

Université de Montréal

**Étude sur l'inhibition et la reconnaissance des émotions entre les musiciens et les non-musiciens.**

*Par*

Beatriz Oliveira

Programme de psychologie, Faculté des arts et des  
sciences à l'Université de Montréal

Mémoire présenté

en vue de l'obtention du grade de Maîtrise en sciences

(M.Sc.) en psychologie

Avril, 2024

© Beatriz Oliveira, 2024



Université de Montréal

Programme de psychologie, Faculté des arts et des sciences à l'Université de Montréal

---

*Ce mémoire intitulé*

**Étude sur l'inhibition et la reconnaissance des émotions entre les musiciens et les non-musiciens.**

*Présenté par*  
**Beatriz Oliveira**

*A été évalué(e) par un jury composé des personnes suivantes*

**Simone Dalla Bella**  
Président-rapporteur

**Simon Rigoulot**  
Directeur de recherche

**Alexandru Hanganu**  
Membre du jury



## Résumé

Les êtres humains, en tant que créatures sociales, s'appuient sur l'interprétation des émotions au cours de la communication. Ce processus est étroitement lié à la manière dont la musique affecte le traitement des émotions. Bien que l'impact émotionnel de la musique soit reconnu, il reste difficile de comprendre comment l'expertise musicale affecte la reconnaissance et l'inhibition des émotions. Cette étude vise à explorer l'intersection entre l'expertise musicale et le traitement émotionnel, en se concentrant sur la reconnaissance et l'inhibition émotionnelles en réponse à des stimulus audiovisuels (visages et musique), ainsi que sur la compétence émotionnelle. Un groupe de 42 adultes âgés de 18 à 30 ans, répartis entre musiciens et non-musiciens, a participé à l'étude en se soumettant à des tâches audiovisuelles émotionnelles mettant en scène différentes émotions. La reconnaissance et l'inhibition émotionnelles ont été analysées à l'aide d'un paradigme émotionnel go/no-go, et le questionnaire Profil de Compétences Émotionnelles a été utilisé pour évaluer la compétence émotionnelle. Les résultats de l'ANOVA à mesures répétées indiquent que la précision est influencée par le type de tâche émotionnelle, mais pas de manière significative par la formation musicale. Cependant, les musiciens ont démontré des compétences supérieures dans la reconnaissance des émotions dans les stimuli faciaux et musicaux. Le temps de réaction était plus lent pour les tâches axées sur la musique, les facteurs cognitifs et l'expérience musicale jouant un rôle dans la variance. En ce qui concerne la compétence émotionnelle, le test-t entre les groupes a révélé que l'expertise musicale n'a pas d'influence sur elle. Les résultats suggèrent que l'expertise musicale est liée à l'amélioration des capacités de traitement émotionnel dans des tâches spécifiques, mais pas dans l'ensemble du traitement émotionnel. Il est donc nécessaire de poursuivre les recherches en utilisant d'autres approches pour mesurer l'expertise musicale et le traitement de l'inhibition émotionnelle. L'étude souligne l'importance des facteurs cognitifs, tels que la concentration sur la tâche et l'attention, dans la reconnaissance des émotions et la vitesse de réaction, avec des implications plus larges pour des domaines tels que la psychologie et la musicothérapie.

**Mots-clés** : expertise musicale. musique. émotions. inhibition émotionnelle. compétence émotionnelle.

## Abstract

Humans, being social creatures, rely on interpreting emotions during communication. This process is closely linked with the way music affects emotional processing. Even with acknowledging the emotional impact of music, understanding how musical expertise affects emotional recognition and inhibition remains a challenge. This study explores the intersection of musical expertise and emotional processing, focusing on emotional recognition and inhibition in response to audiovisual stimuli (faces and music) and emotional competence. A group of 42 adults between 18 and 30, split into musicians and non-musicians, participated in the study by undergoing emotional audiovisual tasks featuring different emotions. Emotional recognition and inhibition were analyzed using an emotional go/no-go paradigm, and the Profile of Emotional Competence questionnaire was used to evaluate emotional competence. The results from repeated-measures ANOVA indicated that the type of emotional task influenced accuracy but not significantly by musical training. However, musicians demonstrated superior recognition of emotions in facial and musical stimuli. Reaction time was slower for music-focused tasks, with cognitive and musical experience factors playing a role in the variance. Related to emotional competence, the t-test between groups revealed that musical expertise does not influence it. The findings suggest that musical expertise relates to enhanced emotional processing abilities in specific tasks rather than overall emotional processing. Therefore, further investigations are necessary using other approaches to measure musical expertise and emotional inhibition processing. The study underscores the importance of cognitive factors, such as task focus and attention, in emotional recognition and response speed, with broader implications for fields like psychology and music therapy.

**Keywords :** musical expertise. music. emotions. emotional inhibition. emotional competence.

# Table des matières

<b>Résumé</b> .....	<b>5</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>6</b>
<b>Table des matières</b> .....	<b>7</b>
<b>Liste des tableaux</b> .....	<b>9</b>
<b>Liste des figures</b> .....	<b>10</b>
<b>Liste des sigles et abréviations</b> .....	<b>11</b>
<b>Remerciements</b> .....	<b>12</b>
<b>Chapitre 1 – Introduction générale</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1. La langage universel de la musique</b> .....	<b>17</b>
1.1.2. La neuroplasticité et la musique .....	20
<b>1.2. L’inhibition et le paradigme go/no-go</b> .....	<b>23</b>
1.2.1. L’inhibition et la musique .....	24
<b>1.3. Conceptualisation de l’émotion</b> .....	<b>27</b>
1.3.1 Émotion et l’Inhibition.....	29
1.3.2. Influence de l'expertise musicale sur la perception et inhibition des informations émotionnelles.....	30
<b>1.4. Compétence émotionnelle et musique</b> .....	<b>35</b>
<b>1.5. Objectifs et hypothèses</b> .....	<b>38</b>
<b>Chapitre 2 – Article: Study on the impact of music learning on audiovisual emotional inhibition and recognition: a behavioural approach.</b> .....	<b>40</b>
<b>2.1. Abstract</b> .....	<b>42</b>
<b>2.2. Introduction</b> .....	<b>43</b>
2.2.1. Music and neuroplasticity .....	43
2.2.2. Inhibition.....	44
2.2.3. Emotion.....	46
2.2.4. Emotional inhibition and musical expertise.....	49
2.2.5. Emotional competence and music .....	52
<b>2.3. Current study</b> .....	<b>55</b>
<b>2.3. Methods</b> .....	<b>55</b>
2.3.1. Participants.....	55
2.3.2. Materials .....	57
2.3.2.1. Stimuli.....	57

2.3.2.2. Questionnaires .....	57
2.3.2.2.1. Sociodemographic questionnaires .....	57
2.3.2.2.2. Profile of Emotional Competence (PEC).....	58
2.3.2.3. Behavioral tasks.....	58
2.3.2.3.1. Task 1: Face emotional recognition.....	58
2.3.2.3.2. Task 2: Music emotional recognition .....	60
2.3.3. Procedure .....	60
2.3.4. Data analysis plan .....	61
<b>2.4. Results .....</b>	<b>62</b>
2.4.1. Effects of musical training on emotional inhibition .....	63
2.4.1.1. Accuracy .....	63
2.4.1.2. Reaction time .....	66
2.4.2. Effect of musical training on the Emotional Competence.....	70
<b>2.5. Discussion .....</b>	<b>71</b>
2.5.1. The effects of musical training on emotional inhibition.....	71
2.5.1.2. Accuracy analysis .....	71
2.5.1.2. Reaction time analysis .....	74
2.5.2. Emotional competence analysis.....	79
<b>Declarations .....</b>	<b>82</b>
<b>References .....</b>	<b>83</b>
<b>Appendix A. The Profile of Emotional Competence (in English).....</b>	<b>91</b>
<b>Appendix B. Profil de compétences émotionnelles (en français).....</b>	<b>94</b>
<b>Chapitre 3 – Discussion supplémentaire et conclusion.....</b>	<b>98</b>
<b>3.1. Implications.....</b>	<b>99</b>
<b>3.2. Limites et futures perspectives.....</b>	<b>99</b>
<b>3.3. Forces.....</b>	<b>101</b>
<b>3.4. Conclusion.....</b>	<b>101</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>103</b>



## Liste des tableaux

Table 1. Descriptive statistics by group.

Table 2. ANCOVA table for the linear regression model in terms of the accuracy of the responses.

Table 3. ANCOVA table for the linear regression model in RT of the responses.

## **Liste des figures**

Figure 1. Illustration of Task 1 (emotional face recognition)

Figure 2. Accuracy by focus, go/no-go condition and group

Figure 3. Reaction time by focus, condition and emotion

Figure 4. Reaction Time and years of musical experience

## Liste des sigles et abréviations

ANOVA : *Analysis of Variance*

ANCOVA : *Analysis of Covariance*

EDQ : *Emotional Development Questionnaire*

IRMF/fMRI: *Imagerie par Résonance Magnétique Fonctionnelle/ Functional Magnetic Resonance Imaging*

ISI : *Interstimulus Interval*

LMM : *Linear Mixed Model*

M : *Mean*

SD : *Standard Deviation*

PEC : *Profil de Compétence Émotionnelle (traduit de PEC : Profile of Emotional Competence)*

## Remerciements

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude à MITACS pour m'être permis de financer ma maîtrise grâce à la bourse Globalink Graduate Fellowship. C'est cette bourse qui m'a permis de me lancer dans ce projet d'étude et qui m'a conduit là où je suis aujourd'hui.

Je remercie le BRAMS, le Laboratoire international de recherche sur le Cerveau, la Musique et le Son, de m'avoir permis d'accéder à toutes les connaissances théoriques, techniques et scientifiques nécessaires pour mener à bien cette recherche. Je suis également reconnaissant à mon superviseur, Simon Rigoulot, de m'avoir aidé à créer et à consolider cette recherche. En outre, je suis reconnaissant à mes collègues de laboratoire pour leurs contributions inestimables à mon travail. En particulier, j'aimerais exprimer ma gratitude à Samaneh pour son soutien indéfectible et ses encouragements tout au long du processus de recherche, ainsi qu'à Marie-Andrée, qui a été une collaboratrice exceptionnelle et qui m'a donné des conseils sur l'analyse des données et les lignes directrices de l'étude.

J'ai une fois entendu dire que nous devrions être reconnaissants pour notre réseau de soutien parce que c'est ce qui nous permet d'aller au-delà de ce que nous imaginons. Et j'en suis éternellement reconnaissante. Je tiens à remercier mon mari Daniel, qui m'a tenu la main et m'a aidée à surmonter toutes les difficultés auxquelles j'ai dû faire face pour arriver jusqu'ici. Je remercie également mes parents, Veridiana et Júlio César, qui se trouvent à 6473 km d'ici, mais qui ont toujours cru en moi et m'ont soutenue dans tous mes rêves. Je tiens à exprimer ma gratitude à ma sœur Letícia, qui m'a poussé à me battre et m'a soutenu tout au long de mon parcours. Enfin, je tiens à remercier ma meilleure amie Mariana, qui a montré à quel point elle était fière de moi en parlant de mon travail à tout le monde.

Je suis reconnaissante envers moi-même d'avoir cru qu'une femme peut être ce qu'elle veut et où elle veut. C'est de loin la chose la plus difficile que j'aie jamais faite. En tant qu'immigrante latino-américaine originaire du Brésil, j'ai grandi dans un environnement auquel mes aspirations à devenir chercheuse étaient considérées comme irréalistes. Pour avoir la chance de rêver et de faire de la recherche, j'ai dû me surpasser et créer mes propres opportunités. J'ai dû apprendre de nouvelles langues, acquérir de nouvelles connaissances et aller au-delà des murs de l'université et de mon pays. Malgré les obstacles de santé, je me suis surmontée et j'ai persisté alors que je ne croyais pas que c'était possible.

J'ai découvert ce qui me convenait en prenant le risque de me tromper. Tout au long du processus, j'ai fait des erreurs, j'en ai tiré des leçons et j'ai finalement réalisé mon rêve de devenir une jeune chercheuse brésilienne. Je comprends que la recherche est un domaine dans lequel les erreurs sont une partie nécessaire du processus, car elles me permettent de recommencer et de trouver les réponses que je cherche. Ce histoire ne fait que commencer.



## **Chapitre 1 – Introduction générale**

La musique joue un rôle crucial dans notre vie, influençant nos émotions et nos processus cognitifs. Intégrer la musique dans nos expériences quotidiennes permet d'exprimer une large gamme d'émotions, affectant ainsi notre humeur et notre bien-être général. La reconnaissance et la compréhension des émotions sont essentielles pour renforcer les liens sociaux, facilitant une communication efficace et rapprochant les individus (Marinetti et al., 2010). De plus, la compétence émotionnelle, qui inclut la capacité à analyser, traiter et réguler nos émotions (Brasseur et al., 2013), est cruciale pour une communication efficace.

Comprendre et reconnaître les émotions est essentiel pour des interactions sociales réussies. Cette compétence est liée à l'inhibition cognitive, qui régule les réponses et les comportements émotionnels (Kret, 2015), assurant une régulation émotionnelle efficace dans les contextes sociaux (Daughters et al., 2022). La reconnaissance précise des émotions des autres est fondamentale pour les interactions humaines réussies (Barel & Cohen, 2018). Interpréter correctement les expressions émotionnelles est indispensable pour naviguer dans les échanges émotionnels et réguler les réponses (Heß et al., 2016).

Le lien entre la formation musicale et les capacités cognitives, tel que l'inhibition, est un sujet d'intérêt pour notre étude. Les musiciens montrent généralement une amélioration des compétences telles que les fonctions exécutives, la mémoire de travail et l'attention par rapport aux non-musiciens (D'Souza et al., 2018), mais il n'est pas encore clair si cela s'étend à de meilleures capacités de traitement des émotions, telles que la reconnaissance et la compétence émotionnelle.

Se fondant sur la littérature existante sur la musique et les processus cognitifs, cette étude visait à explorer l'influence de l'apprentissage de la musique sur l'inhibition et la reconnaissance



audiovisuelles des émotions. À cette fin, nous avons adopté une approche multimodale pour explorer l'interaction complexe entre l'expertise musicale et le traitement émotionnel, et intégré des mesures objectives et comportementales. En examinant comment l'expertise musicale façonne les reconnaissances des émotions et l'inhibition, nous espérons obtenir des perspectives précieuses sur les implications plus larges sur les capacités de traitement des émotions et les relations interpersonnelles.

## **1.1. La langue universel de la musique**

La musique possède un charme universel qui procure de la joie et favorise le bien-être parmi les individus de tous horizons (North et al., 2004 ; Pereira et al., 2011). Selon MacDonald (2021), la musique offre un mode de communication sociale qui peut unir les gens d'une manière que la langue parlée ne peut tout simplement pas offrir. Cela est particulièrement évident dans les contextes où la musique est un outil puissant de lien social et de communication. Par exemple, Smetana (2023) a observé que la musicothérapie peut être particulièrement efficace dans les milieux thérapeutiques, en favorisant la communication et l'expression de soi chez les personnes atteintes de maladies comme le syndrome de Rett, qui n'ont pas la capacité de parler.

La musique s'apparente également à une expression artistique qui est étroitement liée à des expériences socialement épanouissantes et émotionnellement chargées, que ce soit lors de concerts, des événements religieux, ou même un chant informel autour d'un feu de camp (Koelsch, 2014). Des recherches approfondies ont constamment mis en évidence le rôle central de la musique dans la vie humaine, soulignant son impact indéniable sur le bien-être psychologique. Une étude menée par Packer et Ballantyne en 2011 a révélé une multitude d'effets positifs de la musique sur le bien-être psychologique et social des individus, en

particulier chez les jeunes. Selon leurs conclusions, la participation à des festivals de musique est associée à une augmentation du bonheur, une diminution du niveau de stress et une amélioration du sentiment de bien-être. De plus, les festivals de musique semblent favoriser les liens sociaux, renforcer le sentiment de communauté et améliorer la satisfaction des interactions sociales. Toutefois, l'absence d'une condition de contrôle dans cette étude suggère que les chercheurs se sont principalement concentrés sur l'impact de la participation aux festivals de musique sans effectuer de comparaison directe avec un scénario de non-participation. Par conséquent, bien que l'étude de Packer et Ballantyne (2011) fournisse des informations précieuses sur les effets bénéfiques des festivals de musique, cette limitation empêche de conclure avec certitude que les résultats observés sont uniquement attribuables à la participation aux festivals de musique.

Les bénéfices se situent aussi sur les plans comportemental, psychologique et physiologique, transcendant les barrières culturelles (Juslin, 2019). Selon une étude menée par Stork et leurs collègues (2019), l'impact psychologique de la musique a une influence significative sur la modification des perceptions de l'effort et l'amélioration de l'expérience globale de l'exercice. En diffusant de la musique pendant les séances d'entraînement de haute intensité, les individus peuvent créer un environnement plus agréable, ce qui entraîne une réduction des perceptions de l'effort, une augmentation de la motivation et un renforcement des sentiments de plaisir et de satisfaction. Ces facteurs se traduisent en fin de compte par de meilleurs résultats en matière d'exercice. Cependant, cette étude présente une limitation méthodologique notable en raison de l'absence d'une condition de contrôle, ce qui rend difficile d'attribuer les effets observés uniquement à l'influence de la musique. Dans une étude approfondie menée par de Witte et al. (2020), une revue systématique et deux méta-analyses ont été réalisées pour explorer l'impact des interventions musicales sur les marqueurs physiologiques

du stress. Les chercheurs ont constaté que les interventions musicales entraînaient une réduction significative des effets liés au stress. Plus précisément, il a été constaté que la musique réduisait les indicateurs d'éveil physiologique tels que la pression artérielle, le rythme cardiaque et les niveaux d'hormones. En outre, les interventions musicales ont été associées à une diminution des expériences de stress psychologique telles que l'anxiété d'état et les sentiments d'agitation ou de nervosité. Ces résultats soulignent l'efficacité des interventions musicales dans la régulation des réponses physiologiques et psychologiques au stress.

La musique est un langage universel : elle fait partie intégrante de la vie humaine depuis avant la naissance, et sa reconnaissance est un processus d'apprentissage automatique qui ne nécessite pas d'enseignement formel pour être compris (Peretz, 2018). Dès les premiers stades de la vie, la musique influence profondément le cerveau humain. Même les nouveau-nés peuvent réagir aux stimuli musicaux, en détectant les battements dans les séquences sonores rythmiques et en faisant preuve de sensibilité aux paramètres temporels (Winkler, 2009). Les avantages s'étendent à l'enfance, où l'exposition à des cours de musique peut avoir un impact significatif sur le développement musical, social et communicatif des enfants. Cela peut favoriser le développement dans d'autres domaines tels que les aptitudes cognitives, la perception auditive et les aptitudes motrices (Gerry et al., 2012). Selon une étude menée par Guhn et ses collaborateurs (2020), il existe une relation positive entre l'éducation musicale pendant l'enfance et l'adolescence et les résultats scolaires dans des matières telles que les mathématiques, les sciences et l'anglais. L'étude a également révélé que l'éducation musicale peut améliorer les capacités cognitives telles que la mémoire, l'attention et la résolution de problèmes, qui sont cruciales pour la réussite scolaire.

L'ensemble de ces résultats souligne l'importance de l'éducation musicale dans la promotion des compétences cognitives et de la réussite scolaire. En explorant l'impact de la musique sur le développement humain, il apparaît clairement que la compréhension du concept de neuroplasticité est cruciale. Ce phénomène remarquable ne met pas seulement en évidence les effets immédiats de la musique sur nos états émotionnels et physiques, mais fournit également un cadre pour comprendre les changements cognitifs et comportementaux à long terme observés chez les individus exposés à la musique.

