérable aux facteurs de stress émotionnel chronique (p. ex., anxiété; Roozendaal, McEwen et Chattarji, 2009; Warner-Schmidt et Duman, 2006), serait impliquée dans le traitement des musiques agréables ce qui serait associé à une diminution du stress (Chanda et Levitin, 2013; Koelsch et Stegemann, 2012). Les extraits relaxants solliciteraient les régions hippocampiques ainsi que le cortex préfrontal ventromédian. Ces activations cérébrales ne seraient pas spécifiques pour un niveau d'activation relaxant, mais elles seraient modulées par la valence. En effet, l'hippocampe serait particulièrement activé à l'écoute de musiques relaxantes et agréables et dans une moindre mesure, aux musiques désagréables (Koelsch, 2010; Koelsch et al., 2006 ; Koelsch, Jentschke,

Sammler et Mietchen, 2007; Trost et al., 2012). Par ailleurs, la formation hippocampique envoie de nombreuses projections vers le striatum ventral.

Localisé dans la partie ventrale du striatum, le noyau accumbens est reconnu pour son implication dans le système de récompense et du plaisir (Nieuwenhuys, Voogd et Van Huijzen, 2007), comme les besoins primaires (p. ex., alimentation ou sexualité; Sescousse, Caldú, Segura et Dreher, 2013). Plusieurs études ont d'ailleurs trouvé que le striatum ventral serait associé aux musiques très agréables provoquant des frissons (Blood et Zatorre, 2001; Brown, Martinez et Parsons, 2004; Koelsch et al., 2006; Menon et Levitin, 2005; Salimpoor, Benovoy, Larcher, Dagher et Zatorre, 2011; Trost et al., 2012). Ainsi, le plaisir évoqué par la musique sollicite les réseaux de la récompense, indispensables pour la survie de l'individu (Koelsch, 2014).

Le noyau accumbens est également connecté avec le cortex orbitofrontal, qui est impliqué dans le contrôle du comportement émotionnel et de l'évaluation automatique (inconsciente). Par ailleurs, le cortex orbitofrontal serait activé lorsque la musique suscite une certaine tension ou en présence de violations des attentes, c'est-à-dire des irrégularités musicales (Lehne, Rohrmeier et Koelsch, 2013). Des patrons d'activation en réponse aux musiques agréables et désagréables ont été identifiés en électroencéphalographie dans les régions frontales (Schmidt et Trainor, 2001).

Le traitement des catégories émotionnelles est sous-tendu par des structures particulières alors que les jugements d'activation et de valence sollicitent un ensemble de structures. Des études en neuropsychologie se sont intéressées aux jugements dimensionnels chez les patients avec une épilepsie du lobe temporal. De manière surprenante, il a été rapporté que le jugement de la valence est généralement préservé (Gosselin et al., 2005; Khalfa et al., 2008). Compte tenu

des données sur la valence associée à la dissonance musicale, nous pourrions nous attendre à trouver des déficits dans les jugements de valence émotionnelle attachés à la peur, étant donné que les extraits de peur peuvent être dissonants (Gosselin et al., 2006). Toutefois, le jugement d'activation est déficitaire (Gosselin et al., 2005; Khalifa et al., 2008). Plus particulièrement, les patients avec une épilepsie temporale gauche trouvent globalement les extraits gais moins excitants que les patients avec une épilepsie temporale droite ou que les contrôles (Khalifa et al., 2008) alors que les patients avec une épilepsie temporale droite jugent les musiques de peur moins excitantes que les individus avec une épilepsie temporale gauche et que les contrôles (Gosselin et al., 2005). Cette modification des jugements de l'activation de la musique serait liée à une diminution de la reconnaissance de la gaieté (Khalifa et al., 2008) et de la peur (Gosselin et al., 2005). Néanmoins, d'autres études ne trouvent pas de différence selon la latéralisation (Bonora et al., 2011; Brierley, Medford, Shaw et David, 2004; Dellacherie, Roy, Hugueville, Peretz et Samson, 2011).

En résumé, la catégorisation et les jugements dimensionnels des émotions musicales reposent sur un ensemble de structures cérébrales (e.g., l'amygdale, le cortex parahippocampique, l'hippocampe, le cortex préfrontal ventromédian, le noyau accumbens et le cortex orbitofrontal) qui sont invoquées de concert dans le traitement des émotions musicales. De plus, ces structures sont fréquemment impliquées dans les réseaux épileptogènes. Néanmoins, ces structures se développent durant l'enfance et les études en imagerie cérébrale ont d'ailleurs montré que dans le développement normal, les réseaux neuronaux du traitement des émotions mûrissent de la petite enfance jusqu'à la fin de l'adolescence (Batty et Taylor, 2006; Taylor, McCarthy, Saliba et Degiovanni, 1999). Il est donc possible que la reconnaissance des émotions évoquées par la musique soit affectée chez les enfants avec épilepsie et de manière

différente des adultes avec épilepsie. Les connexions cérébrales étant particulièrement denses entre les lobes temporaux et frontaux, il n'est pas rare qu'une crise d'origine temporale se propage dans les régions frontales et vice-versa, engendrant ainsi des troubles neuropsychologiques associés à l'ensemble de ces régions cérébrales. L'épilepsie temporale et/ou frontale constitue ainsi un modèle pertinent pour l'étude des émotions musicales.

IV. Les émotions musicales au cours du développement de l'enfant

IV.1. Catégorisation des émotions musicales

Dès le plus jeune âge, les enfants présentent des habiletés de reconnaissance des émotions musicales. En effet, dès l'âge de 4 ans, les enfants sont capables de catégoriser la gaieté et la tristesse évoquées par la musique (Dolgin et Adelson, 1990), même s'ils confondent la peur et la colère (Terwogt et Grinsven, 1988). Étant donné que les enfants parviennent à catégoriser la gaieté et la tristesse, les chercheurs se sont questionnés sur les paramètres musicaux qu'ils utilisent pour accomplir cette tâche afin de savoir s'ils utilisent les mêmes que les adultes.

Dalla Bella et al., (2001) ont demandé à des enfants âgés de 3 à 8 ans de catégoriser des extraits musicaux du répertoire classique évoquant la gaieté (tempo rapide et mode majeur) et la tristesse (tempo lent et mode mineur) en pointant un dessin de visage d'enfant. Cette procédure est la plus communément utilisée et semble fiable pour révéler les réponses émotionnelles des enfants (Dolgin et Adelson, 1990; Gerardi et Gerken, 1995). Les auteurs ont ensuite étudié l'effet des manipulations du tempo et du mode sur la catégorisation émotionnelle. Dans la condition tempo, les tempi étaient homogénéisés à une valeur unique (e.g., 84 battements par minute) alors que dans la condition mode, les extraits ont été transposés dans un mode opposé (mineur ou majeur). Les résultats ont montré que, comme les adultes, les jugements émotionnels des enfants de 6 à 8 ans sont affectés par les manipulations du tempo et

du mode. Donc lorsque le tempo est constant pour toutes les musiques, les enfants de 6 ans et plus associent le mode majeur à une émotion positive et le mode mineur à une émotion négative (Gerardi et Gerken, 1995; Gregory, Worrall, et Sarge, 1996). En revanche, les jugements émotionnels des enfants de 5 ans et moins sont affectés seulement par le changement de tempo. Alors que le tempo permet distinguer la gaieté de la tristesse dès l'âge de 4 ans, le mode serait donc maîtrisé plus tard dans le développement, vers l'âge de 6-8 ans (Dalla Bella et al., 2001; Gerardi et Gerken, 1995; Gregory et al., 1996; Imberty, 1969). De la même façon, il a été démontré que les enfants âgés entre 9-10 ans catégorisent mieux les émotions évoquées par la musique que les enfants âgés entre 5-6 ans puisqu'ils utilisent à la fois le tempo et le mode et sont plus sensibles aux manipulations de ces paramètres (Allgood et Heaton, 2015; Hunter, Schellenberg et Stalinski, 2011). De plus, la gaieté et la tristesse étaient plus facilement catégorisées que la peur chez tous les groupes d'âge (Hunter et al., 2011). Ainsi, les capacités de catégorisation des émotions musicales se développeraient graduellement durant l'enfance et atteindraient un niveau de maturité dès l'âge de 11 ans, où les performances sont comparables à celles des adultes (Hunter et al., 2011). Il a également été montré que les habiletés de reconnaissance des émotions s'affinent au cours du développement, dans le domaine des expressions faciales (Sonneville et al., 2002).

IV.2. Jugements des dimensions émotionnelles

Les études portant sur les jugements dimensionnels des enfants ont principalement utilisé des visages (Balconi, Vanutelli et Finocchiaro, 2014; Schiele et al., 2016; Tseng et al., 2014). Par exemple, Balconi et al., (2014) ont demandé à des enfants âgés de 6 à 11 ans d'évaluer le niveau d'activation et de valence d'expressions faciales à l'aide d'échelles en 7 points. Les résultats montrent que la gaieté est considérée comme stimulante et positive alors que la tristesse

est évaluée apaisante et négative, et pour finir, la peur est jugée excitante et négative. Dans le domaine musical, les enfants jugeaient le niveau d'activation et de valence des émotions de gaieté, de tristesse et de peur évoquées par la musique de manière comparable aux adultes. Par ailleurs, il a été montré que les enfants de 6 à 12 ans se fient aux indices temporels de la musique pour effectuer des jugements d'activation de courts extraits musicaux (Kratz, 1993). Ainsi, un tempo rapide est associé à l'excitation et le tempo lent à la relaxation.

Comme démontré dans la littérature, les capacités de catégorisation des émotions et d'utilisation des paramètres musicaux évoluent au cours du développement. Il se pourrait donc que la survenue précoce de l'épilepsie durant l'enfance affecte ces capacités en engendrant des troubles ou des retards dans le développement des habiletés de reconnaissance des émotions.

V. Effet de l'épilepsie pédiatrique sur la reconnaissance des émotions et la perception musicale

V.1. La reconnaissance des émotions chez les enfants avec épilepsie

À notre connaissance, aucune étude n'a investigué la reconnaissance des émotions évoquées par la musique chez les enfants avec épilepsie. Ainsi, nous aborderons la littérature touchant la reconnaissance des expressions faciales chez cette population clinique. Tout d'abord, les études rapportent des déficits pour catégoriser les émotions faciales chez les enfants avec épilepsie (Braams et al., 2015 ; Golouboff et al., 2008). Des troubles de la reconnaissance des expressions faciales sont retrouvés chez les enfants présentant une épilepsie pharmacorésistante⁵ nécessitant une neurochirurgie comparativement aux enfants

⁵ L'épilepsie pharmacorésistante est définie par la persistance des crises de nature épileptique certaine, suffisamment fréquentes ou invalidantes et rebelles au traitement antiépileptique depuis au moins deux ans (« Conférence de consensus: Prise en charge des épilepsies partielles pharmacorésistantes », 2004).

neurologiquement sains. Plus particulièrement, ces déficits seraient plus marqués pour la tristesse (Braams et al., 2015) et pour la peur (Golouboff et al., 2008) que pour la gaieté. Ces troubles seraient présents avant la chirurgie et perdureraient au moins jusqu'à deux ans en période postopératoire (Braams et al., 2015). Par ailleurs, ces données diffèrent des résultats chez l'adulte avec épilepsie qui montrent une atteinte de la reconnaissance de toutes les émotions de base, excepté la gaieté (Meletti et al., 2009; Monti et Meletti, 2015). Par conséquent, il serait possible que les troubles de reconnaissance des émotions s'expriment différemment chez l'adulte de chez l'enfant avec épilepsie.

Selon la localisation épileptogène, les patrons de reconnaissance d'émotions faciales déficitaires seraient différents (Golouboff et al., 2008). Plus précisément, des troubles de la reconnaissance de la peur pour les visages ont été rapportés chez les enfants avec une épilepsie du lobe temporal gauche et une perturbation de la reconnaissance de la gaieté chez les enfants avec une épilepsie frontocentrale. De plus, lorsque Braams et al., (2015) ont exploré les effets de la latéralisation pour chaque émotion, les patients avec une résection à gauche (temporale, frontale, centro-pariétale ou hémisphérectomie) présentaient des scores plus faibles pour catégoriser la peur que les patients avec une résection à droite.

