

Évaluation émotionnelle neurocognitive des modes mélodiques du *Mašriq*

Nidaa ABOU MRAD¹, Frédéric BILLIET², Jean-Marc CHOUVEL³, Gaby MOUKARZEL⁴, Nathalie ABOU JAOUDE⁵, Carmen SAADÉ⁶ & Rawane EL DIMACHKI⁷

Résumé

Cet article revisite l'ancienne notion de la connotation émotionnelle des modes mélodiques qui se décline en ἡθος/éthos diastolique (gai/plaisant) versus systolique (triste/déplaisant). Cette actualisation conceptuelle se nourrit des recherches en neuropsychologie cognitive et s'inscrit dans une logique de valence émotionnelle quantitative assignable à la modalité scalaire et polaire. Elle propose d'abord de vérifier l'hypothèse que des auditeurs de différents niveaux d'expertise sont en mesure de fournir une évaluation relativement « objective » de l'éthos modal scalaire et polaire. Elle propose ensuite d'évaluer l'hypothèse que, nonobstant les différences d'éthos modal, les séquences musicales composées ou improvisées dans les modes du *Mašriq* induisent une activation du système dopaminergique du plaisir, en même temps qu'elles exercent un effet relaxant, par le biais de l'inhibition du système neurovégétatif sympathique. L'objectivation de l'éthos scalaire modal est réalisée par le biais d'études expérimentales adressées à des enfants, des adolescents et des étudiants en musicologie, tandis que la mise en exergue de l'effet relaxant des monodies traditionnelles a reposé sur la mesure de paramètres physiologiques et neurochimiques concomitamment à l'écoute musicale.

Mots-clés : Émotion musicale – Éthos modal - Monodies modales – Neurohormones et musique.

Abstract

Neurocognitive emotional evaluation of the melodic modes of *Mašriq*

This article revisits the old notion of the emotional connotation of melodic modes which is declined in diastolic (happy/pleasant) versus systolic (sad/unpleasant) ἡθος/ethos.

¹ Professeur en musicologie, docteur en médecine, vice-recteur aux affaires académiques et à la recherche, doyen de la Faculté de musique et musicologie à l'Université Antonine ; nidaa.aboumrada@ua.edu.lb.

² Professeur en musique médiévale, vice-doyen vie étudiante et de campus – Faculté des lettres, – Sorbonne Université, Institut de recherche en musicologie (IReMus UMR 8223 ; frederic.billiet@sorbonne-universite.fr.

³ Professeur de musicologie à Sorbonne Université, chercheur permanent à l'IReMus (UMR 8223), compositeur, cofondateur des revues *Filigraane* et *Musimediane* ; jean-marc.chouvel@sorbonne-universite.fr.

⁴ Maître de conférences en médecine interne, doyen de la Faculté de santé publique de l'Université Antonine ; gaby.moukarzel@ua.edu.lb.

⁵ Doctorante à Sorbonne Université, affiliée à l'IReMus et au CRTM-UA, enseignante à l'Université Antonine ; nathalie.aboujaoude@ua.edu.lb.

⁶ Doctorante à Sorbonne Université, affiliée à l'IReMus et au CRTM (Université Antonine), chargée de cours à la Lebanese International University (Liban) ; carmensaade83@gmail.com.

⁷ Doctorante à Sorbonne Université, affiliée à l'IReMus et au CRTM (Université Antonine) ; rawane-dimachki@gmail.com.

This conceptual actualisation is nourished by research in cognitive neuropsychology and is part of a logic of quantitative emotional valence assignable to the scalar and polar modality. It first proposes to test the hypothesis that auditors of different levels of expertise are able to provide a relatively “objective” assessment of the (scalar and polar) modal ethos. It then proposes to evaluate the hypothesis that, notwithstanding differences in modal ethos, musical sequences composed or improvised in *Mašriq* modes induce activation of the dopaminergic system of pleasure, at the same time as they exert a relaxing effect, through the inhibition of the sympathetic neurovegetative system. The objectification of the modal scalar ethos is achieved through experimental studies addressed to children, adolescents and musicology students, while the highlighting of the relaxing effect of traditional monodies has been based on the measurement of physiological and neurochemical parameters concomitantly with musical listening.

Keywords: Musical emotion – Modal ethos – Modal monodies – Neurohormones and music.

Remerciements

Cet article fait partie du projet de recherche « Perception neurocognitive des monodies modales du *Mašriq* », porté par le CRTM-UA et qui a reçu le soutien scientifique et financier du Conseil National de la Recherche Scientifique au Liban (CNRS-L) et de l'Université Antoinine (UA), dans le cadre du *Joint Grant Research Program* CNRS-L-UA (2017-2021).

Les auteurs tiennent également à remercier Mme Viviane Naimy (NDU, Liban) pour sa contribution à l'analyse statistique des résultats, Mmes Bouchra Béchéalany et Lina Riachy, ainsi que MM Hayaf Yassine et Ghassan Sahhab, pour leur contribution à l'élaboration du protocole expérimental, Mme Maria Rahal, pour sa contribution en tant qu'infirmière, de même que tous les participants à l'étude expérimentale.

1. Introduction

Plusieurs écrits sur la tradition musicale artistique du *Mašriq* associent à chaque mode (ou à un groupe de modes) une connotation émotionnelle dénommée *'aṭar*, équivalent arabe de la notion d'ἦθος/éthos employée dans la philosophie grecque, laquelle oppose les caractérisations diastolique (gaie/plaisante) et systolique (triste/déplaisante). Ces écrits mettent généralement l'éthos en relation avec la structuration du mode qui associe une échelle mélodique à une note finale. Cet article propose de vérifier l'hypothèse que des enfants, des adolescents et de jeunes adultes sont en mesure d'évaluer auditivement et d'une manière « objective » le contenu émotionnel de la modalité scalaire. Il propose également d'étudier l'effet de l'audition de monodies composées ou improvisées dans ces modes sur des paramètres physiologiques et des paramètres neurochimiques qui reflètent l'activité du système neurovégétatif et celle du circuit dopaminergique du plaisir. La méthodologie repose sur trois études expérimentales (non-publiées) réalisées au Liban en 2019 et en 2021.

2. Connotation émotionnelle des structures mélodiques

En se démarquant du paradigme catégoriel d'appariement entre des données musicales précises et des labels linguistiques, la présente recherche adopte le paradigme dimensionnel de

l'évaluation du traitement émotionnel des stimuli musicaux. Selon cette approche, les émotions perçues durant l'écoute de la musique évolueraient de façon continue (Samson et Dellacherie, 2010). Ce type d'évaluation recourt à des dimensions spécifiques et à des échelles de mesure différentes (Bigand et al., 2005 ; Bigand, Filipic et Lalitte, 2005) : (a) l'excitation (*arousal*), qui permet de juger du caractère relaxant (apaisant) ou excitant (stimulant) du donné musical, et (b) la valence qui correspond au sentiment plaisant (positif) ou déplaisant (négatif) induit par l'écoute musicale.⁸

Quant à la notion d'éthos modal, Tran Van Khé (1968) en fait (en quelque sorte) le point d'aboutissement de son approche (cognitive) de la modalité, qui définit (et reconnaît) un mode par (1) son échelle [modalité scalaire], (2) ses degrés forts [modalité polaire], (3) sa formule-type [modalité formulaire] et (4) son éthos [modalité éthique]. Or, le composant phonologique mélodique de la grammaire musicale de la sémiotique modale, dans sa part structurale de surface (Abou Mrad, 2016, ch. 1), permet d'évaluer le point (1), relatif à la modalité scalaire, de cette quadripartition en référence à une double typologie structurale mélodique : la qualification des intervalles de seconde (tableau n° 1) et celle du genre des échelles (tableau n° 2).

Tableau n° 1 : Qualification des intervalles mélodiques de seconde

Désignation	Abréviation	Quantification tonale	Mesure logarithmique moyenne en centième de demi-ton ou cent (plus-ou-moins 25 c.)
Seconde minime	2 ^{de} μ	1/3 ton	70
Seconde mineure	2 ^{de} m	1/2 ton	100
Seconde moyenne (neutre)	2 ^{de} n	3/4 ton	150
Seconde majeure	2 ^{de} M	1 ton	200
Seconde maximale	2 ^{de} X	5/4 ton	250
Seconde augmentée	2 ^{de} A	3/2 ton	300

Tableau n° 2 : genres des échelles

Désignation	Intervalles caractéristiques agencés
Genre zalzalien ⁹ (z)	2 ^{de} n et 2 ^{de} M
Genre diatonique (usuel) (δ-u)	2 ^{de} m et 2 ^{de} M
Genre diatonique <i>tonié</i> (δ-τ)	2 ^{de} μ, 2 ^{de} m, 2 ^{de} M et 2 ^{de} X
Genre chromatique <i>synton</i> (χ-σ)	2 ^{de} m, 2 ^{de} n et 2 ^{de} X
Genre chromatique moderne (χ-m)	2 ^{de} m et 2 ^{de} A
Genre zalzalien altéré (<i>Šabā</i>) (z-a)	2 ^{de} n, 2 ^{de} n et 2 ^{de} X

⁸ Plusieurs études des relations entre musique, signification et émotion figurent dans l'ouvrage collectif Ayari et Makhoulf (éd.), 2010, le dossier Picard et al. proposant une approche anthropologique de cette thématique.

