

Université de Montréal

Modulation du réflexe acoustique de sursaut par la musique stimulante et relaxante

*Par*

Marie-Andrée Richard

Département de psychologie

Faculté des arts et des sciences

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de maîtrise en psychologie (M.Sc.)

Août 2020

© Marie-Andrée Richard 2020



## Résumé

La musique a la capacité d'induire et moduler les émotions, décomposées en deux dimensions : le niveau d'activation (relaxant-stimulant) et la valence émotionnelle (déplaisant-plaisant). Une façon de mesurer objectivement la valence musicale est par le réflexe acoustique de sursaut, une réaction de défense qui consiste en un clignement de l'œil provoqué par un bruit fort et inattendu. Le réflexe est renforcé par la musique déplaisante et inhibée par la musique plaisante. Cependant, l'effet du niveau d'activation émotionnelle lors de l'écoute musicale demeure inconnu. Cette étude a donc pour objectif d'examiner la modulation du réflexe acoustique de sursaut par la musique stimulante et relaxante jugée plaisante. Basée sur les résultats d'études antérieures avec des images, notre hypothèse était que le réflexe serait plus faible dans la condition stimulante que dans la condition relaxante.

Dans un devis intrasujet, 47 participants ont écouté de la musique relaxante et stimulante. Des bruits blancs courts et forts ont été rajoutés par-dessus les extraits afin de provoquer le réflexe de sursaut, dont son amplitude et sa latence ont été mesurées par électromyographie. Les résultats ont ensuite été comparés à ceux d'une condition non-musicale, constituée de sons environnementaux plaisants, afin d'explorer si la musique est plus efficace pour inhiber le réflexe. Finalement, des caractéristiques acoustiques, telles que la clarté de la pulsation, la densité acoustique, la dissonance et l'énergie, ont été extraites puis comparées entre les trois conditions pour explorer leur relation avec les paramètres du réflexe.

Les résultats rapportent une modulation de la latence du réflexe de sursaut, dans laquelle celle-ci est plus longue dans la condition stimulante comparée à la condition relaxante. Cependant, aucune différence au niveau de l'amplitude n'a été observée. Seule la latence serait donc sensible au niveau d'activation des émotions musicales lorsque la musique est plaisante. Ensuite, la latence dans la condition non-musicale était aussi longue que celle dans la condition stimulante, suggérant que la musique n'est pas plus efficace que les sons non-musicaux pour inhiber le réflexe de sursaut. Finalement, comme l'amplitude et la latence n'ont pas le même patron de réponses, cette étude suggère que le réflexe de sursaut est aussi modulé par le traitement des caractéristiques acoustiques et que ceux-ci ont un effet différent sur ces deux paramètres.

En conclusion, la latence du réflexe acoustique de sursaut est une bonne méthode pour mesurer le niveau d'activation des émotions musicales. De futures recherches pourront utiliser le paradigme de la modulation affective du réflexe de sursaut pour mesurer les effets des émotions musicales selon des facteurs individuels tels que l'âge et la dépression.

**Mots-clés** : Émotions musicales, réflexe acoustique de sursaut, émotions, niveau d'activation, recherche d'information musicale.

# Abstract

Music has the capacity to evoke and modulate emotions, divided by two dimensions: arousal (relaxing-stimulating), and valence (unpleasant-pleasant). Musical valence can be objectively measured by the acoustic startle reflex, a defensive reaction consisting of an eye blink provoked by a short and loud noise. This reflex is facilitated by unpleasant music and inhibited by pleasant music. However, the arousal effect while listening to music on the startle reflex remains unknown. This study therefore aims to explore the affective startle modulation by stimulating and relaxing music.

In a within-subjects design, 47 participants listened to stimulating music, relaxing music and non-musical sounds. White noises (50 ms, 105 dB(A)) were added over the excerpts to induce startle while eyeblink magnitude and latency were measured by electromyography. Excerpts' acoustic features were then extracted and compared through experimental conditions to explore their effect on startle modulation.

Startle latency was longer in the stimulating condition compared to the relaxing one, but no differences in magnitude were found, partially confirming our predictions. Exploratory analyses suggest that startle modulation is also attributed to bottom-up processes of acoustic features, and that these latter impact differently magnitude and latency.

In conclusion, this study highlights startle latency measure efficiently emotional arousal while listening to music, allowing future research to use the paradigm of affective startle reflex modulation to evaluate the effect of music on emotions considering individual factors, such as age and depression. It also paves the way for comparisons of the effect of emotions and acoustic features processes on the startle reflex modulation.

**Keywords:** Music, Acoustic Startle Reflex, Emotions, Arousal, Music Information Retrieval.



# Table des matières

Résumé .....	3
Abstract.....	5
Table des matières.....	7
Liste des tableaux.....	9
Liste des figures.....	11
Liste des sigles et abréviations.....	13
Remerciements .....	15
Introduction .....	17
Musique et émotions.....	17
Expériences subjectives des émotions musicales .....	17
Circuits neuronaux des émotions musicales .....	19
Réponses physiologiques des émotions musicales .....	20
Le réflexe acoustique de sursaut et les émotions .....	21
Modulation du réflexe de sursaut par les émotions .....	22
Modulation affective du réflexe de sursaut par la musique .....	24
Objectifs et hypothèses .....	25
Article .....	27
Abstract .....	29
Introduction .....	30
Affective Modulation of the Acoustic Startle Reflex .....	30
Affective Startle Modulation by Music .....	32
Objectives and Hypothesis .....	32
Method .....	34
Participants.....	34
Materials and stimuli.....	34
Self-reported measures .....	34
Auditory conditions.....	35
Acoustic startle reflex .....	36
Procedure .....	37
Data analysis.....	37
Results .....	39
Self-ratings of auditory conditions .....	39
Acoustic Startle Reflex.....	39
Acoustic Features .....	40
Discussion .....	42
Startle latency .....	42
Startle Magnitude.....	43
Limitations .....	44
Conclusion .....	45
Discussion générale.....	46
Modulation de la latence.....	46
Modulation de l'amplitude.....	48
Caractéristiques acoustiques et émotions auto-rapportées .....	50
Forces et limites.....	51

Conclusion.....	53
Références bibliographiques.....	55



# Liste des tableaux

**Tableau 1** Liste des caractéristiques acoustiques .....19

**Table 2** List of Musical Stimuli.....36



## Liste des figures

<b>Figure 1</b> Modulation du RAS par le niveau d'activation d'images plaisantes et déplaisantes .....	24
<b>Figure 2</b> Visual Analogue Scales Used to Assess Arousal, Valence and Familiarity of Musical Excerpts ...	35
<b>Figure 3</b> Presentation of Startles Probes During One Excerpt .....	37
<b>Figure 4</b> Arousal and Valence of Stimulating Music, Relaxing Music and Water Sounds .....	39
<b>Figure 5</b> Affective Modulation of the Magnitude and Latency of the Acoustic Startle Reflex.....	40
<b>Figure 6</b> Acoustic Features of Stimulating and Relaxing Music and Water Sounds .....	41



## Liste des sigles et abréviations

ANOVA	Analyse de variance / Analysis of Variance
bpm	Battements par minute (beats per minute), unité de mesure du tempo
dB(A)	Décibels, unité de mesure du niveau sonore avec la pondération A
EMG	Électromyogramme / Electromyogram
Hz	Hertz, unité de mesure des fréquences
IC	Confidence Interval
MIR	Music Information Retrieval
PnC	Nucleus reticularis pontis caudalis
RAS	Réflexe acoustique de sursaut
RMS	Root Mean Square
SPL	Sound Pressure Level



## Remerciements

Je voudrais commencer par remercier mes proches, famille et ami(e)s, pour m'avoir soutenue tout au long de ma scolarité et pour m'avoir appuyée dans mes choix académiques et de carrière. Merci pour votre écoute, ne serait-ce que pour entendre mes problèmes en recherche, même quand vous ne comprenez pas toujours de quoi je parle. Mon mémoire n'est en effet pas simple à comprendre, surtout quand les résultats sont contre-intuitifs et que ça inclut le réflexe de sursaut comme mesure des émotions. Merci à tout le monde pour m'avoir soutenue et aidée à surmonter mes épreuves tant professionnelles que personnelles. Merci pour vos encouragements. Et d'avoir été là.

Un remerciement à mes amis de l'Université qui m'ont aidé tout au long de ma maîtrise. Merci à Inès Fizazi qui a pris la peine de rencontrer le bureau du registraire pour mon admission aux cycles supérieurs lorsque j'étais en échange étudiant au Royaume-Uni, et de m'avoir convaincue de poursuivre mes études à l'Université de Montréal. Merci à Maude Comtois-Cabana pour m'avoir soutenue dans les derniers mois de rédaction, et de me faire confiance au sein de l'association étudiante.

Merci à tous mes enseignants du primaire, du secondaire, du cégep et de l'université pour avoir fait de moi qui je suis aujourd'hui. Merci aux enseignants du programme musical de l'École Des Cèdres, Poly-Jeunesse et Curé-Antoine-Labelle à Laval de m'avoir offert une formation musicale de qualité. Merci aux enseignants et collègues du programme Sciences, lettres et arts du Collège de Bois-de-Boulogne pour m'avoir ouvert au monde et alimenté ma curiosité. Les exigences et les réalisations accomplies dans ces programmes m'ont donné confiance et développé ma motivation à toujours vouloir sortir de ma zone de confort et à me dépasser.

Merci aux collaborateurs de ce projets, Gabriel Pelletier, Mathieu Roy, Sylvie Hébert et Philippe Fournier, pour avoir réviser mes travaux, répondu à mes questions et proposer de nouvelles idées. Un grand merci à Gabriel de m'avoir grandement aidée pour les analyses sur Matlab et d'avoir contribué significativement à ce projet.

Merci à mes collègues et aux membres du personnel du Laboratoire BRAMS d'être là pour répondre à mes questions, calmer mes inquiétudes et surtout pour les beaux moments en dehors des études. C'est un honneur de travailler avec vous. Merci à mes collègues du Laboratoire MUSEC pour m'avoir accueillie et aidée au travers les étapes de ma maîtrise. Merci à Catherine, Amélie, Orelle et

Diana d'avoir accepté de réviser mon mémoire. Un remerciement spécial à Amélie Cloutier, ma mentore, pour son support moral, sa patience et sa gentillesse d'avoir répondu à mes nombreuses questions sur le cheminement académique à la maîtrise et les demandes de bourses.

Finalement, je voudrais remercier ma directrice, Nathalie Gosselin, de m'avoir accueillie dans son laboratoire, encadrée et soutenue tout au long de ma maîtrise. Merci pour les rétroactions constructives ainsi que pour l'écoute et la sensibilité remarquable envers les étudiants. Merci de m'avoir fait confiance, cru en moi et d'avoir toujours soutenu mes idées.



# Introduction

La recherche démontre qu'au-delà de la perception, la musique induit et module les émotions (Chanda & Levitin, 2013). Ces dernières peuvent être décomposées par deux dimensions : la valence (déplaisant-plaisant) et le niveau d'activation (peu intense – très intense ou relaxant-stimulant) (Eerola & Vuoskoski, 2011; Vieillard et al., 2008).

Parmi les mesures objectives des émotions musicales, le réflexe acoustique de sursaut semble être un bon candidat. Cette réaction de défense automatique induite par un bruit fort et inattendu (Blumenthal et al., 2005) est modulée par la valence et le niveau d'activation émotionnel (Cuthbert et al., 1996). D'une part, les stimuli plaisants inhibent le réflexe tandis que les stimuli déplaisants le facilitent. D'autre part, lorsque les stimuli sont plaisants, le réflexe est inhibé au fur et à mesure que le niveau d'activation des stimuli est élevé. Cette relation ne fut toutefois que rapportée lorsque les émotions étaient induites par des images.

Bien que l'effet principal de la valence musicale ait été démontré antérieurement (Roy et al., 2009), l'effet du niveau d'activation de la musique lors d'écoute musicale n'a jamais été exploré. L'objectif de cette recherche est donc d'étudier la modulation du réflexe acoustique de sursaut par le biais de la musique stimulante et relaxante.

## Musique et émotions

Les chercheurs ont longtemps été divisés à savoir si la musique induisait des émotions à ses auditeurs, ou s'ils ne faisaient que les percevoir. Bien que ce débat ne se situait qu'au plan théorique (Kivy, 1990), plusieurs études ont confirmé que la musique suscite et module bel et bien les émotions. Celles-ci, appelées les émotions musicales, se divisent par plusieurs composantes, dont l'expérience subjective, les circuits neuronaux et les réponses physiologiques (Juslin & Västfjäll, 2008).