L'âge de survenue des crises semble également être un facteur clinique important dans la reconnaissance des émotions faciales. En effet, les difficultés de reconnaissance des expressions faciales seraient plus prononcées chez les enfants plus jeunes (8 ans) que chez les plus âgés (16 ans; Braams et al., 2015). Ces résultats confirment qu'une épilepsie précoce dans le développement de l'enfant, survenant avant l'âge de 5 ans, peut perturber les capacités de reconnaissance dans le domaine des visages. Par ailleurs, d'autres études rapportent la présence

de troubles de la reconnaissance de la peur lors de maladies congénitales ou de lésions bilatérales de l'amygdale acquises tôt dans le développement (Calder, 1996; Hamann et Adolphs, 1999) et chez les adultes avec épilepsie chez qui les crises ont débuté vers l'âge de 5 ans (Adolphs, Tranel, et Damasio, 2001; Anderson, Spencer, Fulbright et Phelps, 2000; Meletti et al., 2003). Ainsi, les effets d'une lésion de l'amygdale sur la catégorisation de la peur peuvent dépendre de l'état de maturation de l'amygdale au moment où la lésion est survenue (Golouboff et al., 2008). L'âge semble donc être le meilleur prédicteur des troubles de reconnaissance des émotions. De ce fait, il semblerait que lorsque l'épilepsie survient précocement dans le développement (avant 5 ans) des troubles de la reconnaissance des expressions émotionnelles apparaissent et persistent jusqu'à l'âge adulte alors que lorsque l'épilepsie débute plus tard chez l'enfant (après 5 ans), les troubles observés semblent plus légers. Ainsi, ces résultats pourraient suggérer qu'un début de l'épilepsie précoce (avant 5 ans) pourrait entraîner une perturbation de la maturation des réseaux neuronaux sous-tendant les expressions faciales (Golouboff et al., 2008).

Ainsi, les troubles de reconnaissance des émotions faciales dans le cadre d'épilepsie s'expriment différemment entre les populations adultes et pédiatriques. Il y a donc lieu de se questionner quant à la possibilité qu'un phénomène similaire soit observé dans le domaine de la reconnaissance des émotions musicales. Étant donné que la catégorisation et les dimensions émotionnelles sont intimement liées à la perception de paramètres musicaux (p. ex., le tempo), il est important d'intégrer à la présente étude la compréhension de l'effet de l'épilepsie sur les habiletés de perception musicale.

V.2. Les habiletés de perception musicale chez les enfants avec épilepsie

Dennis et Hopyan, (2001) ont étudié la perception du rythme et de la mélodie chez des jeunes ayant subi une chirurgie de l'épilepsie temporale. Les enfants devaient déterminer si deux courtes séquences de notes étaient pareilles ou différentes (test de Seashore, Lewis et Saetveit, 1960). Les résultats indiquaient que tous les jeunes ayant subi une chirurgie de l'épilepsie discriminaient normalement le rythme (de façon similaire au groupe contrôle). Cependant, les jeunes ayant subi une résection temporale droite discriminaient moins bien la mélodie que ceux ayant une résection temporale gauche et les contrôles. Une résection au niveau du lobe temporal droit aurait donc une influence délétère sur la perception de la mélodie. Comme il est possible qu'un trouble de la perception musicale affecte également la capacité à reconnaître les émotions musicales, notre étude comportera une tâche contrôle visant à mesurer la perception musicale.

OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

La présente étude devrait permettre de préciser l'effet de l'épilepsie de l'enfant sur la reconnaissance des émotions musicales au cours du développement et par le fait même de mieux comprendre le développement de l'organisation cérébrale des émotions musicales. Comme nous l'avons vu précédemment dans le domaine des visages, les études en développement montrent des différences entre les enfants et les adultes. Les capacités de reconnaissance des émotions musicales des enfants avec épilepsie pourraient être comparables aux données disponibles dans le domaine des expressions faciales chez les enfants avec épilepsie.

Ainsi, l'objectif principal du présent essai est d'investiguer l'influence de l'épilepsie pédiatrique sur le traitement des émotions musicales. Plus spécifiquement, le premier objectif est d'explorer les capacités de catégorisation de la gaieté, de la tristesse et de la peur évoquées

par la musique chez des jeunes avec une épilepsie. Pour cela, leurs performances seront comparées à celles de jeunes sans troubles neurologiques. Tel qu'observé avec les expressions faciales chez les jeunes avec épilepsie, il est prédit que les capacités de catégorisation des émotions musicales seront réduites chez les enfants avec épilepsie en comparaison aux enfants contrôles, et de façon plus marquée pour la tristesse et la peur que pour la gaieté.

Le deuxième objectif de cette étude est d'étudier l'influence de l'épilepsie pédiatrique sur les jugements émotionnels de l'activation (relaxant ou excitant) et de la valence (agréable ou désagréable) de la musique. À notre connaissance, ces jugements n'ont pas été explorés chez les enfants avec épilepsie dans les domaines de la musique ou des visages. Ainsi, en se fondant sur les études auprès d'adultes avec épilepsie sur les jugements émotionnels de la musique dissonante (désagréable) ou évoquant la gaieté, la tristesse et la peur, il est prédit que les enfants avec épilepsie pourraient présenter des difficultés à juger l'activation des musiques de gaieté et de peur ainsi que la valence émotionnelle de la peur en comparaison au groupe contrôle.

De plus, comme les patrons de réponses pour les expressions faciales variaient en fonction de la localisation et de la latéralisation de l'épilepsie, alors les effets de ces variables sur les performances de catégorisation et les jugements émotionnels seront étudiés à titre exploratoire.

Enfin, étant donné que la perception mélodique est parfois perturbée chez les jeunes ayant eu une résection temporale (Dennis et Hopyan, 2001), notre troisième objectif sera d'évaluer la perception musicale chez les jeunes avec une épilepsie. Nous émettons l'hypothèse que leur perception temporelle sera préservée alors que la perception mélodique pourrait être atteinte. Étant donné que des différences ont été rapportées en fonction de la latéralisation de l'épilepsie,

les performances des jeunes avec une épilepsie droite et gauche seront comparées de façon exploratoire.

La musique étant un outil clinique fréquemment proposé pour améliorer l'humeur, les retombées à long terme de ce projet pourraient amener des pistes de réflexion quant à la pertinence d'utiliser des interventions musicales pour améliorer les symptômes de dépression et d'anxiété des jeunes avec épilepsie qui sont fréquemment aux prises avec des troubles affectifs.

MÉTHODOLOGIE

Participants

Dix jeunes avec épilepsie âgés de 8 à 17 ans ont été recrutés au Service de neurologie du Centre Hospitalier Universitaire (CHU) Sainte-Justine. Un groupe de dix participants contrôles sans antécédents neurologiques ou psychiatriques et apparié selon le sexe, l'âge, la scolarité et l'expérience musicale a également été recruté par le biais d'affiches au CHU Sainte-Justine et d'annonces sur les réseaux sociaux.

Tous les participants sont francophones ou scolarisés dans une école française. Pour tous les participants, les critères d'exclusion étaient : une naissance prématurée (période de gestation inférieure à 37 semaines), un poids à la naissance inférieur à 2 500 g, un retard de croissance intra-utérine, la survenue d'un événement particulier au cours de la période de grossesse (SIDA, toxoplasmose, rubéole, herpès génital, tuberculose, etc.), un trouble auditif diagnostiqué, un retard global du développement ou une déficience intellectuelle. Ces éléments étaient évalués à l'aide d'un questionnaire de développement.

Les participants avec épilepsie étaient inclus dans l'étude s'ils avaient un diagnostic d'épilepsie et ils étaient exclus s'ils avaient un historique de neurochirurgie. Une patiente a été

exclue en raison d'une déficience intellectuelle modérée. L'âge, le sexe, ainsi que les informations relatives à l'histoire de la maladie (e.g., localisation et latéralisation des crises, âge au début des crises, durée de la maladie, médication passée et actuelle) ont été recueillies au dossier médical et sont présentées pour chacun des patients dans le Tableau 1.

	Patient 1	Patient 2	Patient 3	Patient 4	Patient 5	Patient 6	Patient 7	Patient 8	Patient 9
Sexe	G	F	G	F	G	G	G	G	F
Age	15	15	17	14	13	17	17	17	8
Localisation de l'épilepsie	Frontal	Frontal	Frontal	Frontal	Fronto-temporal	Temporal	Temporo-occipital	Temporo-occipital	Centro-pariétal
Latéralisation de l'épilepsie	Gauche	Gauche	Droit	Bilatéral	Gauche	Gauche	Droit	Droit	Gauche
Age de début des crises	8	5,5	6	9,8	5	5	14	12	2
Durée de l'épilepsie (en années)	7	9,5	11	4,2	8	12	3	5	6
Nombre d'essais de médication	5	9	2	4	3	11	4	4	4
Comorbidités	-	TDA	-	Dyslexie	TDAH	TDA, SGT, dyscalculie, dyslexie	TDA, Asperger léger	TDAH, anxiété	TDAH
Anxiété	67**	54	46	78***	38	10	55*	56*	68**
Dépression	65**	49	46	69**	47	44	54	54	65**

Tableau 1. Caractéristiques des participants avec épilepsie. TDA/H= Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité ; SGT= Syndrome de Gilles de la Tourette. L'astérisque simple montre un niveau léger, l'astérisque double un niveau modéré et la triple un niveau sévère de symptômes d'anxiété ou de dépression.

Déroulement général

Avant leur visite, les participants ont rempli les questionnaires de développement et d'expérience musicale avec l'aide de leurs parents. Ils sont venus une seule fois au laboratoire pour une durée d'environ 1h30 et ont été testés individuellement. Les tâches musicales (reconnaissance des émotions et détection d'erreurs) ont été suivies de l'évaluation brève du potentiel intellectuel et de l'humeur grâce à des outils validés et standardisés (voir Figure 2). Le potentiel intellectuel a été estimé à l'aide du *Wechsler Abbreviated Scale of Intelligence*,

Deuxième Édition (WASI-II, Wechsler, 2011) et les symptômes d’anxiété et de dépression ont été investigués à l’aide de l’adaptation française *Beck Youth Inventories* (Beck, Beck, Jolly et Steer, 2005). Les participants ont reçu une compensation de 20 dollars pour les frais de déplacement. Les parents de tous les participants ont signé un formulaire de consentement. Cette recherche a été approuvée par le comité d’éthique de la recherche du CHU Sainte-Justine.

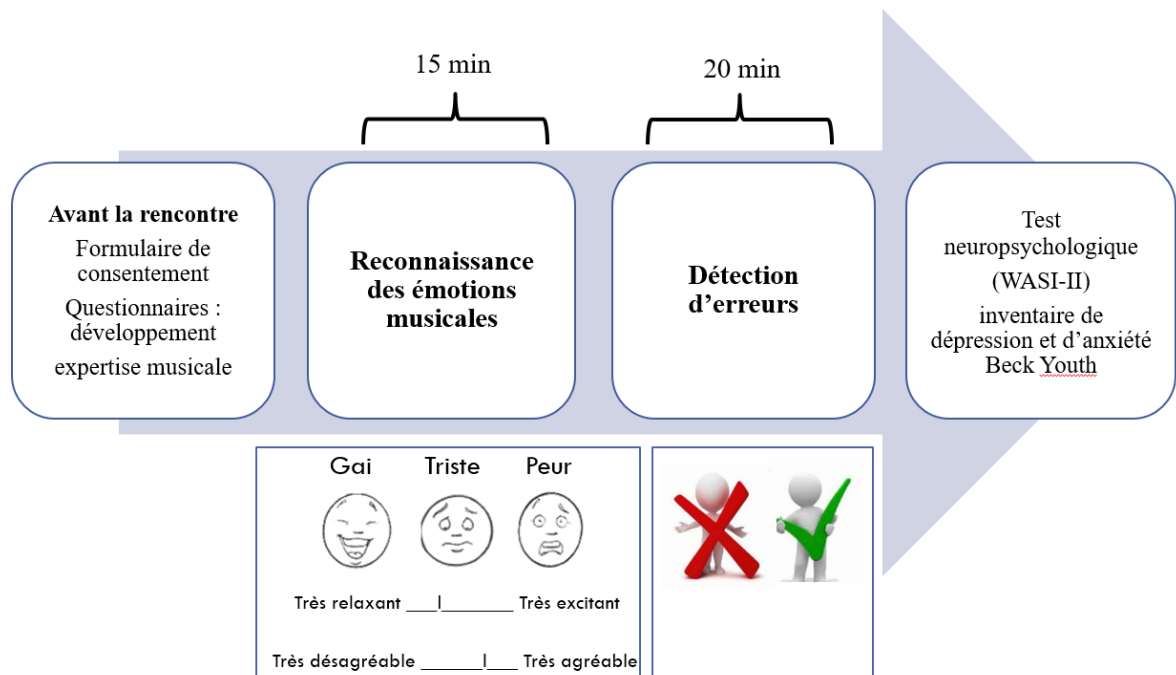


Figure 2. Déroulement général de l'expérience.