⁹ La qualité *zalzalienne* (Abou Mrad, 2005) réfère à Manšūr Zalzal (726-791), luthiste de l'époque abbasside à qui la postérité attribue l'établissement de la facture du *'ūd šabbūʿ* et la mise en place du *dastān* ou fretage (théorique et pédagogique) de cet instrument, qui devient la référence du système modal arabo-persan. Afin de permettre à ce cordophone de reproduire fidèlement les mélodies vocales traditionnelles arabes, Zalzal installe des marques caractéristiques qu'il dénomme *wusṭā al-'Arab*, ou médus des Arabes, et *mujannab a-s-sabbāba*, ou ad-jointe de l'index (Isfahānī, 1927-1974, vol. V, p. 22-24, 57-58 ; Farmer, 1929 (R. 2001), p. 118-119).

En outre, cette théorie grammaticale musicale se base sur la finale modale inhérente au point (2), relatif à la modalité polaire, pour proposer une réécriture transformationnelle des monodies, en termes de noyaux concurrents et sous-jacents génératifs, constitués de chaînes de tierces. Il reste que cette théorie fait reposer la sémiose introversive¹⁰ mélodogénique¹¹ globale (générée à partir du composant mélodique de l'énonciation monodique dans un mode donné), dont le résultat est traditionnellement dénommé « éthos du mode », sur l'association de la modalité scalaire avec la modalité polaire, donc sur la valence émotionnelle relative à l'association de l'échelle de la monodie à sa finale (Abou Mrad, 2021, p. 43). De même, Nicolas Royer-Artuso (2022) propose d'appliquer à la sémantique musicale des traditions du *maqām* la distinction faite par Gottlob Frege entre sens et référence et confère au mode le statut de référent intramusical, tout en identifiant le sens intramusical des monodies composées dans ce mode aux moyens pour accéder à cette référence et en assignant aux échelles modales, référées à la hauteur de la finale modale, le statut de blocs sémantiques ouvrant le passage à la référence modale, ce qui est une autre manière de baser la sémiose introversive globale ou éthos du mode de la monodie sur la modalité scalaire et polaire.

Aussi cette approche sémiosique se nourrit-elle des écrits médiévaux arabes sur la musique qui s'inspirent des théories psychomusicales grecques antiques de l'ἦθος/éthos, élaborées par Platon (*République*) et Aristote (*Politique*), dans le sillage de Damon, pour présenter la notion de *'aṭar al-mūsīqā* - littéralement « effet de la musique » - en tant que contenu significatif sensible et émotionnel de la musique. Cette connotation émotionnelle est généralement déclinée selon un schéma dialectique binaire opposant un éthos diastolique (*baṣṭī*), lié à la gaité (sentiment plaisant ou positif en valence émotionnelle), à un éthos systolique (*qabḍī*), lié à la tristesse (sentiment déplaisant ou négatif). Ce schéma éthique dialectique devient ternaire par adjonction de l'éthos hésychastique (*mu'tadil*) de l'équilibre et de la quiétude, qui renvoie à une *ḥesychia/hesychia* (i 'tidāl), état de sérénité (en mystique hésychastique orthodoxe) se situant à mi-chemin (neutralité émotionnelle) de, ou par-delà, la dualité plaisir/déplaisir.

Si les premiers écrits arabes médiévaux imputent l'éthos à diverses données mélodiques, rythmiques et organologiques, les traités tardifs ne s'intéressent plus qu'à la connotation émotionnelle des modes, tout en intégrant ces données dans des corrélations cosmologiques et anthropologiques (Abou Mrad, 1989, Neubauer, 1990)¹². Cependant, cet article s'intéresse exclusivement à l'éthos psychologique modal. Cette connotation est initiée par le philosophe al-Kindī¹³ qui confère (au IX^e s.) un éthos diastolique aux structures ayant une tierce majeure axiale et un éthos systolique aux structures ayant une tierce mineure axiale. Au XIII^e s., Ṣafīy a-d-Dīn al-Urmawī regroupe les modes en trois catégories scalaires

¹⁰ Les notions de sémiose musicale introversive versus extroversive sont développées par Nicolas Meeùs (2021) dans le sillage de Roman Jakobson (1971).

¹¹ En référence à la tripartition des styles mélodiques (logogénique, pathogénique et mélodogénique) élaborée par Curt Sachs (1943, p. 41-43).

¹² Plusieurs des traités en question ont été traduits en français et publiés chez Geuthner (notamment la *Musique arabe* de Rodolphe d'Erlanger), d'autres sont consultables sur le site <https://www.saramusik.org/>.

¹³ Al-Kindī, Ya'qūb ibn Ishāq, *Risāla fī l-luḥūn wa-n-naḡam* [Traité des mélodies et des modes], MS 5530, fol. 29, Berlin, et MS 1705, fol. 110-123, Bibliothèque de Magnessa, Turquie (Abou Mrad, 1989, p. 70).

éthiques, en attribuant un éthos diastolique aux modes dont les échelles sont de genre diatonique, un éthos hésychastique aux modes dont les échelles sont de genre zalzalien et un éthos systolique aux modes dont les échelles sont de genre chromatique (Erlanger, 1938, p. 543-550). Au cours des siècles suivants, les traités relevant de l'école dite des herméneutes praticiens ou grammairiens musicaux (Abou Mrad, 2016, ch. 5), puis ceux du théoricien libano-grec Miḥā'il Maššāqa (1840-1899) et du théoricien égyptien Muḥammad Kāmil al-Ḥula'i (1904/1905) soulignent la prépondérance de la norme zalzalienne dans le système modal du *Mašriq*. Parallèlement à cela le genre diatonique présente en Égypte et au Levant une nuance dite *toniée* ou *baladī* qui se caractérise par le resserrement du demi-ton, devenant seconde minime, à laquelle Ḥula'i associe (modes *Jahārkāh* et '*Uššāq mišrī*') un caractère éthique systolique (al-Ḥula'i, 1904/1905, p. 81), comme si cet auteur traduisait au niveau esthésique le resserrement intervallique réalisé au niveau neutre¹⁴.

Adoptant un point de vue se situant en retrait par rapport à cette sémantique émotionnelle musicale, Eduard Hanslick, Heinrich Schenker, Roman Jakobson et Nicolas Meeùs ont de leur côté développé dans un sens sémiotique strictement introversif la notion de contenu *Inhalt* de la musique. Ainsi l'esthétique formaliste d'Eduard Hanslick (1854-1986, p. 94, 97, 112) – dans le sillage des réflexions de Kant et de Hegel sur le contenu non-conceptuel de la musique autonome ou instrumentale (Meeùs, 2017) – ramène-elle la musique à un mode de signification intrinsèque : « Que contient donc la musique ? Pas autre chose que des *formes sonores en mouvement* [...] Il existe dans la musique un sens et une logique, mais de nature musicale ; elle est une langue que nous comprenons et parlons, mais qu'il nous est impossible de traduire [...]. Établissons une bonne fois la différence capitale suivante : dans le langage, le son n'est qu'un signe, c'est-à-dire un moyen employé pour exprimer une chose tout à fait étrangère à ce moyen ; dans la musique, le son est une chose réelle et il est à lui-même son propre but ». Cependant et plutôt que d'affirmer avec Igor Stravinsky (1935) que « la musique, par son essence, est impuissante à exprimer quoi que ce soit » ou avec Pierre Boulez (1981, p. 18) qu'elle est « un art non signifiant », autrement dit qu'elle est *asémantique*, le verdict de Hanslick la tient pour sémantiquement autonome. « Pour lui, les affects sont un effet du stimulus musical, une résultante, non pas un contenu » (Nattiez, 2004, p. 263-266). Cette perspective formaliste donne lieu à sa formulation sémiotique et sémiotique introversive par Roman Jakobson (1971, p. 20) : « Plutôt que de viser quelque objet extrinsèque, la musique se présente comme un langage qui se signifie soi-même ». Quant à Heinrich Schenker, Nicolas Meeùs souligne qu'il (Schenker, 1897) considère que la musique – seule parmi tous les arts – « ne se réfère pas au monde extérieur, qui au contraire réalise l'empreinte du motif comme celle d'un « mot-en-son » [*Tonwort*] », tout en sachant que les motifs musicaux ne forment pas un lexique (Meeùs, 2017). En somme, Meeùs observe que Schenker assigne l'*Inhalt* de l'œuvre musicale au but et au chemin qui se dégagent de l'analyse, ce qui permettrait de faire reposer le contenu de l'œuvre musicale sur le développement organique de cette œuvre et son élaboration à partir de sa structure fondamentale (*Ursatz*).

¹⁴ Ces considérations sont confortées par l'étude sémiotique modale des mutations mélodiques (altération du genre zalzalien allant dans le sens du genre chromatique) inhérentes à l'introduction du dolorisme latin dans la tradition musicale ecclésiastique maronite à la fin du XIX^e s. (Abou Mrad et Maatouk, 2012).

Cependant, et si le contenu global d'une œuvre musicale ne s'identifie pas à l'émotion effectivement suscitée ou induite par son écoute, il n'en demeure pas moins vrai que l'éthos assigné à la structure modale/tonale de cette œuvre correspond au type d'émotion suscitable ou inductible par son écoute, en conséquence du traitement neurocognitif de la perception sensorielle de l'*Inhalt* modal, contenu inféré de la structure du mode. Par conséquent, il est possible d'identifier le contenu émotionnel ou la coloration émotionnelle du mode au *quale* (Dennett, 1988, p. 381) ou qualité sensible intrinsèque assignée globalement au mode, dans son double versant scalaire et polaire, d'autant plus que la perception de l'éthos d'une monodie constitue traditionnellement (Tran, 1968) un moyen privilégié pour la reconnaissance de son mode.