### Expériences subjectives des émotions musicales

La première composante traite de l'expérience subjective des émotions induites par la musique, évaluée par des mesures auto-rapportées. Deux approches théoriques sont utilisées en recherche (Eerola & Vuoskoski, 2011). La première approche implique les modèles discrets qui classifient les

émotions musicales dans des catégories distinctes. Le modèle le plus connu est celui des émotions primaires de Paul Ekman stipulant que l'ensemble des émotions proviennent de combinaisons de deux ou plusieurs de ces six émotions de base: la joie, la tristesse, la peur, la colère, la surprise et le dégoût (Ekman, 1992). Cependant, ce modèle n'est pas adéquat pour mesurer les émotions musicales, puisqu'il traite plutôt les émotions utilitaires (associées à la survie) plutôt que les émotions esthétiques, c'est-à-dire suscitées par l'appréciation d'un objet ou d'un événement comme la musique (Menninghaus et al., 2019). En effet, certaines d'entre elles, comme le dégoût, s'expriment rarement par la musique et sont souvent substituées par d'autres jugées plus plaisantes, comme la tendresse (Eerola & Vuoskoski, 2011).

La seconde approche traite des modèles dimensionnels, où les émotions sont mesurées par des spectres continus et indépendants. Dans une revue sur les modèles utilisés en recherche sur les émotions musicales, Eerola et Vuoskoski (2011) recommandent l'usage des dimensions puisqu'elles peuvent mesurer une combinaison d'émotions discrètes ambiguës. Plusieurs dimensions ont été proposées dans le passé (p.ex., tension, énergie ; Vieillard et al., 2008), mais celles recommandées par ces auteurs sont la valence et le niveau d'activation (Eerola et Vuoskoski, 2011). La valence représente le niveau de plaisir (déplaisant-plaisant), tandis que le niveau d'activation (*arousal*) reflète l'intensité de de l'émotion (faible activation – forte activation). Pour les émotions musicales, il est aussi commun de nommer les pôles du niveau d'activation par le caractère relaxant ou stimulant de la musique (Vieillard et al., 2008).

Les émotions musicales auto-rapportées sont étroitement associées aux caractéristiques acoustiques des extraits sonores (voir Tableau 1). Des études ont rapporté que le niveau d'activation induite par la musique était associé au tempo, l'intensité sonore, la densité acoustique et la clarté du rythme (Dean et al., 2011; Gingras et al., 2014; Gomez & Danuser, 2007; Laurier et al., 2009; Schubert, 2004) : Plus un extrait est rapide, fort, rythmé et acoustiquement dense, plus il sera jugé stimulant. La dissonance serait plutôt reliée à la valence, où les extraits consonants sont considérés plaisants tandis que les extraits dissonants sont jugés déplaisants (Blood et al., 1999; Koelsch, 2009; Laurier et al., 2009).

**Tableau 1**

*Liste des caractéristiques acoustiques*

Caractéristiques acoustiques	Définition
Tempo	Vitesse d'exécution d'une pièce de musique. Il se mesure par le nombre de battements par minute (bpm).
Densité acoustique	Nombre d'événements sonores (notes, pulsations, accords, etc.) par seconde.
Énergie sonore	Énergie globale du son. Il est associé à la perception de l'intensité sonore, autrement dit au volume.
Dissonance ( <i>roughness</i> )	Correspond au phénomène du <i>beating</i> , lorsque des fréquences rapprochées (p.ex., deux demi-tons) sont jouées en même temps (Lartillot, 2019).
Clarté du rythme	Niveau de clarté et force du rythme.

Les émotions musicales auto-rapportées sont toutefois arbitraires. En plus d'être sous le contrôle des participants, celles-ci peuvent varier considérablement pour une même expérience émotionnelle (Salimpoor et al., 2009). Par exemple, pour une modulation similaire, un participant pourrait rapporter un changement majeur sur l'échelle, alors qu'un autre participant pourrait indiquer une petite variation. C'est pourquoi il est important d'inclure des mesures objectives qui vont au-delà de la conscience et du contrôle des participants comme la neuroimagerie et les réponses physiologiques qui constituent aussi deux composantes des émotions musicales (Juslin & Västfjäll, 2008).

### **Circuits neuronaux des émotions musicales**

Les émotions musicales sont connues pour être associées à l'activité de régions et de circuits neuronaux (Juslin & Västfjäll, 2008 ; Koelsch, 2014). Plusieurs études cliniques et en neuroimagerie ont démontré que les émotions musicales négatives sont associées au gyrus parahippocampique et à l'amygdale (Blood et al., 1999 ; Gosselin et al., 2005, 2006, 2007 ; Koelsch et al., 2006 ; Trost et al., 2012), deux régions impliquées dans le système limbique. Les musiques plaisantes sont plutôt associées aux régions du circuit de la récompense, telles que le striatum ventral et dorsal (respectivement les noyaux accumbens et les noyaux caudés), l'insula, l'air tegmental ventral, l'hypothalamus puis le cortex préfrontal et cingulaire (Blood et al., 1999 ; Blood & Zatorre, 2001 ; Koelsch et al., 2006 ; Martínez-Molina et al., 2016 ; Mas-Herrero et al., 2018 ; Menon & Levitin, 2005 ; Salimpoor et al., 2011, 2013).

La capacité de la musique à induire des émotions plaisantes est attribuée à l'activité dopaminergique (Chanda & Levitin, 2013 ; Zatorre & Salimpoor, 2013). En effet, Salimpoor et al. (2011) ont démontré que la concentration de dopamine dans le striatum ventral était plus élevée chez les participants lorsqu'ils écoutaient de la musique plaisante. Par ailleurs, une récente étude pharmacologique a confirmé la relation causale entre la dopamine et le plaisir musical, où l'administration d'un agoniste dopaminergique a augmenté le sentiment de plaisir musical (Ferreri et al., 2019).

## **Réponses physiologiques des émotions musicales**

Les émotions musicales sont reconnues pour modifier les réponses physiologiques du système nerveux autonome (Hodges, 2010; Juslin & Västfjäll, 2008). Par exemple, des études ont démontré que la musique stimulante augmentait le rythme cardiaque et la conductance électrodermale (Gomez & Danuser, 2004; Khalifa et al., 2002; Witvliet, 1996). Des études ont aussi rapporté que la musique plaisante était corrélée positivement à l'activité du muscle zygomatique, et négativement au muscle corrugateur du sourcil (Roy et al., 2009; Witvliet, 1996; Witvliet & Vrana, 2007). Par ailleurs, des groupes de chercheurs ont établi des liens entre les caractéristiques acoustiques et l'activité du système nerveux autonome, où le tempo et le rythme étaient associés à la conductance électrodermale, la respiration et le rythme cardiaque (Etzel et al., 2006; Gomez & Danuser, 2007; Khalifa et al., 2008).

De plus, Salimpoor et al. (2009) ont rapporté une modulation du niveau d'activation du système nerveux autonome selon le plaisir ressenti lors de l'écoute musicale. Lorsque les participants écoutaient de la musique leur procurant du plaisir, il y avait une augmentation au niveau de la conductance électrodermale, du rythme cardiaque et de la respiration, en plus d'une diminution de la température et de la pression sanguine. Cependant, le niveau d'activation émotionnelle dans cette étude était fortement corrélé avec la valence. Par conséquent, les résultats sous-entendent que la variation des mesures physiologiques dépend des deux dimensions émotionnelles, soulignant l'importance de contrôler l'une des deux lorsque nous voulons mesurer l'autre.

Par ailleurs, les effets de l'écoute musicale sur les réponses physiologiques sont petits et inconsistants en termes de direction et d'intensité (Hodges, 2010; Koelsch & Jäncke, 2015). Par exemple, Hodges (2010) rapporte que 54 études supportent un effet de la musique sur le rythme cardiaque, alors qu'il y en a 26 qui n'ont pas trouvé d'effet significatif. Ce manque de consensus est aussi valable pour la respiration, la pression sanguine, la conductance électrodermale et la température. Toutefois, une

mesure prometteuse pour évaluer les émotions musicales est le réflexe acoustique de sursaut, qui fut dans l'étude de Roy et al. (2009) le meilleur indice pour discriminer la musique plaisante et déplaisante, mais qui est encore sous-utilisée en neuropsychologie de la musique.

## **Le réflexe acoustique de sursaut et les émotions**

Les réflexes sont des réactions automatiques, rapides et involontaires face à un stimulus. Primitifs, ils sont essentiels pour la survie de l'organisme. Contrairement aux réponses physiologiques qui sont influencées par l'activité du système nerveux sympathique et parasympathique, les réflexes sont modulés par les émotions par le biais de deux systèmes motivationnels (Lang et Bradley, 2010). Le premier, le système appétitif, est responsable des comportements d'approche, comme la reproduction ou l'ingestion, et est associé aux émotions plaisantes (p.ex., la joie). Le deuxième, le système aversif, suscite les comportements de défense, par exemple la protection ou la fuite, et est relié aux émotions déplaisantes (p.ex., la peur). Le système dominant détermine la valence de l'émotion, à savoir si elle est plaisante ou déplaisante, tandis que l'intensité de son activité reflète le niveau d'activation, autrement dit si l'émotion est légère ou ardente (Cuthbert et al., 1996 ; Lang et al., 2010). L'intensité des réflexes dépend de deux facteurs : (1) sa nature, s'il s'agit d'une réaction d'approche ou d'évitement, puis (2) de la valence et du niveau d'activation émotionnelle de l'organisme. Comme ils varient selon les émotions, les réflexes sont ainsi une bonne mesure objective pour évaluer l'état émotionnel. Le plus utilisé en recherche est le réflexe acoustique de sursaut.

Le réflexe acoustique de sursaut a comme fonction évolutive de protéger l'organisme contre un événement inattendu et potentiellement menaçant (Lang et al., 1998). En laboratoire, il est provoqué par un bruit fort et court, principalement des bruits blancs, et est mesuré par le clignement des yeux (Blumenthal et al., 2005). Deux paramètres sont considérés. Le premier, le plus rapporté dans la littérature, est l'amplitude, soit la force maximale de la contraction du muscle orbiculaire exprimée en microvolt. La deuxième, la latence, est le temps écoulé en millisecondes entre le bruit et le clignement de l'oeil. Un réflexe élevé implique une forte amplitude et une courte latence, tandis qu'un clignement léger est caractérisé par une petite amplitude et une grande latence. Selon le *Motivational Priming Hypothesis*, le réflexe de sursaut est facilité lorsque le système aversif est activé, et inhibé lorsque le système appétitif prédomine (Lang et al., 1998). Par conséquent, l'amplitude et la latence du réflexe de sursaut sont modulées par la valence et le niveau d'activation émotionnelle.

## Modulation du réflexe de sursaut par les émotions

L'effet de la valence émotionnelle sur le réflexe de sursaut fut largement étudié avec une grande variété de stimuli qui induisent des émotions. Les stimuli jugés plaisants par les participants (p.ex., des images de nourriture ou du sport) diminuent l'amplitude et rallongent la latence en activant le système appétitif. À l'inverse, les stimuli déplaisants (p.ex., pollution, accidents, mutilations) augmentent l'amplitude et raccourcissent la latence en activant le système aversif. Cette relation est généralement étudiée par des émotions induites par des images validées (Lang et al., 1997), mais elle fut aussi démontrée par d'autres stimuli, tels que des odeurs (Ehrlichman et al., 1995; Miltner et al., 1994), des films (Jansen & Frijda, 1994), des sons (Bradley & Lang, 2000) et de la musique (Roy et al., 2009), validant le paradigme au travers diverses modalités sensorielles. À noter que la relation entre la valence et le sursaut est modulée par des facteurs individuels. En effet, les participants atteints d'un haut niveau de dépression ont une modulation atténuée (Boecker et Pauli, 2019 ; Grillon et Baas, 2003), tandis que le patron de réponse chez les personnes âgées est inversé : leurs réflexes sont plus intenses lorsqu'ils regardent des images plaisantes, et plus faibles lorsqu'ils en observent des déplaisantes (Feng et al., 2011; Le Duc et al., 2016).