Tâche de reconnaissance des émotions musicales

Le matériel est composé des extraits musicaux du corpus de Vieillard et al., (2008), choisis pour leur caractère non familier. Par souci d’adapter le matériel aux enfants, il était important de veiller à ce que la durée de la tâche ne soit pas trop longue, tout en conservant un nombre d’essais suffisant par catégorie émotionnelle. Ainsi, l’apaisement, qui est souvent confondu avec la tristesse, et ce même chez l’adulte (Vieillard et al., 2008), a été retiré. La tâche incluait donc

des musiques évoquant la gaieté, la tristesse et la peur. Une étude pilote menée dans notre laboratoire a permis de sélectionner 33 extraits (11 par catégorie d'émotions) parmi les 42 extraits originaux de Vieillard et al., (2008), qui ont été catégorisés selon l'émotion de façon la plus homogène. L'étude pilote comportait sept enfants âgés de 6 à 12 ans (moy. = 8,6, E.T.= 2,2 ; deux filles et cinq garçons) sans antécédents neurologiques ou psychiatriques. Ils ont entendu les 42 extraits musicaux et devaient choisir pour chaque extrait l'étiquette émotionnelle (gaieté, tristesse, peur) la plus appropriée à l'émotion évoquée par l'extrait. Les pourcentages moyens de reconnaissance correcte pour la gaieté, la tristesse et la peur étaient respectivement de 98, 87 et 79%, ces scores étant proches des résultats de Vieillard et al., (2008 ; 99, 84 et 82% respectivement). Les extraits sélectionnés⁶ peuvent être entendus sur le site internet suivant : http://www.peretzlab.ca/knowledge_transfer/ en sélectionnant l'onglet 'Emotional Clips'.

Les 33 stimuli sélectionnés ont été composés suivant les conventions de la musique occidentale et sont d'une durée moyenne de 12,4 s (entre 9 et 15 s). Les extraits gais ont été composés dans un mode majeur et joués à un tempo relativement rapide [moy. = 137 *battements par minute (bpm)*, entre 92 et 196 *bpm*]. Les extraits tristes sont composés dans un mode mineur, à un tempo lent (moy. = 46 *bpm*, entre 40 et 60 *bpm*). Enfin, les extraits évoquant la peur ont été composés avec des accords mineurs au troisième et au sixième degré, ce qui implique donc l'usage de notes hors tonalité. Les tempi des extraits de peur varient de 44 à 172 *bpm* (moy. = 97 *bpm*). La plupart des extraits de peur ont un rythme irrégulier (n = 8) et sont consonants (n = 8), mais trois extraits ont un rythme régulier et sont dissonants. Les stimuli ont été générés par un

⁶ Les extraits sélectionnés pour cette étude sont les suivants : g01, g02, g03, g05, g06, g08, g09, g10, g11, g12 et g13 pour la gaieté ; p01, p02, p03, p04, p05, p06, p07, p09, p11, p12 et p14 pour la peur ; t01, t02, t03, t06, t07, t08, t10, t11, t12, t13 et t14 pour la tristesse.

ordinateur avec une interface digitale d'instrument de musique, ainsi, chaque tonalité occupe une hauteur et une durée précise avec une intensité et une vitesse constante. Les extraits ont été joués en timbre piano avec un synthétiseur numérique de lecture d'échantillon (Roland Sound Canvas SC 50) et enregistrés en format mp3.

Avant la tâche de reconnaissance des émotions musicales, les participants devaient dénommer librement l'émotion correspondant aux dessins d'expressions faciales (voir Figure 2) pour s'assurer qu'ils les identifient correctement. Le format d'émoticône a été choisi, puisque les jeunes sont particulièrement familiers avec ce type de représentation (Merchant, 2001). Ensuite, suivant une procédure créée spécifiquement pour les enfants (Dashiell, 1927; voir aussi Ekman et Friesen, 1971) une histoire par catégorie d'émotion (p. ex., pour la peur : « il/elle marchait seul(e) dans la rue quand soudain un gros chien se mit à lui courir après ») était lue aux jeunes. Ceux-ci devaient pointer l'émoticône correspondant le mieux à l'émotion transmise par l'histoire et recevaient une rétroaction. Tous les participants ont aisément réussi la dénomination libre d'images et l'association histoire-image.

La tâche de reconnaissance des émotions musicales, présentée avec le logiciel E-prime 2.0 (Schneider, Eschman et Zuccolotto, 2002), comportait deux blocs (chacun incluant 15 et 16 extraits) séparés par une pause de quelques minutes. Les stimuli étaient diffusés avec des écouteurs à un niveau sonore confortable (environ 70dB), dans un ordre pseudo aléatoire, où pas plus de deux extraits d'une même catégorie émotionnelle n'étaient présentés successivement. Pour chaque extrait, les jeunes devaient catégoriser l'émotion en sélectionnant parmi les trois choix la combinaison étiquette/émoticône qui correspondait le mieux à l'émotion évoquée par la musique. Ce mode de réponse a déjà été utilisé avec succès auprès d'enfants

(Andrade, Vanzella, Andrade et Schellenberg, 2016; Hunter et al., 2011). Ensuite, ils devaient juger le niveau d'activation et la valence émotionnelle de chaque extrait en cliquant avec une souris sur des échelles analogues visuelles de longueur de 100 mm [e.g., de très relaxant (0 mm) à très excitant (100 mm) pour l'activation et de très désagréable (0 mm) à très agréable (100 mm) pour la valence (voir Figure 2)]. Cette procédure est inspirée des travaux de Vieillard et al., (2008) et de Schiele et al., (2016) ces derniers ayant testé des enfants avec des échelles variant de très calme à très excitant pour l'activation et de très désagréable à très agréable pour la valence. La tâche de reconnaissance était précédée d'un entraînement avec trois extraits (un par catégorie d'émotion). Les jeunes recevaient une rétroaction sur leur performance seulement lors de l'entraînement. La durée totale de la tâche était d'environ 15 minutes. Cette première expérience était suivie d'une tâche de détection d'erreur afin de vérifier la présence d'un éventuel trouble de perception musicale comme précédemment utilisée dans plusieurs études (p. ex., Gosselin et al., 2006, 2015; Peretz et al., 1998).

Tâche contrôle de détection d'erreurs

Le matériel de la tâche contrôle de détection d'erreurs a été adapté pour les enfants d'après les travaux chez l'adulte de Gosselin, Paquette et Peretz, (2015) qui comporte un sous-ensemble d'extraits musicaux de la tâche précédente. Les stimuli évoquant la peur ont été exclus, car il est difficile de détecter les erreurs insérées dans ces extraits, et ce, même pour des adultes (Gosselin, Paquette et Peretz, 2015). Cette tâche contrôle inclut deux conditions : mélodique et temporelle. Dans la condition mélodique, les erreurs ont été insérées dans 10 extraits originaux (cinq gais, cinq tristes) en augmentant (n=6) ou diminuant (n=4) la hauteur des notes de la mélodie d'un demi-ton pour une mesure, alors que l'accompagnement demeurerait inchangé. Cette manipulation crée une dissonance sensorielle, qui est facilement repérée (Ayotte, Peretz et

Hyde, 2002; Cousineau, McDermott et Peretz, 2012). Ces mêmes 10 extraits étaient aussi présentés dans leur version originale (sans erreur) pour un total de 20 extraits pour la condition mélodique. Pour la condition temporelle, les erreurs ont été insérées dans 10 extraits (cinq gais, cinq tristes) en modifiant au hasard le tempo des notes d'une mesure. Les mêmes extraits étaient présentés dans leurs versions non modifiées, pour un total de 20 pour la condition temporelle.

La tâche de détection d'erreurs était également présentée avec le logiciel E-Prime 2.0 (Schneider et al., 2002). Au sein des deux conditions, le type d'essai (avec/sans erreur) et la catégorie émotionnelle (gaieté/tristesse) étaient présentés dans un ordre pseudo aléatoire, où pas plus de deux extraits de même type ou catégorie étaient présentés successivement. L'ordre de présentation était contrebalancé. Pour chaque extrait, les jeunes devaient dire si le pianiste « s'était trompé » lors de sa performance. La consigne était la suivante : « Je te présente Maestro, le chef d'orchestre ! Maestro souhaite engager un nouveau pianiste dans son orchestre alors il écoute les prestations de plusieurs candidats. Cependant, certains pianistes font des erreurs en jouant. Dans ce jeu, tu vas devoir aider Maestro à choisir un bon pianiste en lui indiquant s'il joue correctement ou s'il fait une erreur. Écoute bien attentivement, car on ne peut pas répéter la musique. Aussi, il peut y avoir une erreur à n'importe quel moment de la musique alors c'est important de bien écouter jusqu'à la fin ». Lorsque l'extrait musical comportait une erreur, les participants devaient répondre « Erreur » sinon ils devaient répondre « Correct » en appuyant sur la touche du clavier correspondante (touche « E » ou « C » du clavier, respectivement). Ils n'étaient pas informés de la nature des changements (hauteur ou tempo des notes) et recevaient de la rétroaction uniquement pendant l'entraînement. Ce dernier était composé de trois exemples (un exemple sans erreur, un exemple avec une erreur mélodique et un dernier avec une erreur

temporelle). La durée de la tâche contrôle de détection d'erreurs était d'environ 20 minutes et une pause de quelques minutes était prévue au milieu de la tâche.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été effectuées avec le logiciel IBM SPSS Statistiques version 20. D'abord, afin de vérifier que les deux groupes sont appariés, des tests t sont effectués sur les différentes variables démographiques (âge, scolarité, etc.) et un chi-carré pour le sexe. Ensuite, à la tâche reconnaissance des émotions musicales, pour chaque étiquette émotionnelle, les pourcentages moyens de catégorisations correctes sont calculés pour chaque participant, puis les moyennes sont calculées en fonction des groupes. Les pourcentages de réponses correctes pour la catégorisation émotionnelle sont analysés avec une ANOVA considérant l'Émotion (gaieté, tristesse et peur) comme un facteur intra sujet et le Groupe (épileptique et contrôle) comme un facteur inter sujet. Par ailleurs, les jugements d'activation et de la valence émotionnelle sont analysés séparément avec des ANOVAs, considérant aussi l'Émotion (gaieté, tristesse et peur) en facteur intra sujet et le Groupe (épileptique et contrôle) en facteur inter sujet. La taille de l'effet est mesurée par le calcul d'eta-carré partiel (η^2). Lorsqu'il y a une interaction ou un effet principal, des tests t subséquents sont réalisés. Par ailleurs, étant donné qu'un effet de l'âge sur la reconnaissance émotionnelle est communément rapporté dans la littérature, l'influence de l'âge sur la reconnaissance des émotions sera explorée en l'ajoutant comme covariable dans les ANOVAs. Les deux groupes étant différents quant aux symptômes de dépression présentés, des ANOVAs seront également effectuées en excluant les participants qui présentent des symptômes de dépression (niveau léger à modéré). De plus, au sein du groupe expérimental, les effets des variables liées à l'épilepsie, incluant, la localisation sur les performances de catégorisation et de jugements dimensionnels ont été testés à titre exploratoire

avec des analyses de corrélation de Pearson pour l'âge de début de crises, la durée et le nombre de médicaments ainsi que des tests t pour la latéralisation.