Ces considérations sémiotiques musicales conduisent subséquemment vers une appréhension neuropsychologique cognitive du phénomène modal, dans ses composants scalaire, polaire, formulaire et éthique. Ainsi Mondher Ayari et Stephen McAdams (2003) soulignent-ils la pluridimensionnalité scalaire et formulaire, de même que mélodique et rythmique, du processus cognitif de reconnaissance du mode à l'écoute d'un *taqsīm*¹⁵. Quant à Bouchra Béchéalany (2009), elle souligne la capacité qu'ont les enfants à discriminer à l'audition les intervalles composant les échelles modales du *Mašriq* et à percevoir ces échelles, notamment celles de genre zalzalien, cette capacité étant aisément développée par l'apprentissage. Elle démontre également que les enfants (8-10 ans) sont en mesure de percevoir des variations de certaines hauteurs mélodiques en tant que variations allophoniques s'inscrivant dans le cadre d'échelles modales fondamentales (Béchéalany, 2017). En outre, elle vérifie l'existence de compétences cognitives chez les enfants, en termes (1) de perception de l'identité structurale profonde d'énoncés musicaux monodiques modaux différents par leur habillage de surface, (2) de reconnaissance du changement de finale en tant que donnée pertinente et (3) d'appréciation des lignes grammaticales modales profondes (Béchéalany, 2012), et ce, en confirmation en termes perceptifs auditifs de plusieurs hypothèses de la sémiotique modale. Empruntant un cheminement différent, celui de l'étude anthropologique du phénomène de l'émotion musicale, mise en situation de socialisation rituelle, Gilbert Rouget (1980), Jean During (1988) et Jean Lambert (2010) proposent des modélisations en termes de transe, d'extase ou de méditation/contemplation à induction musicale, principalement pour les musiques traditionnelles monodiques modales.

Quant à la dimension émotionnelle de cette perception, prise dans un sens plus général, elle est étayée par des études qui soulignent que la réponse émotionnelle à la musique apparaît de façon précoce (Moussard, et al, 2012 ; Imberty, 1969). Ainsi et dès l'âge de neuf mois, les enfants semblent être en mesure de discriminer la valence émotionnelle des musiques qui leur sont présentées (Flom et al., 2008). Aussi les enfants sont-ils capables d'utiliser des indices musicaux comme le *tempo*, à partir de 5 ans, et le mode majeur versus mineur, à partir de 6 ans, pour classer les extraits présentés en fonction de

¹⁵ "The melodic reductions of segments in a given *maqām* reveal the nature of Arabic modes as involving not just a tuning system, but also essential melodico-rhythmic configurations that are emblematic of the *maqām*. A music-analytic approach to the deployment of the *maqāmāt* within the form of the *taqsīm* that is informed by the perceptual results is developed. This approach involves the factors that lead to implicit recognition of *maqāmāt*, including ambiguities in identification, and those that inform the hierarchical organization of the form on the basis of larger-scale movements among *maqāmāt*" (Ayari, McAdams, 2003).

leur contenu émotionnel (Dalla Bella et al., 2001). En fait, les mêmes compositions musicales du répertoire classique occidental (transcrites pour le piano et générées par un ordinateur) ont été présentées dans cette dernière étude chacune sous quatre variantes, en passant d'un tempo lent (supposé induire la tristesse) à un tempo rapide (supposé induire la gaité) et en passant du mode mineur (supposé induire la tristesse, symbolisée par un visage triste) au mode majeur (supposé induire la gaité, symbolisée par un visage gai), par altération des hauteurs concernées et sans changer la formulation musicale de ces compositions. Il est notable que ces auteurs ont employé le paradigme catégoriel (visages gai vs triste) pour l'investigation du contenu émotionnel de ces indices chez les enfants et le paradigme dimensionnel continu (échelle sur 10) chez les adultes.

Or, Jacques Chailley (1985) rapporte l'éthos mélodique à la perception du degré de consonance des éléments mélodiques expressifs avec les données normatives du système contextuel de référence (modal, tonal ou pentatonique), induisant des états de tension, en cas d'écart maximal par rapport à la norme systémique, et de détente, en cas de conformité maximale avec cette norme. Ainsi la tierce majeure, qui fonde les accords générateurs du mode majeur, constitue-t-elle la norme de référence principale du système contextuel, tandis que la tierce mineure, qui fonde les accords générateurs du mode mineur, constitue une référence secondaire, ce qui doterait le mode majeur d'une valence émotionnelle plus plaisante que celle du mode mineur.

Cependant, l'observation du phénomène des otoémissions acoustiques (OEA), qui reflète la préamplification sélective qu'assument les cellules ciliées externes de l'organe de Corti (cochlée, oreille interne) à l'égard des cellules ciliées internes (qui assurent la perception sensorielle des hauteurs mélodiques) met en exergue une certaine hiérarchisation sélective, au sein du système neurosensoriel auditif, qui favorise la transduction de l'intervalle de tierce moyenne/neutre ($3^{ce}n$), doté du rapport fréquentiel 1,22 ($\sqrt{3/2}$) qui maximise les OEA, et ce, d'une manière innée (Bonfils et al., 1986 ; Chouard, 2001 ; Avan et Bonfils, 2005 ; Abou Mrad, 2016, Annexe). Ces observations conduisent à considérer l'intervalle de tierce moyenne comme étant l'« entrée » psychoacoustique ou stimulus mélodique optimum qui maximise sa « sortie » perceptive, c'est-à-dire son corrélat en termes d'excitation neurosensorielle traduite par la maximisation des OEA que contrôle le cerveau (via les axones du nerf auditif qui modulent les contractions des cellules ciliées externes), ce qui fait de ce phénomène un processus autant cognitif que neurosensoriel. Cependant, les rapports fréquentiels des intervalles de tierce mineure ($3^{ce}m$, autour de 1,2, soit environ 300 c) et de tierce majeure ($3^{ce}M$, autour de 1,25, soit environ 400 c), ne s'écartent de la valeur optimale de 1,22 (350 c) que de près de 2 % (en fait, environ 50 c). Il apparaît donc une hiérarchie perceptive parmi les intervalles mélodiques, conférant une prépondérance sélective à la tierce moyenne, suivie en cela par la tierce mineure et la tierce majeure, sachant que les autres intervalles (y inclus la tierce minime) bénéficient d'une prédilection neurosensorielle et cognitive moindre.

Ces observations incitent à une investigation du substrat neurochimique du traitement émotionnel de la perception des structures scalaires modales. Le lien de la

musique avec le circuit cérébral dopaminergique¹⁶ du plaisir et de la récompense a en effet été étudié à partir de 1999 (Blood et Zatorre, 1999 ; 2001). Ce circuit a été identifié, il y a plus de 50 ans, chez les animaux et les humains comme étant essentiel à leur survie, en relation avec des comportements vitaux de renforcement, comme l'alimentation et la sexualité (Olds, et Milner, 1954). Ce circuit dopaminergique¹⁷ dans son composant mésolimbique part des neurones de l'aire tegmentale ventrale et innerve plusieurs structures du système limbique dont le noyau *accumbens*. Cette ancienne voie mésolimbique, importante pour la mémoire et la motivation des comportements, est désormais tenue pour être activée également par ce stimulus abstrait (susceptible de susciter des sentiments d'euphorie et d'envie, mais qui n'est pas directement lié à la survie) qu'est la musique (Salimpoor, et al., 2009 ; 2011 ; 2014 ; Vuust & Kringelbach, 2010 ; Gebauer et al., 2012 ; Koelsch, 2018). Ainsi la neuroimagerie (imagerie par résonance magnétique fonctionnelle et tomographie par émission de positrons), combinée à des mesures psychophysologiques de l'activité du système nerveux autonome, a-t-elle montré que ce système (impliqué aussi bien dans les apprentissages que dans l'addiction à la drogue) est mis en branle par l'audition de séquences musicales. Une importante synergie apparaît en effet entre le noyau *accumbens*, centre où se forment les attentes gratifiantes, et le cortex auditif, l'aire cérébrale de stockage des informations sur les sons et la musique, région parmi les plus évoluées du cerveau, qui est impliquée dans les processus cognitifs avancés et qui n'est présente que chez les humains. Ainsi un plaisir intense (frisson) en réponse à la musique peut-il conduire à la libération de dopamine dans le noyau *accumbens*, tandis que l'anticipation de la récompense musicale abstraite peut entraîner la libération de dopamine dans une voie anatomique distincte de celle associée au pic de plaisir lui-même : la voie nigro-striée qui projette des axones de la substance noire (*locus niger*) au *striatum*, qui est formé du noyau caudé et du *putamen*, région impliquée dans le contrôle moteur (maladie de Parkinson) (Salimpoor, et al., 2011). Ces processus de plaisir induit par l'audition d'un donné musical (matérialisé par la libération de dopamine dans le noyau *accumbens*), et d'anticipation de la récompense liée à un stimulus musical (libération de dopamine dans le *striatum*), en interconnexion avec le gyrus temporal supérieur (lieu du traitement des caractéristiques auditives du signal musical) et le cortex frontal (lieu du traitement conscient des informations, de la coordination motrice et du langage verbal) constituent une part importante du substrat neurobiologique de l'émotion musicale. Ces processus sont donc modulés par des référentiels d'informations stockées dans des zones corticales cérébrales hautement individuées, ces référentiels étant inhérents au vécu musical antécédent des personnes et à la grammaire musicale inférée de cette expérience (Zatorre, Salimpoor, 2013). Le substrat de cette grammaire musicale pourrait en outre préexister dans le système neurocognitif, sous une forme analogue à la notion chomskyenne de grammaire universelle (Abou Mrad, 2016), dont la paramétrisation par l'apprentissage

¹⁶ La dopamine est un neurotransmetteur (de même qu'une neurohormone sécrétée par l'hypothalamus), de la famille des catécholamines (précurseur de l'adrénaline et de la noradrénaline) qui est impliqué dans le circuit du plaisir et de la récompense (renforcement et motivation). Elle est principalement produite dans la substance noire (*locus niger*) et dans l'aire tegmentale ventrale, situées dans le mésencéphale (partie supérieure du tronc cérébral). L'étude réalisée par Ferreri et al en 2019 a définitivement confirmé l'implication de la dopamine dans le processus hédonique relié à l'audition musicale.