Les mécanismes neurobiologiques de la modulation du réflexe de sursaut par la valence émotionnelle ont majoritairement été étudiés chez les animaux (pour discussions, voir Boecker et al., 2019, Koch, 1999, Kuhn et al., 2020, et Lang et al., 1998). La facilitation des clignements impliquerait le noyau centro-médian de l'amygdale, qui à son tour, augmenterait l'activité du nucleus reticularis pontis caudalis (PnC), la principale région responsable du réflexe de sursaut, située dans la formation réticulée du tronc cérébral. L'inhibition du réflexe engage plutôt des régions du circuit de la récompense, telles que l'hypothalamus, les noyaux accumbens et le cortex préfrontal médian. Une récente étude chez l'humain combinant l'EMG et l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle aborde dans ce sens (Kuhn et al., 2020). Leurs recherches ont confirmé le rôle du PnC et de l'amygdale centro-médian dans la facilitation du réflexe, comme chez les animaux. Les résultats demeurent toutefois préliminaires et les régions impliquées dans l'inhibition n'ont pas été explorées. Néanmoins, comme ces données démontrent que la modulation du réflexe implique les régions impliquées dans les émotions musicales, cela suggère que le réflexe acoustique de sursaut peut mesurer les émotions induites par la musique.

Le niveau d'activation a cependant été beaucoup moins étudié dû à son rôle de modérateur dans la relation entre le réflexe de sursaut et la valence émotionnelle (Figure 1). Les émotions à forte intensité

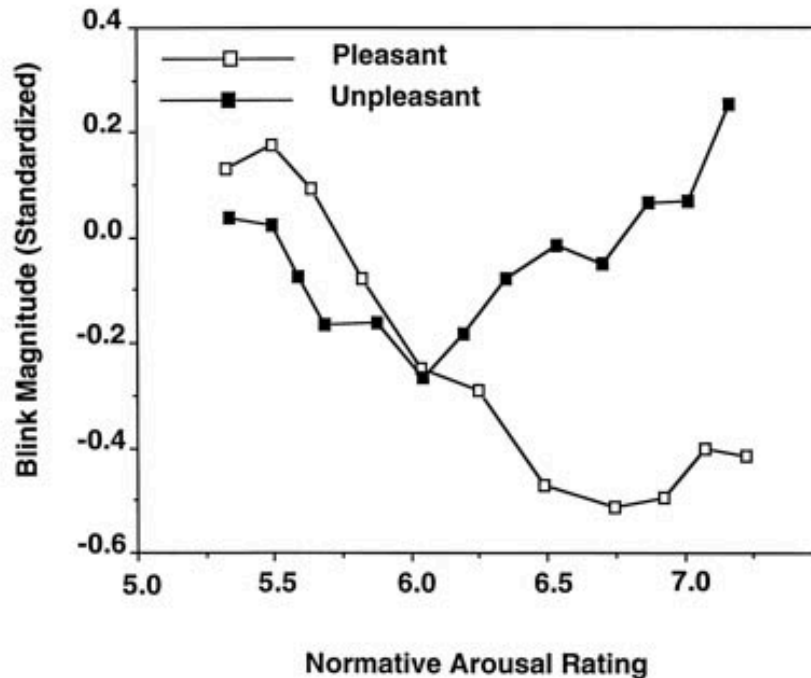
augmentent l'effet de la valence sur le réflexe (c.-à.-d. elles induisent une plus grande facilitation ou inhibition) dû à une plus grande activité du système appétitif ou aversif, tandis que les émotions peu stimulantes, dites aussi relaxantes, la diminuent (Bradley et al., 2006; Cuthbert et al., 1996; Leite et al., 2012). Dans le même ordre d'idée, Bradley et al. (2001) rapportent de fortes tendances linéaires entre le niveau d'activation émotionnel et l'amplitude du réflexe : une tendance négative avec les images plaisantes, et une tendance positive avec les déplaisantes.

L'effet du niveau d'activation s'expliquerait à la fois par les processus émotionnels et attentionnels (Cuthbert et al., 1996, Figure 1). D'une part, au fur et à mesure que les stimuli déplaisants sont jugés stimulants, le réflexe tend en premier lieu à diminuer dû à une plus grande attention orientée sur le stimulus. Les processus émotionnels prennent ensuite les devants en intensifiant le réflexe dans l'optique de protéger l'organisme contre la potentielle menace. D'autre part, en ce qui concerne les images plaisantes, le réflexe tend simplement à s'atténuer de façon linéaire selon le niveau d'activation, puisque l'attention est davantage portée sur elles que sur les bruits. Autrement dit, plus un stimulus plaisant a un haut niveau d'activation, plus l'individu portera attention sur celui-ci, et par conséquent, moins il portera attention aux autres stimuli tels que les bruits et moins il sursautera.

Toutefois, le rôle du niveau d'activation a exclusivement été exploré avec des images et sur l'amplitude ; aucune étude n'a à ce jour testé l'effet du niveau d'activation sur la latence ni avec des stimuli d'une autre modalité sensorielle. Toutefois, Bradley et al., (2006) mentionnent que la latence est modulée seulement lorsque les images sont jugées stimulantes, ce qui suggère qu'il y a également un effet d'interaction sur ce paramètre.

**Figure 1**

*Modulation du RAS par le niveau d'activation d'images plaisantes et déplaisantes*



*Note.* De "Probing picture perception : Activation and emotion," par B.N. Cuthbert, M.M. Bradley et P.J Lang, 1996, *Psychophysiology*, 33(2), p. 103-111. (<https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb02114.x>). Copyright 1996 Society for Psychological Research.

## **Modulation affective du réflexe de sursaut par la musique**

Peu de recherches ont utilisé le paradigme de la modulation affective du réflexe acoustique de sursaut pour étudier les émotions musicales. Une étude a toutefois confirmé l'effet de la valence musicale (Roy et al., 2009) : tout comme les autres stimuli, la musique plaisante inhibait l'amplitude et augmentait la latence, puis la musique déplaisante provoquait l'inverse, ce qui valide l'utilisation du réflexe acoustique de sursaut comme mesure objective de la valence musicale. Par ailleurs, les auteurs mentionnent que le réflexe était le meilleur indice pour discriminer les émotions musicales plaisantes et déplaisantes, contre le rythme cardiaque, la conductance électrodermale et les muscles corrugateur et zygomatique. Par contre, une étude antérieure n'est pas parvenue à obtenir cette relation (Witvliet, 1996). Néanmoins, ils ont rapporté un effet principal du niveau d'activation sur l'amplitude, toute



valence émotionnelle confondue, où la musique stimulante diminuait l'amplitude alors que la musique relaxante l'augmentait. Cet effet n'a cependant pas été observé sur la latence.

Les incohérences entre ces deux études peuvent s'expliquer par les différences méthodologiques. En premier lieu, Roy et al. (2009) ont provoqué les réflexes de sursaut durant l'écoute musicale, alors que Witvliet (1996) les a induits les secondes suivant la fin des extraits. Dans sa discussion, Witvliet (1996) souligne que dans les études qui ont utilisés des images et des odeurs, les réflexes étaient induits lorsque les participants étaient exposés aux stimuli, et rajoute que cette différence méthodologique pourrait expliquer le patron réponse différent à ces études. En second lieu, Witvliet (1996) a mesuré l'*onset latency*, autrement dit la latence entre le bruit et le début de la contraction du muscle orbiculaire, alors que Roy et al. (2009) ont extrait le *peak latency*, c'est-à-dire le temps écoulé entre le bruit et le moment où la contraction est à son maximum. Finalement, Roy et al. (2009) ont contrôlé l'intensité sonore des extraits en normalisant l'amplitude des ondes sonores, tandis que la musique stimulante utilisée par Witvliet (1996) était plus forte (52 – 80 dBA) que la musique relaxante (48 – 76 dBA). Par conséquent, l'effet du niveau d'activation sur le réflexe lors d'écoute musicale demeure inconnu, et on ignore si l'effet sur l'amplitude rapporté par Witvliet (1996) s'explique véritablement par les émotions musicales, ou simplement le traitement ascendant (*bottom-up*) de l'intensité sonore des extraits.

## Objectifs et hypothèses

L'objectif de cette étude était d'analyser l'effet principal du niveau d'activation émotionnelle de la musique plaisante sur le réflexe acoustique de sursaut. Plus précisément, l'objectif était de comparer les clignements de l'œil lors d'écoute de musique stimulante et relaxante jugée plaisante. À cette fin, des participants jeunes et en santé ont écouté de la musique stimulante et relaxante dans un devis intra-sujets. L'amplitude et la latence des réflexes de sursaut ont été mesurées par électromyogramme puis comparées entre les conditions. En s'appuyant sur les études qui ont eu recours aux images, il était attendu que la musique stimulante inhibe davantage le réflexe de sursaut que la musique relaxante, avec une amplitude plus faible et une latence plus longue.

Comme objectif exploratoire, les résultats ont été comparés à une condition non-musicale où les participants ont écouté des sons environnementaux (vagues, pluie) jugés plaisants. Comme les effets des sons environnementaux et de la musique sur le réflexe de sursaut n'ont jamais été comparés à ce jour, aucune hypothèse n'a été établie.

Finalement, un autre objectif exploratoire fut d'analyser des caractéristiques acoustiques de la musique, dont la dissonance, la densité acoustique, la clarté du rythme et l'énergie. Il était attendu que la musique stimulante soit plus dense et rythmée que la musique relaxante. Il était aussi attendu que la dissonance et l'énergie soient équivalentes entre ces deux conditions. Comme aux meilleurs de nos connaissances aucune étude n'a comparé les paramètres acoustiques de la musique à celle des sons d'eau, aucune hypothèse n'a été émise sur ce point.

# Article

## **Affective Modulation of the Acoustic Startle Reflex by Stimulating and Relaxing Music**

Marie-Andrée Richard, B.Sc.<sup>1,2</sup>, Gabrielle Pelletier, B.Sc.<sup>3</sup>, Sylvie Hébert, Ph.D.<sup>2,4</sup>, Philippe Fournier Ph.D.<sup>5</sup>,  
Mathieu Roy, Ph.D.<sup>6</sup>, and Nathalie Gosselin Ph.D.<sup>1,2</sup>

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

<sup>2</sup> International Laboratory for Brain, Music and Sound Research (BRAMS), University of Montreal, Canada

<sup>3</sup> Montreal Neurological Institute, McGill University, Canada

<sup>4</sup> Department of audiology, University of Montreal, Canada

<sup>5</sup> Centre National de la Recherche Scientifique, Aix-Marseille University, France

<sup>6</sup> Department of psychology, McGill University, Canada

### **Author note**

Correspondence concerning this article should be addressed to Nathalie Gosselin, Department of Psychology, University of Montreal, 2900 Blvd Édouard-Montpetit, Montreal, Qc, Canada, H3T 1J4. Email:

[nathalie.gosselin@umontreal.ca](mailto:nathalie.gosselin@umontreal.ca)

## Abstract

Music has the capacity to evoke and modulate emotions, divided by two dimensions: arousal (relaxing-stimulating), and valence (unpleasant-pleasant). Musical valence can be objectively measured by the acoustic startle reflex, a defensive reaction consisting of an eye blink provoked by a short and loud noise. This reflex is facilitated by unpleasant music and inhibited by pleasant music. However, the arousal effect on the startle reflex while listening to music remains unknown. This study therefore aims to explore the affective startle modulation by stimulating and relaxing music.

In a within-subjects design, 47 participants listened to stimulating music, relaxing music and non-musical sounds. White noises (50 ms, 105 dB(A)) were added over the excerpts to induce startle while eyeblink magnitude and latency were measured by electromyography. Excerpts' acoustic features were then extracted and compared through experimental conditions to explore their effect on startle modulation.

Startle latency was longer in the stimulating condition compared to the relaxing one, but no differences in magnitude were found, partially confirming our predictions. Exploratory analyses suggest that startle modulation is also attributed to bottom-up processes of acoustic features, and that these latter impacts differently magnitude and latency.

In conclusion, this study highlights startle latency measure efficiently emotional arousal while listening to music, allowing future research to use the paradigm of affective startle reflex modulation to evaluate the effect of music on emotions considering individual factors, such as age and depression. It also paves the way for comparisons of the effect of emotions and acoustic features processes on the startle reflex modulation.

**Keywords:** Music, Acoustic Startle Reflex, Emotions, Arousal, Music Information Retrieval.

## Introduction

Music has the capacity to induce emotions (Chanda & Levitin, 2013). Among all the models proposed to subjectively measure musical emotions (Warrenburg, 2019), the dimensional ones seem the most appropriate because of its ability to consider ambiguous discrete emotions. Thus, as recommended by Eerola & Vuoskoski (2011), musical emotions could be measured by two independent dimensions: valence (unpleasant-pleasant) and arousal (low arousing – high arousing, or relaxing-stimulating). However, self-reported music-evoked emotions are arbitrary (Salimpoor et al., 2009). Indeed, for the same intensity of emotional modulation, one participant could report a major change, another participant would report a slight variation.