Enfin à la tâche contrôle de détection d'erreur, le pourcentage de cibles (réponse « erreur » en présence d'une erreur) moins le pourcentage de fausses alarmes (*hits minus false alarms*) a été calculé pour chaque participant. Une ANOVA à mesures répétées considérant la Condition (mélodique et temporelle) et l'Émotion (gaieté et tristesse) en facteurs intra sujet ainsi que le Groupe (épileptique et contrôle) en facteur inter sujet a été effectuée. Les performances entre les jeunes avec une épilepsie droite et gauche seront ensuite comparées (Mann-Whitney). Aussi, la présence éventuelle de liens entre les performances aux tâches de reconnaissance des émotions et de détection d'erreurs est explorée avec des analyses de corrélations de Pearson.

RÉSULTATS

Description des participants

Les groupes de participants avec épilepsie et contrôle sont appariés selon l'âge, les années de scolarité, l'expertise musicale, le quotient intellectuel, l'intensité des symptômes anxieux (pour chaque variable, $p > ,05$) et le sexe ($\chi^2(1, 19) = 2,55, p = ,18$; voir Tableau 2). Toutefois, les participants avec épilepsie ont un niveau de symptômes dépressifs plus élevé que le groupe contrôle ($t(17) = -2,48, p = ,02$), bien que l'intensité moyenne des symptômes dépressifs demeure sous le seuil clinique chez la plupart des participants avec épilepsie. En effet, l'inspection détaillée des données individuelles met en évidence que trois participants avec épilepsie (33% du groupe) présentent un niveau modéré de symptômes dépressifs contre un seul participant contrôle (10% du groupe).

	Participants avec épilepsie (n=9)	Participants contrôles (n=10)
Données démographiques		
Garçons/Filles	6/3	3/7
Âge (années)	14,78 (2,95)	13,2 (3,33)
Scolarité (années)	8,33 (2,60)	8,00 (3,62)
Expertise musicale (années)	1,20 (1,99)	1,22 (1,92)
Données neuropsychologiques		
Quotient intellectuel	107,33 (16,20)	119,90 (11,27)
Profil émotionnel (Scores T)⁷		
Anxiété	52,44 (19,90)	47,90 (7,84)
Dépression	54,78 (9,35) *	45,50 (6,88)

Tableau 2. Présentation des données démographiques et neuropsychologiques des participants avec épilepsie et contrôles. La moyenne et l'écart-type sont présentés pour l'âge, la scolarité, l'expertise musicale, le quotient intellectuel, l'anxiété et la dépression en fonction des groupes. L'astérisque indique une différence significative ($p < .05$) entre les groupes.

Tâche de reconnaissance des émotions musicales

Les pourcentages moyens de catégorisations correctes (illustrés avec une police en gras dans le Tableau 3) et d'erreurs sont présentés en fonction des étiquettes émotionnelles et des groupes. Tout d'abord, peu d'erreurs ont été commises par les deux groupes qui semblent avoir un profil de réponse similaire. L'ANOVA met en évidence un effet principal de l'Émotion ($F(2, 34) = 4,60, p = ,017, \eta^2 = ,213$), sans effet de Groupe ($F(1, 17) = ,005, p = ,945$), ni d'interaction Émotion x Groupe ($F(2, 34) = 1,17, p = ,321$). Ainsi, les performances de catégorisation des participants avec et sans épilepsie sont similaires. Les analyses comparant les catégories émotionnelles ont montré que la gaieté et la tristesse sont significativement mieux reconnues que la peur par l'ensemble des participants ($p = ,026$ pour la gaieté ; $p = ,037$ pour la tristesse). Étant donné les effets de l'âge rapportés dans la littérature, des analyses supplémentaires ont été effectuées en ajoutant l'Âge en covariable. Chez l'ensemble des participants, l'ANOVA n'a pas montré d'effet de l'âge ($F(2, 20) = ,61, p = ,56$), sur la catégorisation émotionnelle.

⁷ Scores-T (T < 55 = moyenne ; 55 < T < 59= léger ; 60 < T < 69= modéré ; T > 70= sévère).

		Réponses		
	Musique	Gaieté	Tristesse	Peur
Groupe avec épilepsie	Gaieté	96,97 (4,40)	3	0
	Tristesse	2	97,98 (3,31)	5
	Peur	1	2	91,92 (13,22)
Groupe contrôles	Gaieté	100 (0)	2	1
	Tristesse	0	97,27 (3,97)	4
	Peur	0	2	94,55 (7,93)

Tableau 3. Les pourcentages moyens de catégorisations correctes (et les écarts-types) sont présentés en gras en fonction des groupes et des catégories d'émotion. Les pourcentages d'erreurs sont également illustrés en fonction des émotions pour chaque groupe.

Les jugements des dimensions émotionnelles sont présentés dans la Figure 3. Tel qu'attendu, les jugements des jeunes contrôles sont regroupés selon trois catégories, la gaieté jugée excitante et agréable, la tristesse relaxante et plutôt désagréable alors que la peur est jugée excitante et désagréable. Les jugements des jeunes avec épilepsie ne semblent pas être regroupés de la même manière que les contrôles. En effet, les analyses réalisées pour les jugements du niveau d'activation des extraits musicaux montrent une interaction significative entre l'Émotion et le Groupe ($F(2, 34) = 3,86, p = ,031, \eta^2 = ,185$). Les participants avec épilepsie jugent les musiques évoquant la gaieté de manière significativement moins excitante que les contrôles ($t(17) = 2,91, p = ,01$). Il semblerait qu'il y ait une tendance à ce que les musiques tristes soient jugées moins relaxantes par les patients que leurs contrôles, bien que le seuil de significativité ne soit pas atteint ($t(17) = -1,87, p = ,08$). En revanche, les musiques exprimant la peur sont jugées excitantes de façon similaire par les deux groupes ($t(17) = -,51 p = ,62$). Par ailleurs, les analyses comparant les catégories d'émotions montrent que la gaieté et la tristesse se distinguent significativement par leur niveau d'activation, et ce, chez les deux groupes ($p < ,001$; la gaieté

étant excitante et la tristesse relaxante). La peur est également jugée significativement plus excitante que la tristesse ($p = ,002$ pour les patients et $p < ,001$ pour les contrôles). En revanche, les niveaux d'activation de la gaieté et la peur sont similaires ($p = ,37$ pour les patients et $p = ,12$ pour les contrôles).

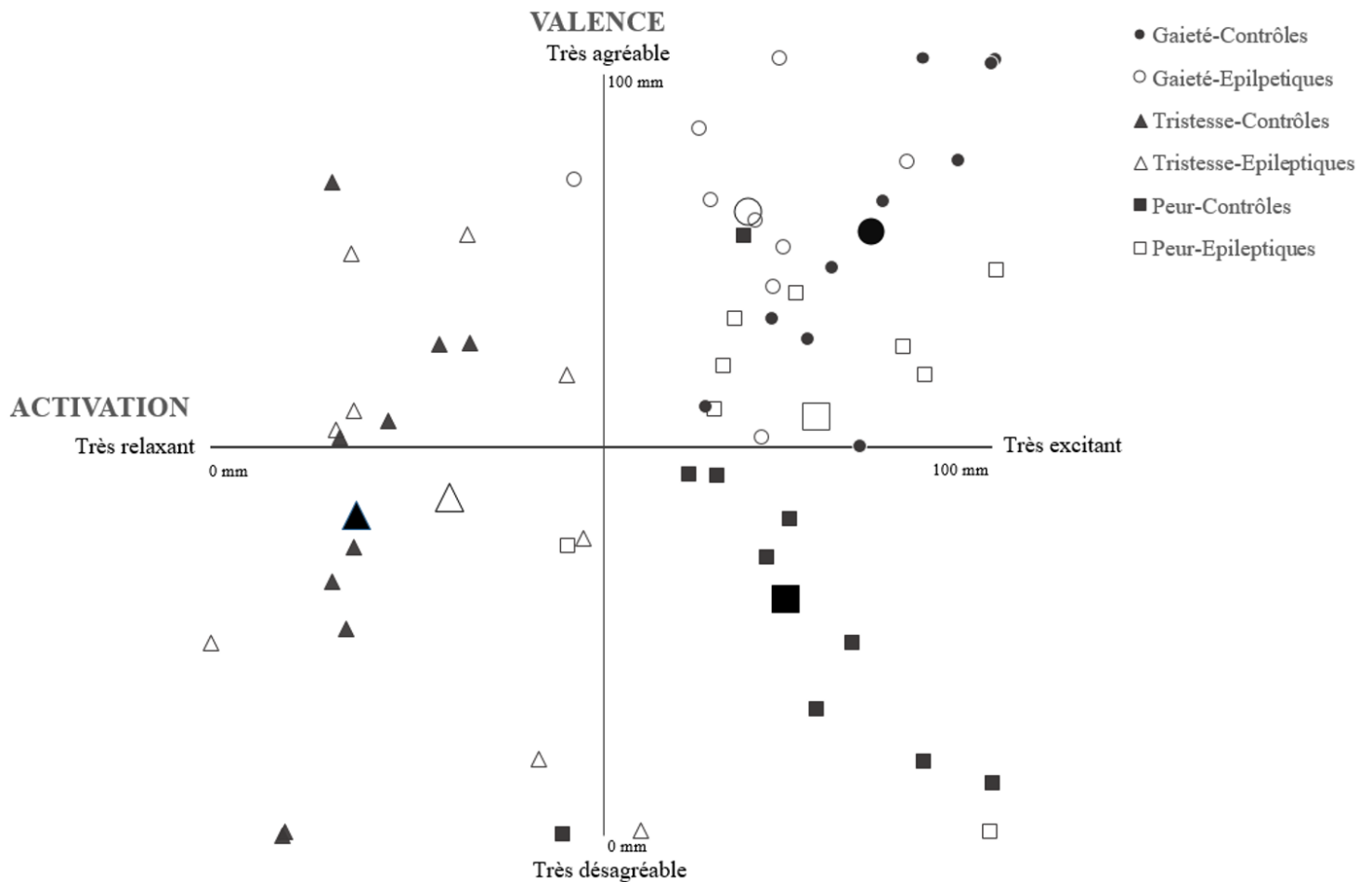


Figure 3. Les moyennes des jugements d'activation et de valence émotionnelle pour chaque jeune (petits symboles) ainsi que les moyennes des jugements par groupe (grands symboles) sont représentées selon les catégories d'émotions. Les participants contrôles sont représentés avec des symboles noirs et les participants avec épilepsie avec des symboles blancs.

L'ANCOVA avec l'Âge en covariable montre une interaction significative entre l'Émotion et l'Âge ($F(2, 20) = 3,62, p = ,046, \eta^2 = ,266$). Les analyses corrélationnelles

subséquentes entre les jugements d'activation et l'Âge pour chaque catégorie d'émotion ont montré une corrélation positive et significative entre l'âge et le jugement d'activation de la peur ($r = ,570$, $p = ,011$). En d'autres mots, la peur évoquée par la musique est jugée de plus en plus excitante au fur et à mesure que les jeunes vieillissent. À l'inverse, il n'y a pas de corrélation entre l'âge et le jugement d'activation de la gaieté et de la tristesse ($r = -,411$, $p = ,081$; $r = ,191$, $p = ,434$; respectivement).