### **1.1.2. La neuroplasticité et la musique**

Le concept de neuroplasticité fait référence à la capacité remarquable du cerveau de se réorganiser en formant de nouvelles connexions neuronales en réponse à une exposition prolongée à de nouveaux stimuli (Olszewka et al., 2021). La musique a prouvé être un puissant modificateur de la neuroplasticité. Elle conduit à des changements structurels et fonctionnels dans les régions auditives, sensorimotrices et sous-corticales du cerveau (Criscuolo, 2021). Ces changements sont induits par une formation musicale continue et peuvent avoir un impact significatif sur les structures et les fonctions du cerveau ainsi que sur les processus physiologiques (Zatorre et al., 2007). La nature gratifiante de la musique (Zatorre & Salimpoor, 2013) est encodée par les niveaux d'activité dans le noyau accumbens, tandis que la sécrétion de dopamine (c.-à-d., un neurotransmetteur essentiel pour les sensations de plaisir et l'apprentissage) dans les circuits de récompense cérébrale joue un rôle crucial dans le plaisir et l'apprentissage (Peretz, 2018).

Ces dernières années, l'exploration de la neuroplasticité chez les musiciens a suscité une attention significative. De nombreuses études ont régulièrement démontré que,

indépendamment de l'âge, les musiciens présentent une neuroplasticité plus élevée que les non-musiciens ( Schlaug., 2005). Par exemple, des études longitudinales ont permis de découvrir qu'une formation musicale au cours de la petite enfance peut entraîner des changements de neuroplasticité perceptibles (Habibi et al., 2018). Les auteurs de cette recherche se sont concentrés sur l'examen de l'impact de la formation musicale aux niveaux comportemental et neuronal chez les enfants, en particulier ceux issus de milieux défavorisés qui pourraient ne pas avoir eu accès à un enseignement musical. Les résultats indiquent que la formation musicale joue un rôle significatif dans le développement de l'enfant, avec des changements comportementaux et neuronaux observables. La conception longitudinale de l'étude a permis d'examiner les effets durables de la formation musicale au fil du temps, fournissant des preuves de l'impact durable des activités musicales précoces sur la neuroplasticité et le développement cognitif.

L'étude menée par Sanju et Kumar (2016) met en lumière les effets positifs de la musique sur le système auditif et comment elle peut contribuer à améliorer les potentiels évoqués auditifs chez les musiciens. Cette étude souligne également le rôle de la musique dans le façonnement des changements neuroplastiques dans le cerveau. Selon une étude menée par Rodrigues et ses collaborateurs (2010), il existe une corrélation entre la formation musicale, la neuroplasticité et la cognition. L'étude suggère que la formation musicale à long terme peut déclencher une neuroplasticité structurelle et fonctionnelle dans le cerveau.

En particulier, Gaser et Schlaug (2003) ont constaté que les musiciens présentaient une augmentation du volume de matière grise dans diverses régions du cerveau responsables de la motricité, du traitement auditif et des capacités visuospatiales. Cela indique qu'une pratique régulière et l'acquisition de compétences peuvent entraîner des changements structurels

significatifs dans le cerveau. En outre, Musacchia et al. (2007) ont découvert que les changements fonctionnels affectent également les structures sensorielles sous-corticales. Leurs recherches montrent que les musiciens ont des réponses auditives et audiovisuelles du tronc cérébral aux stimuli vocaux et musicaux plus précoces et plus marquées que les non-musiciens. Les processus cognitifs peuvent également être améliorés par la neuroplasticité, ce qui implique des compétences telles que le décodage d'informations visuelles, la mémorisation, la discrimination auditive et la motricité fine (Rodrigues et al., 2010). En outre, la formation musicale à long terme peut stimuler les changements neuroplastiques dans les cerveaux en développement et adultes, ce qui indique l'impact significatif de la musique sur la plasticité cérébrale (Moreno-Morales et al., 2020; Schlaug, 2015).

Une autre étude menée par Jenni et ses collègues en 2017 a révélé que lors de l'écoute de compositions en mode majeur et mineur, des différences de synchronisation neuronale ont été observées entre les non-musiciens, les amateurs de musique et les musiciens professionnels (ayant une pratique hebdomadaire moyenne de 30,7 heures). Les musiciens professionnels présentaient une moindre synchronisation des bandes gamma et thêta dans les régions postérieures droites du cerveau lorsqu'ils étaient exposés à un contexte musical. Cette découverte suggère qu'ils déploient moins d'efforts pour intégrer des informations spécifiques liées au traitement musical, ce qui pourrait indiquer une plus grande efficacité dans ce processus. Ainsi, les auteurs suggèrent que la plasticité cérébrale induite par une formation musicale accrue conduit à un traitement musical plus efficace.

Les résultats cumulatifs de ces études soulignent le potentiel de la formation musicale à long terme pour améliorer la neuroplasticité, procurant ainsi des avantages cognitifs et influençant la structure et la fonction cérébrales chez les enfants et les adultes (Dittinger et al.,

2017 ; Trainor et al., 2009). Ces constatations non seulement approfondissent notre compréhension de l'adaptabilité cérébrale, mais ouvrent également des perspectives prometteuses pour exploiter des interventions basées sur la musique en vue de stimuler la fonction cognitive et la neuroplasticité.

## **1.2. L'inhibition et le paradigme go/no-go**

L'inhibition, définie comme la capacité à supprimer une réponse dominante immédiate (Hennessy et al., 2019), est fondamentale pour diverses fonctions cognitives, notamment l'attention, le comportement, les pensées et les émotions (Diamond, 2013). L'inhibition de la réponse implique la maîtrise de soi, la résistance aux tentations et l'abstention d'actions impulsives, tandis que le contrôle de l'interférence inclut l'attention sélective et l'inhibition cognitive, contribuant à la suppression des informations non pertinentes et à l'adaptation aux situations changeantes (Diamond, 2013).

Le paradigme go/no-go est un outil largement utilisé dans l'évaluation des processus d'inhibition et d'exécution des réponses (Blommaert et al., 2019). Ce paradigme permet non seulement de mieux comprendre le contrôle cognitif, la surveillance des conflits et les fonctions exécutives (Breitling-Ziegler et al., 2021), mais aussi de faire la lumière sur l'exécution motrice (Dillo et al., 2010). Dans le paradigme go/no-go, l'inhibition englobe le processus cognitif consistant à restreindre une réponse dominante à des stimuli spécifiques, appelés stimuli no-go. Il s'agit de supprimer les réactions planifiées ou automatiques, ce qui met en évidence la capacité de contrôle inhibiteur (Verbruggen & Logan, 2008). Inversement, l'exécution dans ce cadre exige des réponses rapides et précises à un autre ensemble de stimuli appelés stimuli Go, qui suscitent généralement des réactions rapides (Blommaert et al., 2019). De cette manière, ce paradigme

s'est révélé être un outil précieux pour sonder l'interaction entre l'inhibition proactive et réactive de l'action, en élucidant la nécessité immédiate pour les participants d'exécuter ou de suspendre une action planifiée en fonction des attributs des stimuli cibles (Ficarella et al., 2021).

Des études ont révélé des disparités dans les mécanismes neuronaux qui sous-tendent l'exécution et l'inhibition de la réponse entre les paradigmes go/no-go visuels et auditifs (Nakata et al., 2016). Une étude EEG réalisée par Nakata et collaborateurs (2016) a mis en évidence des schémas neuronaux distincts liés à l'exécution et à l'inhibition de la réponse, notamment la composante N2 (associée à des processus cognitifs tels que la surveillance des conflits, la détection des erreurs et l'inhibition de la réponse) et la composante P3 (liée à des fonctions telles que l'allocation de l'attention, la mémoire de travail et la prise de décision). Ces schémas varient selon que les individus sont exposés à des stimuli visuels ou auditifs. Ces résultats soulignent l'adoption par le cerveau de divers mécanismes d'exécution et d'inhibition des réponses en fonction de la modalité sensorielle des stimuli rencontrés.

La compréhension de ces nuances neuronales est cruciale pour comprendre les variations spécifiques à chaque modalité de ces processus dans le cadre de notre étude. Après avoir souligné l'importance de l'inhibition dans les processus cognitifs, nous allons maintenant étudier l'impact potentiel de la musique sur cette capacité, en considérant sa capacité à induire des effets neuroplastiques.

### **1.2.1. L'inhibition et la musique**

La relation entre la musique et l'inhibition a suscité un grand intérêt, en particulier pour comprendre comment la formation musicale peut influencer le contrôle inhibiteur. De nombreuses études ont examiné ce lien (Grispun et al., 2020 ; Swaminathan & Schellenberg,



2020 ; Mansouri et al., 2017 ; Zuk et al., 2005). Par exemple, Hennessy et ses collègues (2019) ont mené une étude longitudinale examinant les effets de la formation musicale sur le contrôle inhibiteur et ses corrélats neuronaux chez les enfants pendant cinq ans. Comparant les enfants engagés dans une formation musicale et des activités sportives avec ceux qui n'ont pas de programmes extrascolaires, l'étude a utilisé des évaluations cognitives, y compris la tâche go/no-go, pour mesurer le contrôle inhibiteur. Les résultats ont montré une amélioration significative du contrôle inhibiteur chez les enfants qui suivent une formation musicale par rapport à leurs pairs qui font du sport ou qui n'ont pas d'activités extrascolaires. En outre, l'étude a exploré les mécanismes neuronaux associés au contrôle inhibiteur chez les enfants entraînés à la musique, en observant l'activité dans des régions telles que le cortex préfrontal. La neuro-imagerie a révélé des différences potentielles dans les schémas d'activation cérébrale entre les enfants formés à la musique et ceux engagés dans d'autres activités extrascolaires, mettant en lumière la manière dont l'éducation musicale peut influencer les réseaux neuronaux régissant l'inhibition, soulignant ainsi ses avantages cognitifs pour les enfants.

Une autre étude de Degé (2021) a examiné la corrélation entre les cours de musique et les capacités cognitives des enfants, en se concentrant sur la transférabilité potentielle des compétences acquises grâce à la formation musicale. Ils ont suggéré que l'apprentissage de la musique pourrait apporter des avantages cognitifs plus larges au-delà de son contexte musical immédiat. Observant que les cours de musique impliquent des activités exigeant un autocontrôle, une pratique disciplinée, l'inhibition des impulsions motrices et l'adaptation aux règles musicales ou aux instruments, l'étude a proposé que de telles exigences cognitives inhérentes à l'expertise musicale puissent améliorer l'inhibition, la mémoire de travail et la flexibilité cognitive. Bien que les résultats indiquent une influence positive des cours de musique sur les capacités cognitives,

des facteurs tels que l'âge, le type et la durée de la formation musicale peuvent influencer les résultats, ce qui justifie un examen plus approfondi.

Dans une perspective générale sur les fonctions exécutives, Zuk et collaborateurs (2015) ont comparé le développement des fonctions exécutives chez les enfants et les adultes avec et sans formation musicale, révélant une corrélation entre la formation musicale et l'amélioration de la flexibilité cognitive chez les adultes, ainsi qu'une activation accrue dans les zones associées aux fonctions exécutives chez les enfants, telles que l'aire prémotrice supplémentaire. Ces études suggèrent collectivement que la formation musicale a un impact sur la perception sensorielle auditive, améliorant les capacités cognitives telles que la flexibilité, la mémoire de travail et la fluidité verbale (Di Mauro et al., 2018 ; Reybrouck et al., 2018).

Cependant, des incohérences apparaissent dans la littérature. Par exemple, Winston et al. (2022) ont trouvé des preuves que la musicalité affectait d'autres composantes des fonctions exécutives, telles que la résolution de problèmes et la capacité de planification, mais n'ont observé aucune différence dans la capacité d'inhibition entre les musiciens et les non-musiciens dans des tâches telles que la tâche go/no-go. Ces résultats contrastent avec les rapports faisant état d'un meilleur contrôle inhibiteur chez les musiciens (Slater et al., 2018; Moreno et al., 2014 ; George et Coch, 2011). Ces divergences peuvent être dues à des variations dans les critères définissant les musiciens, ainsi qu'à des différences dans le type et l'étendue de la formation musicale reçue par les participants. Bien que les résultats soulignent l'impact potentiel de la formation musicale sur diverses fonctions cognitives, un meilleur contrôle des groupes de participants et des instruments est nécessaire pour déterminer si cette capacité se prolonge à l'âge adulte.

### 1.3. Conceptualisation de l'émotion

Les émotions sont omniprésentes dans la vie quotidienne des êtres humains et jouent un rôle important dans les interactions sociales (Blais et al., 2017 ; Schirmer et Adolphs, 2017). Dès la petite enfance, les personnes peuvent identifier leurs propres émotions ainsi que celles des autres, ce qui facilite la communication (Seidenfeld et al., 2014), de sorte qu'elles peuvent entretenir les comportements prosociaux et le développement socio-affectif (Cunningham et al., 2009 ; Izard et al., 2001 ; Trentacosta & Izard, 2007).

Les émotions peuvent être exprimées de multiples façons, l'une des plus courantes étant l'expression faciale. Ces expressions sont essentielles pour transmettre les émotions, et les recherches montrent que des influences universelles et spécifiques à la culture affectent la perception et l'expression des émotions à travers les indices faciaux (Ekman et al., 1987). Les expressions faciales sont des mécanismes importants dans la communication non verbale et contribuent directement aux relations sociales (Smith & Kosslyn, 2007). Les travaux pionniers d'Ekman et ses collaborateurs sont à l'origine de la Théorie Universelle des Émotions qui affirme que des émotions dites basiques ou primaires (c.-à-d., la colère, la peur, le bonheur, la tristesse, le dégoût et la surprise, Ekman et al., 1969) sont exprimées et reconnues de manière innée, ce qui constitue un phénomène transculturel (Ekman & Friesen, 1971).

Dans cette perspective théorique, le traitement émotionnel se produit même lorsqu'il n'y a pas de contexte ou d'instruction qui favorise cette reconnaissance, ce qui suggère l'idée d'automatisme de ce processus émotionnel (Ekman & Cordaro, 2011). En revanche, il y a une autre perspective théorique qui affirme que les émotions ne sont pas universelles, mais dépendent de l'appareil linguistique et conceptuel construit culturellement, de sorte que les représentations perceptives du concept linguistique de chaque émotion influencent le processus de

reconnaissance des émotions (Gendron et al, 2014). Bien que la Théorie Universelle des Émotions ait encore un grand impact dans les modèles actuels de compréhension des processus émotionnels et que certaines réponses liées aux émotions ont effectivement un caractère automatique, d'autres modèles tels que le modèle des composantes émotionnelles (Scherer, 2009 ; Sander et al., 2005) ou la Théorie des Émotions Construites (Barrett, 2012 ; Gendron et al., 2012) s'inscrivant dans cette logique de construction des processus émotionnels ont vu le jour. Malheureusement, la plupart des travaux expérimentaux sur lesquels reposent l'ensemble de ces modèles utilisent majoritairement la modalité visuelle pour stimuler les participants (avec des visages ou encore des images de scènes naturelles ayant différents contenus émotionnels), réduisant la généralisation des observations faites.

Outre la modalité visuelle, il existe différents types de sons qui vont transmettre des informations émotionnelles, comme la musique. Elle transmet un contenu émotionnel à travers ses composants acoustiques, tels que la mélodie, la hauteur, le rythme et le timbre (Limer, 2017). En particulier, il a été démontré que le timbre et la hauteur sont importantes dans la perception de la valence émotionnelle et de l'intensité des stimuli auditifs (Juslin & Laukka, 2003). De cette manière, la perception des émotions véhiculées par la musique est un phénomène complexe influencé par deux processus fondamentaux : la perception des émotions, où les auditeurs discernent les émotions véhiculées par la musique, et l'induction des émotions, où la musique suscite activement des réponses émotionnelles (Brattico & Pearce, 2013). Cette distinction souligne l'importance de comprendre comment les individus interprètent et réagissent aux indices émotionnels dans les contextes musicaux.

### 1.3.1 Émotion et l’Inhibition

L'interaction complexe entre l'émotion et l'inhibition a été largement explorée en raison de leur rôle central dans la régulation du comportement humain. De nombreuses études ont démontré de manière cohérente comment les états émotionnels affectent de manière significative la capacité d'un individu à réprimer ses impulsions et à réguler sa conduite (Inzlicht et al., 2015; Wang et al., 2012). Par exemple, Schoenbaum et al. (2015) ont utilisé la tâche émotionnelle go/no-go (traduit de *Emotional go/no-go task*) - une variante du paradigme traditionnel go/no-go - pour évaluer l'impact de l'émotion sur le contrôle inhibiteur. Dans cette tâche, les participants se voyaient présenter des stimuli chargés d'émotion, tels que des images de visages affichant la joie ou la colère, et devaient répondre ou s'abstenir de répondre en fonction du contenu émotionnel du stimulus. Les résultats ont révélé que les participants amélioraient leur temps de réaction et leur précision lorsque l'indice émotionnel correspondait à la réponse requise, soulignant le rôle facilitateur de l'émotion dans le contrôle inhibiteur (Heim & Keil, 2012).

Des recherches plus approfondies menées par Kanske et Kotz (2010) sur les mécanismes neuronaux qui sous-tendent l'interaction entre l'émotion et l'inhibition ont révélé que l'amygdale et le cortex préfrontal sont des régions clés dans le traitement des émotions, en particulier lors des tâches de contrôle inhibiteur, ce qui suggère une interaction complexe entre émotion et inhibition. Les résultats montrent également que les individus avec une réactivité émotionnelle accrue, mesurée par l'activité de l'amygdale, présentent des performances inhibitrices supérieures.

En ce qui concerne la perception des émotions en musique, l'amygdale joue un rôle crucial. Elle réagit particulièrement aux événements musicaux inattendus, indiquant son implication dans les processus émotionnels liés à la musique (Manno et al., 2019). L'amygdale

peut même se déconnecter du cortex auditif pour discriminer les sons musicaux d'émotion incertaine, ce qui souligne son importance dans le traitement émotionnel des stimulus musicaux (Bigliassi et al., 2015). Parallèlement, le cortex préfrontal est fortement impliqué dans la régulation émotionnelle et la mémoire musicale, étant directement connecté à l'amygdale et à l'hippocampe (Moghimi et al., 2015). Ainsi, l'interaction entre l'amygdale et le cortex préfrontal est essentielle pour traiter les émotions en musique, avec l'amygdale étant centrale dans la perception des émotions et le cortex préfrontal dans la régulation émotionnelle et la mémoire.

### **1.3.2. Influence de l'expertise musicale sur la perception et inhibition des informations émotionnelles**

La compréhension et la régulation de nos émotions sont des aspects cruciaux de la cognition humaine, et la perception et l'inhibition des émotions jouent un rôle important dans ces processus (Hou et al., 2017). L'expertise musicale ajoute une autre couche de complexité à ces processus (Wang et al., 2012). Elle implique de maîtriser les compétences techniques et d'avoir une compréhension et une sensibilité profondes à l'égard de l'expression musicale. Chaque musicien a sa propre façon d'exprimer et d'interpréter les émotions à travers la musique, qui est influencée par ses traits de personnalité, ses capacités cognitives et ses expériences de vie (Smith et al., 2017 ; Johnson & Chang, 2015).

En outre, le traitement et la régulation des émotions semblent intégrés à l'expérience musicale, des études indiquant que l'expérience esthétique de la musique est étroitement liée aux processus émotionnels, évaluatifs et attentionnels (Reybrouck et al., 2018). De cette manière, la capacité à transmettre des émotions par le biais de performances musicales est un équilibre délicat entre la compétence technique et les sensibilités personnelles (Hou et al., 2017). Un

domaine d'intérêt particulier est la relation entre l'inhibition émotionnelle et l'expertise musicale. Les individus qui sont fortement inhibés émotionnellement, caractérisés par une tendance à réprimer ou à contraindre l'expression des émotions, peuvent rencontrer des défis uniques dans le développement de capacités musicales avancées (Greenberg et al., 2015). Paradoxalement, la capacité à s'engager et à expérimenter les nuances émotionnelles de la musique peut être cruciale pour l'acquisition de l'expertise musicale. Les compétences métacognitives, telles que la capacité à planifier, surveiller et réguler son propre apprentissage et sa performance, ont également été identifiées comme cruciales pour un apprentissage et une performance musicale réussis (Concina, 2019). Les individus inhibés émotionnellement peuvent avoir du mal à déployer efficacement ses stratégies métacognitives, ce qui peut potentiellement entraver leur développement musical.

La recherche a constamment démontré que les personnes ayant une expertise musicale possèdent des capacités accrues de perception et d'interprétation des émotions véhiculées par la musique (Sachs et al., 2018). Cette compétence avancée serait attribuable au phénomène de traitement multimodal, dans lequel diverses entrées sensorielles, y compris des indices auditifs et visuels tels que la mélodie, le rythme et les expressions des musiciens, sont intégrées pour former une perception cohésive (Koelsch, 2010).