To measure musical emotions beyond participants' subjectivity, many studies used psychophysiological responses, such as heart rate, skin conductance, respiration and facial muscle activity (e.g., Khalfa et al., 2002, 2008; Roy et al., 2009; Salimpoor et al., 2009; Hodges, 2010 for a review). However, these measures imply some limitations as they tend to be inconsistent through studies in terms of intensity and direction (Hodges, 2010; Koelsch & Jäncke, 2015), and seem to modulate under the interaction of emotional valence and arousal (Salimpoor et al., 2009). Nevertheless, the affective modulation of acoustic startle reflex seems to be an effective measure of musical emotions. Indeed, Roy et al. (2009) mentioned in their study that startle response was the best responses to measure musical valence. However, the arousal effect on this reflex while listening to music is unknown and deserves to be explored.

### **Affective Modulation of the Acoustic Startle Reflex**

Emotions are driven by two motivational circuits that prompt action to ensure survival (Bradley et al., 2001; Lang & Bradley, 2010). The first one, the appetite system, is responsible of approach behaviors and is associated with pleasant emotions. The second one, the aversive system, drives defensive behaviors and is linked to unpleasant emotions. The emotional valence determines which system predominates over the other, while the emotional arousal reflects the intensity of the activation of the dominant system (Cuthbert et al., 1996; Lang et al., 2010). Reflexes are useful to objectively measure emotions, as they are the most primitive behaviors elicited by the appetite and aversive system (Cuthbert et al., 1996).

The acoustic startle reflex is an automatic eyeblink triggered by a short and unexpected unpleasant noise and is frequently used in research on emotions. It is measured by the magnitude (e.g., muscular strength) and the peak latency (e.g., elapsed time between the startle onset and the peak magnitude) of the eyeblink using electromyography (Blumenthal et al., 2005), although magnitude is more reported than latency. According to the Motivational Priming Hypothesis, the startle reflex is facilitated when the aversive system is activated (stronger magnitude and shorter latency), and inhibited when the appetitive system predominates (smaller magnitude and longer latency) (Lang et al., 1998). Startle parameters are therefore modulated by emotions evoked by foreground stimuli depending on their affective valence and arousal.

The effect of emotional valence on startle modulation has been extensively studied (e.g., Vrana et al., 1988) and is well documented. Pleasant stimuli (e.g., pictures of sports) decrease magnitude and increase latency by activating the appetitive system, while unpleasant stimuli (e.g., pictures of mutilation) do the opposite by activating the aversive system. This effect has also been reported with odors (Ehrlichman et al., 1995; Miltner et al., 1994), films (Jansen & Frijda, 1994) sounds (Bradley & Lang, 2000), and music (Roy et al., 2009), validating the paradigm across sensory modalities. The effect of emotional valence is, moreover, modulated by individual factors. Indeed, participants with a high level of depression have an attenuated modulation (Boecker et Pauli, 2019 ; Grillon et Baas, 2003), and the pattern of responses on the elderly is the opposite : their startle are facilitated when they look to pictures, and inhibited when they watch pleasant ones (Feng et al., 2011; Le Duc et al., 2016).

Emotional arousal is far less studied as it has rather a role of modulator in the valence-startle relation. Indeed, high arousing stimuli enhance the valence effect on magnitude and latency by increasing the activity of the appetitive or the aversive system, whereas low arousing stimuli decrease it (Bradley et al., 2006; Cuthbert et al., 1996; Leite et al., 2012). In a similar vein, Bradley et al. (2001) reported strong linear trends between arousal judgments and startle magnitude (a negative trend with pleasant pictures, and a positive one with unpleasant pictures). However, this interaction has only been studied on startle magnitude with pictures; no studies tested the arousal effect on latency nor with stimuli involving another sensory modality, although Bradley et al., (2006) reported that blink latency is only modulated when pictures are rated as high arousing.

## **Affective Startle Modulation by Music**

Only a few studies explored the affective startle modulation with music, and results are inconsistent. A first study confirmed the valence effect of music, where pleasant music inhibited the startle and unpleasant music facilitated it (Roy et al., 2009). The startle reflex was, furthermore, the best measure to distinguish pleasant and unpleasant musical emotions, compared to heart rate, skin conductance and corrugator and zygomatic activity, suggesting that the affective startle modulation is a promising paradigm to measure musical emotions. However, a previous study did not find any effect of valence on startle magnitude and latency (Witvliet, 1996). Nevertheless, they did report an arousal effect of music on startle magnitude, where eyeblinks were smaller after listening to stimulating music compared to relaxing music, although no differences on latency were found.

The contradiction between those two studies could be explained by methodological differences. First, Roy et al. (2009) evoked startle during the excerpts, whereas the white noise bursts were played a few seconds after each music in Witvliet (1996). Moreover, Witvliet (1996) did not take into consideration acoustic features although their impact on evoked emotions. Indeed, energy (sound intensity, associated to loudness), tempo (speed), pulse clarity (rhythmic strength) and event density (number of events, i.e., note or chords, per seconds) are positively linked to arousal (Dean et al., 2011; Gingras et al., 2014; Gomez & Danuser, 2007; Laurier et al., 2009; Schubert, 2004) and roughness (dissonance) is negatively associated with valence (Blood et al., 1999; Koelsch, 2009; Laurier et al., 2009). Roy et al. (2009), in contrast, normalized the amplitude so that energy was similar in both conditions. On the other hand, Witvliet (1996) mentioned that their stimulating music had higher loudness (52 – 80 dB) than their relaxing music (48 – 76 dB). Hence, the effect of emotional arousal while listening to music remains unknown, and it is unclear if their startle modulation was due to arousal or the bottom-up process of sound intensity.

## **Objectives and Hypothesis**

The objective of this study was to examine the impact of stimulating and relaxing music on the acoustic startle reflex. More precisely, the aim was to evaluate if the startle reflex modulates depending of the emotional arousal evoked by pleasant music. Based on previous studies with pictures, we expected a smaller magnitude and a longer latency while participants listen to stimulating music compared to relaxing music.



A secondary objective was to compare the results to a non-musical condition when participants listened to pleasant environmental sounds (i.e., waves, rains). As the emotions evoked by music and environmental sounds has never been compared to date, there is no hypothesis concerning the comparison between music and environmental sounds on the startle reflex.

Finally, another exploratory objective was to analyze the acoustic features of stimuli, such as roughness, event density, pulse clarity and energy. We expected that stimulating music has a higher pulse clarity and event density than stimulating music. As sound intensity was controlled and that the excerpts were selected to evoke pleasant emotions, we also expected no difference of roughness and energy between these two conditions. There was, however, no hypothesis regarding differences of acoustic features between music and environmental sounds.

## Method

### Participants

The sample was constituted of 47 healthy French speakers (F = 31, M =16) aged between 19 and 32 years old ( $M = 22.87$ ,  $SD = 2.97$ ). No participants reported a diagnosed psychiatric (e.g., depression, anxiety) or neurological (e.g., stroke, traumatic brain injury) disorder, and none reported taking medications likely to affect the central nervous system (e.g., antidepressants). Participants having hearing loss higher than 20 dB HL at any audiometric frequency (0.25 to 8 kHz), measured by a standard clinical audiometer (Interacoustics AC-40), were excluded.

This study was approved by the Comité d'éthique de la recherche en arts et science of the Université de Montréal. All participants completed a consent form before the experiment and received a financial compensation.

### Materials and stimuli

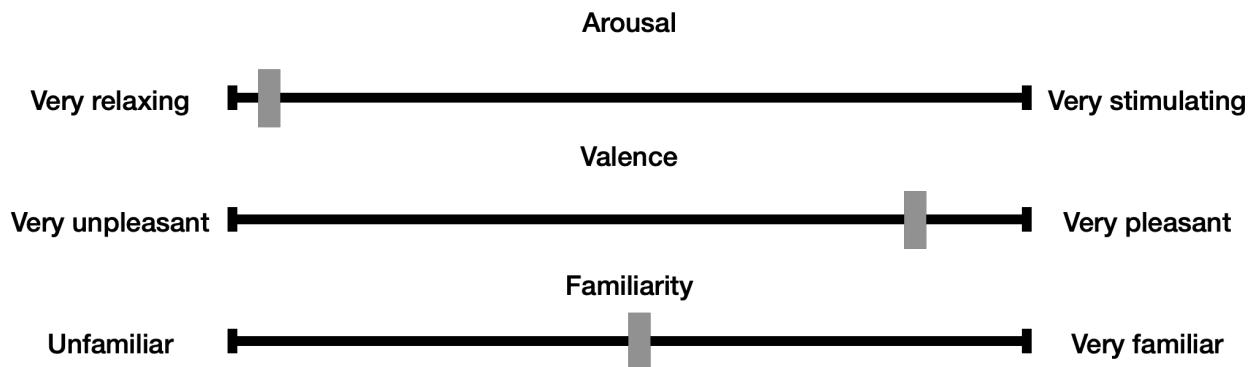
#### Self-reported measures

The French Canadian version of the Beck Depression Inventory II was used to assess the level of depression of the participants (Bourque & Beaudette, 1982). Its internal consistency in this study is high,  $\alpha = .92$ . The questionnaire has 21 items with 4-point Likert scale, ranging from 0 to 3. To avoid the impact of depression on startle modulation, participants with a score higher than 20/63 (moderate to severe depression; Beck et al., 1996) were excluded.

Visual analogue scales, which were 100 mm continuous horizontal lines displayed on a computer screen, were used to measure emotional arousal, emotional valence and familiarity, as illustrated in Figure 2 (0 = “very relaxing”, “very unpleasant”, “unfamiliar” ; 100 = “very stimulating”, “very pleasant”, “very familiar”).

**Figure 2**

*Visual Analogue Scales Used to Self-Report Arousal, Valence and Familiarity of Musical Excerpts*



*Note.* For non-musical stimuli, participants only self-reported emotional arousal and valence.

### **Auditory conditions**

All participants listened to three pleasant stimuli under each of these experimental conditions: (1) stimulating music ( $M = 161$ ,  $SD = 7$  bpm); (2) relaxing music ( $M = 56$ ,  $SD = 6$  bpm); (3) non-musical auditory stimuli. The excerpts lasted 100 s, with a fade in and a fade out of 1.5 s to avoid startling. Musical excerpts came from the repertoire of classical music, had no lyrics and were all composed in major mode (Table 2). They were selected from a pre-study in which stimulating and relaxing music differs in terms of emotional arousal (faster tempo) but have the same level of valence. We used water sounds (e.g., rain, waves) inspired by Koelsch et al., (2011) and Thoma et al., (2013) as non-musical stimuli for their pleasantness previously reported. To avoid a confounding effect of sound intensity on emotional arousal ratings and startle responses, the magnitude of each excerpt were normalized by their mean root-mean-square (RMS) energy as did Gingras et al. (2014). The manipulation of the audio files was done in Adobe Audition 3.0. These acoustic features were extracted from one second prior each startle probe with the MIRTtoolbox in MATLAB R2019a (Lartillot et al., 2008) as they are well known to be associated with emotional valence and arousal (Blood et al., 1999; Dean et al., 2011; Gingras et al., 2014; Gomez & Danuser, 2007; Koelsch, 2009; Laurier et al., 2009) : RMS Energy (*mirrms*), pulse clarity (*mirpulseclarity*), roughness (*mirroughness*), and event density (*mirventdensity*).

**Table 2***List of Musical Stimuli*

Composer	Title	Instrumentation
Stimulating		
Joseph Haydn	Trumpet Concerto in E-flat major, III. Allegro (rondo)	Orchestra
Frédéric Chopin	Waltz in D-flat major, Op. 64, No. 1 ("Minute Waltz")	Piano
Amilcare Ponchielli	Dance of the Hours	Orchestra
Relaxing		
Jules Massenet	Meditation de Thaïs	Piano, violin
Charles Gounod	Ave Maria	Piano
Moby	Novio	Synthesizer, piano

**Acoustic startle reflex**

The startle blinks were induced by short and loud white noises (50 ms, 105 dBA SPL, 20 Hz - 20 000 Hz), following the recommendations of Blumenthal et al. (2005), and created in Adobe Audition 3.0. Five white noises were played in each excerpt, for a total of 45 startle probes per participants (2115 startles in total). Startle magnitude and peak latency were measured by electromyography (EMG) with 4 mm Ag/AgCl electrodes placed on the orbicularis oculi muscle, 1-2 cm beneath the left eye. Signals, in a sample rate of 1 000 Hz, were amplified by 1000 and band-pass filtered at 90 Hz – 500 Hz. Baselines were assessed by selecting the maximum root-mean-square magnitude value between 120 and 20 ms before the startle onset. Raw magnitude of each blink response was extracted 20-120 ms after the startle probe occurred. Data were collected, processed and analyzed in AcqKnowledge software (BIOPAC Systems, Goleta, CA).