Par ailleurs, comme il a précédemment été rapporté que les jugements émotionnels sont affectés par les symptômes de dépression (Naranjo et al., 2011; Punkanen, Eerola et Erkkilä, 2011) et que ceux-ci sont plus intenses chez le groupe avec épilepsie que contrôle, des analyses supplémentaires ont été effectuées sans les participants qui présentent des symptômes de dépression de niveau léger et modéré ($n=6$ avec épilepsie, $n=9$ contrôles). L'ANOVA révèle à nouveau une interaction significative entre l'Émotion et le Groupe ($F(2, 26) = 3,46$, $p = ,047$, $\eta^2 = ,210$). De la même façon, les comparaisons entre les groupes ont montré que les musiques gaies sont jugées moins excitantes par les patients que leurs contrôles ($p = ,007$) alors que les deux groupes jugent la tristesse et la peur de manière similaire ($p = ,573$ et $p = ,453$; respectivement).

Les analyses effectuées pour les jugements de la valence émotionnelle montrent un effet principal significatif de l'Émotion, $F(2, 34) = 17,88$, $p < ,001$, $\eta^2 = ,513$, ainsi qu'une tendance de l'effet de Groupe ($F(1, 17) = 3,30$, $p = ,08$, $\eta^2 = ,163$). L'interaction entre l'Émotion et le Groupe n'est pas significative, $F(2, 34) = 1,19$, $p = ,32$. Bien que seule une tendance ait été obtenue pour l'effet de Groupe, les analyses ont été poursuivies puisque la littérature chez l'adulte rapporte des différences entre les participants avec épilepsie et les contrôles. Les résultats montrent que les musiques exprimant la peur sont jugées agréables par le groupe avec

épilepsie, contrairement au groupe contrôle qui les juge désagréables ($t(17) = -3,22, p = ,005$). À l'inverse, les deux groupes jugent de manière similaire la valence de la gaieté (agréable) et de la tristesse (modérément désagréable; $t(17) = ,691, p = ,49$ et $1,18, p = ,26$; respectivement). À nouveau, les analyses ont aussi été effectuées sans les participants qui présentent un niveau modéré de symptômes dépressifs. L'interaction entre l'Émotion et le Groupe tend à être significative ($F(2, 26) = 2,83, p = ,08, \eta^2 = ,179$). De plus, nous notons un effet principal de l'Émotion ($F(2, 26) = 9,26, p < ,001, \eta^2 = ,416$) et du Groupe ($F(1, 13) = 9,75, p = ,008$) Les analyses subséquentes montrent une différence entre les groupes pour juger la valence de la peur ($t(13) = -3,38, p = ,005$) alors qu'il n'y a pas de différence entre les groupes pour la gaieté et la tristesse ($t(13) = ,58, p = ,571$ et $-1,3, p = ,216$; respectivement). Les comparaisons entre les catégories d'émotion ont montré que la gaieté et la tristesse sont jugées aussi agréables que la peur par les participants avec épilepsie ($p = ,082$ pour la gaieté et la peur ; $p = ,200$ pour la gaieté et la tristesse ; $p = ,452$ pour la tristesse et la peur). À l'inverse, chez les contrôles, la valence de la gaieté se distingue de celle de la tristesse et de la peur ($p < ,001$ pour la tristesse et la peur ; la gaieté étant agréable, la tristesse et la peur désagréables, $p = ,337$). Aucune interaction entre l'Âge et les jugements de la valence émotionnelle n'a été trouvée ($F(2, 20) = 1,48, p = ,25$).

Afin de mieux comprendre les troubles du jugement de la valence de la peur évoquée par la musique des jeunes avec épilepsie, des analyses complémentaires ont été effectuées pour explorer les liens existants entre la dissonance sensorielle et la valence de la peur. Pour cela, les jugements de valence des extraits de peur dissonants (3 extraits) ou non (8 extraits) ont été comparés avec des tests U de Mann-Whitney pour chaque groupe. Selon ces analyses, les extraits musicaux de peur dissonants ou non sont jugés de manière similaire, et ce tant chez les

jeunes avec épilepsie [pour les extraits dissonants : moy= 58,23⁸ (entre 50,74 et 68,76); pour les extraits non dissonants : moy= 52,09 (entre 42,88 et 64,33); $p = ,376$;], que pour les contrôles [pour les extraits dissonants : moy= 31,43 (entre 22,83 et 44,51); pour les extraits consonants : moy= 23,79 (entre 15,79 et 35,16)].

Tâche contrôle de détection d'erreurs

Les performances à la tâche contrôle de détection d'erreurs sont présentées dans le tableau 4. Aucune différence significative n'est retrouvée entre les deux ordres de présentation des extraits ($t(17) = -,02, p = ,983$), les deux ordres ont donc été combinés pour la suite de l'analyse. Les résultats des analyses indiquent d'abord, il n'y a pas d'effet principal de l'Émotion ($F(1, 17) = ,12, p = ,736$). Bien que les scores du groupe avec épilepsie semblent inférieurs à ceux du groupe contrôle dans la condition mélodique, aucune différence entre les groupes ($F(1, 17) = ,69, p = ,42$) ni interaction n'est présente (Groupe x Condition, Groupe x Émotion ou encore Groupe x Condition x Émotion ($F(1, 17) = 1,98, p = ,177, p = ,165$ et $p = ,881$; respectivement). Un effet principal de la Condition ($F(1, 17) = 19,66, p < ,001, \eta^2 = ,536$) est cependant obtenu, la condition temporelle étant significativement mieux réussie que la condition mélodique par l'ensemble des participants.

	Participants avec épilepsie	Participants contrôles
Condition mélodique	50,00 (0-100)	67,00 (20-100)
Condition temporelle	86,67 (70-100)	86,00 (10-100)

Tableau 4. Les pourcentages moyens (et l'étendue des résultats) de cibles moins les pourcentages moyens de fausses alarmes sont présentés selon les conditions et les groupes.

⁸ Les jugements de valence s'effectuent sur une échelle de 0 mm (très désagréable) à 100 mm (très agréable).

Lorsque l'âge est pris en considération dans les analyses, une interaction significative est observée entre la Condition et l'Âge ($F(1, 10) = 6,02, p = ,034$). En effet, des corrélations positives significatives sont observées entre l'âge et les scores aux conditions mélodique et temporelle ($r = ,542, p = ,016$; $r = ,739, p < ,001$; respectivement). En vieillissant, les jeunes s'améliorent pour détecter les erreurs mélodiques et temporelles de la musique.

L'analyse explorant l'influence de la latéralisation de l'épilepsie sur les scores pour la condition mélodique ne montre aucune différence entre les jeunes avec une épilepsie gauche et droite ($p = ,250$).

Enfin, les analyses corrélationnelles entre les scores de détection d'erreurs et les performances de catégorisation et de jugements d'activation et de valence sont non significatives ($r =$ entre $-,536$ et $,916$, tous $p > ,05$). Ainsi, les habiletés de perception musicales ne semblent pas liées aux capacités de catégorisation et de jugements émotionnels.

DISCUSSION

Les chercheurs se sont intéressés au traitement des émotions évoquées par la musique au cours du développement typique de l'enfant, mais aucune étude, à notre connaissance, n'a exploré les effets de l'épilepsie pédiatrique sur la catégorisation et les jugements d'activation et de valence de la musique. L'objectif de cette recherche était donc de combler ce manque en adaptant une tâche de reconnaissance des émotions pour les jeunes et en utilisant un corpus d'extraits musicaux non familiers validés.

Contrairement aux prédictions, nos résultats suggèrent que les capacités de catégorisation des émotions musicales seraient préservées chez les jeunes avec épilepsie. En effet, les jeunes

avec et sans épilepsie ont catégorisé de manière similaire la joie, la tristesse et la peur évoquées par la musique. Cependant, étant donné que les performances à notre tâche de reconnaissance émotionnelles sont relativement élevées (> 91%), l'absence d'atteinte des capacités de catégorisation des émotions musicales des jeunes avec épilepsie devra être confirmée par les études futures. Néanmoins, ces résultats diffèrent de ceux obtenus avec les expressions faciales, qui montraient que les enfants avec épilepsie avaient des troubles de catégorisation des émotions, en particulier pour la tristesse (Braams et al., 2015) et pour la peur (Golouboff et al., 2008). La catégorisation émotionnelle pourrait donc être moins sensible à l'épilepsie pour la musique que pour les visages. La possibilité qu'une dissociation entre les domaines de la musique et des visages soit présente devrait toutefois être vérifiée auprès des mêmes groupes de participants avec épilepsie en raison des multiples facteurs cliniques (e.g., localisation de l'épilepsie) pouvant varier d'un échantillon clinique à l'autre. Par ailleurs, il est possible que le trouble de catégorisation des expressions faciales observé par Braams et ses collaborateurs (2015) soit conséquent d'une atteinte perceptive du traitement de l'intégration de l'information visuelle étant donné que dans cette étude, l'intégrité de la perception visuelle des participants n'avait pas été évaluée.

Par ailleurs, aucun effet d'âge n'a été observé sur les performances de catégorisation des émotions musicales. Comme il a été mentionné précédemment chez l'enfant neurotypique, les capacités de reconnaissance des émotions s'affinent au cours du développement (Allgood et Heaton, 2015). L'absence d'effet d'âge sur les scores de catégorisation des émotions musicales semble toutefois s'expliquer par l'étendue d'âge de nos jeunes. En effet, les participants de la présente étude étaient âgés en moyenne de 14-15 ans ($E.T = 2,95$) et il a été précédemment suggéré que l'effet d'âge sur les performances en reconnaissance des émotions musicales atteint

un plateau vers l'âge de 11 ans (Hunter et al., 2011 ; Kratus, 1993). Ainsi, il semblerait que les jeunes de notre échantillon aient acquis une métaconnaissance des paramètres musicaux (p. ex., le tempo rapide associé à la gaieté) leur permettant de reconnaître les émotions. En outre, en comparaison aux résultats de Braams et al., (2015) sur les expressions faciales des jeunes avec épilepsie, les auteurs ont fait des analyses complémentaires en distinguant les enfants plus jeunes des plus âgés en choisissant une limite à 14 ans. Ainsi, il est intéressant de constater que les troubles rapportés étaient significatifs seulement chez le groupe de patients de moins de 14 ans alors que les plus âgés avaient des résultats similaires au groupe contrôle.

En comparant les performances pour catégoriser les émotions musicales, nos résultats indiquent que la peur évoquée par la musique a été moins bien reconnue que la gaieté et la tristesse par l'ensemble des participants. Ces données sont cohérentes à celles obtenues précédemment tant chez les enfants (Hunter et al., 2011).

L'absence de trouble pour catégoriser les émotions musicales de la présente étude diverge également des données disponibles chez les adultes avec épilepsie. En effet, chez les patients adultes avec une résection unilatérale des structures du lobe temporal médian (incluant l'amygdale ; Gosselin et al., 2005; 2007; Khalifa et al., 2008), un trouble pour reconnaître la peur évoquée par la musique a été montré. Au sein de nos participants, l'épilepsie ne touchait pas nécessairement ces régions spécifiquement, mais une plus grande diversité de structures cérébrales (p. ex., régions frontales et centropariétales). L'amygdale était peut-être intègre chez certains de nos participants, ce qui pourrait expliquer la divergence des résultats entre les données adultes de la littérature et celles de la présente étude.

Une autre explication aux différences observées entre les données de la présente étude et de la littérature adulte concerne la sévérité de la maladie. Les données de la littérature sur les adultes avec épilepsie ont été acquises en phases pré et postopératoires, ce qui indique que la sévérité de l'épilepsie est élevée chez ces patients, car les neurochirurgies ne sont envisagées et prodiguées que chez des patients présentant des épilepsies pharmacorésistantes. Dans le cadre de notre étude, aucun participant n'était considéré comme candidat à une neurochirurgie au moment de l'expérimentation ou n'a eu de chirurgie dans le passé, suggérant un niveau de sévérité de la maladie moindre dans notre échantillon. De surcroît, de par leur jeune âge, la durée moyenne de la maladie (temps entre la première crise et la participation à l'étude) est probablement moindre dans notre échantillon que dans les études adultes, ce qui pourrait aussi expliquer l'absence de trouble de catégorisation des émotions.