En outre, la recherche suggère que les mécanismes neuronaux qui sous-tendent l'inhibition émotionnelle chez les musiciens peuvent différer de ceux des non-musiciens (Hou et al., 2017). Dans une étude menée par Smith et al. (2005) il a été découvert que les musiciens présentent un niveau plus élevé d'activation du cortex préfrontal pendant les tâches d'inhibition émotionnelle par rapport aux non-musiciens. Le cortex préfrontal est une région du cerveau associée au contrôle cognitif et à la régulation des émotions. Ces résultats suggèrent que la

formation musicale peut améliorer les compétences de régulation émotionnelle et la capacité à inhiber les réponses émotionnelles. En outre, plusieurs études ont indiqué que l'inhibition émotionnelle chez les musiciens peut également jouer un rôle important dans leur capacité à percevoir les émotions chez les autres. Par exemple, Johnson et al. (2015) ont constaté que les musiciens étaient plus aptes à identifier et à percevoir avec précision les émotions chez les autres que les non-musiciens. Les recherches de Lima et Castro (2011) appuient cette affirmation, indiquant que les musiciens sont plus précis dans la reconnaissance des émotions exprimées par la prosodie de la parole (c.-à-d., le ton de la voix), y compris la colère, le dégoût, la peur, la joie, la tristesse et la surprise. Ces résultats suggèrent que les mécanismes neurocognitifs impliqués dans le traitement prosodique des émotions sont sensibles à la formation musicale à long terme, ce qui implique que les ressources de traitement émotionnel peuvent être partagées entre la musique et la voix humaine.

Selon une étude de Croom (2012), les personnes qui ont suivi une formation musicale importante font preuve d'une plus grande précision dans la reconnaissance et l'interprétation des diverses émotions véhiculées par la musique. Des études ont montré une activité cérébrale différente chez les musiciens, en particulier dans le cortex auditif qui est associé à un traitement auditif plus efficace (Almudena et al., 2021 ; Angulo-Perkins et al., 2014). Cela pourrait permettre aux musiciens de reconnaître plus facilement les émotions musicales et vocales (Correia et al., 2022). En outre, des études d'imagerie par résonance fonctionnelle (IRMf) ont observé que les musiciens présentent des différences fonctionnelles dans le système limbique, montrant une activité accrue dans les zones fronto-insulaires et cingulaires (Brattico et al., 2016). Cela suggère que la formation musicale peut être associée à des avantages dans le domaine émotionnel. Il est important de comprendre si la formation musicale peut également modifier la



perception du traitement audiovisuel, parallèlement au traitement des émotions faciales et auditives.

Le phénomène de plasticité neuronale résultant de la formation musicale a encouragé la recherche sur l'intégration multisensorielle (Landry & Champoux, 2017). Les auteurs Weijkamp et Sadakata (2016) ont étudié la manière dont les musiciens perçoivent les stimuli audiovisuels dans une tâche d'inhibition émotionnelle de Stroop contenant des émotions joyeuses, neutres et tristes. Les résultats ont montré que les musiciens étaient meilleurs que les non-musiciens pour identifier les émotions auditives et visuelles, ce qui suggère que la formation musicale affecte le traitement des informations audiovisuelles. Ils indiquent également que les émotions suscitées par les stimuli musicaux peuvent affecter la perception des émotions dans d'autres modalités sensorielles.

L'étude d'Invitto et de ses collègues (2017) a examiné l'impact du traitement perceptif intermodal sur la reconnaissance affective des visages, en explorant spécifiquement l'influence des stimuli musicaux de fond sur la reconnaissance des expressions faciales de bonheur, de peur et de neutralité. En outre, ils ont étudié comment cette modulation varie en fonction de la saillance émotionnelle et des niveaux d'expertise musicale. Tout d'abord, l'émotion intermodale fait référence à l'interaction de différentes modalités sensorielles, telles que le son et les images, dans la formation des réponses émotionnelles. En incorporant des éléments visuels, tels que des vidéos musicales ou des spectacles en direct, les musiciens peuvent renforcer l'impact émotionnel de leur musique (Poria et al., 2017). Cette analyse chez les musiciens explore la manière dont les différentes entrées sensorielles interagissent pour évoquer et exprimer les émotions. Leur enquête révèle des perspectives intrigantes, indiquant que la musique interagit de manière complexe avec la saillance émotionnelle, entraînant un retard dans le temps de réaction

et suggérant un engagement émotionnel accru dans le contexte musical. Cette étude souligne la nature dynamique de la perception, en montrant comment les stimuli auditifs influencent de manière significative l'interprétation des expressions faciales.

En outre, l'étude de Invitto et collaborateurs (2017) met en évidence la facilitation de l'intégration multimodale, particulièrement prononcée chez les musiciens, car les individus traitent simultanément des informations provenant de différents canaux sensoriels. En outre, la recherche souligne le rôle central de l'évaluation musicale dans la reconnaissance faciale, en mettant l'accent sur l'interaction multimodale entre les modalités auditives et visuelles dans le traitement des émotions. Notamment, les participants ont tendance à attribuer la tonalité émotionnelle de la musique aux visages qu'ils observent, ce qui indique un biais intermodal émotionnel distinct. Ce biais souligne l'interconnexion complexe du traitement émotionnel entre les modalités sensorielles et met en évidence l'impact profond de la musique sur la perception des expressions faciales. En outre, les différences individuelles en matière d'expertise musicale apparaissent comme des facteurs significatifs, les participants possédant des niveaux plus élevés de ces caractéristiques présentant des biais intermodaux plus importants (Proverbio et al., 2020). Ces résultats soulignent l'interaction nuancée entre les caractéristiques individuelles et les processus d'intégration sensorielle, mettant en lumière les complexités de la perception émotionnelle. Toutefois, les résultats obtenus dans l'étude reposent sur une exposition continue des participants à des stimuli musicaux, ce qui a créé une certaine confusion quant aux effets de la musique de fond (Kampfe et al., 2011) et pourrait conduire à une interprétation erronée des résultats. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour étudier comment le paradigme du jugement audiovisuel d'informations congruentes et incongrues peut être manipulé afin de

mieux comprendre l'impact de l'apprentissage musical. Cette étude vise à proposer et à mener une telle recherche.

## **1.4. Compétence émotionnelle et musique**

L'impact de la pratique musicale sur la perception émotionnelle peut aller au-delà de la simple perception émotionnelle et atteindre le domaine de la compétence émotionnelle (Miendlazarzewska & Trost, 2013). La compétence émotionnelle fait référence à la capacité de reconnaître, de comprendre et de gérer efficacement ses propres émotions ainsi que celles des autres (Brasseur et al., 2013). L'expertise musicale, quant à elle, fait référence au niveau élevé de compétence et d'habileté dans l'exécution ou dans la composition musicale (Alzina & Escoda, 2007). La relation entre la compétence émotionnelle et l'expertise musicale est un sujet intrigant qui a attiré l'attention des chercheurs ces dernières années.

Les recherches indiquent que la compétence émotionnelle et l'expertise musicale peuvent être positivement corrélées. Cela peut être dû aux exigences émotionnelles de la performance musicale et au lien étroit que les musiciens développent avec leur art (Mayer et al., 2000). Grâce à la musique, les musiciens apprennent à réguler leurs émotions, ce qui se traduit par une amélioration générale de la qualité de leur travail. Au fur et à mesure que les musiciens acquièrent de l'expérience, leur compétence émotionnelle s'approfondit, ce qui leur permet de créer des interprétations profondes et émouvantes qui trouvent un écho chez les auditeurs (Mayer et al., 2000). En outre, la musique a une capacité unique à susciter des émotions chez les auditeurs, et les personnes ayant une expertise musicale peuvent avoir une plus grande capacité à comprendre et à interpréter ces signaux émotionnels de la musique (Dellacherie et al., 2011). En

outre, la formation et la pratique musicales peuvent améliorer la compétence émotionnelle en favorisant l'autoréflexion, l'empathie et les compétences de régulation émotionnelle.

La variabilité des résultats de recherche concernant la question de savoir si les musiciens ont une compétence émotionnelle supérieure peut être attribuée aux différences de méthodologies, de populations étudiées et d'objectifs de recherche dans les diverses études. Alors que certaines études indiquent que les musiciens peuvent faire preuve de compétences socio-émotionnelles supérieures à celles des non-musiciens, d'autres recherches présentent des perspectives contradictoires. Ainsi, les activités musicales ont également un impact sur les compétences émotionnelles.

L'étude de Ros-Morente et al. (2019) s'est penchée sur l'examen des différences entre les musiciens et les non-musiciens dans diverses variables mesurées, suggérant un lien potentiel entre l'engagement musical et le développement des compétences émotionnelles. Cette recherche a probablement consisté à comparer les compétences émotionnelles, telles que la capacité à reconnaître, à exprimer et à réguler les émotions, entre les individus avec et sans formation musicale. Les conclusions de Ros-Morente et al. (2019) pourraient avoir éclairé la façon dont la formation musicale ou la participation à des activités musicales peut influencer le développement des compétences émotionnelles. Les musiciens qui sont régulièrement engagés dans la création et l'interprétation de la musique peuvent présenter une expression émotionnelle, une empathie et des interactions sociales améliorées par rapport aux non-musiciens.

Dans l'étude menée par Macdonald et Wilbiks (2021) a examiné comment la formation musicale chez les étudiants de premier cycle pouvait affecter leurs relations interpersonnelles. La recherche a révélé que si le fait d'être musicien n'améliore pas nécessairement la qualité des relations, il peut contribuer à réduire les conflits qui peuvent survenir au cours des interactions.

Cette étude a principalement consisté à évaluer les capacités de résolution des conflits et la dynamique interpersonnelle des étudiants avec et sans formation musicale afin de déterminer comment l'expertise musicale pouvait influencer la gestion des conflits au sein des relations.

Les études menées sur la relation entre la musique et la compétence émotionnelle suggèrent que cette association est influencée par divers facteurs. Il n'est donc pas toujours possible de tirer des conclusions directes. Par exemple, les divers résultats de ces études mettent en évidence l'interaction complexe des facteurs individuels, familiaux et environnementaux qui contribuent à la compétence socio-émotionnelle. Il est donc difficile de déterminer si les musiciens possèdent intrinsèquement de meilleures compétences socio-émotionnelles que les non-musiciens. Des recherches supplémentaires sont donc nécessaires pour comprendre la relation entre l'apprentissage de la musique et le développement des compétences émotionnelles.

Actuellement, le seul moyen d'évaluer la compétence émotionnelle chez les individus musicalement alphabétisés est de recourir à des instruments de mesure comportementaux, comme les questionnaires. Les auteurs Ros-Morente et ses collègues (2019) ont utilisé l'Emotional Development Questionnaire (EDQ ; López & Pérez-Escoda, 2014), qui évalue la conscience émotionnelle, la régulation émotionnelle, l'autonomie émotionnelle, la compétence sociale et le bien-être. L'équipe de M. Mikolajczak a mis au point le Profil de Compétence Émotionnelle (PEC), qui comporte des aspects intrapersonnels et interpersonnels. Le PEC évalue la compétence émotionnelle, qui comprend l'identification des émotions, l'expression des émotions d'une manière socialement acceptable, la compréhension des causes et des conséquences des émotions, la régulation des émotions dans des situations où elles peuvent ne pas être appropriées, et l'utilisation des émotions pour améliorer la prise de décision et les actions. Il est important de noter que dans ce contexte, nous utilisons le terme « compétence

émotionnelle » plutôt que « intelligence émotionnelle », car nous sommes d'accord avec

## **1.5. Objectifs et hypothèses**

En considérant les résultats des études présentés précédemment, l'objectif de ce mémoire est d'explorer l'influence de l'apprentissage de la musique sur l'inhibition et la reconnaissance des émotions, ainsi que des rôles des compétences émotionnelles. À cette fin, nous cherchons à étudier s'il existe un lien entre l'expérience musicale et notre capacité à reconnaître et à interpréter les émotions transmises par des stimuli audiovisuels. En complément, nous explorons l'influence possible de l'expérience musicale sur la compétence émotionnelle des individus, qui englobe leur capacité générale à comprendre, réguler et exprimer leurs émotions.

Nous avons formulé trois hypothèses. La première hypothèse est que les participants musiciens obtiendront un taux de précision plus élevé dans la reconnaissance des émotions faciales et auditives que les non-musiciens. Nous avons donc prédit que cela pourrait être dû au fait que les musiciens ont une meilleure capacité d'inhibition en ignorant les stimuli distrayants, ce qui leur permettrait d'avoir un meilleur taux de réponse que les non-musiciens. La deuxième hypothèse est que les musiciens auront une plus grande inhibition émotionnelle grâce à un temps de réponse plus court que les non-musiciens. Nous avons aussi prédit que cela pourrait être dû au fait que les musiciens acquièrent une meilleure capacité d'inhibition en reconnaissant les stimuli corrects plus rapidement, ce qui leur permettrait d'avoir un temps de réaction plus court que les non-musiciens. La dernière hypothèse est que l'apprentissage de la musique peut améliorer les compétences émotionnelles, de sorte que les musiciens obtiendront un score global plus élevé au questionnaire que les non-musiciens. Nous avons prédit que cela se produira parce que la formation musicale peut contribuer à améliorer les compétences émotionnelles, y compris la

capacité à reconnaître et à exprimer efficacement les émotions. Pour tester nos hypothèses, nous avons créé deux tâches auxquelles les deux groupes de participants (musiciens et non-musiciens) ont répondu, ainsi que le questionnaire d'évaluation du profil de compétence émotionnelle (PEC). Dans le cas de la première tâche comportementale, il s'agissait de la reconnaissance émotionnelle d'informations visuelles sur des visages. Dans le cas de la seconde tâche, il s'agissait de la reconnaissance émotionnelle d'informations musicales auditives.

**Chapitre 2 – Article: Study on the impact of music learning on audiovisual emotional inhibition and recognition: a behavioural approach.**



# **Study on the impact of music learning on audiovisual emotional inhibition and recognition: a behavioural approach.**

Oliveira B<sup>1,2,3</sup>, Richard, M.A<sup>1,2,3</sup>, Rigoulot S<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Department of Psychology, University of Montreal, Montreal, Quebec, Canada

<sup>2</sup> International Laboratory for Brain, Music and Sound Research BRAMS, Montreal, Quebec, Canada

<sup>3</sup> Centre for Research on Brain, Language and Music – CRBLM, Montreal, Quebec, Canada

<sup>4</sup> Department of Psychology, University of Quebec in Trois-Rivières, Quebec, Canada

## **Author Note**

Correspondence concerning to this article should be addressed to Simon Rigoulot, Department of Psychology, Université du Québec à Trois-Rivières, Trois-Rivières, E-mail: [simon.rigoulot@uqtr.ca](mailto:simon.rigoulot@uqtr.ca)

## 2.1. Abstract

Humans, being social creatures, rely on interpreting emotions during communication. This process is closely linked with the way music affects emotional processing. Even with acknowledging the emotional impact of music, understanding how musical expertise affects emotional recognition and inhibition remains a challenge. This study explores the intersection of musical expertise and emotional processing in communication, focusing on emotional recognition and inhibition in response to audiovisual stimuli (faces and music) and emotional competence. A group of 42 adults between 18 and 30, split into musicians and non-musicians, participated in the study by undergoing emotional audiovisual tasks featuring different emotions. Emotional recognition and inhibition were analyzed using an emotional go/no-go paradigm, and the Profile of Emotional Competence questionnaire was used to evaluate emotional competence. The results from repeated-measures ANOVA indicated that the type of emotional task influenced accuracy but not significantly by musical training. However, musicians demonstrated superior recognition of emotions in facial and musical stimuli. Reaction time was slower for music-focused tasks, with cognitive and musical experience factors playing a role in the variance. Related to emotional competence, the t-test between groups revealed that musical expertise does not influence on it. The findings suggest that musical expertise relates to enhanced emotional processing abilities in specific tasks rather than overall emotional processing. Therefore, further investigations are necessary using other approaches to measure musical expertise and emotional inhibition processing. The study underscores the importance of cognitive factors, such as task focus and attention, in emotional recognition and response speed, with broader implications for fields like psychology and music therapy.

*Keywords: musical expertise. emotions. emotional inhibition. emotional competence.*

## 2.2. Introduction

### 2.2.1. Music and neuroplasticity

Music is a medium that is universally appreciated, evoking joy and fostering social connections (North et al., 2004; Pereira et al., 2011). Beyond mere entertainment, it is a powerful form of communication, transcending linguistic barriers (MacDonald, 2021). This communicative potential is particularly evident in therapeutic settings, where music aids individuals, including those with conditions like Rett syndrome, to express themselves (Smetana, 2023).

Moreover, music's impact extends to various domains of human experience, including psychological, behavioural, and physiological aspects (Juslin, 2019). Research has consistently highlighted its positive effects on psychological well-being, with participation in music-related activities linked to increased happiness and reduced stress levels (Packer & Ballantyne, 2011). Furthermore, music's ability to alter perceptions of effort during exercise and reduce stress markers underscores its therapeutic potential (Stork et al., 2019; Witte et al., 2019). From infancy, humans demonstrate a natural inclination towards music, indicating its profound influence on development (Peretz, 2018; Winkler, 2009; Kushnerenko, 2001). Exposure to music from a young age enhances musical and social skills and fosters cognitive development (Gerry et al., 2012; Guhn et al., 2020).

Understanding music's profound impact on human development necessitates exploring the concept of neuroplasticity—the brain's ability to reorganize itself in response to stimuli (Olszewka et al., 2021). As a particularly enriching stimulus, music induces structural and functional changes in various brain regions (Criscuolo, 2021; Zatorre et al., 2007). These changes are evident in musicians, who exhibit higher neuroplasticity levels than non-musicians

( Schlaug et al., 2005). Longitudinal studies have shown that musical training from an early age can lead to enduring neuroplastic changes, highlighting the transformative potential of music education (Habibi et al., 2018).

Furthermore, the research underscores music's role in enhancing auditory processing, cognition, and even brain structure among musicians (Sanju & Kumar, 2016; Rodrigues et al., 2010; Gaser & Schlaug, 2003). Functional changes observed in musicians suggest that music-induced neuroplasticity extends beyond mere auditory processing to influence various cognitive processes (Musacchia et al., 2007; Rodrigues et al., 2010).

The interplay between music and neuroplasticity offers profound insights into human development and cognitive function. Understanding this relationship not only enriches our understanding of brain adaptability but also holds promising implications for utilizing music-based interventions to enhance cognitive function and promote neuroplasticity across diverse populations (Moreno-Morales et al., 2020; Schlaug, 2015; Dittinger et al., 2017; Trainor et al., 2009).

### 2.2.2. Inhibition

Inhibition, the ability to suppress dominant immediate responses, is fundamental to various cognitive functions, including attention, behaviour, thoughts, and emotions (Hennessy et al., 2019; Diamond, 2013). It encompasses self-control, resistance to temptations, and refraining from impulsive actions, alongside interference control involving selective attention and cognitive inhibition, facilitating the suppression of irrelevant information and adaptation to changing situations (Diamond, 2013).

The go/nogo paradigm is widely utilized for assessing inhibition and response execution processes (Blommaert et al., 2019). This paradigm not only aids in understanding cognitive control, conflict monitoring, and executive functions but also sheds light on motor execution (Breitling-Ziegler et al., 2021; Dillo et al., 2010). Within the Go/NoGo paradigm, inhibition involves the cognitive process of restraining a dominant response to specific stimuli, termed NoGo stimuli, highlighting inhibitory control capacity (Verbruggen & Logan, 2008). Conversely, execution in this framework demands quick and accurate responses to another set of stimuli termed Go stimuli, typically eliciting rapid reactions (Blommaert et al., 2019). Thus, this paradigm proves valuable in exploring the interaction between proactive and reactive inhibition of action, elucidating participants' immediate need to execute or suspend a planned action based on the attributes of target stimuli (Ficarella et al., 2021).