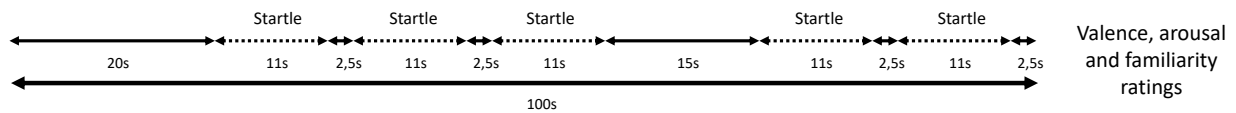
All trials were visually examined through EMG signals to detect excessive noises and spontaneous blinks occurring right before the startle probe. Trials with artefacts (8 %) were excluded from further analysis. Raw data of startle blinks smaller than two standard deviations above the baseline (3 %) were considered as a non-response and coded as 0. Raw magnitude ( $\mu\text{V}$ ) and peak latency (ms) were standardized in T-score ( $M = 50$ ,  $SD = 10$ ) to control the inter-individual variability of the startle blink and were averaged across participants for each condition. Non-responder participants ( $n = 9$ ) were removed and the outliers of trials ( $n_{\text{magnitude}} = 15/2115$ ,  $n_{\text{latency}} = 11/2115$ ) were winzorised at 3 standard deviations. All variables had a normal distribution.

## Procedure

The experiment was conducted at BRAMS Laboratory at the University of Montreal and lasted on average 90 minutes. Participants filled out the Beck Depression Inventory-II and completed the audiometry test. Then, they sat comfortably in front of a screen in a soundproof room as we installed them the electrodes and the headphones (Beyerdynamics DT770). They were instructed to stay still and to look at a fixed cross on the screen during the experiment. The orders of the conditions and the excerpts were randomized. Similarly to Roy et al. (2009), each excerpt started by a period of 20 s without startle probes to induce the emotion, following by five temporal windows of 11 s in which one startle probe occurred randomly (Figure 3). Each window were separated by 2.5 s to avoid overlapping startle probes. After listening each excerpt, participants rated their emotional valence, arousal, and familiarity on screen. The experiment and the visual analogue scales were programed and presented on Eprime 2 software (Psychology Software Tools, Inc.).

**Figure 3**

*Presentation of Startles Probes During One Excerpt*



## Data analysis

Repeated measure analyses of variance (ANOVA), with sound conditions as the within-subject factor (stimulating music, relaxing music and non-musical sounds), were executed to assess mean differences to startle magnitude and latency in T-scores, emotions (valence and arousal ratings) and familiarity judgments. Greenhouse-Geisser adjustment was performed in anticipation of a sphericity assumption violation. As exploratory analysis, repeated-measure ANOVAs were executed to compare the means of acoustic features between conditions. As no studies reported results of the affective startle modulation between musical and non-musical stimuli, post hoc comparisons using Bonferroni correction ( $\alpha = .017$ ) were used when effects were significant, instead of planned contrasts. Eta-square ( $\eta^2$ ) were used to report effect sizes in which the value of .01 was considered small, .06 as medium and greater

than or equal to .14 as large according to Cohen's norms in behavioral sciences (Cohen, 1988). Statistical analyses were performed using IBM SPSS Statistics 25.

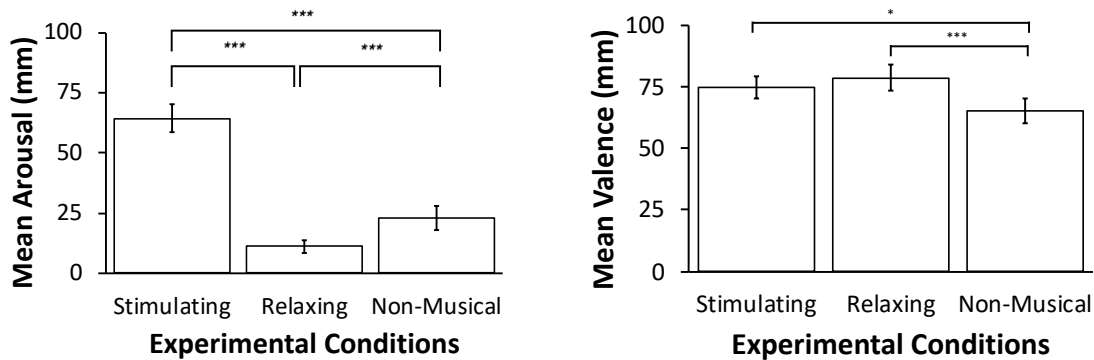
## Results

### Self-ratings of auditory conditions

Self-Reported emotional valence and arousal are illustrated in Figure 4. As expected, emotional arousal differed between conditions with a large effect,  $F(1, 69) = 142.73, p < .001, \eta^2 = .75$ . Bonferroni correction confirmed that stimulating music were the most arousing, followed by the non-musical sounds and then relaxing music (all  $p < .001$ ). Valence ratings also differed significantly between conditions  $F(2, 84) = 9.79, p < .001, \eta^2 = .18$ . Non-musical sounds were rated as less pleasant than relaxing music ( $p < .001$ ), with a tendency of being less pleasant than stimulating music ( $p = .02$ ). There were no differences of emotional valence between musical conditions ( $p = .41$ ). Participants were equally familiar with stimulating ( $M = 51.40, SD = 29.41$ ) and relaxing music ( $M = 51.44, SD = 28.76$ ),  $F(1,46) = 0.00, p = .98$ .

**Figure 4**

*Mean Self-Reported Arousal and Valence Across Experimental Conditions*



*Note.* Error bars represent 95 % CI.

\*  $p < .05$ , \*\*\*  $p < .001$

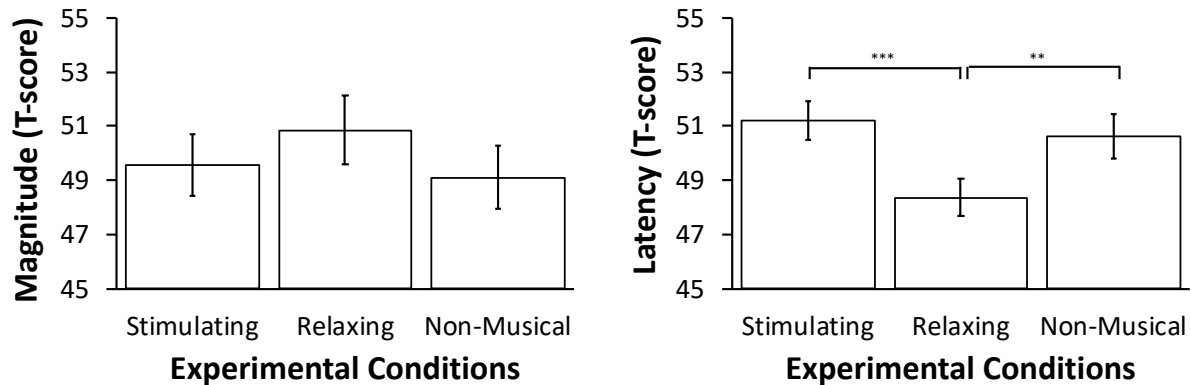
### Acoustic Startle Reflex

Startle latency differed significantly between conditions with a large effect,  $F(2, 68) = 8.05, p < .001, \eta^2 = .19$  (Figure 5). Bonferroni correction reported that startle responses were faster while listening to relaxing music compared to both stimulating music ( $p < .001$ ) and non-musical sounds ( $p = .005$ ).

There was no difference between stimulating music and non-musical sounds ( $p = 1.00$ ). Surprisingly, startle magnitude did not modulate between conditions  $F(2, 74) = 2.42, p = .23$ .

**Figure 5**

*Mean Magnitude and Latency of the Acoustic Startle Reflex Across Experimental Conditions*



*Note.* Error bars represent 95 % CI.

\*\*  $p < .01$ , \*\*\*  $p < .001$

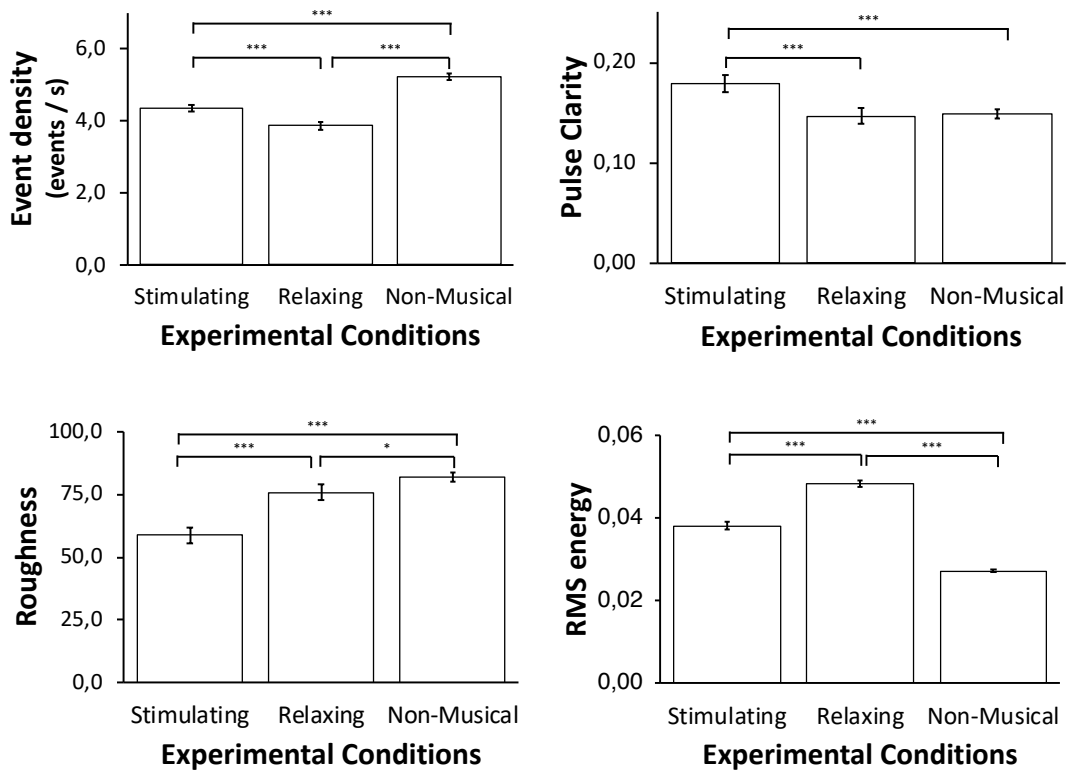
### Acoustic Features

Exploratory acoustic features analysis between conditions were executed to better understand the results of startle modulation by emotional arousal (see Figure 6). Every feature differed significantly between conditions with a large effect. Event density differed between all conditions,  $F(2, 90) = 179.97, p < .001, \eta^2 = .78$ , in which stimulating music had more events than relaxing music, but non-musical sounds had the highest density. There was also a significant difference of auditory conditions on pulse clarity,  $F(2, 83) = 2.38, p < .001, \eta^2 = .33$ . The pulsation was clearer in stimulating music than in relaxing music and sounds, but the clarity did not differ between these latter. In addition, stimulating music had the lowest level of roughness, followed by relaxing music and non-musical sounds  $F(2, 88) = 22.38, p < .001, \eta^2 = .33$ . Finally, RMS energy was significantly different between condition,  $F(2, 67) = 678.74, p < .001, \eta^2 = .94$ . Relaxing music had the highest energy, followed by stimulating music and sound stimuli.



**Figure 6**

*Mean Acoustic Features Across Experimental Conditions*



*Note.* Error bars represent 95 % CI.

\*  $p < .05$ . \*\*\*  $p < .001$

## Discussion

The main objective of this research was to study the arousal effect on the acoustic startle reflex while listening to pleasant music. We expected a smaller magnitude and a longer latency of the startle while participants listened to stimulating music. Results point that startle latency did increase in the stimulating condition, but no significant differences in magnitude were found across conditions. Therefore, our hypothesis is partially supported.