¹⁷ Les neurones d'un circuit dopaminergique synthétisent la dopamine comme neurotransmetteur.

serait réalisée au cours de ce vécu. Comparés à ces référentiels les stimuli musicaux sont soumis au jeu des attentes et de leurs résolutions inductrices d'émotions¹⁸. Les prédictions concernant les gratifications attendues seraient élaborées par le biais des connexions entre le cortex cérébral et le *striatum*, tandis que le noyau *accumbens* joue un rôle crucial dans la maximisation du plaisir et de l'excitation à l'audition des séquences musicales, par le biais de ses connexions avec les aires limbiques subcorticales, amygdale et hippocampe, impliquées dans l'élaboration et l'expression des émotions. Quant aux connexions du noyau *accumbens* avec l'hypothalamus, l'insula et le cortex cingulaire antérieur, et, à travers eux, avec le système nerveux autonome, elles seraient responsables des phénomènes psychophysiologiques associés à l'audition musicale et à l'excitation (versus relaxation) qui lui est relative (Zatorre, Salimpoor, 2013). Quant au composant émotionnel des réactions motrices des auditeurs ou des interprètes à l'écoute d'une musique, il est rapporté au système des neurones miroirs¹⁹, qui se trouve dans le cortex prémoteur, qui répond à la vision ou à l'audition d'une action, tout en comprenant son intention, et qui participerait aux phénomènes de l'empathie et de la compassion chez les humains (Becker, 2010)²⁰ :

Alors que l'avantage évolutionnaire de la faculté musicale est encore en débat, le fait que la musique joue un rôle dans le développement cognitif, dans la régulation des émotions et l'interaction sociale est en revanche quasiment établi. Nous faisons la proposition que le système des neurones miroirs humains peut susciter certains de ces effets en liant la perception musicale, la cognition et l'émotion, et cela à travers un mécanisme expérimental plutôt que représentationnel (Molnar-Szakacs & Overy 2006, p. 242, cité par Becker, 2010)

Il reste que ces études relèvent dans leur ensemble de l'approche connexionniste (axée sur les réseaux neuronaux) dans les recherches neurobiologiques sur l'évaluation de l'émotion liée à la musique (Platel, 2017).

Quant à l'implication de la musique dans la modulation du stress, elle a été étudiée à partir de mesures de la variation du cortisol²¹ salivaire liée à l'audition musicale en

¹⁸ Il s'agirait ici du substrat neurocognitif du modèle proposé en 1956 par Leonard Meyer pour décrire la genèse des émotions à partir du composant mélodique de la musique, en fonction de schémas d'attentes (tension) et de résolution des attentes (détente).

¹⁹ « Un grand nombre d'études ont montré que l'observation d'actions effectuées par d'autres active chez les humains un réseau complexe formé par les aires occipitale, temporale et pariétale, ainsi que par deux aires corticales dont la fonction est fondamentalement ou principalement motrice. Ces deux dernières aires sont la partie rostrale du lobe pariétal inférieur et la partie inférieure du gyrus précentral, plus la partie postérieure du gyrus frontal inférieur. Ces aires forment le cœur du système des neurones miroirs humains » (Rizzolatti & Craighero, 2004, p. 169).

²⁰ « Nous comprenons les sentiments des autres à travers un mécanisme de représentation de l'action donnant forme à un contenu émotionnel, de telle sorte que nous fondons notre résonance empathique sur l'expérience de notre corps agissant et les émotions associées à des mouvements spécifiques » (Carr *et al.* 2002, p. 5502).

²¹ Le cortisol est une hormone (glucocorticoïde) sécrétée par la corticosurrénale, sous la dépendance de l'ACTH ou hormone corticotrope hypophysaire, elle-même dépendante de la Corticotropin-releasing hormone (CRH) hypothalamique, dans le cadre de l'activation du système (neurovégétatif) sympathique (résultant d'une augmentation d'adrénaline dans la circulation sanguine et provoquant la libération de la noradrénaline au niveau des terminaisons nerveuses sympathiques) en réponse au stress. Le cortisol a notamment des effets hyperglucidique, hypertensif et antiinflammatoire. Ainsi la mesure de sa concentration sanguine, salivaire ou urinaire

situation de stress préopératoire (Miluk-Kolasa et al., 1994) et en situation de stress induit par des activités mentales liées au Trier Social Stress Test (TSST) (Khalfa et al., 2003). Plus particulièrement cette deuxième étude a montré un important accroissement de la concentration du cortisol dans la salive en réaction au TSST et une plus grande réduction de cette concentration dans la période de récupération dans le groupe exposé à l'audition de musiques considérées comme apaisantes, en comparaison avec le groupe témoin exposé au silence. Cet effet apaisant de la musique est analogue à celui mis en exergue dans le cadre d'autres thérapies de relaxation, comme le massage, en situation de stress, qui se traduit dans plusieurs études (récapitulées dans Field et al., 2005) par une réduction du cortisol salivaire et une augmentation de la sérotonine et de la dopamine salivaires. Quant au substrat neurobiologique de cet effet apaisant de la musique, il est rapporté par Koelsch (2014, p. 173) à un rôle inhibiteur qui serait exercé par l'hippocampe sur le système sympathique, via l'axe hypothalamo-hypophysaire. Cependant, l'idée que l'audition de monodies de modes de valence triste/déplaisante (plutôt que d'induire du stress) suscite un apaisement relève à première vue du paradoxe. Dans une discussion récente avec Philippe Lalitte, cet auteur propose une interprétation affinée de ce phénomène qui recourt à la théorie du codage prédictif²², élaborée par David Mumford (1992) et Rajesh Rao & Dana Ballard (1999), dans son articulation avec le circuit de la récompense²³. Pour Lalitte, la familiarité avec les modes (et d'une façon générale avec le système musical employé) permet au cerveau d'effectuer des prédictions ; si elles sont confirmées par le stimulus, le circuit dopaminergique peut s'activer indépendamment de la valence.

3. Hypothèses

Il ressort de ce qui précède l'hypothèse composite suivante :

constitue-t-elle un bon indicateur du stress. La sécrétion de cortisol suit un rythme circadien : elle est à son maximum entre 6 h et 8 h du matin, puis elle diminue pour être presque nulle en milieu de nuit.

²² « Le codage prédictif indique qu'au lieu de recevoir passivement les informations externes pour former une perception ou une décision, le cerveau utilise un modèle interne hiérarchique qui pourrait interagir activement avec les stimuli externes. Dans cette hiérarchie, chaque niveau prédirait l'activation du niveau inférieur, le niveau le plus bas représentant le monde extérieur ; tandis que le niveau prédit pourrait calculer la différence entre la stimulation réelle et la prédiction et l'envoyer vers le haut pour mettre à jour le modèle pour une meilleure prédiction à l'avenir. Cela pourrait fournir des explications pour un large éventail de phénomènes neurophysiologiques et psychologiques, ce qui conduit à croire que le codage prédictif peut servir de cadre unificateur pour les fonctions cérébrales, notamment la sensation, la perception, la mémoire, etc. » (Zhaoyang, 2022).

²³ « Nous proposons ici un nouveau cadre pour comprendre le plaisir musical, suggérant que la musique est conforme au concept récent de cycles de plaisir avec des phases de « vouloir/attente », « aimer » et « apprendre ». Nous soutenons que l'attente est fondamentale pour le plaisir musical et que la musique peut être vécue comme agréable à la fois lorsqu'elle satisfait et viole les attentes. Les neurones dopaminergiques du mésencéphale représentent les attentes et les violations des attentes (erreurs de prédiction) en réponse aux « récompenses » et aux « signaux de saillance d'alerte/d'incitation ». Nous soutenons que le cerveau humain traite la musique comme un signal de saillance d'alerte/incitation, et suggérons que l'activité des neurones dopaminergiques représente des aspects des phases d'attente musicale et d'apprentissage musical, mais pas directement la phase d'appréciation de la musique. Enfin, nous proposons un modèle informatique pour comprendre l'anticipation et le plaisir musicaux opérationnalisés à travers la théorie récente du codage prédictif » (Gebauer et al., 2012).