Studies have revealed disparities in the neural mechanisms underlying response execution and inhibition between visual and auditory go/nogo paradigms (Nakata et al., 2016). An EEG study by Nakata and colleagues (2016) highlighted distinct neural patterns related to response execution and inhibition, including the N2 component associated with cognitive processes such as conflict monitoring, error detection, and response inhibition, and the P3 component linked to functions like attention allocation, working memory, and decision-making. These patterns vary depending on whether individuals are exposed to visual or auditory stimuli, underscoring the brain's adoption of diverse execution and inhibition mechanisms based on sensory modalities. Understanding these neural nuances is crucial for comprehending the specific variations of these processes within the framework of our study. Having emphasized the importance of inhibition in cognitive processes, we will now investigate the potential impact of music on this capacity, considering its ability to induce neuroplastic effects.

The interaction between music and inhibition has been a subject of intense investigation, particularly in exploring how musical education might impact inhibitory control. Various studies have delved into this connection, revealing potential enhancements in inhibitory control among children engaged in musical training compared to those in other extracurricular activities or with no extracurricular involvement (Hennessy et al., 2019; Degé, 2021). Additionally, neuroimaging studies have shed light on the neural mechanisms associated with inhibitory control in musically trained children, suggesting alterations in brain activation patterns compared to peers engaged in different activities (Hennessy et al., 2019). Moreover, research has hinted at broader cognitive benefits of musical education, such as improved working memory, cognitive flexibility, and verbal fluency (Zuk et al., 2015; Di Mauro et al., 2018). However, discrepancies in findings persist within the literature, with some studies reporting no significant differences in inhibitory control between musicians and non-musicians (Winston et al., 2022). These inconsistencies may arise from variations in defining "musicians" and differences in the extent and type of musical training received. Hence, while evidence suggests a potential influence of musical education on cognitive functions, further refinement in participant selection and methodological rigour is warranted to elucidate the full extent of these effects, particularly into adulthood.

### 2.2.3. Emotion

Emotions pervade human existence, shaping social interactions and communication (Blais et al., 2017; Schirmer & Adolphs, 2017). From early childhood, individuals can identify their own and others' emotions, facilitating communication and fostering socio-emotional development (Seidenfeld et al., 2014; Cunningham et al., 2009; Izard et al., 2001; Trentacosta & Izard, 2007).

Facial expressions serve as primary vehicles for emotional expression, crucial for conveying emotions universally and across cultures (Ekman et al., 1987). Ekman's pioneering work on the Universal Theory of Emotions suggests innate recognition of basic or primary emotions, such as anger, fear, happiness, sadness, disgust, and surprise, transcending cultural boundaries (Ekman & Friesen, 1971). According to this theoretical perspective, emotional processing occurs automatically, independent of contextual or instructional cues (Ekman & Cordaro, 2011).

Contrarily, alternative theoretical perspectives propose that emotions are not universally recognized but depend on linguistically and culturally constructed conceptual frameworks (Gendron et al., 2014). While the Universal Theory of Emotions continues to influence contemporary models of emotional processes, newer frameworks like the Component Process Model (Scherer, 2009; Sander et al., 2005) and the Constructed Emotion Theory (Barrett, 2012; Gendron et al., 2012) advocate for the constructionist view of emotional processes. Unfortunately, much of the experimental work underpinning these models predominantly employs visual stimuli, limiting the generalizability of the findings.

Beyond visual stimuli, various types of sounds convey emotional information, with music being a prominent example. Music communicates emotional content through its acoustic components, including melody, pitch, rhythm, and timbre (Limer, 2017). Mainly, timbre and pitch play significant roles in auditory stimuli's perception of emotional valence and intensity (Juslin & Laukka, 2003). Thus, music's perception and induction of emotions involve complex processes, emphasizing the importance of understanding how individuals interpret and respond to emotional cues in musical contexts.

The complex interaction between emotion and inhibition has garnered significant attention owing to their pivotal roles in human behaviour regulation. Numerous studies consistently illustrate how emotional states profoundly influence an individual's capacity to restrain impulses and regulate conduct (Inzlicht et al., 2015; Wang et al., 2012). For instance, Schoenbaum et al. employed the Emotional GO/NO-GO task, a variant of the traditional go/no-go paradigm, to assess the impact of emotion on inhibitory control. In this task, participants were presented with emotionally laden stimuli, such as images of faces displaying joy or anger. They were required to respond or refrain from responding based on the emotional content of the stimulus. Findings revealed improved reaction times and accuracy when the emotional cue matched the needed response, highlighting emotion's facilitating role in inhibitory control (Heim & Keil, 2012).

Further in-depth investigations by Kanske and Kotz (2010) into the neural mechanisms underlying the interaction between emotion and inhibition identified the amygdala and prefrontal cortex—key regions in emotion processing—as active during inhibitory control tasks, suggesting a complex interplay. Moreover, these results suggest that individuals with heightened emotional reactivity, indicated by increased amygdala reactivity, exhibit enhanced inhibitory performances. In summary, existing literature supports a nuanced relationship between emotion and inhibition, with neural correlates such as amygdala and prefrontal cortex activity playing crucial roles in this relationship (Song et al., 2017). This relationship holds particular significance in music, where the emotional qualities of musical elements intersect with inhibitory control processes. Exploring this intersection among emotion, inhibition, and music represents a promising avenue for future research into the cognitive and emotional effects of music.



#### 2.2.4. Emotional inhibition and musical expertise

Understanding and regulating emotions are crucial aspects of human cognition, with emotion perception and inhibition playing significant roles in these processes (Hou et al., 2017). Musical expertise adds another layer of complexity to these processes (Wang et al., 2012), involving mastery of technical skills and profound understanding and sensitivity to musical expression. Each musician uniquely expresses and interprets emotions through music, influenced by personality traits, cognitive abilities, and life experiences (Smith et al., 2017; Johnson & Chang, 2015). The ability to convey emotions through musical performances entails a delicate balance between technical competence and personal sensitivities (Hou et al., 2017).

Research consistently demonstrates that individuals with musical expertise possess heightened abilities in perceiving and interpreting emotions conveyed through music (Sachs et al., 2018). This advanced skill may be attributed to multimodal processing, wherein various sensory inputs, including auditory and visual cues such as melody, rhythm, and musicians' expressions, are integrated to form a cohesive perception (Koelsch, 2010).

Furthermore, research suggests that the neural mechanisms underlying emotional inhibition in musicians may differ from those in non-musicians (Hou et al., 2017). A study conducted by Smith et al. (2005) found that musicians exhibit higher levels of prefrontal cortex activation during emotional inhibition tasks than non-musicians. The prefrontal cortex is a brain region associated with cognitive control and emotion regulation. These findings suggest that musical training may enhance emotional regulation skills and the ability to inhibit emotional responses. Additionally, several studies have indicated that emotional inhibition in musicians may also play a significant role in their ability to perceive emotions in others. For example, Johnson et al. (2015) found that musicians could identify and perceive emotions in others more

accurately than non-musicians. Research by Lima and Castro (2011) supports this assertion, indicating that musicians are more accurate in recognizing emotions expressed through prosodic speech (i.e., tone of voice), including anger, disgust, fear, happiness, sadness, and surprise. These findings suggest that the neurocognitive mechanisms involved in prosodic emotion processing are sensitive to long-term musical training, implying that emotional processing resources may be shared between music and the human voice.

According to a study by Croom (2012), individuals with significant musical training demonstrate greater accuracy in recognizing and interpreting various emotions conveyed by music. Studies have shown that different brain activity patterns in musicians, particularly in the auditory cortex, are associated with more efficient auditory processing (Almudena et al., 2021; Angulo-Perkins et al., 2014). This may enable musicians to more easily recognize musical and vocal emotions (Correia et al., 2022). Furthermore, functional magnetic resonance imaging (fMRI) studies have observed functional differences in the limbic system among musicians, showing increased activity in fronto-insular and cingulate areas (Brattico et al., 2016). This suggests that musical training may be associated with emotional advantages. It is essential to understand whether musical training can also alter the perception of audiovisual processing alongside facial and auditory emotion processing.

The neuronal plasticity resulting from musical training has spurred research on multisensory integration (Landry & Champoux, 2017). Authors Weijkamp and Sadakata (2016) investigated how musicians perceive audiovisual stimuli in an emotional Stroop inhibition task containing joyful, neutral, and sad emotions. Results showed that musicians outperformed non-musicians in identifying auditory and visual emotions, suggesting that musical training affects

audiovisual information processing. They also indicate that emotions elicited by musical stimuli can influence the perception of emotions in other sensory modalities.

Invitto et al.'s study (2017) examined the impact of crossmodal perceptual processing on facial expression recognition, specifically exploring the influence of background musical stimuli on the recognition of happiness, fear, and neutral facial expressions. Additionally, they studied how this modulation varies based on emotional salience and levels of musical expertise.

Crossmodal emotion refers to the interaction of different sensory modalities, such as sound and images, in shaping emotional responses. By incorporating visual elements such as music videos or live performances, musicians can enhance the emotional impact of their music (Poria et al., 2017). This analysis of musicians explores how different sensory inputs interact to evoke and express emotions. Their inquiry reveals intriguing perspectives, indicating that music interacts complexly with emotional salience, resulting in delayed reaction times and suggesting increased emotional engagement in the musical context. This study underscores the dynamic nature of perception, demonstrating how auditory stimuli significantly influence facial expression interpretation.

Furthermore, Invitto et al.'s study (2017) highlights the facilitation of multimodal integration, particularly pronounced in musicians, as individuals process information from different sensory channels concurrently. Additionally, research underscores the central role of musical appraisal in facial recognition, emphasizing multimodal interaction between auditory and visual modalities in emotion processing. Participants tend to attribute the emotional tone of the music to the faces they observe, indicating a distinct crossmodal emotional bias. This bias underscores the complex interconnection of emotional processing between sensory modalities and highlights music's profound impact on facial expression perception. Furthermore, individual

differences in musical expertise emerge as significant factors, with participants possessing higher levels of these characteristics exhibiting more pronounced crossmodal biases (Proverbio et al., 2020). These findings highlight the nuanced interaction between individual traits and sensory integration processes, shedding light on the complexities of emotional perception. However, the results obtained in the study rely on participants' continuous exposure to musical stimuli, which has created some confusion regarding the effects of background music (Kampfe et al., 2011) and could lead to misinterpretation of results. Further research is needed to explore how the audiovisual judgment paradigm of congruent and incongruent information can be manipulated to understand the impact of musical learning better. This study aims to propose and conduct such research.

### 2.2.5. Emotional competence and music

The impact of musical practice on emotional perception extends beyond mere emotional awareness to encompass emotional competence (Miendlarzewska & Trost, 2013). Emotional competence refers to the ability to recognize, understand, and effectively manage one's emotions and those of others (Brasseur et al., 2013). Musical expertise, conversely, pertains to a high level of skill and proficiency in musical performance or composition (Alzina & Escoda, 2007). The relationship between emotional competence and musical expertise has recently garnered significant attention from researchers.

Research indicates a positive correlation between emotional competence and musical expertise. This may stem from the emotional demands of musical performance, and the close connection musicians develop with their art (Mayer et al., 2000). Through music, musicians learn to regulate their emotions, improving the quality of their work. As musicians gain

experience, their emotional competence deepens, enabling them to create profound and moving interpretations that resonate with listeners (Mayer et al., 2000). Additionally, music possesses a unique ability to evoke emotions in listeners, and individuals with musical expertise may have a greater capacity to understand and interpret these emotional signals from music (Dellacherie et al., 2011). Furthermore, musical training and practice can enhance emotional competence by fostering self-reflection, empathy, and emotional regulation skills.

The variability in research findings regarding whether musicians have superior emotional competence can be attributed to differences in methodologies, studied populations, and research objectives across various studies. While some studies indicate that musicians may demonstrate superior socio-emotional skills compared to non-musicians, others present contradictory perspectives. Thus, musical activities also impact emotional competence.

The study by Ros-Morente et al. (2019) examined differences between musicians and non-musicians in various measured variables, suggesting a potential link between musical engagement and the development of emotional competence. This research likely involved comparing emotional competence, such as the ability to recognize, express, and regulate emotions, between individuals with and without musical training. The conclusions of Ros-Morente et al. (2019) could have shed light on how musical training or participation in musical activities influences the development of emotional competence. Musicians regularly creating and interpreting music may exhibit enhanced emotional expression, empathy, and social interactions compared to non-musicians.

In contrast, the study conducted by Macdonald and Wilbiks (2021) examined how musical training among undergraduate students could affect their interpersonal relationships. The research revealed that while being a musician does not necessarily improve the quality of

relationships, it may reduce conflicts arising during interactions. This study primarily assessed students' conflict resolution abilities and interpersonal dynamics with and without musical training to determine how musical expertise could influence conflict management within relationships.

Studies on the relationship between music and emotional competence suggest that this association is influenced by various factors, making direct conclusions challenging. For example, the diverse outcomes of these studies highlight the complex interaction of individual, familial, and environmental factors contributing to socio-emotional competence. Therefore, it is difficult to determine if musicians inherently possess better socio-emotional skills than non-musicians. Further research is needed to understand the relationship between music learning and the development of emotional competence.

Currently, the only way to assess emotional competence in musically literate individuals is through behavioural measurement instruments, such as questionnaires. Authors Ros-Morente and colleagues (2019) utilized the Emotional Development Questionnaire (EDQ; López & Pérez-Escoda, 2014) to evaluate emotional awareness, emotional regulation, autonomy, social competence, and well-being. M. Mikolajczak's team developed the Emotional Competence Profile (ECP), which encompasses intrapersonal and interpersonal aspects. The ECP assesses emotional competence, including identifying emotions, expressing emotions in socially acceptable ways, understanding the causes and consequences of emotions, regulating emotions in situations where they may not be appropriate, and using emotions to improve decision-making and actions. It is important to note that in this context, we use the term "emotional competence" rather than "emotional intelligence," as we agree with Brasseur and colleagues (2013) that this competence can be learned and developed.

## 2.3. Current study

This study aimed to explore the influence of music learning on emotion inhibition and recognition and the roles of emotional competence. Three hypotheses were formulated:

1) Musicians will have a higher facial and auditory emotion recognition accuracy than non-musicians. 2) Musicians will have greater emotional inhibition thanks to a shorter response time than non-musicians. 3) Music learning can improve emotional competence, so musicians score higher overall on the questionnaire than non-musicians. To evaluate these hypotheses, two tasks were administered to both groups of participants (musicians and non-musicians): identifying emotions from visual facial expressions and auditory musical data. Additionally, all participants completed an emotional competence profile assessment questionnaire.

## 2.3. Methods

### 2.3.1. Participants

Forty-two participants were recruited and selected according to their musical skills. Twenty-one musicians (16 women, 5 men; mean age = 24.86 years; SD =  $\pm$  3.56) were compared to 21 non-musicians (13 women, 8 men; mean age = 23.29 years; SD =  $\pm$  2.72). For group classification, we considered musicians, those participants with at least five years of formal study of a musical instrument (mean years of study music = 9.7 years; SD =  $\pm$  4.72) and non-musicians, those participants with less than two years of study of a musical instrument (mean years of study music = 0.5 years; SD =  $\pm$  1.67). To further characterize the musician group, we used additional variables such as the type of musical instrument, formal musical training, number of years of musical training, frequency of musical practice, age at which they started playing a

musical instrument and whether or not they play a musical instrument. Refer to Table 1 for further details about this group.

**Table 1.** *Descriptive statistics by group*

Group	Age		Years of musical experience		Frequency of musical practice		Age of starting to learn music		Play a musical instrument	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Count	Proportion
musician	24.85	3.56	9.61	4.73	2.71	2.1	8.42	2.92	21	1
nonmusician	23.28	2.72	0.14	0.35	0.28	0.9	4.14	6.9	3	0.14

*Note.* This table presents the means and standard deviations (SD) for age, years of musical experience, frequency of musical practice (days per week), and age of starting to learn music for musicians and non-musicians. It also includes the count and proportion of individuals who play a musical instrument in each group. All musicians in the participant group play at least one musical instrument; none are classified as musicians due to singing in a choir. The instruments practiced by the musicians include violin, trumpet, saxophone, clarinet, viola, cello, french horn, guitar, harmonium, flute, ukulele, and oboe.

The inclusion criteria for each group were to be between 18 and 30 years old and have sufficient proficiency in English or French because the questionnaire instructions and the audiovisual task were presented in these languages. The exclusion criteria for each group were the presence of diagnosed neurological or psychological disorders, use of drugs or medication known to affect the brain (for example, antidepressants and psychostimulants), and presence of uncorrected motor, visual, or hearing deficits.

Participants were recruited by publishing ads in student Facebook groups and posting posters in the Université de Montréal Music Faculty. The recruitment poster mentioned investigating the effect of music learning on emotion perception through a behavioural task. In addition, there was information that the study would take place in two sessions (2 hours per session), which allowed the participant to receive financial compensation of 10 dollars per hour. All participants signed a consent form, and the study was conducted at the Université de Montréal (June to September 2022). The local ethics committee approved the study (CEREP-21-



113-D).

## 2.3.2. Materials

### 2.3.2.1. Stimuli

Two types of stimuli were used to perform an audiovisual task: facial expressions and instrumental musical sounds. A) Faces expressing fear, happiness, and sadness were captured in 72 emotional portraits. There were 24 faces for each emotion, with an even distribution of sex and ethnicity from the NimStim database (Tottenham et al., 2009). The stimuli were chosen based on the percentage of facial recognition of expressions with open or closed mouths. As a result, stimuli that showed happiness ( $M = 0.98$ ;  $SD = \pm 0.02$ ) and fear ( $M = 0.73$ ;  $SD = \pm 0.12$ ) with the mouth open and sadness with the mouth closed ( $M = 0.83$ ;  $SD = \pm 0.16$ ) were selected with a higher rate of accuracy. B) In total, 60 instrumental sounds were selected to express various emotions, including fear, joy, and sadness. The music selected was obtained from a standardized database (Vieillard et al., 2008) and consisted of 30 Bosendorfer (with a mean length of 1.54 meters;  $SD$  of  $\pm 0.16$ ) and 30 violins (length means = 1.50 meters;  $SD = \pm 0.16$ ) musical excerpts.

### 2.3.2.2. Questionnaires

#### 2.3.2.2.1. Sociodemographic questionnaires

A sociodemographic questionnaire was used to collect descriptive data such as age, sex, gender, levels of education, principal occupation, and primary and second languages. We also used this questionnaire to obtain information about the musical experience to define the participants' group (e.g., years of musical training and how often a week the musician plays the instrument) and to evaluate the study's inclusion criteria.

#### *2.3.2.2.2. Profile of Emotional Competence (PEC)*

We used the Profile of Emotional Competence (PEC; Brasseur et al., 2013) to measure participants' emotional competence. This validated self-reported questionnaire is designed to align with the dimensions of emotional competence theory, specifically evaluating the identification, understanding, expression, regulation, and use of emotions. The participants answered 50 items using a Likert scale of 1 to 5. For example, in item 30, "I can easily know how others feel," participants should choose one if they strongly disagree (e.g., about the ease of knowing how others feel) and five if they strongly agree with the scale item (e.g., about the comfort of knowing how others feel). For the francophone participants, the translated and validated version was used (PEC in French, Brasseur & Mikolajczak, 2012).

#### *2.3.2.3. Behavioral tasks*

The emotional go/no-go paradigm was used to create tasks in which emotional information, measured by a decision-making process and inhibition control, is accompanied by a motor response. Thus, two task variants were created: Task 1) Audiovisual emotional face recognition and Task 2) Audiovisual emotional sound recognition.