### Startle latency

As expected, startle latency was shorter in the relaxing condition compared to the stimulating condition. As arousal ratings differed between conditions and valence were judged equally, this confirms that the startle modulation in our study is explained by the emotional arousal and not the valence. Along with the results of Roy et al. (2009), this confirms that startle latency is a relevant method to measure objectively both emotional arousal and valence evoked by musical emotions.

These results on latency are also consistent with the model of Cuthbert et al. (1996), mentioning that pleasant stimulating stimuli inhibit more the startle reflex than pleasant relaxing ones. Therefore, we confirm that the emotional arousal effect on the startle reflex also applies to latency and music emotions. Moreover, our result suggest, through the Motivational Priming Hypothesis (Lang et al., 1998), that stimulating music activate more the appetitive system than relaxing music.

Witvliet (1996) also reported similar results, where blink magnitudes were weaker when participants listened to stimulating music compared to relaxing music. However, their effect was only significant for magnitude and not for latency. This might be explained by methodological differences, in which they induced the startles probes after the end of the excerpts, while we startled participants during the excerpts.

On the acoustic level, this startle modulation by music may be explained by the faster tempo, clearer pulsation and higher event density (i.e., notes or chords) in our stimulating condition, as these acoustic features are well known to be associated with arousal ratings (Dean et al., 2011; Gomez & Danuser, 2007; Laurier et al., 2009). However, as we did not manipulate these acoustic features, we cannot conclude any causal relationship. Moreover, because the energy was not higher in stimulating

music, this confirms that latency modulation by emotional arousal was not due to loudness differences between conditions.

Interestingly, the latency in the non-musical condition was longer than in the relaxing condition, and similar that in the stimulating condition. Considering the results of emotional judgments and acoustic parameters, we would have expected a similar or even a shorter latency in this condition than the relaxing condition for two reasons. First, on top of having the smallest RMS energy, environmental sounds had a much lower arousal than stimulating music, and a similar one to the relaxing music despite a significant difference, raising the question if the semantic difference between music and environmental sounds impact more the modulation of the startle reflex than arousal. Second, environmental sounds were found to be slightly less pleasant to those of musical excerpts, which, according to the results of previous studies, should have attenuated the eyeblink inhibition (Cuthbert et al., 1996; Roy et al., 2009), thus producing a shorter latency. However, the acoustic density could explain these results, as the number of events in the non-musical condition was higher than in the relaxing and stimulating condition.

Finally, it is likely that startle reflex modulation by non-musical sounds is hardly comparable to the one by music due to their semantic difference. To deepen our understanding of the mechanisms underlying the modulation of the startle reflex by auditory stimuli, it would be relevant to compare the effect of music to non-musical sounds while manipulating both valence and arousal.

## **Startle Magnitude**

Contrary to our hypothesis, magnitude did not differ between conditions. Some reasons may explain these results. First, even if the means RMS energy were normalized, it was higher in relaxing music compared to stimulating music. Gingras et al. (2014) reported that amplitude normalization has an impact on self-reported arousal: the more the RMS is adjusted, the greater the difference in the arousal ratings. It is then possible that the energy in relaxing excerpts might implicitly have increased the emotional arousal, thus enhancing the magnitude inhibition in the relaxing condition, equalizing then the muscle strength between both musical conditions. Yet, we do not know if the difference of energy between conditions was important enough to have impacted the modulation of startle magnitude. However, in Witvliet (1996), magnitude in the stimulating condition were significantly smaller than in the relaxing condition. Nevertheless, as the loudness was greater in the former, this suggests that magnitude might be sensible to loudness whereas latency might not be. Further studies should examine the role of bottom-up processes of acoustic features on the modulation of startle magnitude and latency.

On the other hand, it is also possible that instrumentation and music genres have a bigger impact on magnitude modulation than acoustic features. Indeed, Bradley et al. (2001) reported no difference of startle magnitude when participants looked to color versus grayscale pictures, stating that semantic content (e.g., food or sports pictures) predominates the modulation of emotional ratings and startle over visual features. This would explain why the reflexes evoked while listening to non-musical stimuli are difficult to interpret with those provoked in musical conditions. Therefore, it would be interesting in future studies to compare the effect of music genres (i.e., electronic, rock, classical) and the effect of musical features, such as dissonance (Roy et al., 2009), and tempo as we did in this study, on the modulation of startle reflex.

Finally, previous research studying the affective modulation of the startle reflex used pictures (Lang et al., 1997) where arousal and valence ratings were correlated: the more stimulating pictures are pleasant, the more they are arousing (Lang et al., 1998). This relation is reflected by the activity of the autonomous nervous system in a music listening task (Salimpoor et al., 2009). In this study, ratings of pleasure are linked to physiological responses associated with emotional arousal. When participants felt a high level of pleasure while listening to music, researchers observed an increased skin conductance and heart rate, a faster respiration and lower temperature and blood pressure. In our study, emotional valence was however similar across musical conditions: stimulating and relaxing music evoked the same level of pleasure. Therefore, our findings suggest that startle magnitude is insensitive to emotional arousal when valence is stable.

## **Limitations**

Some limitations need to be taken into consideration. First, the musical excerpts used in this study were selected by the experimenters. As musical emotions are not only associated with acoustic features, but are also modulated by mechanisms of interaction with factors of the listener (Juslin, 2013), music chosen by participants would probably have evoked a stronger stimulation or relaxation state, and therefore provoked a more important modulation of the startle magnitude. Indeed, emotional arousal is known to be higher when participants listen to self-selected music evoking them pleasure than experimenter-selected music (Salimpoor et al., 2009).

Second, comparisons of acoustic features between conditions were exploratory, and none of them were manipulated. It is thus not possible in this study to affirm that acoustic features cause startle modulation. However, this study was the first to consider acoustic features in the modulation of the

acoustic startle reflex by music and acoustic stimuli in general, stressing the need in future research to systematically manipulate the acoustic features to explore their role in startle modulation as they seem to impact differently blink magnitude and latency.

## **Conclusion**

This study was the first to examine the arousal effect on the acoustic startle reflex while listening to pleasant music. The results highlight that startle latency is longer when listening to stimulating music compared to relaxing music, confirming its sensibility to music arousal. However, no modulation of the magnitude was observed. In addition, this study suggests that startle magnitude and latency could also be influenced by bottom-up processes of acoustic features, and are not impacted by the same ones. Nevertheless, future studies are needed to replicate these results and test these hypotheses.

In conclusion, startle latency is an adequate method to objectively measure the emotional arousal of music. This implies the possibility for future research to use the affective startle modulation to study musical emotions considering individual factors, such as age, depression and other psychopathologies.

## Discussion générale

L'objectif principal de cette étude était d'étudier l'effet principal du niveau d'activation de la musique plaisante sur le réflexe acoustique de sursaut lorsque. Les résultats démontrent une latence plus rallongée dans la condition stimulante que dans la condition relaxante. Toutefois, aucune différence significative n'a été retrouvée sur l'amplitude. Comme la musique stimulante et relaxante n'a modulé qu'un des deux paramètres, notre hypothèse est partiellement supportée.

### Modulation de la latence

Conformément à notre hypothèse, la latence a été plus longue dans la condition stimulante que dans la condition relaxante. Comme la valence était similaire entre les deux conditions, et que la musique stimulante a suscité un niveau d'activation émotionnelle plus élevé que la musique relaxante, cela confirme que la modulation affective du réflexe de sursaut dans cette étude est due au niveau d'activation et non à la valence. Par conséquent, en considérant les résultats de Roy et al. (2009), nous suggérons la latence du réflexe de sursaut comme mesure objective des émotions musicales, tant sur le plan de la valence qu'au niveau d'activation. De futures recherches pourront comparer le réflexe de sursaut à d'autres mesures physiologiques reconnues pour leur sensibilité au niveau d'activation émotionnelle de la musique, telles que le rythme cardiaque et la conductance électrodermale (Gomez & Danuser, 2004; Khalifa et al., 2002; Witvliet, 1996), similairement à ce qu'on fait Roy et al. (2009) pour la valence. Cela permettrait de déterminer quel indice est le plus efficace pour mesurer objectivement le niveau d'activation musicale.

Nos résultats sur la latence concordent avec le modèle de Cuthbert et al. (1996), qui stipule que l'inhibition du réflexe de sursaut par un stimulus plaisant est accentuée par un haut niveau d'activation émotionnelle. Ainsi, nous confirmons que l'effet du niveau d'activation sur le réflexe de sursaut s'applique aussi sur la latence par des émotions plaisantes suscitées par la musique. Par ailleurs, nos résultats suggèrent, par le biais du *Motivational Priming Hypothesis* (Lang et al., 1998), que la musique stimulante active davantage le système appétitif que la musique relaxante. Cela impliquerait que la musique stimulante ait activé davantage les régions du circuit de la récompense que la musique relaxante, incluant les noyaux accumbens, l'hypothalamus et le cortex préfrontal (Koelsch, 2014; Levitin, 2013), qui sont aussi reconnues pour inhiber les sursauts chez les animaux (pour discussions, voir Boecker & Pauli, 2019; Koch, 1999; Kuhn et al., 2020; Lang et al., 1998). Une étude combinant l'EMG et

l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle telle que réalisée par Kuhn et al., (2020), pourrait confirmer cette hypothèse.

Witvliet (1996) a aussi rapporté des effets similaires, où l'amplitude était inhibée dans la condition stimulante et facilitée dans la condition relaxante. Cependant, leur effet était significatif uniquement sur le plan de l'amplitude ; la modulation n'était pas significative au niveau de la latence. L'incohérence entre notre étude et la leur peut s'expliquer par des différences méthodologiques. En premier lieu, Witvliet (1996) a analysé l'effet principal du niveau d'activation, dans lequel les conditions stimulantes et relaxantes étaient constituées à la fois d'extraits plaisants et déplaisants, alors qu'en contrepartie, nous avons utilisé uniquement des extraits plaisants. En second lieu, nous avons induit les sursauts pendant que les participants écoutaient la musique, alors que Witvliet (1996) les a provoqués quelques secondes après les extraits, où les participants avaient comme instructions de continuer à traiter l'émotion induite par la musique. En troisième lieu, Witvliet (1996) a extrait le *onset latency* qui requiert une prise de décision subjective pour considérer le moment où le clignement de l'œil a commencé, alors que nous avons opté pour le *peak latency* qui n'implique pas de critères subjectifs lors de son extraction.

Il est aussi possible que la modulation du réflexe soit due aux processus attentionnels (Cuthbert et al., 1996). La musique stimulante aurait dirigé davantage leur attention sur la musique, limitant ainsi l'impact des bruits blancs sur le réflexe de sursaut. Il serait intéressant dans de futures recherches de comparer les mécanismes émotionnels et attentionnels sous-jacents la modulation de réflexe de sursaut par la musique, à savoir lequel des deux prédomine selon la valence et le niveau d'activation. Cela permettrait également de valider l'effet d'interaction des deux dimensions émotionnelles sur les deux paramètres du réflexe de sursaut par le biais de l'écoute musicale, puisqu'il est, à ce jour, uniquement validé sur l'amplitude par des émotions suscitées par des images (Cuthbert et al., 1996).

Au plan acoustique, la modulation du réflexe de sursaut par la musique pourrait être expliquée par un tempo plus rapide, une pulsation plus claire et une plus grande densité acoustique dans la condition stimulante, puisque ces paramètres sont bien connus pour être associées au jugement du niveau d'activation (Dean et al., 2011; Gomez & Danuser, 2007; Laurier et al., 2009). Cependant, comme nous n'avons pas manipulé ces paramètres, excepté le tempo, nous ne pouvons pas rapporter un effet de causalité. Toutefois, comme l'énergie n'était pas plus élevée dans la condition stimulante, cela confirme que la modulation de la latence par le niveau d'activation émotionnelle n'est pas due à la différence de l'intensité sonore entre ces conditions.