- H1 que l'évaluation du traitement émotionnel neurocognitif global de l'audition de monodies modales serait étroitement liée à la structuration scalaire intervallique modale de ces monodies ;
- H2 que l'intervalle de tierce, situé entre la finale ou degré I et le degré III, représenterait une marque distinctive importante du point de vue neurocognitif ;
- H3 que la perception de la tierce moyenne (de rapport fréquentiel $\sqrt{3/2}=1,22$) serait dotée d'une valence émotionnelle plus diastolique (gaie/plaisante) que celle des autres tierces dans le cadre du système modal du *Mašriq*, les tierces mineure ($6/5=1,2$) et majeure ($5/4=1,25$) étant dotées de la même valence relative qui est plus diastolique que celle accordée à la tierce minime ($8/7=1,14$) ;
- H4 que le genre zalzalien constituerait la norme structurale pour les modes du *Mašriq*, ce qui doterait les modes d'échelle de genre zalzalien d'une valence émotionnelle perceptive plus diastolique (gaie/plaisante) ;
- H5 que le resserrement des intervalles (de seconde, de tierce, de quarte), couplé à l'introduction d'une seconde maxime, serait associé à une valence émotionnelle plus systolique (triste/déplaisante), effet maximisé par la mise en exergue de la seconde maxime (genre chromatique et genre zalzalien altéré), sans que cette valence systolique ne soit forcément couplée à une excitation (*arousal*) stressante susceptible de mettre en branle le système orthosympathique adrénergique ;
- H6 que la valence émotionnelle neurocognitive globale des modes mélodiques du *Mašriq* serait objectivable verbalement par des auditeurs se livrant à des comparaisons quantitatives et paramétrées entre les modes, en termes de valence diastolique (gaie/plaisante) versus systolique (triste/déplaisante) ;
- H7 que le degré de relaxation à l'écoute des monodies modales serait objectivable par la mesure de paramètres neurophysiologiques (fréquence cardiaque, fréquence respiratoire, pression artérielle, température corporelle, etc. diminuées (sauf pour la température) en situation de relaxation) et de paramètres neurochimiques (dopaminémie accrue et cortisolémie diminuée en situation de relaxation), liés au système neurovégétatif et exprimant la modulation des circuits de la récompense et du stress.

4. Méthodologie

La méthodologie repose sur trois études expérimentales (non encore publiées), dédiées à la validation des hypothèses susdécrites. Deux études sont consacrées à l'évaluation de l'éthos scalaire modal (et à la validation des hypothèses H1 à H6), tandis que la troisième évalue les effets neurophysiologiques et neurochimiques de l'audition de monodies modales (hypothèse H7).

4.1. Étude E1

L'étude E1 cherche à vérifier la validité des hypothèses H1, H4, H5 et H6 auprès d'un échantillon significatif (300) d'enfants et d'adolescents. Elle emploie un matériau mélodique restreint, avec une minimisation des paramètres musicaux mis en jeu. Le parti pris méthodologique est de réaliser des comparaisons entre des paires de séquences musicales identiques entre elles du point de vue de la formulation (et de l'ensemble des

paramètres psychoacoustiques musicaux) et différentes pour une (ou deux) hauteur(s) caractéristique(s).

C'est ainsi qu'une séquence instrumentale traditionnelle composée dans un mode d'échelle de genre zalzalien, revêtant les aspects de *Do zalzalien* (Do-z) ou de *Ré zalzalien* (Ré-z), est soumise à une altération dans le sens du resserrement d'un intervalle de 2^{de} et de vérifier auprès de l'auditeur que ce resserrement est effectivement générateur de tristesse. Trois modes répondent au mieux à ces prérequis :

1. Le mode *Rāst* ou R, dont le tétracorde de base est de genre zalzalien (Do-z) et se compose des intervalles 2^{de}M, 2^{de}n, 2^{de}n, avec 3^{ce}n, 4^{te} juste et 5^{te}j axiales ;
2. Le mode *Bayyātī* ou B, dont le tétracorde de base est de genre zalzalien (Ré-z) et se compose des intervalles 2^{de}n, 2^{de}n, 2^{de}M, avec 3^{ce}m, 4^{te}j et 5^{te}j axiale ;
3. Le mode *Ṣabā* ou S, dont le pentacorde de base est de genre zalzalien altéré (Ré-z-a) (bémolisation du degré IV de l'échelle *Bayyātī*) et se compose des intervalles 2^{de}n, 2^{de}n, 2^{de}n, 2^{de}X, avec 3^{ce}n, 4^{te} diminuée et 5^{te}j axiales.

E1 est composé de trois épreuves préliminaires et d'une épreuve effective.

4.1.1. Épreuve E1E1 : Discrimination du mode *Rāst*

Cette première épreuve préliminaire est centrée sur la discrimination du mode *Rāst*. Les participants sont exposés alternativement à cinq séquences :

L'exemple 1 sert de référence, en citant le début d'une composition instrumentale (*Samā'ī Rāst* de Ṭātyus Efendī) en *Rāst* sur le cycle *samā'ī taqīl*.



Exemple 1 : Première *ḥāna* du *Samā'ī Rāst* de Ṭātyus Efendī (R)

L'exemple 2 cite une partie du début de la *taḥmīla* en mode *Rāst* et consiste en une formule simple en mouvements conjoints qui est réitérée sur les cinq degrés du pentacorde *Rāst* selon une gradation descendante.



Exemple 2 : Début de la *taḥmīla* en mode *Rāst* (R)

L'exemple 3 est identique du point de vue formulaire à l'exemple 2, hormis l'altération ascendante du degré IV (*fa* devenant *fa#*, donc resserrement de l'intervalle IV-V) qui inscrit cet exemple dans le mode *Nakrīz*, d'échelle de genre zalzalien altéré.



Exemple 3 : Début de la *Taḥmīla* maquillée en mode *Nakrīz* (n-R)

L'exemple 4 cite la version instrumentale du début du *muwaššah* « *Aḥinnu šawqan* » en mode *Rāst* et consiste en une formule simple par mouvements conjoints qui est réitérée sur les cinq degrés du pentacorde *Rāst* selon une gradation descendante.



Exemple 4 : Début du *muwaššah* « *Aḥinnu šawqan* » en mode *Rāst* (R)

L'exemple 5 est identique du point de vue formulaire à l'exemple 4, hormis l'altération descendante du degré II (*ré* devenant *ré^b*, donc resserrement de l'intervalle I-II) qui inscrit cet exemple dans le mode *Šabā* sur *la*, d'échelle de genre mixte zalzalien altéré et chromatique.



Exemple 5 : Début du *muwaššah* *Aḥinnu šawqan* maquillé en mode *Šabā/la* (non-R)

L'épreuve commence par une immersion dans l'exemple 1 (R), suivie de l'écoute successive des exemples 2 (R) et 3 (n-R), parmi lesquels les participants sont appelés à reconnaître lequel correspond au mode de l'exemple 1. Idem ensuite pour les exemples 1, 4 et 5.

4.1.2. Épreuve E1E2 : Discrimination du mode *Bayyātī*

La deuxième épreuve préliminaire est centrée sur le mode *Bayyātī* (B). Le processus est identique à celui de l'épreuve 1, avec une séquence instrumentale de référence (exemple 6) et deux séquences instrumentales (exemples 7 vs 8 et 9 vs 10) assujetties à des altérations ouvrant la voie à la discrimination différentielle de B.



Exemple 6 : Début de la *taḥmīla* en mode *Bayyātī* (B)



Exemple 7 : Refrain du *Mījānā* en mode *Bayyātī* (B)



Exemple 8 : Refrain du *Mijānā* maquillé en mode *Hijāz* (n-B)



Exemple 9 : Ritournelle des censeurs en mode *Bayyātī* (B)



Exemple 10 : Ritournelle des censeurs en mode *Hijāz* (n-B)

4.1.3. Épreuve E1E3 : Discrimination du mode *Ṣabā*

La troisième épreuve est centrée sur le mode *Ṣabā* (Ṣ). Le processus est identique à celui des épreuves précédentes, avec une séquence de référence et deux séquences assujetties à des altérations ouvrant la voie à la discrimination différentielle de B.



Exemple 11 : Ritournelle des censeurs en mode *Ṣabā* (Ṣ)



Exemple 12 : Début du *muwašṣaḥ* « *Ahwā qamaran* » en mode *Ṣabā* (Ṣ)



Exemple 13 : Début du *muwašṣaḥ* « *Ahwā qamaran* » maquillé en mode *Bayyātī* (n-Ṣ)

4.1.4. Épreuve E1E4 : Discrimination différentielle de la valence émotionnelle

Cette épreuve cherche à tester les hypothèses H1, H4, H5 et H6. Ceci se résume à la question de recherche suivante : les enfants et les adolescents perçoivent-ils une augmentation de la valence émotionnelle plaisante en passant de E(S)²⁴ à E(B) et de E(B) à E(R) ?

Afin de restreindre les variables, une seule mélodie instrumentale simple et brève est choisie pour être jouée dans les trois modes, en fixant complètement la formulation rythmico-mélodique, le timbre/instrumentation et le registre, et en changeant uniquement l'échelle modale, les trois échelles étant appliquées à la même hauteur prise pour finale pour les trois séquences musicales. La mélodie est celle de la section introductive d'un *dūlāb* (prélude instrumental traditionnel) usuellement énoncé en mode *Bayyātī*. Elle égrène en mouvement descendant les degrés du tétracorde de base. Les participants sont exposés à chaque fois au *dūlāb* énoncé dans deux modes différents et sont invités à attribuer à chaque extrait un visage gai ou un visage triste. Cela donne lieu à trois sous-épreuves assignées chacune à une paire de modes, comme suit :



Exemple 14 : Énoncé du début du *dūlāb* égrené dans les modes *Bayyātī* et *Šabā*



Exemple 15 : Énoncé du début du *dūlāb* égrené dans les modes *Šabā* et *Rāst*



Exemple 16 : Énoncé du début du *dūlāb* égrené dans les modes *Rāst* et *Bayyātī*

4.2. Étude E2

L'étude E2²⁵ cherche à vérifier la validité des hypothèses H1, H2, H3, H4, H5 et H6 auprès d'un échantillon significatif de jeunes adultes, ayant reçu une formation musicale relative à la tradition musicale artistique du *Mašriq*.