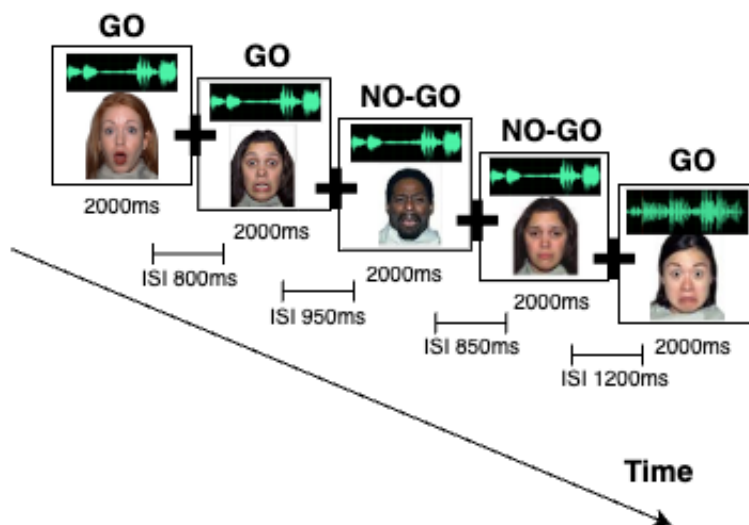
##### *2.3.2.3.1. Task 1: Face emotional recognition*

Task 1 had six blocks with different emotional combinations: happiness - sadness, happiness - fear, sadness - happiness, sadness - fear, fear - happiness, and fear - sadness. Each block asked the participant to identify the target facial emotion (fear, joy, or sadness) so that there were congruent (faces and sounds representing the same emotion) or incongruent (faces and sounds representing different emotions) pairings.

Each block had 136 trials in which faces and emotional sounds were presented simultaneously. In pseudorandom order, 102 trials (75%) were "GO" cues (i.e., target stimuli), and 34 trials (25%) were "NOGO" cues (i.e., distractor stimuli). The amount of congruent and incongruent stimuli was equally distributed (68 congruent and 68 incongruent per block) in each "GO" condition (51 congruent and 51 incongruent) and "NOGO" condition (17 congruent and 17 incongruent) to ensure measurement of the congruence effect. The order of exposure of the task blocks for each participant was randomized. The task has 826 trials, including 10 trials of the training section.

For each block, participants identified the facial expression of one emotion and ignored the others. The instructions were: "In this task, you will see a series of faces that will appear, followed by others. On each side, you will hear instrumental sounds. You must press the space bar as quickly as possible for each facial expression of FEAR/SADNESS/HAPPINESS. You must ignore the other emotions." The task took around 30 minutes to complete (see Figure 1).

**Figure 1.** *Illustration of Task 1 (emotional face recognition)*



*Note.* In the image above, the target stimulus is the facial expression of fear (Go). A facial expression appears on each trial, and an instrumental sound is played. On the first target stimulus (Go), the facial expression and the sound are congruent (both express an emotion of fear). In the

last target stimulus (Go), the facial expression and sound are incongruent (the face is fear, and the sound is sad). Each time the participant sees the target expression of fear, they must press the space bar on the keyboard.

#### *2.3.2.3.2. Task 2: Music emotional recognition*

Task 2 followed the same structure as Task 1: the same combination of emotions and the same number of blocks, stimuli, and trials. The difference is that the participants had to identify the emotion of the musical instrument (target), not the face's visual expression (distractor). The task took around 40 minutes to complete.

### 2.3.3. Procedure

First, participants contacted us, showing interest in participating in the study. After, we sent the sociodemographic and eligibility questionnaire (link available on the LimeSurvey platform) and an identification number. In case of eligibility, we contacted the participant to participate in the study. They were then invited to read and sign an initial information and consent form in which we explained the experiment. Once that was done, the participant responded to the PEC questionnaire on a computer.

At the beginning of the experiment, the participants were asked to sit comfortably on a chair in front of the computer screen at 60 centimetres of distance. They put the earplugs to listen to the instrumental sound.

After the initial instructions, the participants were asked to fixate on a small fixation cross in the center of the screen. At the beginning of each block, there were instructions about the emotional target stimulus (a face or an instrumental sound), which the participant should identify and respond to by pressing the space bar on the keyboard. The stimuli were presented for 2000 ms each, the interstimulus interval (ISI) was 800 to 1200 ms per trial (average of 1000

ms), and the fixation cross was presented between them. Ten training trials were performed to ensure they understood the experiment's goal. To avoid the task-learning effect, the first session was task 1 for some participants; for others, it was task 2. All stimuli were presented using E-Prime 2 software on a computer in the laboratory.

#### 2.3.4. Data analysis plan

The data analysis was conducted using the statistical tool R (R Core Team, 2023) and implemented in RStudio. Before analysis, a thorough data cleaning process was executed, addressing missing values and outliers. Key variables such as age, years of musical experience, and practice hours per week were scaled and centred to ensure comparability.

The analysis focused on two main aspects: 1) the effects of musical training on emotional inhibition, considering the reaction time and accuracy of the responses of musicians and non-musicians, and 2) the effect of musical training on emotional competencies.

For 1, repeated measures analyses of variance (ANOVA) using the “aov()” package were performed to analyze the accuracy in emotional recognition of musical faces and sounds, with intergroup factors of musical experience (musicians, non-musicians) and intragroup factors of type of task (focus on face or music), emotion (happy, sad and fear), emotional inhibition measure (go, no-go) and congruency condition effect (congruent, incongruent). The same analyses on reaction times were done (we only excluded the inhibition measure no-go (as we do not have a reaction time for this condition. In case of an interaction effect, separate analyses of variance (ANOVAs) were conducted for each combination of factors. Post-hoc tests with Bonferroni corrections were performed for significant interactions using the "emmeans" package. The significance threshold was  $p = 0.05$ .

We conducted an additional analysis to investigate the variability in task performance further. Specifically, we examined the relationship between inhibition in visual and musical tasks by analyzing the correlation between the mean accuracies in go and no-go tasks across these domains. To assess this relationship, we used the Pearson correlation coefficient (using the “cor” function from the “stats” package) to compare the mean go task accuracy in the visual domain with the mean no-go task accuracy in the musical domain. The statistical significance of this correlation was evaluated using a Pearson correlation test, with the significance level set at  $\alpha=0.05$ .

In a complementary analysis, we aimed to explore the influence of musical training characteristics on emotional recognition. The analysis utilized the "lm()" package to conduct an analysis of covariance (ANCOVA), wherein the group variable was omitted from consideration. This analysis aimed to investigate the impacts of attentional focus, emotional focus, task type, and task condition on accuracy and RT. Notably, the analysis controlled for three covariates: the number of years of musical practice of the participant, the age at which the participant commenced music learning, and the frequency per week of the participant's musical instrument practice. Post-hoc tests were conducted for significant interactions, with a predetermined significance threshold of  $p = 0.05$ .

For 2, we analyzed the PEC questionnaire using independent t-tests to compare the overall PEC questionnaire score between groups.

## 2.4. Results

The following section presents the study's results, offering a detailed examination of the data collected through a behavioural task and an objective questionnaire. The results are

organized into distinct subsections, beginning with an analysis of the effects of musical training on emotional inhibition, considering the reaction time and accuracy of the response, followed by the effect of musical training on emotional competencies. Each subsection thoroughly explores the observed patterns and statistical outcomes, contributing to a comprehensive interpretation of the study's findings.

#### 2.4.1. Effects of musical training on emotional inhibition

##### 2.4.1.1. Accuracy

A repeated-measures ANOVA showed no significant main group effect on emotional inhibition accuracy,  $F(1, 36) = 0.03$ ,  $p = 0.873$ , suggesting that variations in the group (musicians or non-musicians) did not significantly impact participants' performance overall. Otherwise, we found a significant main effect of focus on accuracy percentages,  $F(1, 36) = 216.78$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .286$ , indicating that varying levels of task (visual or musical) significantly influenced participants' performance. Similarly, a significant main effect of emotion was observed,  $F(1.77, 63.66) = 106.03$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .063$ , suggesting that the manipulation of type of emotion had a notable impact on accuracy percentages. Additionally, a significant main effect of condition was found,  $F(1, 36) = 52.92$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .036$ , indicating the congruence effect significantly influenced participants' accuracy.

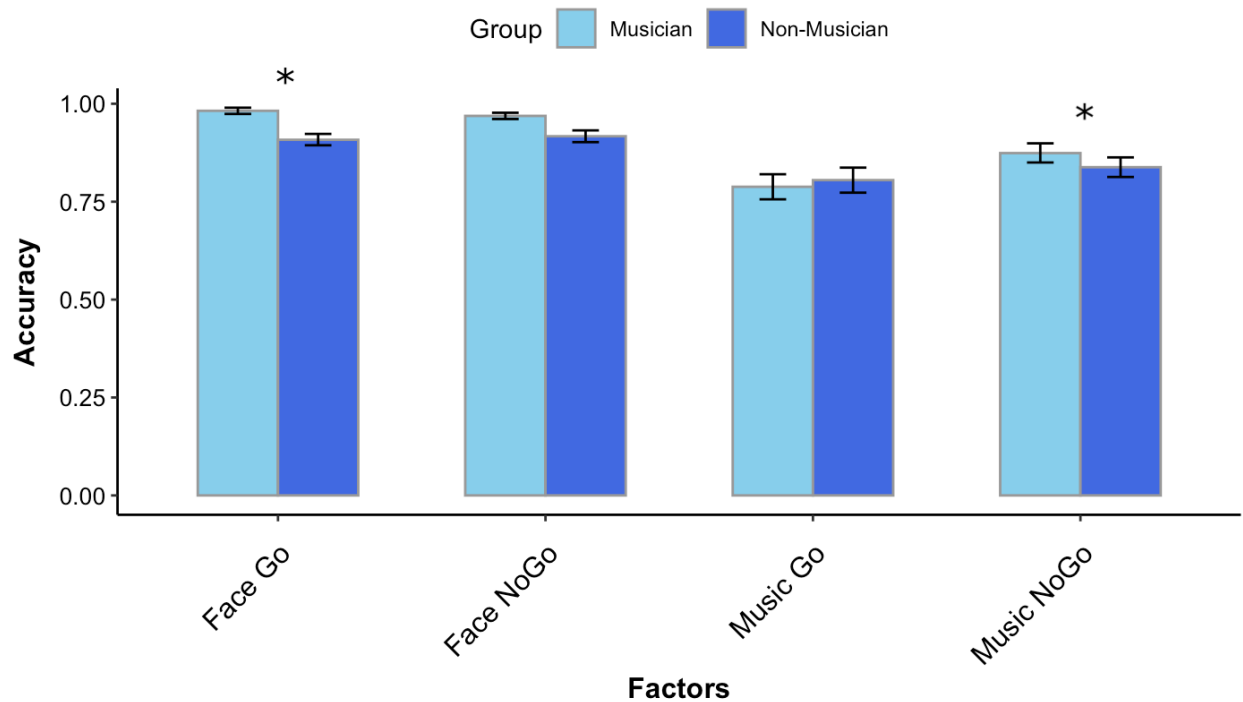
The accuracy rates for musicians and non-musicians were compared across different conditions, as shown in Figure 2. These conditions were categorized by focus (face vs. music) and task (go vs. no-go). The bars represent the mean accuracy for each group, with error bars indicating the standard error. Significant differences between groups are marked with an asterisk (\*). A significant interaction effect was observed between group, focus, and go/no-go factors,  $F(1, 36) = 9.26$ ,  $p = .005$ ,  $\eta^2 = .016$ , indicating that the performance differences between groups

varied depending on the task's focus and go/no-go conditions.

For the interaction between face go condition (a task with facial targets and trials where the participant needs to elicit the response), there was a significant effect of group ( $F(1, 36) = 7.28, p = .002$ ). This suggests that musicians performed better than nonmusicians in this condition. More specifically, in the face nogo condition (a task with facial targets and trials where the participant needs to retain the response), there was no significant effect of group ( $F(1, 36) = 0.91, p = .34$ ). Similarly, in the music go condition (a task with musical targets and trials where the participant need elicity the response), there was no significant effect of group ( $F(1, 36) = 0.77, p = .38$ ). But, for the music nogo condition (a task with musical targets and trials where the participant need retain the response), there was a significant effect of group ( $F(1, 36) = 5.44, p = .0204$ ), indicating that musicians performed better than nonmusicians. Further analysis using the Bonferroni method showed significant differences between musicians and nonmusicians in both the face go ( $p < .0001$ ) and music nogo ( $p < .0001$ ) conditions.



**Figure 2.** Accuracy by focus, go/no-go condition and group



We calculated the Pearson correlation coefficient between the mean accuracies in go and no-go tasks to explore whether inhibition in visual tasks is associated with inhibition in musical tasks. The correlation analysis revealed a weak negative correlation ( $r = -0.173$ ), indicating a slight tendency for better performance in one task to be associated with worse performance in the other. However, this relationship was not statistically significant ( $p = 0.2726$ ), and the 95% confidence interval for the correlation coefficient ranged from -0.453 to 0.138. This suggests no strong evidence supports an association between go and no-go task performance in this sample.

An ANCOVA analysis investigated the factors influencing task performance accuracy while controlling for musical training characteristics. Table 2 summarizes the predictors included in the model and their respective statistical values. The table includes predictors such as focus, emotion, go/nogo, congruence effect, age of starting to learn music, number of years of musical

experience, and frequency of musical practice per week. The linear regression analysis revealed the focus ( $\beta = -0.137$ ,  $p < 0.001$ ), emotion ( $\beta = 0.042$ ,  $p < 0.001$  for happy, and  $p = 0.121$  for sad), and congruence ( $\beta = -0.038$ ,  $p < 0.001$ ) are factors the influence accuracy of the participants. However, the covariates of age of starting to learn ( $p = 0.3$ ), number of years of musical experience ( $p = 0.97$ ), and number of days practicing per week ( $p = 0.4$ ) did not significantly predict accuracy in this context. The Type III ANOVA further confirmed the significance of focus ( $p < 0.001$ ), emotion ( $p < 0.001$ ), and congruence ( $p < 0.001$ ) in explaining the variance in accuracy.

**Table 2.** ANCOVA table for the linear regression model in terms of the accuracy of the responses.

Predictor	Sum Sq	Df	F value	Pr(>F)
(Intercept)	193.911	1	8384.3673	< 0.001
Focus	7.366	1	318.5000	< 0.001
Emotion	0.490	2	10.5868	0.000
Go/Nogo	0.018	1	0.7948	0.373
Congruence effect	0.502	1	21.7082	< 0.001
Age start learn music	0.024	1	1.0539	0.305
Number of years of musical experience	0.000	1	0.0012	0.973
Frequency of musical practice per week	0.011	1	0.4806	0.488
Residuals	36.819	1592	—	—

*Note.* This table summarizes the Type III ANOVA results for the predictors in the linear regression model regarding the accuracy of the responses.

#### 2.4.1.2. Reaction time

The impact of group, focus, emotion type, and congruence condition on participants' reaction times (RT) was investigated using a repeated-measures ANOVA. As shown in Figure 3, reaction times for musicians and non-musicians were compared across conditions categorized by focus (face vs. music), emotion type (fear, happiness, sadness), and congruence (congruent vs. incongruent). The lines represent the mean RT for each focus and condition, with error bars

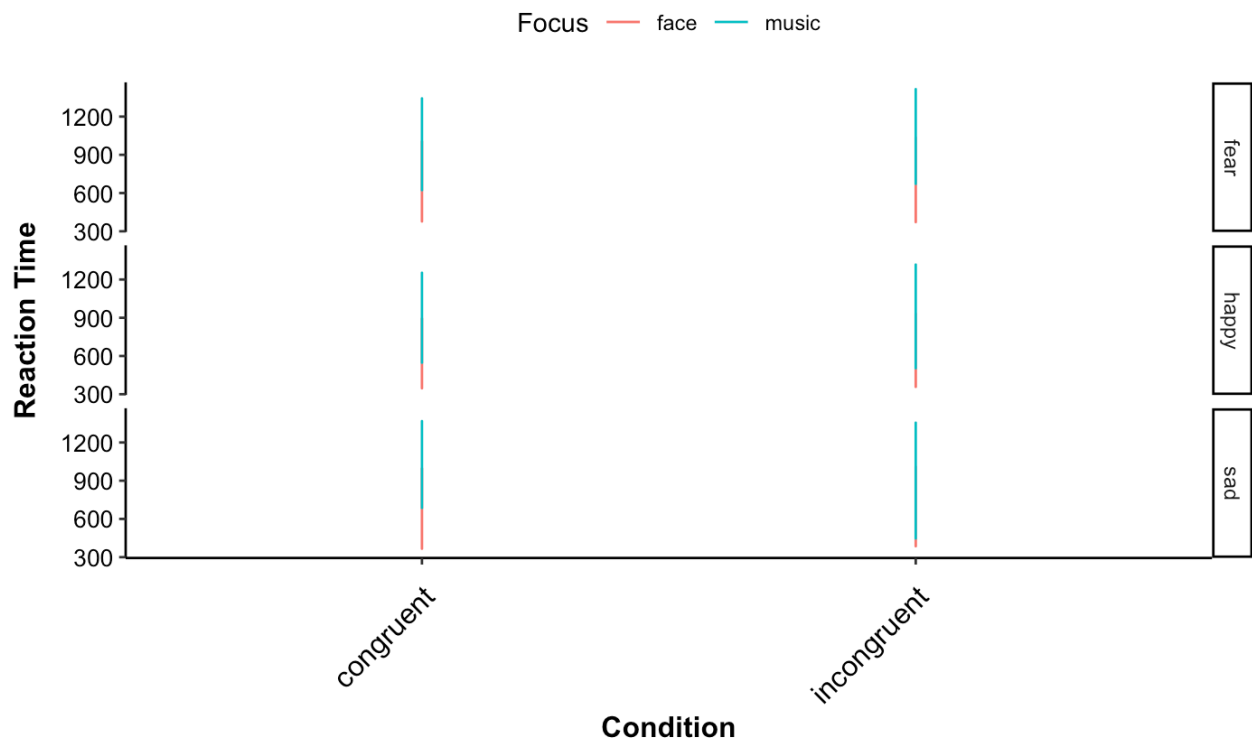
indicating the standard error. The results indicated a pronounced main effect of task focus on RT,  $F = 372.48$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .625$ , highlighting that the specific aspect of the task being concentrated on significantly affects the response speed of participants. In terms of emotion, a noteworthy effect was observed,  $F(1.95, 74.03) = 53.29$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .060$ , indicating that RT varied by the emotional content (such as happiness, sadness, or fear) being processed. Additionally, the congruence condition significantly influenced RT,  $F = 13.37$ ,  $p < .001$ ,  $\eta^2 = .003$ , reflecting the effect of stimulus congruency on response times. Conversely, the analysis did not reveal any significant effects associated with the group,  $F = 0.02$ ,  $p = .893$ , suggesting no discernible difference in how swiftly participants from musicians or non-musicians can process and react to emotional stimuli.

However, we found an interest interaction effect between task focus (face, music), emotion focus (fear, happiness, sadness), and congruence condition (congruent, incongruent) on reaction time. The analysis revealed that the focus on music led to longer reaction times across all emotions and conditions than the focus on faces. Specifically, reaction times were more significant for the emotions 'fear' and 'sadness' across congruent and incongruent conditions than 'happiness.' This was especially notable in the congruent condition, where the focus was on facial expressions (face: happiness congruent  $M = 518$ ,  $SE = 18.0$ ; face: fear congruent  $M = 621$ ,  $SE = 21.4$ ; face: sadness congruent  $M = 654$ ,  $SE = 22.6$ ). For the music focus under congruent conditions, reaction times were consistently higher (music: happiness congruent  $M = 918$ ,  $SE = 27.5$ ; music: fear congruent  $M = 1026$ ,  $SE = 26.7$ ; music: sadness congruent  $M = 1034$ ,  $SE = 29.0$ ).

Moreover, incongruent conditions generally increased reaction times for the face focus category. However, the same pattern was not as pronounced for the music focus, suggesting

differential congruence effects based on the stimulus type (face: happiness incongruent  $M = 529$ ,  $SE = 18.2$ ; music: happiness incongruent  $M = 1030$ ,  $SE = 30.1$ ). Further analysis using the Bonferroni method showed the significance of the estimated marginal means remained intact. Confidence intervals adjusted using the Bonferroni method are reported at the 95% confidence level, confirming the reliability of these estimates even after accounting for multiple tests.

**Figure 3.** Reaction time by focus, condition, and emotion.



We conducted a statistical analysis to determine the factors that affect reaction time while controlling musical training characteristics. Table 3 provides a summary of the predictors included in the model and their respective statistical values. The table includes predictors such as focus, emotion, condition, age of starting musical training, years of musical experience, and frequency of musical practice. The study revealed essential predictors of response time,

including focus, emotion, and years of musical experience. Specifically, the focus was a significant predictor ( $\beta = 410.350$ ,  $p < 0.001$ ). At the same time, emotion was also significant ( $\beta = -51.844$ ,  $p = 0.001$  for happy, and  $p = 0.830$  for sad), and years of musical experience had a moderate effect ( $\beta = -21.213$ ,  $p = 0.004$ ). However, other factors, such as condition, age of starting musical training, and frequency of musical practice, did not significantly predict response time. The Type III ANOVA confirmed the significance of focus ( $p < 0.001$ ), emotion ( $p = 0.0003$ ), and years of musical experience ( $p = 0.004$ ) in explaining the variance in response time.