Fait intéressant, la latence dans la condition non-musicale était d'une longueur similaire à celle dans la condition stimulante, et plus longue que dans la condition relaxante. En interprétant les résultats selon le *Motivational Priming Hypothesis*, cela signifierait que les sons environnementaux auraient davantage activé le système appétitif que la musique relaxante, ce qui est surprenant puisque la musique a la capacité de libérer de la dopamine et d'induire un grand sentiment de plaisir (Salimpoor et al., 2011). De plus, en considérant nos résultats des jugements émotionnelles et des paramètres acoustiques, on se serait plutôt attendu à ce que la latence dans cette condition soit similaire, voir inférieure à celle dans la condition relaxante pour trois raisons. Premièrement, en plus d'avoir la plus faible énergie, les sons environnementaux avaient un niveau d'activation largement plus faible que la musique stimulante, et similaire à celle de la musique relaxante malgré une différence significative, à se questionner si cette dimension émotionnelle a impact sur le réflexe de sursaut lorsque les stimuli appartiennent à des groupes sémantiques différents. Deuxièmement, les sons environnementaux étaient jugés légèrement moins plaisants à celles des extraits musicaux, ce qui aurait dû, selon les résultats des études précédentes, atténuer l'inhibition des clignements de l'œil (Cuthbert et al., 1996; Roy et al., 2009), et ainsi produire une plus courte latence. Troisièmement, comparé à la musique, leur dissonance était plus élevée, ce qui aurait dû susciter des émotions davantage moins plaisantes (Blood et al., 1999; Koelsch, 2009; Laurier et al., 2009), bien que celle-ci soit démontré de façon discrète dans le jugement de la valence. Cependant, la densité acoustique pourrait expliquer ces résultats, par le fait que le nombre d'événements sonore dans la condition non-musicale était plus élevée que dans la condition relaxante et stimulante.

Finalement, il est probable que la modulation du réflexe acoustique de sursaut par des sons non-musicaux soit difficilement comparable à celle par la musique dû à leur différence sémantique. Pour approfondir notre compréhension sur les mécanismes sous-jacents la modulation du réflexe de sursaut par des stimuli auditifs, il serait pertinent de comparer l'effet de la musique à celui des sons non-musicaux tout en manipulant la valence et le niveau d'activation.

## **Modulation de l'amplitude**

Contrairement à ce qui était attendu, l'amplitude ne diffère pas entre les conditions. Plusieurs raisons peuvent expliquer cette absence de modulation.

D'une part, malgré la normalisation d'amplitude des extraits, les résultats des analyses acoustiques exécutés sur la MIRTtoolbox (Lartillot, 2019) rapportent que l'énergie était plus élevée dans



la condition relaxante, et plus faible dans la condition stimulante. Or, Gingras et al. (2014) souligne que la normalisation d'amplitude des extraits a un impact sur l'évaluation du niveau d'activation; plus l'intensité de l'extrait est ajustée, plus la différence du niveau d'activation est grande. Il est donc possible que l'énergie ait implicitement augmenté le niveau d'activation des participants dans la condition relaxante et inhibé l'amplitude des clignements de l'œil sans, toutefois, influencer le niveau d'activation émotionnel auto-rapporté.

Cette justification serait cohérente avec les résultats de l'étude de Witvliet (1996), où l'amplitude du réflexe était plus faible dans la condition où l'intensité sonore était plus élevée. En effet, les extraits stimulants avaient un volume supérieur à ceux des extraits relaxants. En considérant notre étude et la leur, cela suggère que l'amplitude du réflexe acoustique de sursaut serait sensible à l'intensité sonore des extraits, alors que la latence ne le serait pas. Toutefois, comme l'énergie de nos extraits n'a pas été parfaitement normalisée, et que les réflexes ont été occasionnés après l'écoute musicale dans l'étude de Witvliet (1996), la confirmation du rôle de l'intensité sonore sur la modulation de l'amplitude et de la latence du réflexe serait précipitée. Nos résultats ouvrent cependant la porte à de futures recherches sur le rôle du traitement ascendant (*bottom-up*) des caractéristiques acoustiques des stimuli sur la modulation du réflexe de sursaut.

D'autre part, les études antérieures ont eu recours à des images (Lang et al., 1997) dont leur niveau d'activation est positivement corrélé à leur valence : plus les images stimulantes sont agréables, plus elles susciteront un haut niveau d'activation émotionnelle (Lang et al., 1998). Cette relation entre les deux dimensions émotionnelles s'est d'ailleurs reflétée par l'activité du système nerveux autonome lors d'écoute musicale dans l'étude de Salimpoor et al. (2009). Dans cette recherche, le plaisir musical a modulé des mesures physiologiques reconnues pour être associées au niveau d'activation. Lorsque les participants ressentaient un grand niveau de plaisir en écoutant de la musique, les chercheurs ont observé une augmentation de l'activité électrodermale, du rythme cardiaque et de la respiration, ainsi qu'une diminution de température et de pression sanguine. Dans notre étude, la valence émotionnelle était toutefois similaire dans les deux conditions : les extraits stimulants et relaxants suscitaient le même niveau de plaisir. Nos résultats suggèrent donc que l'amplitude du réflexe de sursaut est insensible au niveau d'activation lorsque la valence est de même niveau.

Finalement, il est possible que l'instrumentation et les genres musicaux aient modulé davantage le réflexe de sursaut que les caractéristiques acoustiques de la musique. En effet, Bradley et al. (2001) soulignent que la modulation du réflexe est plus importante par les différences sémantiques que par les

caractéristiques de la modalité visuelle. Pour appuyer ces dires, les auteurs rapportent que les contenus des images (p.ex., la nourriture et des figures sportives) prédominent la variation des jugements émotionnels contre les caractéristiques visuelles (p.ex., images en couleur contre en noir et blanc). Ils n'ont d'ailleurs pas trouvé de différences significatives sur l'amplitude selon cette caractéristique. Cela expliquerait en partie pourquoi les réflexes provoqués dans la condition non-musicale sont difficiles à interpréter par rapport à ceux induits dans les conditions musicales. Par conséquent, il serait pertinent dans les futures études de comparer l'effet de l'instrumentation et des genres musicaux (p.ex., électronique, jazz, rock) sur la modulation du réflexe de sursaut à celui des paramètres musicaux, tels que la dissonance comme dans l'étude de Roy et al. (2009), ou le tempo comme dans cette présente étude.

## **Caractéristiques acoustiques et émotions auto-rapportées**

Comme souhaité, la valence émotionnelle n'a pas été significativement différente entre la condition stimulante et relaxante, ce qui nous a permis d'interpréter les résultats sur l'effet du niveau d'activation sans effet confondant de la valence. Toutefois, bien qu'ils soient considérés plaisants (> 50 mm sur l'échelle visuelle analogue), les sons d'eau de la condition non-musicale n'ont pas suscité d'émotions aussi plaisantes que les extraits musicaux. Cette différence peut s'expliquer par la différence sémantique entre la musique et les sons d'eau (Bradley et al. 2001), ou encore par la capacité de la musique d'induire du plaisir en libérant de la dopamine et en activant le circuit de la récompense (Chanda & Levitin, 2013; Koelsch, 2014; Zatorre & Salimpoor, 2013).

Le niveau d'activation émotionnelle rapporté par les échelles visuelles analogues diffère entre les trois conditions expérimentales, comme attendu. Les extraits dans la condition stimulante furent jugés comme les plus stimulantes, suivis de loin par les sons d'eau et les extraits relaxants. La différence entre la musique stimulante et relaxante peut s'expliquer par le tempo, la densité acoustique et la clarté rythmique. En effet, les résultats de nos analyses sur les caractéristiques acoustiques rapportent que la musique stimulante était plus rapide, rythmée et dense en termes d'événements sonores, ce qui est cohérent avec nos hypothèses et les études précédentes (Dean et al., 2011; Gomez & Danuser, 2007; Laurier et al., 2009).

Toutefois, les analyses acoustiques ont rapporté que la musique relaxante avait une énergie sonore et un niveau de dissonance plus élevée. Bien qu'habituellement l'énergie est associée à la musique stimulante (Gingras et al., 2014; Gomez & Danuser, 2007), et que la dissonance est plutôt reliée

à la valence émotionnelle (Blood et al., 1999; Koelsch, 2009; Laurier et al., 2009), ces résultats inattendus peuvent survenir selon la liste des extraits musicaux utilisée dans les études. À titre d'exemple, dans l'étude de Paquette et al. (2018), l'intensité sonore des extraits était négativement corrélée à l'évaluation du niveau d'activation, alors qu'on se serait attendue à une corrélation positive. Cependant, dans notre étude, ces différences ne semblent pas avoir été assez importantes pour avoir influencé les émotions musicales auto-rapportées.

## Forces et limites

Cette étude comporte des forces qui méritent d'être mentionnées. En premier lieu, l'échantillon était constitué de participants jeunes et en santé, ce qui a permis d'éviter un effet d'âge et de dépression (mesuré par un questionnaire clinique validé en français) sur la modulation du réflexe de sursaut. En deuxième lieu, l'ordre de la présentation des extraits et des conditions expérimentales était contrebalancé, contrôlant ainsi l'effet d'habituation. Finalement, le niveau de familiarité des extraits musicaux et la valence émotionnelle étaient identiques entre les deux conditions, ce qui a évité d'obtenir un effet confondant de la mémoire autobiographique ainsi qu'une modulation du réflexe de sursaut par la valence.

Quelques limites doivent toutefois être considérées. D'une part, les extraits musicaux ont été présélectionnés par l'expérimentateur. Bien que ça nous ait donné l'avantage d'obtenir une valence similaire entre les deux conditions, les extraits ne reflétaient pas les goûts musicaux des participants. Comme les émotions musicales ne sont pas qu'associées aux caractéristiques acoustiques, mais aussi par les facteurs individuels de l'auditeur (Juslin, 2013), la musique sélectionnée par les participants aurait probablement suscité un plus grand état de relaxation et de stimulation, et par conséquent, provoqué une modulation plus importante de l'amplitude. En effet, la musique choisie par les participants pour le plaisir qu'elle leur suscite provoque un plus grand niveau d'activation émotionnelle que la musique choisie par l'expérimentateur (Salimpoor et al., 2009).

D'autre part, les comparaisons des caractéristiques acoustiques entre les conditions étaient exploratoires et aucune d'entre elles, hormis le tempo, n'a été manipulée. Il n'est alors pas possible dans cette étude d'affirmer qu'elles sont la cause de la modulation du réflexe acoustique de sursaut. Cependant, cette étude a été la première à considérer les paramètres acoustiques dans la modulation du réflexe acoustique de sursaut par la musique, et souligne l'importance pour les prochaines recherches

d'étudier leur influence sur le réflexe, puisqu'ils semblent moduler différemment l'amplitude de la latence.

## Conclusion

Cette étude était la première à explorer l'effet du niveau d'activation émotionnel sur le réflexe sur le réflexe acoustique de sursaut par le biais d'écoute de musique plaisante. Les résultats ont permis de confirmer la sensibilité de la latence à la variation du niveau d'activation, mais pas au niveau de l'amplitude, confirmant partiellement notre hypothèse. De plus, cette étude suggère que l'amplitude et la latence du réflexe de sursaut pourrait être aussi modulé par le traitement ascendant de différentes caractéristiques acoustiques. Toutefois, d'autres études seront nécessaires pour répliquer ces résultats et tester ces hypothèses.

Pour conclure, la latence du réflexe acoustique de sursaut est une mesure adéquate pour évaluer le niveau d'activation des émotions musicales. Cette étude implique la possibilité pour les recherches futures d'utiliser le paradigme de la modulation affective du réflexe de sursaut pour étudier les émotions musicales selon des facteurs individuels, comme l'âge et la dépression.



## Références bibliographiques

- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *98*(20), 11818–11823. <https://doi.org/cshtx5>
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P., & Evans, A. C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, *2*(4), 382–387. <https://doi.org/d9smfr>
- Blumenthal, T. D., Cuthbert, B. N., Filion, D. L., Hackley, S., Lipp, O. V., & Bortel, A. V. (2005). Committee report: Guidelines for human startle eyeblink electromyographic studies. *Psychophysiology*, *42*(1), 1–15. <https://doi.org/dsdfw5>
- Boecker, L., & Pauli, P. (2019). Affective Startle Modulation and Psychopathology: Implications for Appetitive and Defensive Brain Systems. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *103*, 230–266. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2019.05.019>
- Bourque, P., & Beaudette, D. (1982). Étude psychométrique du questionnaire de dépression de Beck auprès d'un échantillon d'étudiants universitaires francophones. [Psychometric study of the Beck Depression Inventory on a sample of French-speaking university students.]. *Canadian Journal of Behavioural Science / Revue Canadienne Des Sciences Du Comportement*, *14*(3), 211–218. <https://doi.org/10.1037/h0081254>
- Bradley, Codispoti, M., Cuthbert, B., & Lang, P. J. (2001). Emotion and Motivation I: Defensive and Appetitive Reactions in Picture Processing. *Emotion*, *1*(3), 276–298. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.1.3.276>
- Bradley, Codispoti, M., & Lang, P. J. (2006). A multi-process account of startle modulation during affective perception. *Psychophysiology*, *43*(5), 486–497. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2006.00412.x>
- Bradley, M., & Lang, P. J. (2000). Affective reactions to acoustic stimuli. *Psychophysiology*, *37*(2),

204–215.