En somme, compte tenu des caractéristiques cliniques de notre échantillon épileptique, notamment l'hétérogénéité au niveau de la localisation de l'épilepsie et le niveau de sévérité de la maladie, il serait un peu hâtif de tirer des conclusions sur les différences de résultats de catégorisation entre les enfants et les adultes avec épilepsie. Toutefois, nous pouvons soulever l'hypothèse que des différences concernant les capacités de catégorisation émotionnelle pourraient exister entre l'enfant et l'adulte, tant à cause de la grande plasticité cérébrale que de la vulnérabilité du cerveau en développement, et pourraient refléter des mécanismes de réorganisation des réseaux neuronaux associés aux émotions musicales chez l'enfant.

En ce qui concerne les jugements du niveau d'activation de la musique, en partie en accord à l'hypothèse émise, nos résultats ont mis en évidence d'une part que les jeunes avec épilepsie ont des difficultés pour juger le niveau d'activation de la musique évoquant la gaieté. D'autre

part, à un moindre niveau, des difficultés pour juger l'activation de la tristesse sont apparues chez les jeunes avec épilepsie alors que les jugements d'activation de la peur sont similaires aux contrôles, ce qui ne va pas dans le sens d'une partie de nos hypothèses. En effet, les jeunes avec épilepsie ont jugé la musique gaie de manière moins excitante en comparaison aux jeunes neurotypiques, bien que les deux groupes jugent la musique gaie comme étant excitante. Par ailleurs, nous relevons une tendance des patients à juger la musique triste de façon moins relaxante que les contrôles. Ainsi, les jugements d'activation des jeunes avec épilepsie ne sont pas aberrants, mais moins marqués que ceux des contrôles. Ce résultat pour l'activation de la gaieté est dans la lignée de ce qui a été observé dans la littérature auprès des adultes ayant eu une résection temporale gauche, à savoir une diminution de l'excitation associée à la gaieté (Gosselin et al., 2005; Khalifa et al., 2008). Enfin, la peur était jugée excitante par les deux groupes, ce qui diffère des données chez l'adulte avec épilepsie (Gosselin et al., 2005). Enfin, un lien entre l'âge et le jugement d'activation de la peur a été trouvé chez l'ensemble des participants. Plus précisément, les enfants s'améliorent en grandissant pour juger l'activation de la peur, et ce, de façon comparable pour les deux groupes ce qui n'avait pas été rapporté antérieurement dans la littérature.

Pour ce qui est de la valence émotionnelle, les jeunes avec épilepsie jugent la peur évoquée par la musique anormalement agréable, conformément à nos hypothèses. L'inspection des données individuelles révèle que la plupart des jeunes contrôles ont jugé la peur désagréable. Les résultats chez les jeunes sans troubles neurologiques sont compatibles avec les données chez les adultes neurotypiques qui jugent la peur désagréable de façon homogène (Vieillard et al., 2008). La présente étude est la première à mettre en évidence des troubles du jugement de la valence de la peur chez les jeunes avec épilepsie. En effet, les données chez l'adulte avec

épilepsie montraient que le jugement de valence de la musique était préservé, y compris pour la peur. Il semblerait donc que les patrons de résultats chez l'enfant et l'adulte soient différents. Ceci dit, ce résultat est cohérent avec les études antérieures ayant étudié les jugements de valence de musiques dissonantes chez les adultes avec épilepsie. En effet, ces patients présentaient des troubles pour juger la dissonance sensorielle (Gosselin et al., 2006). De ce fait, la dissonance, communément jugée désagréable, est jugée anormalement agréable pour les adultes avec une résection du cortex parahippocampique pour le traitement de l'épilepsie. Comme nous l'avons vu précédemment, la dissonance sensorielle crée un état de tension qui est présent dans certains extraits évoquant la peur. Ainsi, il serait possible de penser que les enfants avec épilepsie ont produit des jugements de valence aberrants pour la peur en partie du fait qu'ils auraient jugé la dissonance sensorielle agréable. Cependant, après avoir investigué cette piste de façon exploratoire, en comparant les jugements de valence pour les extraits dissonants et non dissonants, cette éventualité n'est pas soutenue par nos données. Malgré cela, ce point mériterait d'être davantage approfondi en utilisant la même proportion d'extraits dissonants et non dissonants. Dans l'ensemble, ces résultats indiquent que l'épilepsie pédiatrique entraînerait des déficits relativement sélectifs des jugements dimensionnels des émotions musicales qui pourraient refléter des altérations des réseaux cérébraux impliqués dans la valence émotionnelle associée à la peur, comme le cortex parahippocampique.

Cette altération de la valence émotionnelle de la peur chez les enfants avec épilepsie pourrait avoir des répercussions dans la vie quotidienne. Par exemple, si ces jeunes ressentent l'excitation évoquée par la peur mais qu'ils trouvent ce sentiment agréable, nous pourrions nous demander s'ils seraient plus à risque de se mettre dans des situations de danger. Comme il a été montré chez l'adulte avec épilepsie, les troubles de la reconnaissance de la peur révèlent un

dysfonctionnement des réseaux cérébraux associés à la perception du danger. Il se pourrait que ces troubles de jugement de la valence de la peur se répercutent plus largement dans la vie sociale et émotionnelle des jeunes.

Les jeunes avec épilepsie qui présentent fréquemment des troubles de l'humeur comme la dépression, l'anxiété ainsi que des troubles de la cognition sociale pourraient reconnaître les émotions musicales lorsqu'elles sont évidentes alors qu'ils auraient plus de difficultés à effectuer des jugements fins au niveau de l'activation et de la valence émotionnelle. Par conséquent, les troubles pour juger l'activation et la valence de la musique s'intègrent dans le portrait global de déficits émotionnels associés à l'épilepsie pédiatrique. De plus, lorsque les analyses sont effectuées sans les participants qui présentent des symptômes de dépression, les différences entre les groupes sont d'autant plus accentuées pour les jugements de valence. Il serait donc possible de penser que les participants qui présentent des symptômes de dépression atténuent leurs jugements émotionnels de telle façon que les émotions sont jugées à un niveau plus ou moins semblable, suggérant la présence d'un affect plus plat que chez les participants sans symptômes dépressifs, ce qui est généralement rapporté sur le plan affectif. Ainsi, la dépression est une variable à prendre en considération dans les études futures. En outre, nous pourrions nous demander si le fait que les jeunes avec épilepsie aient des jugements moins intenses est spécifique aux émotions musicales ou si ce serait plutôt une caractéristique affective plus générale. Aussi, les effets secondaires de certains médicaments antiépileptiques pourraient peut-être affecter le traitement émotionnel.

Dans la présente étude, aucun effet n'a été trouvé entre les variables cliniques liées à l'épilepsie et la catégorisation ou les jugements dimensionnels des émotions musicales. Aucune

différence entre les jeunes avec une épilepsie droite ou gauche n'a été montrée. Néanmoins, seule l'étude de Khalifa et al., (2008) a montré une différence dans les jugements dimensionnels en fonction de la latéralisation de l'épilepsie alors que les autres ne trouvaient aucune différence significative (Bonora et al., 2011; Brierley, Medford, Shaw et David, 2004; Dellacherie, Roy, Hugueville, Peretz et Samson, 2011). Toutefois, il est difficile de conclure sur l'effet de la localisation de l'épilepsie ou d'autres variables cliniques sur le traitement des émotions musicales, compte tenu de la taille limitée de notre échantillon.

Les capacités de perception mélodique et temporelle sont comparables entre les enfants avec épilepsie et les contrôles. De ce fait, les difficultés sur le plan des émotions musicales identifiées chez nos participants avec épilepsie ne semblent pas être conséquentes d'un trouble de perception musicale.

La préservation des habiletés de perception mélodique est toutefois contradictoire avec les résultats de Dennis et Hopyan (2011) qui montraient que les jeunes présentant une épilepsie temporale droite discriminaient moins bien les changements mélodiques que les patients avec une épilepsie temporale gauche et que les contrôles. Cependant, cette recherche se basait sur les résultats de jeunes qui avaient eu une lobectomie temporale dans le cadre du traitement de l'épilepsie pharmacorésistante, donc qui présentaient des lésions cérébrales post-chirurgicales ainsi qu'un niveau de sévérité de la maladie potentiellement plus élevé. Par ailleurs, la méthodologie utilisée était différente, les auteurs ayant utilisé le test de mémoire tonale de Seashore qui comporte une composante mnésique (deux séquences de notes à maintenir en mémoire à court terme pour être comparées), ce qui a pu contribuer à la diminution de la performance de leurs participants. Néanmoins, nos résultats vont dans le sens des données de la

littérature sur les adultes avec épilepsie (Gosselin et al., 2005 ; 2006) qui ne présentent pas de trouble de la perception musicale. Dans notre étude, les deux groupes de participants parvenaient moins bien à repérer les erreurs dans la condition mélodique que temporelle, bien que leurs réponses soient au-dessus du niveau du hasard. Il semblerait donc que les erreurs étaient plus évidentes à détecter dans la condition temporelle que dans la condition mélodique.

En somme, bien que les jeunes avec épilepsie présentent des difficultés à juger l'activation de la gaieté et de la tristesse ainsi que la valence de la peur évoquées par la musique, ils demeurent capables de catégoriser correctement la gaieté, la tristesse et la peur, contrairement aux adultes avec épilepsie. Ainsi, la musique pourrait être utilisée comme intervention pour permettre aux jeunes d'identifier les indices émotionnels rattachés à chaque catégorie d'émotion.

Limites et études futures

La présente étude a permis de proposer une tâche de reconnaissance des émotions et de perception spécifiquement pour les enfants après avoir été adaptée de tâches validées empiriquement dans la littérature. Le matériel utilisé, les consignes et la présentation informatisée ont été créés pour convenir à une jeune population. Par ailleurs, nous avons veillé au respect de contrôles méthodologiques, en utilisant par exemple un corpus d'extraits non familiers afin d'éviter que les musiques ne soient associées à un souvenir personnel et que cela influence la reconnaissance émotionnelle. Cette recherche permet d'améliorer la compréhension du développement de l'organisation cérébrale des émotions musicales.

La limite principale de cette étude est toutefois la petite taille et l'hétérogénéité de l'échantillon (e.g., âge, localisation et latéralisation des crises; de la durée de la maladie). Bien

que cette hétérogénéité soit une richesse pour explorer les capacités de reconnaissance des émotions, elle peut présenter une limite dans les cas de petits échantillons. Comme les recherches antérieures n'ont pas documenté la reconnaissance des émotions évoquées par la musique chez les enfants avec épilepsie, il est important que les résultats de cette étude puissent être confirmés auprès d'un échantillon plus grand et plus homogène.

Enfin, d'un point de vue clinique, il a été rapporté dans la littérature que la dépression peut entraîner des biais dans la reconnaissance des émotions (Naranjo et al., 2011; Punkanen, Eerola et Erkkilä, 2011). D'après ces auteurs, il semblerait que l'atteinte sur le plan de la reconnaissance des émotions évoquées par les musiques s'intègre dans un tableau plus large de déficits émotionnels associés à l'épilepsie.

Cette présente recherche pourrait permettre d'envisager dans le futur des interventions musicales centrées sur les émotions pour les enfants et les adolescents avec épilepsie. D'ailleurs, nos participants avec épilepsie ont rapporté dans les questionnaires qu'ils écoutaient beaucoup de musique, que c'était même une passion pour certains d'entre eux ce qui en fait une intervention agréable et attrayante pour les jeunes. Ainsi, les émotions musicales pourraient être utilisées pour favoriser la reconnaissance de leurs propres émotions et des expressions faciales afin d'améliorer le fonctionnement socioémotionnel. Par ailleurs, des interventions musicales émergent auprès de ces patients (pour une revue, voir Liao, Jiang, et Wang, 2015). Plusieurs études ont d'ailleurs montré les effets bénéfiques de la musique sur la diminution de la fréquence des crises d'épilepsie (Dastgheib et al., 2014; Hughes, Daaboul, Fino et Shaw, 1998). De cette manière, la musique pourrait être utilisée pour diminuer les symptômes dépressifs, et par de là

même réduire la fréquence des crises et favoriser le développement émotionnel et social des enfants avec épilepsie.