**Table 3.** ANCOVA table for the linear regression model in RT of the responses.

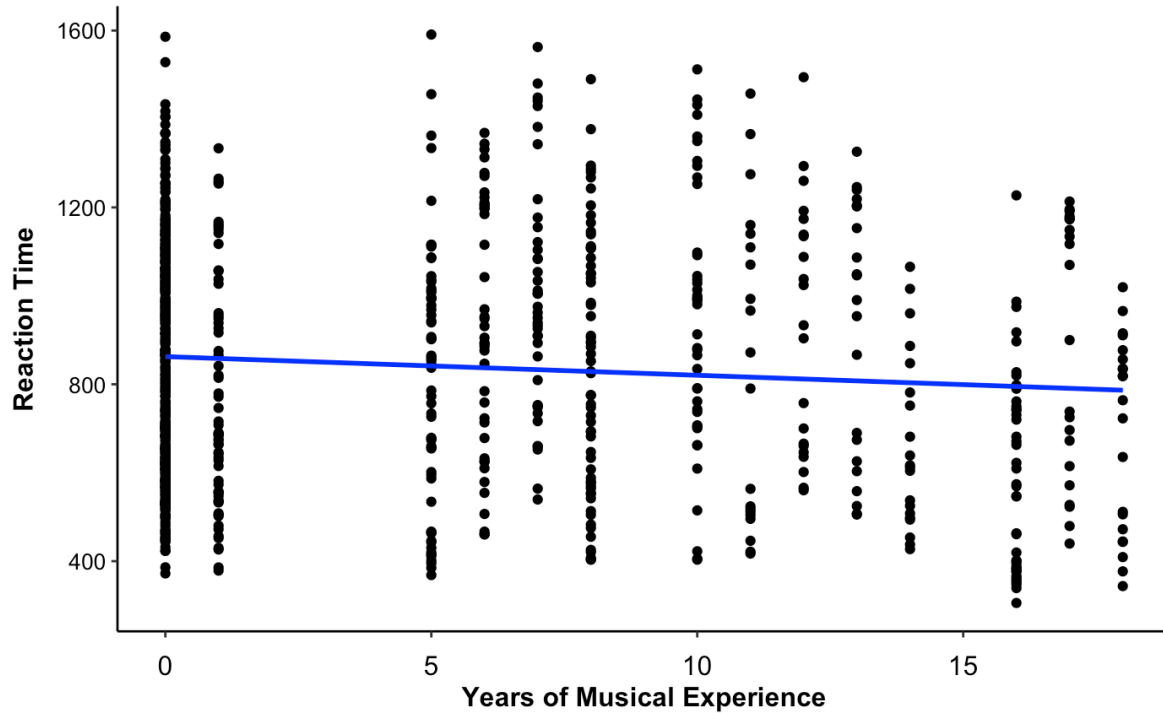
Predictor	Sum of Squares	df	F Value	p Value
(Intercept)	48,973,854	1	1434.31	< 0.001
Focus	35,298,347	1	1033.79	< 0.001
Emotion	554,271	2	8.12	0.000322
Condition	70,560	1	2.07	0.150934
Age of Starting Musical Training	119,287	1	3.49	0.061949
Years of Musical Experience	287,483	1	8.42	0.003808
Frequency of Musical Practice	904	1	0.03	0.870749
Residuals	29,125,358	853		

*Note.* This table summarizes the Type III ANOVA results for the predictors in the linear regression model in RT of the responses.

The relationship between musical experience and reaction time was examined to understand the impact of years of musical training on response speed. Figure 4 illustrates this relationship with a scatter plot, where reaction time (in milliseconds) is plotted on the y-axis and years of musical experience on the x-axis. Each dot represents an individual data point, and the blue trend line indicates the overall direction of the relationship. As depicted in Figure 4, there is a slight decrease in reaction time as years of musical experience increase. This trend suggests

that participants with more years of musical experience tend to have faster reaction times, indicating an influence of musical training on cognitive processing speed.

**Figure 4.** *Reaction Time and years of musical experience.*



#### 2.4.2. Effect of musical training on the Emotional Competence

We utilized a Two-sample t-test to explore the potential differences in emotional competence mean scores using the PEC between musicians and non-musicians. Our findings indicated a non-significant result ( $t = -0.21$ ,  $df = 35.98$ ,  $p = 0.83$ ), leading us to conclude that there is no significant distinction in mean scores between the two groups.

## 2.5. Discussion

This research aimed to assess whether musical training affects emotional inhibition and competencies. The study compared the performance and time taken by musicians and non-musicians in tasks involving emotional inhibitory processes and evaluating emotional competence. It was predicted that musicians would excel at recognizing emotional expressions, be more accurate and quicker and that musical training could enhance emotional competence. The findings provided valuable insights into the relationship between musical expertise and cognitive functions, highlighting the impact of musical training on emotional recognition and response inhibition. However, our hypothesis was only partially supported, as differences between groups were only evident in specific experimental conditions, which are further explained below.

### 2.5.1. The effects of musical training on emotional inhibition

#### 2.5.1.2. Accuracy analysis

Contrary to our hypothesis, the analysis did not reveal a significant main group effect on emotional inhibition accuracy, suggesting comparable emotional recognition accuracy between musicians and non-musicians. However, a significant interaction effect was observed between group, focus, and go/nogo factors, indicating nuanced performance differences based on task focus and go/nogo conditions. This suggests that different experimental conditions, such as visual or auditory tasks, and response execution conditions (go) versus response inhibition conditions (no-go) affect emotional recognition results.

Musicians exhibited superior performance in the face go and music nogo conditions. These findings align with previous research highlighting the benefits of musical training on

emotional perception and recognition. Studies have shown that musicians have enhanced auditory perception, improved emotional speech prosody perception, and better recognition of vocal emotions than non-musicians (Good et al., 2017; Manno et al., 2019; Correia et al., 2022). Additionally, music training can enhance performance in tasks requiring discrimination of melodic contour and rhythm and incidental memory for melodies (Good et al., 2017). The results support existing literature indicating that music training enhances sensitivity to expressive musical cues, impacting emotional perception (Castro & Lima, 2014).

Moreover, our findings align with research showing that musicians exhibit superior auditory and tactile identification of emotions in music, highlighting the connection between musical expertise and emotional perception (Sharp et al., 2019). Specifically, musicians demonstrated superior performance in the face go condition, indicating an enhanced ability to respond to facial stimuli compared to non-musicians. This proficiency may be attributed to their refined perceptual skills and emotional recognition abilities developed through musical training (Invitto et al., 2017). Additionally, musicians outperformed non-musicians in the music no-go condition, suggesting better inhibitory control when faced with musical stimuli requiring response withholding (Invitto et al., 2017).

The absence of significant differences between musicians and non-musicians in the face no-go and music-go conditions suggests similar performance in inhibiting responses to specific stimuli. This outcome may imply that certain cognitive processes, such as inhibitory control and response inhibition, are not impacted by musical training to the same extent as perceptual and emotional processing (Clayton et al., 2016). Overall, the findings emphasize the intricate relationship between musical training, inhibition processing, and emotional perception, shedding



light on the differential effects of musical expertise on response execution and inhibition in cognitive tasks involving emotional and auditory stimuli.

Overall, these findings do not support the hypothesis that inhibition, as a general cognitive function, correlates strongly across different domains (visual and musical tasks) in this sample. These findings do not provide strong evidence to support the hypothesis that inhibition, as a general cognitive function, correlates across different domains. Several factors may contribute to this lack of significant correlation, including the specific tasks used, individual differences in cognitive abilities, and the relatively small sample size. Further research with larger samples and different measures of inhibition may be necessary to understand better the relationship between inhibition in visual and musical tasks.

The investigation examined the influence of various factors on individuals who are considered musical experts and their ability to recognize emotions accurately. We found that variables such as the age at which they started learning an instrument, the duration of practice, and the frequency of practice per week did not significantly impact emotional recognition accuracy. The absence of a clear link between emotional recognition accuracy and specific musical traits may stem from several factors related to musicians' comprehension. Research by Stupacher et al. (2017) suggests that cognitive processes associated with rhythm perception may not differ significantly between musicians and non-musicians, challenging the notion of distinct influence from musical expertise. Petrovsky et al. (2019) identified diverse musical abilities, including engagement levels, perceptual skills, and emotional connections to music, highlighting the intricate nature of individual musical aptitudes regardless of formal training. Moreover, Altenmüller et al. (2012) indicate divergent brain responses to stimuli among musicians and non-musicians, suggesting that neural processing of musical information varies based on individual

expertise levels. This variability in neural responses may contribute to the complex relationship between musical characteristics and emotional recognition accuracy.

#### 2.5.1.2. Reaction time analysis

The lack of significant effects associated with the participant group (musicians vs. non-musicians) on reaction times challenges initial expectations, suggesting no discernible difference in how swiftly participants from different musical backgrounds process and react to emotional stimuli. This finding raises intriguing questions about the potential factors contributing to the absence of group effects in cognitive and emotional processing tasks. Contrary to the study by Pallesen et al. (2010) on cognitive control in auditory working memory, which highlighted enhanced cognitive control in musicians compared to non-musicians, particularly in regions associated with attention and cognitive control, the current results indicate that while musicians may exhibit superior cognitive control in certain tasks, this advantage may not extend to all cognitive domains, such as reaction time to emotional stimuli. Moreover, the research by Lima & Castro (2011) on musical expertise enhancing the recognition of emotions in speech prosody underscores the impact of expertise on emotional perception accuracy. While musicians demonstrated superior emotion recognition abilities, this expertise may not directly translate into faster reaction times to emotional stimuli, as evidenced by the lack of significant group effects in the current study. The absence of group differences in emotional processing tasks, as observed by Horndasch et al. (2023), suggests that affective stimuli may not elicit differential responses between musicians and non-musicians. This aligns with the current findings and emphasizes the need for further exploration into the specific cognitive processes that underlie emotional stimulus processing in individuals with varying musical backgrounds.

It is possible that the study's task lacked sensitivity in detecting subtle differences or that emotional stimuli processing operates similarly across all individuals regardless of musical training. The task's parameters and the type of emotional stimuli presented may have needed to be sufficiently related to the skills developed through musical expertise, resulting in no measurable group variations in response times. Our findings contribute to the existing body of evidence, which presents inconsistent results regarding the influence of musical training on emotional cognition. This underscores the complexity of the relationship between musical expertise and emotional cognition, highlighting the need for continued research. Only through further examination can we fully comprehend the nuances and potential specific impacts of musical training on emotional processing.

The results of our study underscore the importance of task focus in modulating reaction times (RT), revealing that the specific aspect of a task being concentrated on significantly influences response speed. Moreover, variations in RT were observed based on the emotional content being processed and the congruence condition of the stimuli. This emphasizes the intricate interplay between attentional allocation and cognitive processing efficiency during emotional tasks. Building upon these findings, Robinson et al.'s (2021) investigation into dynamic negativity effects in emotional responding provides additional insights. Their study suggests that stimulus repetition can enhance negative emotional responses, influencing the temporal dynamics of emotional processing. Similarly, Cerić et al.'s (2023) research on the impact of emotional salience on executive function tasks aligns with our findings, demonstrating that exposure to emotionally salient stimuli can affect cognitive processing efficiency, as evidenced by shorter reaction times. Together, these studies corroborate our understanding of the complex relationship between task focus, emotional processing, and cognitive performance,

shedding light on the mechanisms underlying attentional modulation of perceptual and cognitive tasks.

Also, the influence of emotion type on RTs is a crucial aspect that sheds light on the intricate relationship between emotional content and cognitive processing efficiency. The findings suggest that different types of emotions elicit varying RTs, indicating that the nature of emotional content has a tangible effect on the speed of processing. A study conducted by Wulf et al. (2001) found that negative emotions such as fear or sadness may be processed with greater urgency due to their evolutionary significance in threat detection, compared to more positive emotions like joy. Similarly, Unsworth & Robison (2016) explored the subject of lapses of sustained attention and emphasized the importance of identifying instances when attentional processes break down and how attention is disengaged from the current task. This highlights the dynamic nature of attention and its influence on cognitive performance, particularly in tasks that involve emotional stimuli.

The significant influence of the congruence condition on reaction times (RTs) highlights the importance of processing efficiency when dealing with congruent emotional stimuli. Aligning the emotional content of a task, such as pairing a sad piece of music with a sad facial expression, led to quicker participant responses. Conversely, incongruence introduced complexity, necessitating more time for participants to reconcile conflicting emotional information. This finding resonates with To et al. (2018), who observed similar congruence effects on task performance. Moreover, Beilock et al. (2002) investigated the impact of attentional allocation on task performance, revealing differences in performance under divided versus skill-focused attention conditions. Their study underscores the critical role of attention in

task execution, further emphasizing the intricate interplay between attentional processes and emotional stimuli in influencing cognitive performance.

The investigation of the interaction effect between task focus (face, music), emotion focus (fear, happiness, sadness), and congruence condition (congruent, incongruent) on reaction time suggests that task focus significantly influences RT, with music-focused tasks resulting in prolonged RTs in comparison to face-focused tasks. This aligns with prior research indicating that processing musical stimuli could be inherently more complex and require additional cognitive resources (Wang & Zhang, 2016).

Specifically, for the face focus, the shortest RT was observed in the happiness congruent condition, whereas both fear and sadness conditions produced longer RTs, with sadness resulting in the longest RTs. The heightened RT for negative emotions could reflect the cognitive and affective processing demands associated with more complex emotional experiences (Carr et al., 2003). This emotional differentiation in RTs may point toward an innate prioritization of positive affective signals, possibly due to evolutionary or social learning mechanisms focusing on approach-related behaviours (Wang & Zhang, 2016). In contrast to the pronounced disparity in congruence conditions for face focus, the music focus did not exhibit a marked increase in RTs for the incongruent condition. This could suggest an inherent modality-specific processing framework where the congruence of emotional content in musical stimuli might not be as critical as it is for facial expressions (Paraskevopoulou et al., 2021). This divergence in congruence effect further supports the notion that different cognitive and affective processes underlie the interpretation of face and music stimuli (Vance et al., 2012).

Moreover, the overall longer RTs associated with the music focus, regardless of the emotion or congruence condition, indicates that, to some extent, the cognitive load required for

music processing tends to overshadow the effects elicited by differing emotional content or congruence levels. These results could be interpreted within the context of attentional resource allocation theory, which argues for a finite pool of cognitive resources distributed based on task demands, with more complex tasks such as music perception demanding a greater share of the cognitive pie (Vance et al., 2012). This study highlights the intricate interplay between cognitive and affective components during the processing of emotional stimuli and the impact of task concentration on this interplay.

Also, our study aimed to explore factors influencing reaction time in emotion recognition tasks, specifically focusing on musical training characteristics. Our analysis identified focus, emotion, and years of musical experience as significant predictors of response time. Individuals with more extensive musical backgrounds demonstrated faster reaction times, indicating a positive association between years of musical experience and cognitive processing speed. However, conditions, age of starting musical training, and frequency of musical practice did not significantly affect reaction time in emotion recognition tasks. This suggests that while focus, emotion, and years of musical experience are crucial, other variables related to musical training characteristics may not substantially influence cognitive processing speed in this context.

Regarding the years of musical experience, the research consistently shows that the number of years of musical practice significantly impacts cognitive abilities, including reaction time. Long-term musical training improves the temporal fine-tuning of auditory perception, resulting in faster response times (Miendlarzewska & Trost, 2014). Not only that, but music education enhances neural responses to auditory stimuli, resulting in more rapid processing of sound features (Swaminathan & Schellenberg, 2018). Considering our results, there is a potential

decline in reaction time among participants with more years of experience, suggesting that cognitive functions can be improved consistently, including reaction time.

### 2.5.2. Emotional competence analysis

Contrary to our expectations, our study on emotional competence revealed no significant difference in mean scores between musicians and non-musicians. According to Swaminathan and Schellenberg (2018), musical expertise is influenced by music training, cognitive abilities, and personality, which suggests that the relationship between musical training and emotional competence is complex and can vary depending on individual differences. Also, Damsgaard and Brinkmann (2022) reported that musical training has higher scores on the Trait Emotional Intelligence Questionnaire and is linked to lower scores of alexithymia (i.e., it is a condition where individuals encounter challenges in identifying and expressing their emotional states; Roedema & Simons, 1999). Emotional competence is multifaceted and can be shaped by many factors, including but not limited to cognitive, social, and emotional influences.

Given this complexity, it is important to consider the limitations of the Profile of Emotional Competence (PEC; Brasseur et al., 2013), a self-reported measure used to investigate emotional competence and musical expertise. Self-reported measures like the PEC are prone to response bias, where participants may provide socially desirable answers or responses reflecting their self-perception, leading to inflated or inaccurate assessments. This subjectivity can introduce variability and impact the reliability and validity of the results. Additionally, self-reported measures may not fully capture the complexity of emotional competence, as individuals may lack complete self-awareness of their emotional abilities. These limitations suggest that the absence of differences in emotional competence related to musical expertise observed in our

study might be attributed to the type of instrument used. Further exploration is necessary to understand better how musical learning influences emotional competence in individuals with diverse backgrounds and personalities. Employing alternative investigation measures will provide a more comprehensive understanding of the effects of musical training on emotional competence.

## 2.6. Conclusion

The study highlights the intricate connection between musical expertise and emotional processing. Musicians can better recognize emotions due to the extensive emotional and cognitive experience gained through musical training. The study revealed that attentional focus is critical in how individuals process stimuli and recognize emotions. These findings suggest that emotional proficiency is shaped by more than just musical background ; cognitive and musical factors influence the speed of response to emotional stimuli.

However, this research only partially corroborated the anticipated hypotheses that musicians would consistently show superior emotional inhibition and competence across the board. Instead, there is notable variance in the emotional processing abilities among musicians, leading to a new understanding that varying levels of musical expertise (e.g., formal or informal musical experience and varying numbers of years of musical practice) may differentially impact these abilities. Such insights call for a deeper consideration of musical proficiency levels in future research.

Preliminary evidence also suggests possible links between musical training and emotional inhibition processing, as suggested by temporal brain measures. This evidence hints at underlying neural mechanisms that merit further exploration to better understand the benefits of



musical training. Additionally, this study contributes to crossmodal processing, highlighting how different sensory inputs and cognitive strategies are pivotal in emotional understanding.

Although there is no evidence that musical expertise can influence emotional competence, it is believed that this lack of evidence may be due to the complexity of emotional competence and the limitations of self-report questionnaires such as the PEC. Individuals may not fully understand their emotional capabilities and may have biases in their self-assessments. While the PEC is useful for assessing emotional competence, it's important to be aware of its biases and limitations. Therefore, it's necessary to use various measures and instruments to obtain more reliable assessments of emotional competence.

Collectively, our findings prompt a reevaluation of how musical expertise affects emotional cognition and encourage continued research in this field. The implications of this study are wide-reaching, potentially informing practices within psychology, music therapy, and education and providing a foundation for improving emotional well-being and social interaction through the integration of the arts.

## Declarations

**Funding:** The authors received no financial support for this article's research, authorship, and publication.

**Competing interests:** The authors have no conflict of interest to disclose.

### **Compliance with Ethical Standards**

*Ethics approval* These studies were approved by the Comité d'éthique de la recherche en éducation et en psychologie (CEREP) from the Université de Montréal (CEREP-21-113-D).

*Informed consent:* Informed consent was obtained from the participants of these studies.