Chanda, M. L., & Levitin, D. J. (2013). The neurochemistry of music. *Trends in Cognitive Sciences*, 17(4), 179–193. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2013.02.007>

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). L. Erlbaum Associates.

Cuthbert, B. N., Bradley, M. M., & Lang, P. J. (1996). Probing picture perception: Activation and emotion. *Psychophysiology*, 33(2), 103–111. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1996.tb02114.x>

Dean, R. T., Bailes, F., & Schubert, E. (2011). Acoustic Intensity Causes Perceived Changes in Arousal Levels in Music: An Experimental Investigation. *PLoS ONE*, 6(4), e18591. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018591>

Eerola, T., & Vuoskoski, J. K. (2011). A comparison of the discrete and dimensional models of emotion in music. *Psychology of Music*, 39(1), 18–49. <https://doi.org/10.1177/0305735610362821>

Ehrlichman, H., Brown, S., Zhu, J., & Warrenburg, S. (1995). Startle reflex modulation during exposure to pleasant and unpleasant odors. *Psychophysiology*, 32(2), 150–154. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1995.tb03306.x>

Ekman, P. (1992). Are there basic emotions? *Psychological Review*, 99(3), 660–553. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.99.3.550>

Etzel, J. A., Johnsen, E. L., Dickerson, J., Tranel, D., & Adolphs, R. (2006). Cardiovascular and respiratory responses during musical mood induction. *International Journal of Psychophysiology*, 61(1), 57–69. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2005.10.025>

Feng, M. C., Courtney, C. G., Mather, M., Dawson, M. E., & Davison, G. C. (2011). Age-related affective modulation of the startle eyeblink response: Older adults startle most when viewing positive pictures. *Psychology and Aging*, 26(3), 752. <https://doi.org/10.1037/a0023110>

Ferreri, L., Mas-Herrero, E., Zatorre, R. J., Ripollés, P., Gomez-Andres, A., Alicart, H., Olivé, G.,



- Marco-Pallarés, J., Antonijoan, R. M., Valle, M., Riba, J., & Rodriguez-Fornells, A. (2019). Dopamine modulates the reward experiences elicited by music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *116*(9), 3793–3798. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811878116>
- Gingras, B., Marin, M. M., & Fitch, W. T. (2014). Beyond intensity: Spectral features effectively predict music-induced subjective arousal. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *67*(7), 1428–1446. <https://doi.org/10.1080/17470218.2013.863954>
- Gomez, P., & Danuser, B. (2004). Affective and physiological responses to environmental noises and music. *International Journal of Psychophysiology*, *53*(2), 91–103. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2004.02.002>
- Gomez, P., & Danuser, B. (2007). Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion*, *7*(2), 377–387. <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.377>
- Gosselin, N., Peretz, I., Johnsen, E., & Adolphs, R. (2007). Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia*, *45*(2), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.07.012>
- Gosselin, N., Peretz, I., Noulhiane, M., Hasboun, D., Beckett, C., Baulac, M., & Samson, S. (2005). Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. *Brain*, *128*(3), 628–640. <https://doi.org/10.1093/brain/awh420>
- Gosselin, N., Samson, S., Adolphs, R., Noulhiane, M., Roy, M., Hasboun, D., Baulac, M., & Peretz, I. (2006). Emotional responses to unpleasant music correlates with damage to the parahippocampal cortex. *Brain*, *129*(10), 2585–2592. <https://doi.org/10.1093/brain/awl240>
- Grillon, C., & Baas, J. (2003). A review of the modulation of the startle reflex by affective states and its application in psychiatry. *Clinical Neurophysiology*, *114*(9), 1557–1579. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(03\)00202-5](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(03)00202-5)
- Hodges, D. (2010). Psychophysiological measures. In P. Juslin & J. A. Sloboda, *Handbook of music and emotion: Theory, research, applications* (2nd ed., pp. 279–311). Oxford University Press.

- Jansen, D. M., & Frijda, N. H. (1994). Modulation of the acoustic startle response by film-induced fear and sexual arousal. *Psychophysiology*, *31*(6), 565–571. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1994.tb02349.x>
- Juslin, P. N. (2013). From everyday emotions to aesthetic emotions: Towards a unified theory of musical emotions. *Physics of Life Reviews*, *10*(3), 235–266. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2013.05.008>
- Juslin, P. N., & Västfjäll, D. (2008). Emotional responses to music: The need to consider underlying mechanisms. *Behavioral and Brain Sciences*, *31*(5), 559–575. <https://doi.org/10.1017/S0140525X08005293>
- Khalifa, S., Peretz, I., Blondin, J.-P., & Robert, M. (2002). Event-related skin conductance responses to musical emotions in humans. *Neuroscience Letters*, *328*(2), 145–149. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(02\)00462-7](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00462-7)
- Khalifa, S., Roy, M., Rainville, P., Dalla Bella, S., & Peretz, I. (2008). Role of tempo entrainment in psychophysiological differentiation of happy and sad music? *International Journal of Psychophysiology*, *68*(1), 17–26. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2007.12.001>
- Kivy, P. (1990). *Music alone: Philosophical reflections on the purely musical experience*. Cornell University Press.
- Koch, M. (1999). The neurobiology of startle. *Progress in Neurobiology*, *59*(2), 107–128. [https://doi.org/10.1016/S0301-0082\(98\)00098-7](https://doi.org/10.1016/S0301-0082(98)00098-7)
- Koelsch, S. (2009). A Neuroscientific Perspective on Music Therapy. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*(1), 374–384. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04592.x>
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, *15*, 170–180.
- Koelsch, S., Fritz, T., Cramon, D. Y. v., Müller, K., & Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: An fMRI study. *Human Brain Mapping*, *27*(3), 239–250. <https://doi.org/10.1002/hbm.20180>

- Koelsch, S., Fuermetz, J., Sack, U., Bauer, K., Hohenadel, M., Wiegel, M., Kaisers, U., & Heinke, W. (2011). Effects of Music Listening on Cortisol Levels and Propofol Consumption during Spinal Anesthesia. *Frontiers in Psychology, 2*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00058>
- Koelsch, S., & Jäncke, L. (2015). Music and the heart. *European Heart Journal, 36*(44), 3043–3049. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv430>
- Kuhn, M., Wendt, J., Sjouwerman, R., Büchel, C., Hamm, A., & Lonsdorf, T. B. (2020). The neurofunctional basis of affective startle modulation in humans – evidence from combined facial EMG-fMRI. *Biological Psychiatry, 87*(6), 548–558. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2019.07.028>
- Lang, P. J., Bradley, M., & Cuthbert, B. (1998). Emotion, motivation, and anxiety: Brain mechanisms and psychophysiology. *Biological Psychiatry, 44*(12), 1248–1263. [https://doi.org/10.1016/S0006-3223\(98\)00275-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3223(98)00275-3)
- Lang, P. J., & Bradley, M. M. (2010). Emotion and the motivational brain. *Biological Psychology, 84*(3), 437–450. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2009.10.007>
- Lang, P. J., Bradley, M. M., & Cuthbert, B. N. (1997). International affective picture system (IAPS): Technical manual and affective ratings. *NIMH Center for the Study of Emotion and Attention, 1*, 39–58.
- Lartillot, O. (2019). *MIRtoolbox User's Manual (1.7.2)*.
- Lartillot, O., Toiviainen, P., & Eerola, T. (2008). A Matlab Toolbox for Music Information Retrieval. In C. Preisach, H. Burkhardt, L. Schmidt-Thieme, & R. Decker (Eds.), *Data Analysis, Machine Learning and Applications* (pp. 261–268). Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-78246-9\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-540-78246-9_31)
- Laurier, C., Lartillot, O., Eerola, T., & Toiviainen, P. (2009). *Exploring relationships between audio features and emotion in music* [Conférence]. 7th Triennial Conference of European Society for the Cognitive Sciences of Music, Jyväskylä, Finland. <https://jyx.jyu.fi/handle/123456789/20889>

- Le Duc, J., Fournier, P., & Hébert, S. (2016). Modulation of Prepulse Inhibition and Startle Reflex by Emotions: A Comparison between Young and Older Adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *8*, Article 33. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00033>
- Leite, J., Carvalho, S., Galdo-Alvarez, S., Alves, J., Sampaio, A., & Gonçalves, Ó. F. (2012). Affective picture modulation: Valence, arousal, attention allocation and motivational significance. *International Journal of Psychophysiology*, *83*(3), 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.12.005>
- Levitin, D. J. (2013). Neural Correlates of Musical Behaviors A Brief Overview. *Music Therapy Perspectives*, *31*(1), 15–24. <https://doi.org/10.1093/mtp/31.1.15>
- Martínez-Molina, N., Mas-Herrero, E., Rodríguez-Fornells, A., Zatorre, R. J., & Marco-Pallarés, J. (2016). Neural correlates of specific musical anhedonia. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(46), E7337–E7345. <https://doi.org/10.1073/pnas.1611211113>
- Mas-Herrero, E., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2018). Modulating musical reward sensitivity up and down with transcranial magnetic stimulation. *Nature Human Behaviour*, *2*(1), 27–32. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0241-z>
- Menninghaus, W., Wagner, V., Wassiliwizky, E., Schindler, I., Hanich, J., Jacobsen, T., & Koelsch, S. (2019). What are aesthetic emotions? *Psychological Review*, *126*(2), 171–195. <https://doi.org/10.1037/rev0000135>
- Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: Response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *NeuroImage*, *28*(1), 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.05.053>
- Miltner, W., Matjak, M., Braun, C., Diekmann, H., & Brody, S. (1994). Emotional qualities of odors and their influence on the startle reflex in humans. *Psychophysiology*, *31*(1), 107–110. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1994.tb01030.x>
- Paquette, S., Ahmed, G. D., Goffi-Gomez, M. V., Hoshino, A. C. H., Peretz, I., & Lehmann, A. (2018). Musical and vocal emotion perception for cochlear implants users. *Hearing Research*, *370*, 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2018.08.009>

- Roy, M., Mailhot, J.-P., Gosselin, N., Paquette, S., & Peretz, I. (2009). Modulation of the startle reflex by pleasant and unpleasant music. *International Journal of Psychophysiology*, *71*(1), 37–42. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.07.010>
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, *14*(2), 257–262. <https://doi.org/10.1038/nn.2726>
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Longo, G., Cooperstock, J. R., & Zatorre, R. J. (2009). The Rewarding Aspects of Music Listening Are Related to Degree of Emotional Arousal. *PLOS ONE*, *4*(10), e7487. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0007487>
- Salimpoor, V. N., Bosch, I. van den, Kovacevic, N., McIntosh, A. R., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2013). Interactions Between the Nucleus Accumbens and Auditory Cortices Predict Music Reward Value. *Science*, *340*(6129), 216–219. <https://doi.org/10.1126/science.1231059>
- Schubert, E. (2004). Modeling Perceived Emotion With Continuous Musical Features. *Music Perception*, *21*(4), 561–585. <https://doi.org/10.1525/mp.2004.21.4.561>
- Thoma, M. V., Marca, R. L., Brönnimann, R., Finkel, L., Ehlert, U., & Nater, U. M. (2013). The effect of music on the human stress response. *PLOS ONE*, *8*(8), e70156. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070156>
- Trost, W., Ethofer, T., Zentner, M., & Vuilleumier, P. (2012). Mapping Aesthetic Musical Emotions in the Brain. *Cerebral Cortex*, *22*(12), 2769–2783. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhr353>
- 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>
- Vrana, S., Spence, E., & Lang, P. J. (1988). The Startle Probe Response: A New Measure of Emotion? *Journal of Abnormal Psychology*, *97*(4), 487–491. <http://dx.doi.org/10.1037/0021-843X.97.4.487>

- Warrenburg, L. A. (2019). Comparing musical and psychological emotion theories. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 30(1), 1–19. <http://dx.doi.org/10.1037/pmu00002471>
- Witvliet, C. van O. (1996). *The impact of music-prompted emotional valence and arousal on self-report, autonomic, facial EMG, and startle responses across experimental contexts*. Purdue University.
- Witvliet, C. van O., & Vrana, S. R. (2007). Play it again Sam: Repeated exposure to emotionally evocative music polarises liking and smiling responses, and influences other affective reports, facial EMG, and heart rate. *Cognition and Emotion*, 21(1), 3–25. <https://doi.org/10.1080/02699930601000672>
- 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301228110>