CONCLUSION

Cette étude a montré pour la première fois qu'en l'absence de troubles de catégorisation de la gaieté, la tristesse et la peur, les enfants avec épilepsie présentent des déficits sélectifs pour juger le niveau d'activation et de valence émotionnelle d'extraits musicaux. Plus particulièrement, en comparaison aux contrôles, ils jugent la gaieté moins excitante et la tristesse moins relaxante. De plus, la peur est jugée anormalement agréable par les jeunes avec épilepsie. Ces atteintes des jugements émotionnels ne sont pas conséquentes de difficultés perceptives, car la perception mélodique et temporelle des jeunes avec et sans épilepsie est similaire. Enfin des différences concernant la catégorisation pourraient exister entre l'enfant et l'adulte avec épilepsie et pourraient refléter des mécanismes de réorganisation des réseaux neuronaux associés aux émotions musicales chez l'enfant. En conclusion, cette étude apporte certaines pistes de réflexion sur le développement des capacités de reconnaissance des émotions qui pourraient être perturbées dans le contexte d'épilepsie de l'enfant. Ces résultats pourraient permettre d'envisager d'utiliser la musique comme outil d'intervention clinique chez cette population afin d'améliorer les habiletés émotionnelles et sociales.

RÉFÉRENCES

- Adolphs, R., Tranel, D. et Damasio, H. (2001). Emotion recognition from faces and prosody following temporal lobectomy. *Neuropsychology*, 15(3), 396-404.
- Allgood, R. et Heaton, P. (2015). Developmental change and cross-domain links in vocal and musical emotion recognition performance in childhood. *The British Journal of Developmental Psychology*, 33(3), 398-403.
- Alwash, R. H., Hussein, M. J. et Matloub, F. F. (2000). Symptoms of anxiety and depression among adolescents with seizures in Irbid, Northern Jordan. *Seizure*, 9(6), 412-416.
- Anderson, A. K., Spencer, D., D., Fulbright, R., K. et Phelps, E. A. (2000). Contribution of the anteromedial temporal lobes to the evaluation of facial emotion. *Neuropsychology*, 14(4), 526-536.
- Andrade, P. E., Vanzella, P., Andrade, O. V. et Schellenberg, E. G. (2016). Associating emotions with Wagner's music: A developmental perspective. *Psychology of Music*.
- Armony, J. L., Aubé, W., Angulo-Perkins, A., Peretz, I. et Concha, L. (2015). The specificity of neural responses to music and their relation to voice processing: an fMRI-adaptation study. *Neuroscience Letters*, 593, 35-9.
- Ayotte, J., Peretz, I. et Hyde, K. (2002). Congenital amusia. *Brain*, 125(2), 238-251.
- Baird, A. et Samson, S. (2009). Memory for Music in Alzheimer's Disease: Unforgettable? *Neuropsychology Review*, 19(1), 85-101.
- Balconi, M., Vanutelli, M. E. et Finocchiaro, R. (2014). Multilevel analysis of facial expressions of emotion and script: self-report (arousal and valence) and psychophysiological correlates. *Behavioral and Brain Functions*, 10(1), 32.

- Batty, M. et Taylor, M. J. (2006). The development of emotional face processing during childhood. *Developmental science*, 9(2), 207–220.
- Beck, J., Beck, A., Jolly, J. et Steer, R. (2005). *Beck youth inventories-Second Edition for children and adolescents manual*. San Antonio: PsychCorp.
- Berg, A. T., Berkovic, S. F., Brodie, M. J., Buchhalter, J., Cross, J. H., van Emde Boas, W., ... others. (2010). Revised terminology and concepts for organization of seizures and epilepsies: report of the ILAE Commission on Classification and Terminology, 2005–2009. *Epilepsia*, 51(4), 676–685.
- Blood, A. J. et Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), 11818–11823.
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P. et Evans, A. C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature neuroscience*, 2(4), 382–387.
- Bonora, A., Benuzzi, F., Monti, G., Mirandola, L., Pugnaghi, M., Nichelli, P. et Meletti, S. (2011). Recognition of emotions from faces and voices in medial temporal lobe epilepsy. *Epilepsy & Behavior*, 20(4), 648-654.
- Bradley, M. M. et Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential, 25(1), 49-59.
- Bresin, R. et Friberg, A. (2011). Emotion rendering in music: Range and characteristic values of seven musical variables. *Cortex*, 47(9), 1068-1081.

- Brierley, B., Medford, N., Shaw, P. et David, A. S. (2004). Emotional memory and perception in temporal lobectomy patients with amygdala damage. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 75(4), 593-599.
- Brown, S., Martinez, M. J. et Parsons, L. M. (2004). Passive music listening spontaneously engages limbic and paralimbic systems. *Neuroreport*, 15(13), 2033–2037.
- Calder, A. J. (1996). Facial Emotion Recognition after Bilateral Amygdala Damage: Differentially Severe Impairment of Fear. *Cognitive Neuropsychology*, 13(5), 699-745.
- Chanda, M. L. et Levitin, D. J. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in cognitive sciences*, 17(4), 179–193.
- Conférence de consensus: Prise en charge des épilepsies partielles pharmacorésistantes. (2004), 160(1), 179-184.
- Cousineau, M., McDermott, J. H. et Peretz, I. (2012). The basis of musical consonance as revealed by congenital amusia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(48), 19858-19863.
- Crowder, R. G. (1984). Perception of the major/minor distinction: I. Historical and theoretical foundations. *Psychomusicology: a journal of research in music cognition*, 4(1-2), 3-12.
- Dalla Bella, S., Peretz, I., Rousseau, L. et Gosselin, N. (2001). A developmental study of the affective value of tempo and mode in music. *Cognition*, 80(3), B1–B10.
- Dashiell, J. F. (1927). A new method of measuring reactions to facial expression of emotion. *Psychological Bulletin*, 24, 174–175.
- Dastgheib, S. S., Layegh, P., Sadeghi, R., Foroughipur, M., Shoeibi, A. et Gorji, A. (2014). The effects of Mozart’s music on interictal activity in epileptic patients: systematic review

- and meta-analysis of the literature. *Current neurology and neuroscience reports*, 14(1), 420.
- Dellacherie, D., Roy, M., Hugueville, L., Peretz, I. et Samson, S. (2011). The effect of musical experience on emotional self-reports and psychophysiological responses to dissonance: Psychophysiology of musical emotion. *Psychophysiology*, 48(3), 337-349.
- Dennis, M. et Hopyan, T. (2001). Rhythm and melody in children and adolescents after left or right temporal lobectomy. *Brain and Cognition*, 47(3), 461-469.
- Dolgin, K. G. et Adelson, E. H. (1990). Age Changes in the Ability to Interpret Affect in Sung and Instrumentally-Presented Melodies. *Psychology of Music*, 18(1), 87-98.
- Dunn, D. W., Austin, J. K. et Huster, G. A. (1999). Symptoms of Depression in Adolescents With Epilepsy. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 38(9), 1132-1138.
- Eerola, T., Friberg, A. et Bresin, R. (2013). Emotional expression in music: contribution, linearity, and additivity of primary musical cues. *Emotion Science*, 4, 487.
- Ekman, P. (1992). An argument for basic emotions. *Cognition & Emotion*, 6(3), 169-200.
- Ekman, P. et Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, 17(2), 124.
- Eldar, E., Ganor, O., Admon, R., Bleich, A. et Hendler, T. (2007). Feeling the Real World: Limbic Response to Music Depends on Related Content. *Cerebral Cortex*, 17(12), 2828-2840.
- Fisher, R. S., Acevedo, C., Arzimanoglou, A., Bogacz, A., Cross, J. H., Elger, C. E., ... others. (2014). Définition clinique pratique de l'épilepsie. *Rapport officiel de l'Ilae Epilepsia*, 55(4), 475-482.

- Fritz, T., Jentschke, S., Gosselin, N., Sammler, D., Peretz, I., Turner, R., ... Koelsch, S. (2009). Universal Recognition of Three Basic Emotions in Music. *Current Biology*, 19(7), 573-576.
- Frühholz, S., Trost, W. et Grandjean, D. (2014). The role of the medial temporal limbic system in processing emotions in voice and music. *Progress in Neurobiology*, 123, 1-17.
- Gabrielsson, A. et Lindström, E. (2001). The influence of musical structure on emotional expression. In *Music and emotions: theory and research* (p. 223-248). Oxford.
- Gagnon, L. et Peretz, I. (2003). Mode and tempo relative contributions to happy-sad judgements in equitone melodies. *Cognition and Emotion*, 17(1), 25-40.
- Gerardi, G. M. et Gerken, L. (1995). The Development of Affective Responses to Modality and Melodic Contour. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 12(3), 279-290.
- Golouboff, N., Fiori, N., Delalande, O., Fohlen, M., Dellatolas, G. et Jambaqué, I. (2008). Impaired facial expression recognition in children with temporal lobe epilepsy: Impact of early seizure onset on fear recognition. *Neuropsychologia*, 46(5), 1415-1428.
- Goodman, N. (1968). *Languages of art: An approach to a theory of symbols*. Hackett publishing.
- Gosselin, N. (2005). Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. *Brain*, 128(3), 628-640.
- Gosselin, N., Paquette, S. et Peretz, I. (2015). Sensitivity to musical emotions in congenital amusia. *Cortex*, 71, 171-182.
- Gosselin, N., Peretz, I., Hasboun, D., Baulac, M. et Samson, S. (2011). Impaired recognition of musical emotions and facial expressions following anteromedial temporal lobe excision. *Cortex*, 47(9), 1116-1125.

- Gosselin, N., Peretz, I., Johnsen, E. et Adolphs, R. (2007). Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia*, 45(2), 236-244.
- Gosselin, N., Peretz, I., Noulhiane, M., Hasboun, D., Beckett, C., Baulac, M. et Samson, S. (2005). Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. *Brain*, 128(3), 628-640.
- Gosselin, N., Samson, S., Adolphs, R., Noulhiane, M., Roy, M., Hasboun, D., ... Peretz, I. (2006). Emotional responses to unpleasant music correlates with damage to the parahippocampal cortex. *Brain*, 129(10), 2585-2592.
- Gregory, A. H., Worrall, L. et Sarge, A. (1996). The development of emotional responses to music in young children. *Motivation and Emotion*, 20(4), 341-348.
- Hamann, S. B. et Adolphs, R. (1999). Normal recognition of emotional similarity between facial expressions following bilateral amygdala damage. *Neuropsychologia*, 37(10), 1135–1141.
- Hermann, B. P., Seidenberg, M. et Bell, B. (2000). Psychiatric Comorbidity in Chronic Epilepsy: Identification, Consequences, and Treatment of Major Depression. *Epilepsia*, 41, S31-S41.
- Hevner, K. (1935). The Affective Character of the Major and Minor Modes in Music. *The American Journal of Psychology*, 47(1), 103-118.
- Hevner, K. (1937). The Affective Value of Pitch and Tempo in Music. *The American Journal of Psychology*, 49(4), 621-630.
- Hixson, J. D. et Kirsch, H. E. (2009). The effects of epilepsy and its treatments on affect and emotion. *Neurocase*, 15(3), 206-216.