## References

- Altenmüller, E., Marco-Pallarés, J., & Münte, T. F. (2012). Neural reorganization underlies improvement in stroke-induced motor dysfunction by music-supported therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 345-354.
- Barrett L. F. (2012). Emotions are real. *Emotion*, 12, 413–429.
- Blais, C., Fiset, D., Roy, C., Saumure Régimbald, C., & Gosselin, F. (2017). Eye fixation patterns for categorizing static and dynamic facial expressions. *Emotion*, 17(7), 1107.
- Blommaert, J., Zink, R., Deprez, S., Myatchin, I., Dupont, P., Vandenbroucke, T., ... & Lagae, L. (2019). Long-term impact of prenatal exposure to chemotherapy on executive functioning: an erp study. *Clinical Neurophysiology*, 130(9), 1655-1664.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.06.012>
- Brasseur, S., Grégoir, J., Bourdu, R., & Mikolajczak, M. (2013). The Profile of Emotional Competence (PEC) : Development and validation of a self-reported measure that fits dimensions of emotional competence theory. *PLoS ONE*, 8(5).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062635>
- Breitling-Ziegler, C., Tegelbeckers, J., Flechtner, H. H., & Krauel, K. (2021). Economical Assessment of Working Memory and Response Inhibition in ADHD Using a Combined n-back/Nogo Paradigm: An ERP Study. *Frontiers in human neuroscience*, 14, 322.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00322>
- Carr, L., Iacoboni, M., Dubeau, M. C., Mazziotta, J. C., & Lenzi, G. L. (2003). Neural mechanisms of empathy in humans: A relay from neural systems for imitation to limbic areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(9), 5497–5502.

- Cerić, F., Montemurro, M., Pacheco, A. M., & Cortés, C. (2023). Modulation of performance during executive function tasks by emotional salience of stimuli (modulación del desempeño en tareas de funciones ejecutivas por saliencia emocional de los estímulos). *Studies in Psychology*, 44(1), 88-111. <https://doi.org/10.1080/02109395.2022.2158587>
- Clayton, M., Sager, R., & Will, U. (2016). In time with the music: The concept of entrainment and its significance for ethnomusicology. *ESEM CounterPoint*, 1, 1-82.
- Correia, J. M., Janssen, S. M., Hartsuiker, R. J., & Acheson, D. J. (2022). Music experience enhances neural processing of prosody in second language learning: An ERP investigation. *Brain and Language*, 235, 105067.
- Criscuolo, A., Pando-Naude, V., Bonetti, L., Vuust, P., & Brattico, E. (2021). Rediscovering the musician's brain: a systematic review and meta-analysis. *bioRxiv*, 1-27. <https://doi.org/10.1101/2021.03.12.434473>
- Cunningham, J. N., Kliever, W., & Garner, P. W. (2009). Emotion socialization, child emotion understanding and regulation, and adjustment in urban African American families: Differential associations across child gender. *Development and psychopathology*, 21(1), 261-283.
- Dégé F. (2021). Music Lessons and Cognitive Abilities in Children: How Far Transfer Could Be Possible. *Frontiers in psychology*, 11, 557807. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.557807>
- Di Mauro, M., Toffalini, E., Grassi, M., & Petrini, K. (2018). Effect of Long-Term Music Training on Emotion Perception From Drumming Improvisation. *Frontiers in psychology*, 9, 2168. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02168>

- Dillo, W., Göke, A., Prox-Vagedes, V., Szycik, G. R., Roy, M., Donnerstag, F., Emrich, H. M., & Ohlmeier, M. D. (2010). Neuronal correlates of ADHD in adults with evidence for compensation strategies--a functional MRI study with a Go/No-Go paradigm. *German medical science: GMS e-journal*, 8, Doc09. <https://doi.org/10.3205/000098>
- Dittinger, E., Barbaroux, M., D'Imperio, M., Jäncke, L., Elmer, S., & Besson, M. (2016). Professional Music Training and Novel Word Learning: From Faster Semantic Encoding to Longer-lasting Word Representations. *Journal of cognitive neuroscience*, 28(10), 1584–1602. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00997](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00997)
- Ekman, P., Friesen, W. V., O'sullivan, M., Chan, A., Diacoyanni-Tarlatzis, I., Heider, K., ... & Tzavaras, A. (1987). Universals and cultural differences in the judgments of facial expressions of emotion. *Journal of personality and social psychology*, 53(4), 712.
- Elmer, S., & Hanggi, J. (2019). Effects of singing on language processing: fMRI connectivity analyses. *Human Brain Mapping*, 40(6), 1829-1839. <https://doi.org/10.1002/hbm.24506>
- Elliot, A. J., Maier, M. A., Moller, A. C., Friedman, R., & Meinhardt, J. (2007). Color and psychological functioning: the effect of red on performance attainment. *Journal of Experimental Psychology: General*, 136(1), 154–168.
- Evers, S., & Suhr, B. (2000). Changes of the neurotransmitter serotonin but not of hormones during short time music perception. *European archives of psychiatry and clinical neuroscience*, 250(3), 144–147.
- Fazel, A. H., Marzban, M., & Habibi, A. (2020). Effects of social context on the recognition of emotional speech prosody in Persian speakers: An event-related potential study. *Neuroscience letters*, 723, 134872. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2020.134872>

- Fu, X., Zhao, J., Wang, Y., & Guo, D. (2019). Different impacts of inattention and hyperactivity/impulsivity on executive function: evidence from an event-related potential study. *Scientific reports*, 9(1), 1-11.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 23(27), 9240–9245. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003>
- Gerry, D., Unrau, A., & Trainor, L. J. (2012). Active music classes in infancy enhance musical, communicative and social development. *Developmental science*, 15(3), 398–407. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01142.x>
- Gomez, P., & Danuser, B. (2007). Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion*, 7(2), 377.
- Gosselin, N., Samson, S., Adolphs, R., Noulhiane, M., Roy, M., Hasboun, D., ... & Peretz, I. (2007). Emotional responses to unpleasant music correlates with damage to the parahippocampal cortex. *Brain*, 130(10), 1–12.
- Green, J. M., & Wilson, A. D. (2020). Neural responses to rhythmically ambiguous music listening: Beta-band oscillations track inferential and sensory processing. *Neuroimage*, 219, 116962. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.116962>
- Greenberg, D. M., Müllensiefen, D., Lamb, M E., & Rentfrow, P J. (2015). Personality predicts musical sophistication. *Elsevier BV*, 58, 154-158. <https://doi.org/10.1016/j.jrp.2015.06.002>
- Gregory, A. H., Austin, E. J., & Dancer, C. J. (2016). The relationship between systemizing and mental rotation and the moderating effect of gender. *Personality and Individual Differences*, 89, 169-173.

- Grosbras, M. H., & Paus, T. (2006). Brain networks involved in viewing angry hands or faces. *Cerebral Cortex*, 16(8), 1087–1096.
- Guhn, M., Emerson, S. D., & Gouzouasis, P. (2020). A population-level analysis of associations between school music participation and academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, 112(2), 308–328. <https://doi.org/10.1037/edu0000376>
- Hajek, A., Koeneke, S., & Niedeggen, M. (2009). Information processing during interrupted visual tasks: an ERP study. *Psychophysiology*, 46(1), 115–121.
- Hertrich, I., Dietrich, S., & Ackermann, H. (2013). The role of the supplementary motor area for speech and language processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(3), 1143–1153.
- Hutchinson, J. B., & Barrett, L. F. (2019). The Power of Predictions: An Emerging Paradigm for Psychological Research. *Current Directions in Psychological Science*, 28(3), 280–291.
- Ilie, G., & Thompson, W. F. (2011). A comparison of acoustic cues in music and speech for three dimensions of affect. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 28(4), 337–347.
- Iverson, J. M. (2010). Developing language in a developing body: The relationship between motor development and language development. *Journal of child language*, 37(02), 229–261.
- Jasmin, K. M., McGetrick, J., de Manzano, Ö., & Ullén, F. (2021). Working memory maintenance is negatively affected by long-term music training but not by short-term music listening. *Memory & cognition*, 49(5), 905–918. <https://doi.org/10.3758/s13421-021-01191-3>

- Jones, N. A., Fox, N. A., & Rubin, K. H. (2001). Evaluative categorization in children: The role of concrete and abstract stimulus dimensions. *Developmental Psychology*, 37(2), 248–259.
- Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and Brain Sciences*, 31(5), 559–575.
- Kämpfe, J., Sedlmeier, P., & Renkewitz, F. (2011). The impact of background music on adult listeners: A meta-analysis. *Psychology of Music*, 39(4), 424–448.
- Koelsch, S., & Siebel, W. A. (2005). Towards a neural basis of music perception. *Trends in cognitive sciences*, 9(12), 578–584.
- Koelsch, S., Skouras, S., & Jentschke, S. (2014). Neural correlates of emotional personality: A structural and functional magnetic resonance imaging study. *PloS one*, 8(11), e77196.
- MacDonald, R. (2021). Social functions of music. In R. MacDonald & G. Kreutz (Eds.), *Music, health, and wellbeing* (pp. 29-42). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429295362-3>
- North, A. C., Tarrant, M., & Hargreaves, D. J. (2004). The Effects of Music on Helping Behavior: A Field Study. *Environment and Behavior*, 36(2), 266–275.  
<https://doi.org/10.1177/0013916503256263>
- Peretz, I. (2018). *Apprendre la musique: nouvelles des neurosciences*. Odile Jacob.
- Pereira, C. S., Teixeira, J., Figueiredo, P., Xavier, J., Castro, S. L., & Brattico, E. (2011). Music and emotions in the brain: familiarity matters. *PloS one*, 6(11), e27241.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027241>
- Proverbio, A. M., Camporeale, E., & Brusa, A. (2020). Multimodal recognition of emotions in music and facial expressions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, Article 32.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00032>



- Perlovsky, L. (2010). Musical emotions: Functions, origins, evolution. *Physics of Life Reviews*, 7(1), 2–27.
- Proverbio, A. M., Zani, A., & Avella, C. (2014). Auditory cortical dynamics during perception of natural sounds. *Frontiers in Psychology*, 5, 1058.
- Reybrouck, M., & Eerola, T. (2017). Music and its inductive power: A psychobiological and evolutionary approach to musical emotions. *Frontiers in psychology*, 8, 494.
- Reybrouck, M., Vuust, P., & Brattico, E. (2018). Brain Connectivity Networks and the Aesthetic Experience of Music. *Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, 8(6), 107-107.  
<https://doi.org/10.3390/brainsci8060107>
- Sanju, H. K., & Kumar, P. (2016). Enhanced auditory evoked potentials in musicians: A review of recent findings. *Journal of otology*, 11(2), 63–72.  
<https://doi.org/10.1016/j.joto.2016.04.002>
- Vieillard, S., Peretz, I., Gosselin, N., Khalfa, S., Gagnon, L., & Bouchard, B. (2008). Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. *Cognition and Emotion*, 22(4), 720–752. <https://doi.org/10.1080/02699930701503567>
- Weijkamp, J., & Sadakata, M. (2017). Attention to affective audio-visual information: Comparison between musicians and non-musicians. *Psychology of Music*, 45(2), 204–215. <https://doi.org/10.1177/0305735616654216>
- Winkler, I., Háden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(7), 2468–2471. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809035106>

Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547–558.

Zatorre, R. J., & Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: Music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(Supplement 2), 10430–10437.

# Appendix A. The Profile of Emotional Competence (in English)

## The Profile of Emotional Competence (PEC)

Brasseur S, Grégoire J, Bourdu R, Mikolajczak M (2013) The Profile of Emotional Competence (PEC): Development and Validation of a Self-Reported Measure that Fits Dimensions of Emotional Competence Theory. PLoS ONE 8(5): e62635. doi:10.1371/journal.pone.0062635

Scoring key : freely available on request at [moira.mikolajczak@uclouvain.be](mailto:moira.mikolajczak@uclouvain.be)

### Note for the readers: items are presented in a random order

The questions below are designed to provide a better understanding of how you deal with your emotions in daily life. Please answer each question spontaneously, taking into account the way you would normally respond. There are no right or wrong answers as we are all different on this level.

For each question, you will have to give a score on a scale from 1 to 5, with 1 meaning that the statement does not describe you at all or you never respond like this, and 5 meaning that the statement describes you very well or that you experience this particular response very often.

	1	2	3	4	5
1. As my emotions arise I don't understand where they come from.					
2. I don't always understand why I respond in the way I do.					
3. If I wanted, I could easily influence other people's emotions to achieve what I want.					
4. I know what to do to win people over to my cause.					
5. I am often a loss to understand other people's emotional responses.					

6. When I feel good, I can easily tell whether it is due to being proud of myself, happy or relaxed.					
7. I can tell whether a person is angry, sad or happy even if they don't talk to me.					
8. I am good at describing my feelings.					
9. I never base my personal life choices on my emotions.					
10. When I am feeling low, I easily make a link between my feelings and a situation that affected me.					
11. I can easily get what I want from others.					
12. I easily manage to calm myself down after a difficult experience.					
13. I can easily explain the emotional responses of the people around me.					
14. Most of the time I understand why people feel the way they do.					
	1	2	3	4	5
15. When I am sad, I find it easy to cheer myself up.					
16. When I am touched by something, I immediately know what I feel.					
17. If I dislike something, I manage to say so in a calm manner.					
18. I do not understand why the people around me respond the way they do.					
19. When I see someone who is stressed or anxious, I can easily calm them down.					
20. During an argument I do not know whether I am angry or sad.					
21. I use my feelings to improve my choices in life.					
22. I try to learn from difficult situations or emotions.					
23. Other people tend to confide in me about personal issues.					
24. My emotions inform me about changes I should make in my life.					
25. I find it difficult to explain my feelings to others even if I want to.					
26. I don't always understand why I am stressed.					
27. If someone came to me in tears, I would not know what to do.					
28. I find it difficult to listen to people who are complaining.					

29. I often take the wrong attitude to people because I was not aware of their emotional state.					
30. I am good at sensing what others are feeling.					
31. I feel uncomfortable if people tell me about their problems, so I try to avoid it.					
32. I know what to do to motivate people.					
33. I am good at lifting other people's spirits.					
34. I find it difficult to establish a link between a person's response and their personal circumstances.					
35. I am usually able to influence the way other people feel.					
36. If I wanted, I could easily make someone feel uneasy.					
37. I find it difficult to handle my emotions.					
	1	2	3	4	5
38. The people around me tell me I don't express my feelings openly.					
39. When I am angry, I find it easy to calm myself down.					
40. I am often surprised by people's responses because I was not aware they were in a bad mood.					
41. My feelings help me to focus on what is important to me.					
42. Others don't accept the way I express my emotions.					
43. When I am sad, I often don't know why.					
44. Quite often I am not aware of people's emotional state.					
45. Other people tell me I make a good confidant.					
46. I feel uneasy when other people tell me about something that is difficult for them.					
47. When I am confronted with an angry person, I can easily calm them down.					
48. I am aware of my emotions as soon as they arise.					
49. When I am feeling low, I find it difficult to know exactly what kind of emotion it is I am feeling.					
50. In a stressful situation I usually think in a way that helps me stay calm.					

## Appendix B. Profil de compétences émotionnelles (en français)

<p><b>Profil de compétences émotionnelles</b> <b>Sophie Brasseur et Moïra Mikolajczak (2012)</b></p>
--

Reference : Brasseur S, Grégoire J, Bourdu R, Mikolajczak M (2013) The Profile of Emotional Competence (PEC): Development and Validation of a Self-Reported Measure that Fits Dimensions of Emotional Competence Theory. PLoS ONE 8(5): e62635. doi:10.1371/journal.pone.0062635

Clé de scoring: voir <http://sites.uclouvain.be/ilab/index.php/questionnaires/>

Merci pour le temps que vous consacrez à ce questionnaire et pour l'intérêt que vous y portez. Les questions ci-dessous ont pour but de mieux comprendre comment vous vivez avec vos émotions. Répondez spontanément à chacune des questions en tenant compte de la manière dont vous réagissez en général. Il n'y a ni bonnes, ni mauvaises réponses car nous sommes tous différents à ce niveau.

Pour chacune des questions, vous devrez vous positionner sur une échelle de 1 à 5. **1** signifie que la proposition ne vous correspond pas du tout ou que vous ne réagissez jamais de cette façon ; au contraire **5** signifie que vous vous reconnaissez tout à fait dans ce qui est décrit ou que cela vous arrive très souvent.

	1	2	3	4	5
51. Mes émotions apparaissent sans que je comprenne d'où elles viennent.					
52. Je ne comprends pas toujours pourquoi je réagis comme je réagis.					

53. Si je le voulais, je pourrais facilement jouer sur les émotions des autres pour obtenir ce que je veux.					
54. Je sais quoi faire pour rallier les gens à ma cause.					
55. Je n'arrive pas à m'expliquer les réactions émotionnelles des gens.					
56. Quand je me sens bien, j'arrive facilement à savoir si c'est parce que je suis content, fier de moi ou détendu.					
57. Je sais lorsqu'une personne est en colère, triste, ou joyeuse même si elle ne m'en parle pas.					
58. J'arrive facilement à trouver les mots pour décrire ce que je ressens.					
59. Je ne me base jamais sur mes émotions pour orienter ma vie.					
60. Quand je me sens mal, je fais facilement le lien avec une situation qui m'a touché(e).					
61. Je peux facilement obtenir ce que je désire des autres.					
62. Je retrouve facilement mon calme après avoir vécu un événement difficile.					
63. Je peux facilement expliquer les réactions émotionnelles de mes proches.					
64. La plupart du temps, il m'est facile de comprendre pourquoi les gens ressentent ce qu'ils ressentent.					
65. Quand je suis triste il m'est facile de me remettre de bonne humeur.					
66. Quand quelque chose me touche, je sais immédiatement ce que je ressens.					
67. Si quelque chose me déplaît j'arrive à le dire calmement.					
68. Je ne comprends pas pourquoi mes proches réagissent comme ils réagissent.					
69. Quand je vois quelqu'un qui est stressé ou anxieux, il m'est facile de le calmer.					
70. Lors d'une dispute, je n'arrive pas à savoir si je suis triste ou en colère.					
71. J'utilise mes émotions pour améliorer mes choix de vie.					
72. J'essaie d'apprendre des situations ou des émotions difficiles.					
73. Les autres viennent facilement me parler de leurs problèmes personnels.					
74. Mes émotions m'informent des changements à effectuer dans ma vie.					
75. C'est difficile pour moi d'expliquer aux autres ce que je ressens même si je le veux.					

76. Je ne comprends pas toujours pourquoi je suis stressé(e).					
77. Si quelqu'un venait me voir en pleurs, je ne saurais pas quoi faire.					
78. J'éprouve de la difficulté à écouter les gens qui se plaignent.					
79. Je n'adopte pas la bonne attitude avec les gens parce que je n'ai pas perçu dans quel état émotionnel ils sont.					
80. J'arrive facilement à savoir ce que les autres ressentent.					
81. J'essaie d'éviter que les gens ne me parlent de leurs problèmes.					
82. Je sais comment faire quand je veux motiver les gens.					
83. Je suis doué(e) pour remonter le moral des gens.					
84. J'ai du mal à faire le lien entre les réactions d'une personne et ce qu'elle a vécu.					
85. Je suis habituellement capable d'influencer la manière dont les autres se sentent.					
86. Si je le voulais, il serait facile pour moi de pousser quelqu'un à se sentir mal.					
87. Je trouve difficile de gérer mes émotions.					
88. Mes proches me disent que je n'exprime pas assez ce que je ressens.					
89. Quand je suis en colère, je peux facilement me calmer.					
90. Je suis surpris(e) par la réaction de certaines personnes parce que je n'avais pas perçu qu'elles étaient déjà de mauvaise humeur.					
91. Mes émotions m'informent de ce qui est important pour moi.					
92. Les autres n'acceptent pas la manière dont j'exprime mes émotions.					
93. Souvent, quand je suis triste, je ne sais pas pourquoi.					
94. Il m'arrive souvent de ne pas savoir dans quel état émotionnel se trouvent les personnes autour de moi.					
95. Les autres me disent que je suis un bon confident.					
96. Je suis mal à l'aise quand les autres me racontent quelque chose de difficile pour eux.					
97. Lorsque je fais face à quelqu'un en colère, je peux facilement le calmer.					



98. Je suis conscient de mes émotions au moment où je les éprouve.					
99. Quand je me sens mal, il m'est difficile de savoir quelle émotion je ressens exactement.					
100. Lorsque je suis confronté(e) à une situation stressante, je fais en sorte d'y penser de manière à ce que cela m'aide à rester calme.					