²⁴ E(X) symbolise « l'échelle du mode X ».

²⁵ Le questionnaire comprenant les extraits musicaux enregistrés est accessible à l'URL <https://docs.google.com/presentation/d/1FpDdT9V16RaEDq4i6vnL-Bygw5FDI3JMg/edit?usp=sharing&ouid=115962753533241429350&rtfpof=true&sd=true>.

Le matériau musical enregistré pour être testé consiste en un prélude instrumental bref (30 secondes) de forme *dūlāb* qui est adapté aux sept modes de base de cette tradition, en conservant la même hauteur absolue pour la finale (*sol*₂ à la main droite du *qānūn* et *sol*₁ à la main gauche) et le même tempo, et qui est interprété au *qānūn*. Les sept modes sont (selon leur ordre de présentation traditionnel) :

1. Le mode *Rāst* ou R, dont le tétracorde de base est de genre zalzalien (Do-z) et se compose des intervalles 2^{de}n, 2^{de}n, 2^{de}n, avec 3^{ce}n, 4^{te} juste et 5^{te} juste axiales, complété disjonctivement par un tétracorde homothétique (Do-z) 2^{de}M, 2^{de}n, 2^{de}n ;



2. Le mode *Bayyātī* ou B, dont le tétracorde de base est de genre zalzalien (aspect Ré-z) et se compose des intervalles 2^{de}n, 2^{de}n, 2^{de}M, 2^{de}M, avec 3^{ce}m, 4^{te} juste et 5^{te} juste axiales, complété conjointement par un tétracorde diatonique tonié 'Uššāq miṣrī (Ré-δ-t) 2^{de}M, 2^{de}μ, 2^{de}X, 2^{de}M, avec l'introduction d'un resserrement à l'étage supérieur (2^{de}μ) ;



3. Le mode *Sikāh* ou S, dont le tétracorde de base est de genre zalzalien (Mi-z) et se compose des intervalles 2^{de}n, 2^{de}M, 2^{de}n, avec 3^{ce}n, 4^{te} juste et 5^{te} juste axiales, complété disjonctivement par un tétracorde homothétique (Mi-z) 2^{de}n, 2^{de}M, 2^{de}n, le ton disjonctif étant instable, car tendant traditionnellement (Maššāqa, 1840-1899) à devenir une 2^{de}X aux dépens de la 2^{de}n située entre les degrés III et IV ;



4. Le mode *Jahārkāh* ou J, dont le tétracorde de base est de genre diatonique tonié (Do-δ-t) et se compose des intervalles 2^{de}M, 2^{de}M, 2^{de}μ, 2^{de}X, avec 3^{ce}M, 4^{te} mineure (diminuée d'un ¼ de ton) et 5^{te} juste axiales, avec Do-z à la 5^{te} sup. ;



5. Le mode *'Uššāq mišrī* ou U, dont le tétracorde de base est diatonique tonié (Ré-δ-t) et se compose des intervalles 2^{de}M, 2^{de}μ, 2^{de}X, 2^{de}M, avec 3^{ce}μ, 4^{te} juste et 5^{te} juste axiales, avec Ré-z à la 5^{te} sup. ;



6. Le mode *Hijāz* ou H, dont le tétracorde de base est chromatique *synton* (Ré-χ-σ dérivé de Ré-z ou Mi-χ-σ de Mi-z par ascension du III) et se compose des intervalles 2^{de}n, 2^{de}X, 2^{de}m, 2^{de}M, avec 3^{ce}M, 4^{te} juste et 5^{te} juste axiales et mise en exergue en 2^e position d'une 2^{de}X tendant vers la 2^{de}A, avec tétracorde disjoint homothétique ;



7. Le mode *Šabā* ou Š, dont le pentacorde de base est de genre *zalzalien altéré* (abaissement des degrés IV et VIII) et se compose des intervalles 2^{de}n, 2^{de}n, 2^{de}n, 2^{de}X, avec une 3^{ce}m, une 4^{te} mineure axiale²⁶ et une 5^{te} juste axiale ;



En appliquant les hypothèses H1 à H6, il est possible de proposer le classement éthique modal hypothétique suivant, allant du mode de valence diastolique minimale Š au mode R de valence diastolique maximale :

- 1) Š : Ré-z-a avec 3^{ce}m axiale, 4^{te} axiale mineure (diminuée d'¼ de ton) et 2^{de}n axiale.

²⁶ Il s'agit ici de la nuance traditionnelle ancienne de l'échelle de ce mode, qui diffère de celle employée par E1.4.

- 2) H : Ré- χ - σ ou Mi- χ - σ issu d'un resserrement du troisième intervalle de B ou de S, devenant 2^{de}m et 2^{de} (m ou n) axiale devenant 2^{de}M axiale.
- 3) J : genre diatonique *tonié* avec 3^{ce}M axiale et 2^{de} M axiale, contrebalancée par un resserrement du troisième intervalle, devenant 2^{de} μ , et de la 4^{te} axiale qui est mineure.
- 4) U : Ré- σ - τ avec 3^{ce} μ axiale resserrée et 2^{de}M axiale, contrebalancée par un resserrement du troisième intervalle, devenant 2^{de} μ , avec toutefois une 4^{te} juste axiale rendant U plus diastolique que J.
- 5) S : z équilibré avec 3^{ce}n axiale, mais 2^{de}n axiale (plus resserrée que dans R) et mise en exergue de la 2^{de} disjonctive allant dans le sens fortement systolique du χ .
- 6) B : Ré-z équilibré avec 3^{ce}m axiale et 2^{de}n axiale, allié à un Ré- σ - τ à la 4^{te} supérieure.
- 7) R : Do-z redoublé à la quinte, très équilibré avec 3^{ce}n axiale et 2^{de}M axiale, représentant au mieux la norme systémique.

4.2.1. Épreuve E2E1 : Comparaison éthique par paires modales

Les participants sont invités à écouter (au casque) individuellement des paires de *dūlāb* et à indiquer immédiatement quelle séquence modale est évaluée comme étant plus gaie/plaisante ou plus triste/déplaisante que l'autre séquence de la paire. Ces paires sont :

- 1) R vs B : R est supposé être perçu comme plus gai que B ;
- 2) R vs S : R > S ;
- 3) S vs H : S > H ;
- 4) J vs H : J > H ;
- 5) U vs J : U > JU ;
- 6) U vs S : U > S ;
- 7) R vs J : R > J ;
- 8) B vs S : B > S ;
- 9) S vs U : S > U ;
- 10) B vs H : B > H.

4.2.2. Épreuve E2E2 : Classement éthique modal global

Les participants sont invités à écouter les sept *dūlābs* dans l'ordre qu'ils souhaitent et à les classer du plus triste/déplaisant au plus gai/plaisant sur une échelle de 1 à 7.

4.3. Étude E3

L'étude E3 cherche à vérifier auprès d'un échantillon significatif de jeunes adultes la validité de l'hypothèse H7. Chaque participant est soumis à une épreuve d'écoute de deux séquences musicales traditionnelles, chacune d'environ 3 minutes :

- 1) La séquence R consiste en les trois premières *hānas* (versets instrumentaux) du *Samā'ī* en mode *Rāst* de Ṭātyus Efendī, composition d'origine ottomane (interprétée ici dans le style musical traditionnel artistique du *Mašriq*), de forme cyclique (K₁TK₂TK₃T), de rythme mesuré à quatre pulsations bichrones 3/2 (l'exemple 1 en reproduit la première *hāna*),

avec intercalation d'une phrase d'improvisation *taqsim* non-mesurée entre le *taslim* (ritournelle) et la *ḥāna* qui le suit, qui sont interprétées au 'ūd, au *qānūn*, puis au violon²⁷.

2) La séquence *Ṣ* consiste en une série d'improvisations au violon et au 'ūd en mode *Ṣabā*, notamment, des improvisations sur rythme mesuré ternaire en responsorial avec pour ritournelle la mélodie-type *a-ṣ-Ṣabā al-marākib* notée par Mīḥā'il Maššāqa²⁸.

Les deux séquences sont de tempo similaire et sont précédées et suivies d'une plage de silence de 2 minutes. Avant, pendant et après l'écoute de chacune des deux séquences, quatre paramètres neurophysiologiques sont mesurés à intervalles réguliers, en tant qu'indicateurs de l'activité du système neurovégétatif : (1) la fréquence cardiaque moyenne (FCM), (2) la pression artérielle systolique moyenne (PASM), (3) la fréquence respiratoire moyenne (FRM) et (4) la température corporelle moyenne (TCM)²⁹.

Enfin, une quinzaine de ces volontaires est soumise à une mesure de la dopaminémie et de la cortisolémie, à deux reprises, dans la plage de silence qui suit la séquence *Rāst* et dans celle qui suit la séquence *Ṣabā*.

5. Résultats

5.1. Étude E1

E1 est réalisée en 2019 (enfants) et en 2021 (adolescents), en tant que module (axé sur l'éthos scalaire modal) d'une étude plus large comprenant un deuxième module d'épreuves sur la discrimination cognitive par les mêmes enfants et adolescents libanais des modalités sémantiques véhiculées par les monodies modales traditionnelles du Levant (Abou Mrad et al, 2022). En raison de la grave crise multidimensionnelle (socioéconomique et sanitaire) du Liban le travail de terrain s'est effectué d'une manière épisodique et par tranches. Les épreuves expérimentales ont été réalisées après l'octroi de l'approbation préalable du Comité d'éthique de l'Université Antonine, en date du 18 janvier 2019.