- Hughes, J. R., Daaboul, Y., Fino, J. J. et Shaw, G. L. (1998). The « Mozart effect » on epileptiform activity. *Clinical Electroencephalography*, 29(3), 109–119.
- Hunter, P. G., Schellenberg, E. G. et Stalinski, S. M. (2011). Liking and identifying emotionally expressive music: Age and gender differences. *Journal of experimental child psychology*, 110(1), 80–93.
- Huron, D. (2015). Affect induction through musical sounds: an ethological perspective. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1664), 2.
- Imberty, M. (1969). *L'acquisition des structures tonales chez l'enfant*. Paris: Klincksieck.
- Juslin, P. N. et Sloboda, J. (2011). *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications*. OUP Oxford.
- Khalfa, S., Guye, M., Peretz, I., Chapon, F., Girard, N., Chauvel, P. et Liégeois-Chauvel, C. (2008). Evidence of lateralized anteromedial temporal structures involvement in musical emotion processing. *Neuropsychologia*, 46(10), 2485-2493.
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(3), 131-137.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(3), 170-180.
- Koelsch, S., Fritz, T., Schulze, K., Alsop, D. et Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: An fMRI study. *Neuroimage*, 25(4), 1068-1076
- Koelsch, S., Fritz, T., v. Cramon, D. Y., Müller, K. et Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, 27(3), 239-250.

- Koelsch, S., Jentschke, S., Sammler, D. et Mietchen, D. (2007). Untangling syntactic and sensory processing: an ERP study of music perception. *Psychophysiology*, 44(3), 476-490.
- Koelsch, S., Skouras, S., Fritz, T., Herrera, P., Bonhage, C., Küssner, M. B. et Jacobs, A. M. (2013). The roles of superficial amygdala and auditory cortex in music-evoked fear and joy. *NeuroImage*, 81, 49-60.
- Koelsch, S. et Stegemann, T. (2012). The brain and positive biological effects in healthy and clinical populations. *Music, health, and wellbeing*, 436–456.
- Kornreich, C., Saeremans, M., Delwarte, J., Noël, X., Campanella, S., Verbanck, P., ... Brevers, D. (2016). Impaired non-verbal emotion processing in Pathological Gamblers. *Psychiatry Research*, 236, 125-129.
- Kratus, J. (1993). A developmental study of children's interpretation of emotion in music. *Psychology of Music*, 21(1), 3–19.
- LeDoux, J. (2003). The emotional brain, fear, and the amygdala. *Cellular and molecular neurobiology*, 23(4-5), 727–738.
- Lehne, M., Rohrmeier, M. et Koelsch, S. (2013). Tension-related activity in the orbitofrontal cortex and amygdala: an fMRI study with music. *Social cognitive and affective neuroscience*, 9(10), 1515–1523.
- Liao, H., Jiang, G. et Wang, X. (2015). Music therapy as a non-pharmacological treatment for epilepsy. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 15(9), 993-1003.
- Lima, C. F. et Castro, S. L. (2011). Emotion recognition in music changes across the adult life span. *Cognition & Emotion*, 25(4), 585-598.

- Lonsdale, A. J. et North, A. C. (2011). Why do we listen to music? A uses and gratifications analysis. *British Journal of Psychology*, 102(1), 108–134.
- Meletti, S., Benuzzi, F., Cantalupo, G., Rubboli, G., Tassinari, C. A. et Nichelli, P. (2009). Facial emotion recognition impairment in chronic temporal lobe epilepsy. *Epilepsia*, 50(6), 1547-1559.
- Meletti, S., Benuzzi, F., Rubboli, G., Cantalupo, G., Maserati, M. S., Nichelli, P. et Tassinari, C. A. (2003). Impaired facial emotion recognition in early-onset right mesial temporal lobe epilepsy. *Neurology*, 60(3), 426-431.
- Menon, V. et Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, 28(1), 175–184.
- Merchant, G. (2001). Teenagers in cyberspace: An investigation of language use and language change in internet chatrooms. *Journal of Research in Reading*, 24(3), 293–306.
- Mitchell, W. G., Scheier, L. M. et Baker, S. A. (1994). Psychosocial, Behavioral, and Medical Outcomes in Children with Epilepsy: A Developmental Risk Factor Model Using Longitudinal Data. *Pediatrics*, 94(4), 471-477.
- Mitterschiffthaler, M. T., Fu, C. H. Y., Dalton, J. A., Andrew, C. M. et Williams, S. C. R. (2007). A functional MRI study of happy and sad affective states induced by classical music. *Human Brain Mapping*, 28(11), 1150-1162.
- Mohn, C., Argstatter, H. et Wilker, F.-W. (2011). Perception of six basic emotions in music. *Psychology of Music*, 39(4), 503-517.
- Monti, G. et Meletti, S. (2015). Emotion recognition in temporal lobe epilepsy: A systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 55, 280-293.

- Mueller, K., Mildner, T., Fritz, T., Lepsien, J., Schwarzbauer, C., Schroeter, M. L. et Möller, H. E. (2011). Investigating brain response to music: A comparison of different fMRI acquisition schemes. *NeuroImage*, 54(1), 337-343.
- Naranjo, C., Kornreich, C., Campanella, S., Noël, X., Vandriette, Y., Gillain, B., ... Constant, E. (2011). Major depression is associated with impaired processing of emotion in music as well as in facial and vocal stimuli. *Journal of affective disorders*, 128(3), 243–251.
- Nieuwenhuys, R., Voogd, J. et Van Huijzen, C. (2007). *The human central nervous system: a synopsis and atlas*. Springer Science & Business Media.
- North, A. C., Hargreaves, D. J. et O'Neill, S. A. (2000). The importance of music to adolescents. *British Journal of Educational Psychology*, 70(2), 255–272.
- Panksepp, J. (1998). The periconscious substrates of consciousness: Affective states and the evolutionary origins of the SELF. *Journal of consciousness studies*, 5(5-6), 566–582.
- Peretz, I. (2001). Listen to the brain: A biological perspective on musical emotions. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (éd.), *Music and emotion: Theory and research* (p. 105-134). New York, NY, US: Oxford University Press.
- Peretz, I. (2010). Towards a neurobiology of musical emotions. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda, *Handbook of Music and Emotion: Theory, Research, Applications* (Oxford University Press, pp. 99-126). New York.
- Peretz, I., Blood, A. J., Penhune, V. et Zatorre, R. (2001). Cortical deafness to dissonance.
- Peretz, I., Gagnon, L. et Bouchard, B. (1998). Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition*, 68(2), 111-141.

- Punkanen, M., Eerola, T. et Erkkilä, J. (2011). Biased emotional recognition in depression: perception of emotions in music by depressed patients. *Journal of affective disorders*, 130(1), 118–126.
- Rigoulot, S. et Armony, J. L. (2016). Early selectivity for vocal and musical sounds: Electrophysiological evidence from an adaptation paradigm. *European Journal of Neuroscience*, 44(10), 2786-2794.
- Rooszendaal, B., McEwen, B. S. et Chattarji, S. (2009). Stress, memory and the amygdala. *Nature reviews. Neuroscience*, 10(6), 423.
- Rudzinski, L. A. et Meador, K. J. (2013). Epilepsy and neuropsychological comorbidities. *Continuum : Lifelong Learning in Neurology*, 19(3), 682–696.
- Russell, J. A. (1980). A circumplex model of affect. *Journal of Personality and Social Psychology*, 39(6), 1161-1178.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A. et Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature neuroscience*, 14(2), 257–262.
- Schäfer, T., Sedlmeier, P., Städtler, C. et Huron, D. (2013). The psychological functions of music listening. *Frontiers in psychology*, 4.
- Schiele, M. A., Reinhard, J., Reif, A., Domschke, K., Romanos, M., Deckert, J. et Pauli, P. (2016). Developmental aspects of fear: Comparing the acquisition and generalization of conditioned fear in children and adults. *Developmental Psychobiology*, 58(4), 471-481.
- Schmidt, L. A. et Trainor, L. J. (2001). Frontal brain electrical activity (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions. *Cognition & Emotion*, 15(4), 487-500.

- Schneider, W., Eschman, A. et Zuccolotto, A. (2002). Schneider, W., Eschman, A. et Zuccolotto, A. (2002). E-prime computer software and manual. Pittsburgh, PA: Psychology Software Tools Inc.
- Scoville, W. B. et Milner, B. (1957). Loss of recent memory after bilateral hippocampal lesions. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 20(1), 11-21.
- Seashore, C. E., Lewis, D. et Saetveit, J. G. (1960). *Seashore measures of musical talents*. Psychological Corporation.
- Sescousse, G., Caldú, X., Segura, B. et Dreher, J.-C. (2013). Processing of primary and secondary rewards: a quantitative meta-analysis and review of human functional neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(4), 681–696.
- Sghier Ahmed, B. (2014). *Les épilepsies pharmacorésistantes (A propos de 25 cas)*. Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Faculté de médecine et de pharmacie de Fes.
- Sonneville, L. M. J. D., Verschoor, C. A., Njiokiktjien, C., Veld, V. O. het, Toorenaar, N. et Vranken, M. (2002). Facial Identity and Facial Emotions: Speed, Accuracy, and Processing Strategies in Children and Adults. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(2), 200-213.
- Tarrant, M., North, A. C. et Hargreaves, D. J. (2000). English and American adolescents' reasons for listening to music. *Psychology of Music*, 28(2), 166–173.
- Taruffi, L., Allen, R., Downing, J. et Heaton, P. (2017). Individual Differences in Music-Perceived Emotions. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 34(3), 253–266.
- Taylor, M. J., McCarthy, G., Saliba, E. et Degiovanni, E. (1999). ERP evidence of developmental changes in processing of faces. *Clinical Neurophysiology*, 110(5), 910–915.

- Terwogt, M. M. et Grinsven, F. V. (1988). Recognition of Emotions in Music by Children and Adults. *Perceptual and Motor Skills*, 67(3), 697-698.
- Terwogt, M. M. et Grinsven, F. V. (1991). Musical Expression of Moodstates. *Psychology of Music*, 19(2), 99-109.
- Trost, W., Ethofer, T., Zentner, M. et Vuilleumier, P. (2012). Mapping Aesthetic Musical Emotions in the Brain. *Cerebral Cortex*, 22(12), 2769-2783.
- Trost, W., Frühholz, S., Cochrane, T., Cojan, Y. et Vuilleumier, P. (2015). Temporal dynamics of musical emotions examined through intersubject synchrony of brain activity. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 10(12), 1705-1721.
- Tseng, A., Bansal, R., Liu, J., Gerber, A. J., Goh, S., Posner, J., ... Peterson, B. S. (2014). Using the circumplex model of affect to study valence and arousal ratings of emotional faces by children and adults with autism spectrum disorders. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 44(6), 1332-1346.
- Vieillard, S., Peretz, I., Gosselin, N., Khalfa, S., Gagnon, L. et Bouchard, B. (2008). Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. *Cognition and Emotion*, 22(4), 720-752.
- Warner-Schmidt, J. L. et Duman, R. S. (2006). Hippocampal neurogenesis: opposing effects of stress and antidepressant treatment. *Hippocampus*, 16(3), 239-249.
- Wechsler, D. (2011). WASI-II: Wechsler abbreviated scale of intelligence—second edition. *WASI*. Bloomington, MN: Pearson. Wedeen, VJ, Wang, RP, Schmahmann, JD, Benner, T., Tseng, WYI, Dai, G., et al.(2008). Diffusion spectrum magnetic resonance imaging (DSI) tractography of crossing fibers. *NeuroImage*, 41(4), 1267-1277.

- Wedin, L. (1972). A Multidimensional Study of Perceptual-Emotional Qualities in Music. *Scandinavian Journal of Psychology*, 13(1), 241-257.
- Weisgerber, A., Vermeulen, N., Peretz, I., Samson, S., Philippot, P., Maurage, P., ... et Constant, E. (2015). Facial, vocal and musical emotion recognition is altered in paranoid schizophrenic patients. *Psychiatry Research*, 229(1-2), 188-193.
- Williams, J., Steel, C., Sharp, G. B., DelosReyes, E., Phillips, T., Bates, S., ... et Griebel, M. L. (2003). Anxiety in children with epilepsy. *Epilepsy & Behavior*, 4(6), 729-732.
- Zentner, M. et Kagan, J. (1998). Infants' perception of consonance and dissonance in music. *Infant Behavior and Development*, 21(3), 483-492.
- Zillmann, D. et Gan, S. (1997). Musical taste in adolescence. In D. J. Hargreaves & A. C. North (Eds.), *The social psychology of music* (pp. 161–187). Oxford: Oxford University Press.