## **Chapitre 3 – Discussion supplémentaire et conclusion**

### **3.1. Implications**

En examinant les implications de la recherche, la méthodologie utilisée est cruciale. L'approche unique, basée sur une tâche comportementale audiovisuelle complète, crée des opportunités pour de nouvelles perspectives sur les effets de l'apprentissage musical et du traitement émotionnel. Cette méthodologie exceptionnelle permet une exploration nuancée des liens complexes entre la musique, la reconnaissance émotionnelle et la compétence émotionnelle.

L'utilisation d'une méthodologie unique dans cette étude a plusieurs implications significatives. En utilisant notre tâche, nous avons pu enquêter et mesurer l'impact de l'inhibition émotionnelle sur le traitement multimodal. Cette approche renforce non seulement la robustesse de nos résultats, mais permet également des applications potentielles dans des scénarios du monde réel ou des contextes cliniques.

### **3.2. Limites et futures perspectives**

Pendant la réalisation de notre étude, nous avons rencontré une limitation notable sous la forme d'un petit nombre de participants par groupe. Bien que nous ayons fait des efforts pour recruter un échantillon diversifié, la taille relativement petite du groupe de participants peut affecter la généralisabilité de nos résultats. Par conséquent, les futures recherches devraient viser à élargir le groupe de participants pour assurer une compréhension plus représentative et complète de l'impact de l'expertise musicale sur la perception émotionnelle. En outre, il est important de définir clairement les caractéristiques du groupe de musiciens. Les différentes caractéristiques nous ont permis d'obtenir différentes classifications des musiciens au sein de notre groupe. Cependant, il est important de noter que nous avons conçu cette étude pour

mesurer l'activité cérébrale à l'aide d'un électroencéphalogramme (EEG), et en tant que tel, la taille des groupes utilisés avait du sens.

Une zone potentielle pour des recherches ultérieures serait d'explorer la base neurologique de l'inhibition émotionnelle en utilisant l'EEG. Les mesures de l'EEG pourraient fournir des informations précieuses sur les corrélats neuronaux du traitement émotionnel et améliorer notre compréhension de la relation entre la formation musicale et la fonction cérébrale. Bien que nous ayons initialement des données EEG pour cette étude, il n'a pas été possible d'utiliser ces informations en raison de problèmes de synchronisation des réponses et du logiciel visuel que nous avons utilisé.

Il est possible aussi que la tâche de l'étude manquait de sensibilité pour détecter des différences subtiles, ou que le traitement des stimuli émotionnels fonctionne de manière similaire chez tous les individus, quel que soit leur entraînement musical. Les paramètres de la tâche et le type de stimuli émotionnels présentés peuvent ne pas avoir été suffisamment liés aux compétences développées par l'expertise musicale, entraînant l'absence de variations mesurables dans les temps de réponse entre les groupes. Nos résultats contribuent au corpus existant de preuves, qui présente des résultats incohérents concernant l'influence de la formation musicale sur la cognition émotionnelle. Cela souligne la complexité de la relation entre l'expertise musicale et la cognition émotionnelle, mettant en évidence le besoin de recherches continues dans ce domaine. Ce n'est qu'à travers une investigation plus approfondi que nous pourrions pleinement comprendre les nuances et les impacts spécifiques potentiels de la formation musicale sur le traitement émotionnel.

Enfin, comme nous l'avons vu tout au long de cette étude, en raison de la complexité conceptuelle de la compétence émotionnelle, l'utilisation d'un questionnaire autorempli peut ne

pas rendre compte de cette complexité. En effet, les individus peuvent ne pas avoir une compréhension complète de leurs capacités émotionnelles ou peuvent présenter des biais dans leur autoévaluation, ce qui peut poser des problèmes en matière d'interprétation des résultats et de généralisation. Dans l'ensemble, le PEC est un outil précieux pour évaluer les compétences émotionnelles, mais il est important de comprendre les éventuels biais et limites inhérents aux mesures d'autoévaluation. Cela implique la nécessité d'utiliser des mesures et des instruments différents pour évaluer cette compétence de manière plus fiable.

### **3.3. Forces**

Bien que notre étude présente des limites, elle comporte également plusieurs aspects innovants qui renforcent ses contributions. En utilisant une gamme d'analyses statistiques, des plus simples aux plus avancées, nous avons assuré la fiabilité et la validité de nos résultats. Ces forces méthodologiques se distinguent non seulement de l'étude des autres, mais fournissent également un guide pour les futures méthodologies de recherche. Collectivement, nos résultats incitent à réévaluer la façon dont l'expertise musicale affecte la cognition émotionnelle et encouragent la poursuite de la recherche dans ce domaine.

### **3.4. Conclusion**

En conclusion, cette étude éclaire la relation complexe entre la formation musicale et la reconnaissance émotionnelle. Notre analyse méticuleuse, qui a utilisé une variété d'approches statistiques allant du simple à l'avancé, a considérablement amélioré notre compréhension de l'impact de la formation musicale sur le traitement socio-émotionnel.

Notre étude met en évidence le lien étroit entre l'expertise musicale et le traitement des émotions. Les musiciens peuvent mieux reconnaître les émotions grâce à l'expérience émotionnelle et cognitive qu'ils ont acquise au cours de leur formation musicale. L'étude a révélé que la focalisation de l'attention est essentielle dans la manière dont les individus traitent les différents stimuli et reconnaissent les émotions. Ces résultats suggèrent que la compétence émotionnelle ne dépend pas uniquement de la formation musicale et que les facteurs cognitifs et musicaux interagissent pour influencer la vitesse de réponse aux stimuli émotionnels.

Cependant, cette recherche n'a pas entièrement corroboré les hypothèses anticipées selon lesquelles les musiciens feraient systématiquement preuve d'une inhibition et d'une compétence émotionnelles supérieures dans tous les domaines. Au contraire, les capacités de traitement des émotions varient considérablement d'un musicien à l'autre, ce qui permet de comprendre que les différents niveaux d'expertise musicale peuvent avoir un impact différent sur ces capacités. Ces observations appellent à une prise en compte plus approfondie des niveaux de compétence musicale dans les recherches futures.

Malgré la reconnaissance des limites inhérentes, les aspects innovants de notre méthodologie et les implications de cette étude ont une grande portée, car elles pourraient informer les pratiques de la psychologie, de la musicothérapie et de l'éducation, et fournir une base pour améliorer le bien-être émotionnel et l'interaction sociale grâce à l'intégration des arts.

## Références bibliographiques

- Barrett L. F. (2012). Emotions are real. *Emotion*, 12, 413–429.
- Blais, C., Fiset, D., Roy, C., Saumure Régimbald, C., & Gosselin, F. (2017). Eye fixation patterns for categorizing static and dynamic facial expressions. *Emotion*, 17(7), 1107.
- Blommaert, J., Zink, R., Deprez, S., Myatchin, I., Dupont, P., Vandenbroucke, T., ... & Lagae, L. (2019). long-term impact of prenatal exposure to chemotherapy on executive functioning: an erp study. *Clinical Neurophysiology*, 130(9), 1655-1664.  
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.06.012>
- Breitling-Ziegler, C., Tegelbeckers, J., Flechtner, H. H., & Krauel, K. (2020). Economical Assessment of Working Memory and Response Inhibition in ADHD Using a Combined n-back/Nogo Paradigm: An ERP Study. *Frontiers in human neuroscience*, 14, 322.  
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00322>
- Brasseur, S., Grégoir, J., Bourdu, R., & Mikolajczak, M. (2013). The Profile of Emotional Competence (PEC) : Development and validation of a self-reported measure that fits dimensions of emotional competence theory. *PLoS ONE*, 8(5).  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062635>
- Concina, E. (2019). The Role of Metacognitive Skills in Music Learning and Performing: Theoretical Features and Educational Implications. *Frontiers Media*, 10.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01583>
- Correia, J. M., Janssen, S. M., Hartsuiker, R. J., & Acheson, D. J. (2022). Music experience enhances neural processing of prosody in second language learning: An ERP investigation. *Brain and Language*, 235, 105067.

- Criscuolo, A., Pando-Naude, V., Bonetti, L., Vuust, P., & Brattico, E. (2021). Rediscovering the musician's brain: a systematic review and meta-analysis. *bioRxiv*, 1-27.  
<https://doi.org/10.1101/2021.03.12.434473>
- Cunningham, J. N., Kliever, W., & Garner, P. W. (2009). Emotion socialization, child emotion understanding and regulation, and adjustment in urban African American families: Differential associations across child gender. *Development and psychopathology*, 21(1), 261-283.
- Degé F. (2021). Music Lessons and Cognitive Abilities in Children: How Far Transfer Could Be Possible. *Frontiers in psychology*, 11, 557807.  
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.557807>
- Di Mauro, M., Toffalini, E., Grassi, M., & Petrini, K. (2018). Effect of Long-Term Music Training on Emotion Perception From Drumming Improvisation. *Frontiers in psychology*, 9, 2168. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02168>
- Diamond A. (2013). Executive functions. *Annual review of psychology*, 64, 135–168.  
<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Dillo, W., Göke, A., Prox-Vagedes, V., Szycik, G. R., Roy, M., Donnerstag, F., Emrich, H. M., & Ohlmeier, M. D. (2010). Neuronal correlates of ADHD in adults with evidence for compensation strategies--a functional MRI study with a Go/No-Go paradigm. *German medical science: GMS e-journal*, 8, Doc09. <https://doi.org/10.3205/000098>
- Dittinger, E., Barbaroux, M., D'Imperio, M., Jäncke, L., Elmer, S., & Besson, M. (2016). Professional Music Training and Novel Word Learning: From Faster Semantic Encoding to Longer-lasting Word Representations. *Journal of cognitive neuroscience*, 28(10), 1584–1602. [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00997](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00997)



- D'Souza, A. A., Moradzadeh, L., & Wiseheart, M. (2018). Musical training, bilingualism, and executive function: working memory and inhibitory control. *Cognitive research: principles and implications*, 3(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0095-6>
- Ekman, P., Cordaro, D. (2011). What is meant by calling emotions basic. *Emotion Review*, 3 (4), 364 – 370. doi: 10.1177/1754073911410740.
- Ekman, P., Friesen, W. V. (1971). Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of personality and social psychology*, 17(2), 124.
- Ekman, P., Sorenson, E. R. & Friesen, W. V. (1969). Pan-cultural elements in facial displays of emotion. *Science*, 164 (3875), 86-88. <http://doi.org/10.1126/science.164.3875.86>.
- Ficarella, S. C., Desantis, A., Zénon, A., & Burle, B. (2021). Preparing to React: A Behavioral Study on the Interplay between Proactive and Reactive Action Inhibition. *Brain sciences*, 11(6), 680. <https://doi.org/10.3390/brainsci11060680>
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of neuroscience : the official journal of the Society for Neuroscience*, 23(27), 9240–9245. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-27-09240.2003>
- George, E. M., & Coch, D. (2011). Music training and working memory: An ERP study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1083–1094. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.001>
- Gerry, D., Unrau, A., & Trainor, L. J. (2012). Active music classes in infancy enhance musical, communicative and social development. *Developmental science*, 15(3), 398–407. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2012.01142.x>
- Gendron, M., Lindquist, K. A., Barsalou, L., & Barrett, L. F. (2012). Emotion words shape emotion percepts. *Emotion*, 12(2), 314

- Gendron, M., Roberson, D., van der Vyer, J. M., & Barrett, L. F. (2014). Perceptions of Emotion From Facial Expressions Are Not Culturally Universal: Evidence From a Remote Culture. *Emotion*, 14 (2), 251 – 262. <https://doi.org/10.1037/a0036052>.
- Grinspun, N., Nijs, L., Kausel, L., Onderdijk, K., Sepúlveda, N., & Rivera-Hutinel, A. (2020). Selective Attention and Inhibitory Control of Attention Are Correlated With Music Audiation. *Frontiers in psychology*, 11(1109), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01109>
- Guhn, M., Emerson, S. D., & Gouzouasis, P. (2020). A population-level analysis of associations between school music participation and academic achievement. *Journal of Educational Psychology*, 112(2), 308–328. <https://doi.org/10.1037/edu0000376>
- Habibi, A., Damasio, A., Ilari, B., Elliott Sachs, M., & Damasio, H. (2018). Music training and child development: a review of recent findings from a longitudinal study. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 10.1111/nyas.13606. Advance online publication. <https://doi.org/10.1111/nyas.13606>
- Hennessy, S. L., Sachs, M. E., Ilari, B., & Habibi, A. (2019). Effects of Music Training on Inhibitory Control and Associated Neural Networks in School-Aged Children: A Longitudinal Study. *Frontiers in neuroscience*, 13(1080), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fnins.2019.01080>
- Heim, S., & Keil, A. (2012). Developmental trajectories of regulating attentional selection over time. *Frontiers in Psychology*, 3, 30493.
- Invitto, S., Calcagni, A., Mignozzi, A., Scardino, R., Piraino, G., Turchi, D., De Feudis, I., Brunetti, A., Bevilacqua, V., & de Tommaso, M. (2017). Face Recognition, Musical

- Appraisal, and Emotional Crossmodal Bias. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 11(144), 1-14. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2017.00144>
- Izard, C., Fine, S., Schultz, D., Mostow, A., Ackerman, B., & Youngstrom, E. (2001). Emotion knowledge as a predictor of social behavior and academic competence in children at risk. *Psychological science*, 12(1), 18-23.
- Jenni, R., Oechslin, M. S., & James, C. E. (2017). Impact of major and minor mode on EEG frequency range activities of music processing as a function of expertise. *Neuroscience letters*, 647, 159–164. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.03.022>
- Juslin, P. N., & Laukka, P. (2003). Communication of emotions in vocal expression and music performance: Different channels, same code? *Psychological Bulletin*, 129, 770–814. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.129.5.770>
- Juslin, P. N. (2019). *Musical emoticons explained: unlocking the secrets of musical affect*. Oxford University Press
- Koelsch S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature reviews. Neuroscience*, 15(3), 170–180. <https://doi.org/10.1038/nrn3666>
- Kret, M. E. (2015). Emotional expressions beyond facial muscle actions. A call for studying autonomic signals and their impact on social perception. *Frontiers in Psychology*, 6, Article 711.
- MacDonald, R. (2021). Social functions of music. In R. MacDonald & G. Kreutz (Eds.), *Music, health, and wellbeing* (pp. 29-42). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780429295362-3>
- Mansouri, F. A., Acevedo, N., Illipparampil, R., Fehring, D. J., Fitzgerald, P. B., & Jaberzadeh, S. (2017). Interactive effects of music and prefrontal cortex stimulation in modulating

- response inhibition. *Scientific reports*, 7(1), 18096. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18119-x>
- Miendlarzewska, E. A., & Trost, W. J. (2014). How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers in neuroscience*, 7, 279. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279>
- Moreno, S., Wodniecka, Z., Tays, W., Alain, C., & Bialystok, E. (2014). inhibitory control in bilinguals and musicians: event related potential (erp) evidence for experience-specific effects. *Plos One*, 9(4), e94169. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094169>
- Moreno-Morales, C., Calero, R., Moreno-Morales, P., & Pintado, C. (2020). Music Therapy in the Treatment of Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in medicine*, 7, 160. <https://doi.org/10.3389/fmed.2020.00160>
- Musacchia, G., Sams, M., Skoe, E., & Kraus, N. (2007). Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(40), 15894–15898. <https://doi.org/10.1073/pnas.0701498104>
- Nakata, H., Arakawa, N., Suzuki, C., & Nakayama, M. (2016). Modality difference in N2 and P3 components between visual and auditory Go/No-go paradigms. *Journal of Psychophysiology*, 30(4), 131–140. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000163>
- North, A. C., Tarrant, M., & Hargreaves, D. J. (2004). The Effects of Music on Helping Behavior: A Field Study. *Environment and Behavior*, 36(2), 266–275. <https://doi.org/10.1177/0013916503256263>

- Olszewska, A. M., Gaca, M., Herman, A. M., Jednoróg, K., & Marchewka, A. (2021). How Musical Training Shapes the Adult Brain: Predispositions and Neuroplasticity. *Frontiers in neuroscience*, 15, 630829. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.630829>
- Packer, J., & Ballantyne, J. (2011). The impact of music festival attendance on young people's psychological and social well-being. *Psychology of Music*, 39(2), 164-181. <https://doi.org/10.1177/0305735610372611>
- Pereira, C. S., Teixeira, J., Figueiredo, P., Xavier, J., Castro, S. L., & Brattico, E. (2011). Music and emotions in the brain: familiarity matters. *PloS one*, 6(11), e27241. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0027241>
- Peretz, I. (2018). *Apprendre la musique: nouvelles des neurosciences*. Odile Jacob.
- Proverbio, A. M., Camporeale, E., & Brusa, A. (2020). Multimodal recognition of emotions in music and facial expressions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 14, Article 32. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00032>
- Reybrouck, M., Vuust, P., & Brattico, E. (2018). music and brain plasticity: how sounds trigger neurogenerative adaptations.. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74318>
- Robinson, M. D., Irvin, R. L., & Klein, R. J. (2021). Dynamic negativity effects in emotional responding: onsets, peaks, and influences from repetition.. *Emotion*, 21(5), 972-980. <https://doi.org/10.1037/emo0000973>
- Rodrigues, A. C., Loureiro, M. A., & Caramelli, P. (2010). Musical training, neuroplasticity and cognition. *Dementia & neuropsychologia*, 4(4), 277–286. <https://doi.org/10.1590/S1980-57642010DN40400005>
- Sander, D., Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2005). A systems approach to appraisal mechanisms in emotion. *Neural networks*, 18(4), 317-352.

- Sanju, H. K., & Kumar, P. (2016). Enhanced auditory evoked potentials in musicians: A review of recent findings. *Journal of otology*, 11(2), 63–72.  
<https://doi.org/10.1016/j.joto.2016.04.002>
- Schirmer, A., & Adolphs, R. (2017). Emotion perception from face, voice, and touch: comparisons and convergence. *Trends in cognitive sciences*, 21(3), 216-228.
- Schlaug G. (2015). Musicians and music making as a model for the study of brain plasticity. *Progress in brain research*, 217, 37–55. <https://doi.org/10.1016/bs.pbr.2014.11.020>
- Stork, M. J., Karageorghis, C. I., & Martin Ginis, K. A. (2019). Let's Go: Psychological, psychophysical, and physiological effects of music during sprint interval exercise. *Psychology of Sport and Exercise*, 45, Article 101547.  
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.101547>
- Swaminathan, S., & Schellenberg, E. G. (2020). Musical ability, music training, and language ability in childhood. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 46(12), 2340–2348. <https://doi.org/10.1037/xlm0000798>
- Swaminathan, S. and Schellenberg, E. (2018). musical competence is predicted by music training, cognitive abilities, and personality. *Scientific Reports*, 8(1).  
<https://doi.org/10.1038/s41598-018-27571-2>
- Trainor, L. J., Shahin, A. J., & Roberts, L. E. (2009). Understanding the benefits of musical training: effects on oscillatory brain activity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 133–142. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04589.x>
- Verbruggen, F., & Logan, G. D. (2008). Automatic and controlled response inhibition: associative learning in the go/no-go and stop-signal paradigms. *Journal of experimental psychology. General*, 137(4), 649–672. <https://doi.org/10.1037/a0013170>

- Vieillard, S., Peretz, I., Gosselin, N., Khalifa, S., Gagnon, L., & Bouchard, B. (2008). Happy, sad, scary and peaceful musical excerpts for research on emotions. *Cognition and Emotion*, 22(4), 720–752. <https://doi.org/10.1080/02699930701503567>
- Weijkamp, J., & Sadakata, M. (2017). Attention to affective audio-visual information: Comparison between musicians and non-musicians. *Psychology of Music*, 45(2), 204–215. <https://doi.org/10.1177/0305735616654216>
- Winkler, I., Háden, G. P., Ladinig, O., Sziller, I., & Honing, H. (2009). Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(7), 2468–2471. <https://doi.org/10.1073/pnas.0809035106>
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature reviews. Neuroscience*, 8(7), 547–558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>
- Zatorre, R. J., & Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110 Suppl 2(Suppl 2), 10430–10437. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301228110>
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and neural correlates of executive functioning in musicians and non-musicians. *PLoS ONE*, 9(6), Article e99868. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099868>