5.1.1. Description de la population-cible

Les participants enfants et adolescents ont été sélectionnés au hasard, en milieux scolaires, avec une représentation équilibrée en termes de sexe et d'âge, selon la répartition figurant aux tableaux suivants. Notons qu'aucune différence significative (Pearson, Test χ^2) n'est observée pour toutes les épreuves eu égard au paramètre du genre fille/garçon.

²⁷ Cette séquence est accessible à l'url <https://drive.google.com/file/d/1nqvcrZGf4iZW5TaexG6XGIPKw-LFXmG0/view?usp=sharing>.

²⁸ Cette séquence est accessible à l'url <https://drive.google.com/file/d/1T9ED-pn7SuhOFPc4xGXhPhPOg5bVrwMJ/view?usp=sharing>.

²⁹ La fréquence cardiaque est mesurée grâce à un oxymètre digital, la pression artérielle grâce à un tensiomètre électronique, la fréquence respiratoire par un comptage visuel réalisé par un médecin ou une infirmière, la température corporelle grâce à un thermomètre auriculaire.

Tableau n° 3 : Répartition de la population enfantine sur les tranches d'âges et les genres

	N	%	N	%
Âge	Filles		Garçons	
7	21		29	
8	19		31	
9	23		27	
10	24		26	
11	20		30	
12	34		16	
Total	141	56	159	64

Tableau n° 4 : Répartition de la population adolescente sur les tranches d'âges et les genres

	N	%	N	%
Âge	Filles		Garçons	
13	14		10	
14	10		14	
15	14		10	
16	18		6	
Total	56	58	40	42

5.1.2. Épreuve E1E1 : Discrimination du mode *Rāst*

La discrimination implicite de R est effective pour tous les âges, chez les enfants, à 65% pour l'exemple 2 et 77% pour l'exemple 4, avec des différences hautement significatives au test χ^2 , avec $\chi^2(1) = 0.000$; $p < 0.001$ dans les deux sous-épreuves.

Tableau n° 5 : Résultats de l'épreuve E1E1, discrimination du mode *Rāst* (R versus non-R) chez les enfants (N=300)

Épreuve 1	N	%
R	194	64.7
Non-R	106	35.3
R	231	77.0
Non-R	69	23.0

Tableau n° 6 : Résultats de l'épreuve E1E1, discrimination du mode *Rāst* (R versus non-R) chez les adolescents (N=96)

Épreuve 1	N	%
R	47	49
Non-R	49	51
R	67	70
Non-R	29	30

La discrimination implicite de R est effective pour tous les âges, chez les adolescents, à 49% pour l'exemple 2 et 70% pour l'exemple 4. Ces différences n'étant pas significatives au test χ^2 , avec $\chi^2(3) = 0.3$; $p > 0.05$ dans la première sous-épreuve, et $\chi^2(3) = 0.152$; $p > 0.05$ dans la deuxième sous-épreuve.

5.1.3. Épreuve E1E2 : Discrimination du mode *Bayyāfī*

Tableau n° 7 : Résultats de l'épreuve E1E2, discrimination du mode *Bayyāfī* (B versus non-B) chez les enfants (N=300)

Épreuve 2	N	%
B	213	71.0
Non-B	87	29.0
B	177	59.0
Non-B	123	41.0

La significativité des différences chez les enfants est haute pour les deux paires, avec $\chi^2(1) = 0.000$; $p < 0.001$ pour 7 vs 8 et $\chi^2(1) = 0.002$; $p < 0.05$ pour 9 vs 10.

Tableau n° 8 : Résultats de l'épreuve E1E2, discrimination du mode *Bayyāfī* (B versus non-B) chez les adolescents (N=96)

Épreuve 2	N	%
B	67	70
Non-B	29	30
B	49	51
Non-B	47	49

Les différences chez les adolescents ne sont pas significatives pour les deux paires, avec $\chi^2(3) = 0.405$; $p > 0.05$ pour la première sous-épreuve, et $\chi^2(3) = 0.841$; $p > 0.05$ pour la deuxième sous-épreuve.

5.1.4. Épreuve E1E3 : Discrimination du mode *Šabā* (Š)

Tableau n° 9 : Résultats de l'épreuve E1E3, discrimination du mode *Šabā* chez les enfants (N=300)

Épreuve 3	N	%
Š	170	56.7
Non-(Š)	130	43.3
Š	165	55.0
Non-(Š)	135	45.0

La significativité des différences est haute pour les deux paires, avec $\chi^2(1) = 0.021$; $p < 0.05$ pour 12 vs 13 et $\chi^2(1) = 0.083$; $p < 0.05$ pour 14 vs 15.

Tableau n° 10 : Résultats de l'épreuve E1E3, discrimination du mode *Şabā* chez les adolescents (N=96)

Épreuve 3	N	%
(S)	53	55
Non-(S)	43	45
(S)	52	54
Non-(S)	44	46

Les différences chez les adolescents ne sont pas significatives pour les deux paires, avec $\chi^2(3) = 0.368$; $p > 0.05$ pour la première sous-épreuve, et $\chi^2(3) = 0.183$; $p > 0.05$ pour la deuxième sous-épreuve.

5.1.5. Épreuve E1E4 : Discrimination différentielle de la valence émotionnelle

Tableau n° 11 : Hypothèses relatives à l'épreuve E1E4

Exemple 16	A- Bayyātī	😊	B- Şabā	😞
Exemple 17	A- Şabā	😞	B- Rāst	😊
Exemple 18	A- Rāst	😊	B- Bayyātī	😞

Tableau n° 12 : Résultats de l'épreuve E1E4 chez les enfants (N=300)

Épreuve 4	N	%
<i>Bayyātī</i>	176	58.7
<i>Şabā</i>	124	41.3
<i>Şabā</i>	120	40.0
<i>Rāst</i>	180	60.0
<i>Rāst</i>	145	48.3
<i>Bayyātī</i>	155	51.7

Tableau n° 13 : Résultats de l'épreuve E1E4 chez les adolescents (N=96)

Épreuve 4	N	%
<i>Bayyātī</i>	68	71
<i>Şabā</i>	28	29
<i>Şabā</i>	30	31
<i>Rāst</i>	66	69
<i>Rāst</i>	45	47
<i>Bayyātī</i>	51	53

5.1.6. Discussion

Ce que ces résultats montrent est que l'évaluation de l'éthos systolique du mode *Šabā* et son échelle de genre zalzalien altéré, chez les enfants et les adolescents, est clairement établie en comparaison avec la valence émotionnelle des modes *Bayyātī* et *Rāst*, de genre zalzalien. Les tests de significativité donnent les résultats suivants :

- Pour l'échantillon enfants : $\chi^2(1) = 0.003$; $p < 0.05$, en comparaison avec *Bayyātī*, et $\chi^2(1) = 0.001$; $p = 0.001$, en comparaison avec *Rāst*,
- Pour l'échantillon adolescents : $\chi^2(3) = 0.012$; $p < 0.05$, en comparaison avec *Bayyātī*, et $\chi^2(1) = 0.183$; $p > 0.05$, en comparaison avec *Rāst*

Ceci permet de valider les hypothèses H1, H4 et H5.

En revanche, les participants à cette épreuve ont placé les deux modes de genre zalzalien sur un pied d'égalité du point de vue de la valence émotionnelle, avec, pour les enfants, $\chi^2(1) = 0.564$; $p > 0.05$, et pour les adolescents, $\chi^2(1) = 0.928$; $p > 0.05$. En comparant les différences entre les tranches d'âge des enfants pour l'épreuve E1E4 (*Rāst* - *Bayyātī*), le Mann-Whitney test ne montre qu'une seule différence significative pour 7 vs 8 avec $p = 0.029$. Quant aux adolescents, le Mann-Whitney test montre une différence significative pour 13 vs 14 et 14 vs 15 avec $p = 0.566$, mais ne montre aucune différence significative pour 15 vs 16 avec $p = 0.775$.

Ceci ne permet donc pas de valider les hypothèses H2 et H3.

5.2. Étude E2

L'étude E2 est réalisée au mois de mai 2021, après l'octroi de l'approbation préalable du Comité d'éthique de l'Université Antonine, en date du 7 mai 2021.

5.2.1. Description de la population-cible et déroulement

Les participants ont été recrutés par l'intermédiaire d'un appel à participation adressé aux étudiants de la Faculté de musique et musicologie de l'Université Antonine et aux élèves du l'École de musique *Bayt al-Mūsīqā* du Secours Populaire (Liban-Nord).

Tableau n° 14 : Répartition sur les tranches d'âges et les genres

	N	%	N	%
Âge	Femmes		Hommes	
[18-25[	9	30	9	30
[25-35[	5	17	2	7
[35+ [	4	13	1	3
Total	18	60	12	40

Trente étudiantes et étudiants, âgés de 18 à 43 ans, ont participé individuellement à l'étude à distance (en raison de la situation sanitaire liée à la COVID-19). Grâce à leurs études musicales, ces participants peuvent être considérés comme ayant atteint un certain niveau d'expertise dans la connaissance et la pratique des traditions musicales monodiques modales du *Mašriq*.

Les fragments musicaux des épreuves E2E1 et E2E2 leur ont été soumis, intégrés dans un diaporama PowerPoint³⁰ qui en explicite le déroulement, tandis que les questions leur ont été soumises par le biais d'un formulaire en ligne (*Google Form*), avec un monitoring synchrone (pour limiter les temps de réponse) par le biais de MS Teams, sachant que les participants avaient pour consigne d'employer des écouteurs ou des casques pour auditionner les extraits musicaux en visioconférence.

5.2.2. Épreuve E2E1 : Comparaison par paires modales

Le tableau suivant présente les résultats de cette épreuve, en fournissant l'évaluation émotionnelle assignée par les trente participants à chaque terme des dix paires modales écoutées.

Tableau n° 15 : Résultats de l'épreuve E2E1 (N = 30)

Paire modale n°	1		2		3		4		5	
Modes	<i>Rāst</i>	<i>Bayyātī</i>	<i>Rāst</i>	<i>Sikāh</i>	<i>Sikāh</i>	<i>Hijāz</i>	<i>Hijāz</i>	<i>Jahārkāh</i>	<i>Jahārkāh</i>	<i>Uššāq</i>
Évaluations positives	22	8	23	7	25	5	16	14	10	20
%	73%	27%	77%	23%	83%	17%	53%	47%	33%	67%
Paire modale n°	6		7		8		9		10	
Modes	<i>Uššāq</i>	<i>Šabā</i>	<i>Rāst</i>	<i>Jahārkāh</i>	<i>Bayyātī</i>	<i>Šabā</i>	<i>Sikāh</i>	<i>Uššāq</i>	<i>Bayyātī</i>	<i>Hijāz</i>
Évaluations positives	26	4	25	5	28	2	17	13	28	2
%	87%	13%	83%	17%	93%	7%	57%	43%	93%	7%

Ces évaluations valident totalement l'hypothèse formulée en 4.2.1 pour ces paires.

5.2.3. Épreuve E2E2 : Classement éthique modal global

Le classement des sept modes en fonction des résultats de l'épreuve E2E2 peut être établi selon les deux méthodes suivantes :

(1) Classement sur la base du pourcentage évaluatif maximal :

La prise en considération du pourcentage évaluatif maximal, obtenu par chaque valeur de classement (de 1 à 7) pour chaque mode, fournit une évaluation indiscutable (majorité absolue) pour deux modes : *Rāst* est élu mode d'éthos le plus diastolique, de rang 7, par 60% des participants, tandis que *Šabā* est élu mode le plus systolique, de rang 1, par 57% des participants. Si *Bayyātī* obtient une majorité relative qualifiée (37%) pour le rang 6, en revanche, les pourcentages des rangs des cinq autres modes sont plus faibles ou mitigés (de 27 à 30%), ce qui ne plaide pas pour un classement clair entre ces modes, dont l'éthos est qualifiable ainsi de globalement hésychastique.

³⁰ Le questionnaire comprenant les extraits musicaux enregistrés est accessible à l'URL <https://docs.google.com/presentation/d/1FpDdT9V16RaEDq4i6vnL-Bygw5FDI3JMg/edit?usp=sharing&ouid=115962753533241429350&rtfpof=true&sd=true>.

Tableau n° 16 : Classement sur la base du pourcentage évaluatif maximal (N = 30)

Classement	<i>Šabā</i>	<i>Jahārkāh</i>	<i>Uššāq</i>	<i>Ḥijāz</i>	<i>Sīkāh</i>	<i>Bayyātī</i>	<i>Rāst</i>
1	57%	27%	3%	7%	0%	3%	7%
2	20%	13%	27%	27%	7%	7%	0%
3	13%	23%	27%	20%	10%	7%	0%
4	7%	10%	20%	30%	17%	10%	7%
5	3%	0%	10%	17%	30%	30%	10%
6	0%	7%	7%	0%	33%	37%	17%
7	0%	20%	7%	0%	3%	7%	60%

(2) Classement éthique modal sur la base de la moyenne des scores

La méthode alternative consiste à assimiler les rangs de classement (de 1 à 7), attribués par les participants aux sept modes, à des sortes de « votes ».

Tableau n° 17 : Classement sur la base de la moyenne des scores (N = 30)

Mode	<i>Šabā</i>	<i>Ḥijāz</i>	<i>Jahārkāh</i>	<i>Uššāq</i>	<i>Sīkāh</i>	<i>Bayyātī</i>	<i>Rāst</i>
Total des scores	56	97	103	107	144	148	181
Moyenne des scores de gaîté sur 7	1,9	3,2	3,4	3,6	4,8	4,9	6,0
Classement	1	2	3	4	5	6	7

Cette méthode conduit à classer les sept modes comme suit (en termes de croissance diastolique ou de gaîté) : *Šabā*, *Ḥijāz*, *Jahārkāh*, *Uššāq*, *Sīkāh*, *Bayyātī*, *Rāst*.

5.2.4. Discussion

La confrontation des résultats du classement sur la base de la moyenne des scores avec ceux des comparaisons éthiques par paires modales de l'épreuve E2E1 montre que le classement ainsi obtenu est totalement compatible avec les comparaisons duales. De plus, ce classement est identique à son homologue hypothétique, élaboré sur la base de l'analyse intervallique des échelles à l'aune des hypothèses H2 à H6, tel qu'il est exposé au début de la section 4.2. **Cela conduit à considérer comme étant pleinement validées les hypothèses H1 à H6.**

5.3. Étude E3

E3 est réalisée au mois de mai 2021, après l'octroi de son approbation préalable par le Comité d'éthique de l'Université Antonine, en date du 7 mai 2021.

5.3.1. Description de la population-cible et déroulement

Les participants ont été recrutés par l'intermédiaire d'un appel à participation adressé aux étudiants de la Faculté de musique et musicologie de l'Université Antonine. La population-cible est presque superposable à celle de l'étude E2.

Tableau n° 18 : Répartition sur les tranches d'âges et les genres de la population-cible de l'E3.1

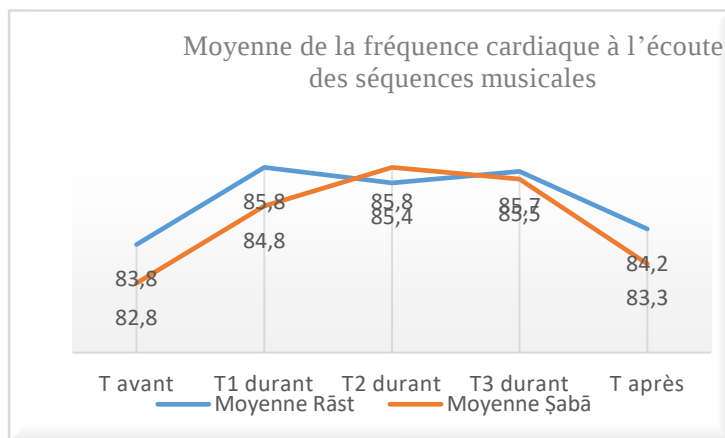
Variable	N	%	N	%
Âge [18-25]	Femme		Homme	
Total	21	68	11	32

5.3.2. Étude des variations des paramètres physiologiques

La fréquence cardiaque, la pression artérielle systolique, la fréquence respiratoire et la température corporelle ont été mesurées pour chaque participant³¹, avant, pendant et après l'écoute de la séquence en mode *Rāst* et pendant celle en mode *Šabā*. Ce sont les variations des valeurs moyennes de ces paramètres qui sont étudiées ci-après, en tant qu'indicateurs de la modulation de l'activité du système neurovégétatif (à travers son impact sur le système cardiorespiratoire et la thermorégulation) en conséquence de l'audition de deux séquences monodiques traditionnelles artistiques du *Masriq*, longues de près de trois minutes chacune, approximativement de même tempo, dont la première est d'éthos global diastolique et la seconde d'éthos systolique, en se référant aux résultats de l'étude E2.

Variation de la fréquence cardiaque moyenne (FCM)

L'étude du graphique n° 1 montre que l'écoute de la séquence *Rāst* induit une accélération cardiaque modérée de 2,4% (plafonnant à 85,8 c/mn) qui s'estompe dès l'arrêt de l'écoute musicale. Il en est de même pour *Šabā*, avec une accélération plus prononcée à 3,6%.



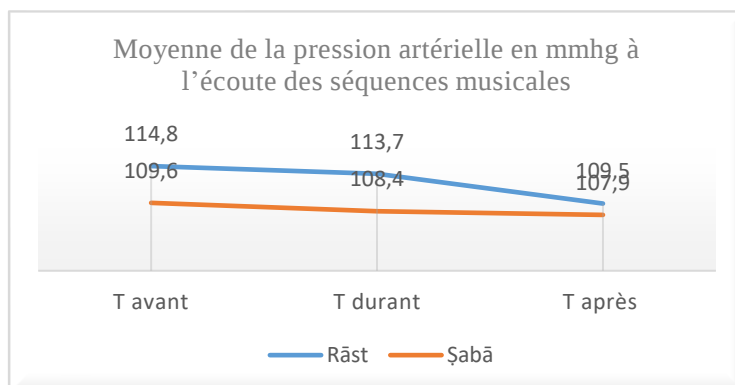
Graphique n° 1 : Variation de la fréquence cardiaque moyenne (FCM), avant, pendant et après l'écoute des séquences musicales *Rāst* et *Šabā*

Variation de la pression artérielle systolique moyenne (PASM)

L'étude du graphique n° 2 montre que l'écoute de la séquence *Rāst* induit une hypotension modérée, qui s'accroît dans l'intervalle de silence qui suit l'écoute et se poursuit pendant

³¹ La fréquence cardiaque a été mesurée grâce à un oxymètre digital, la pression artérielle grâce à un tensiomètre électronique, la fréquence respiratoire par un comptage visuel réalisé par un médecin ou une infirmière, la température corporelle grâce à un thermomètre auriculaire.

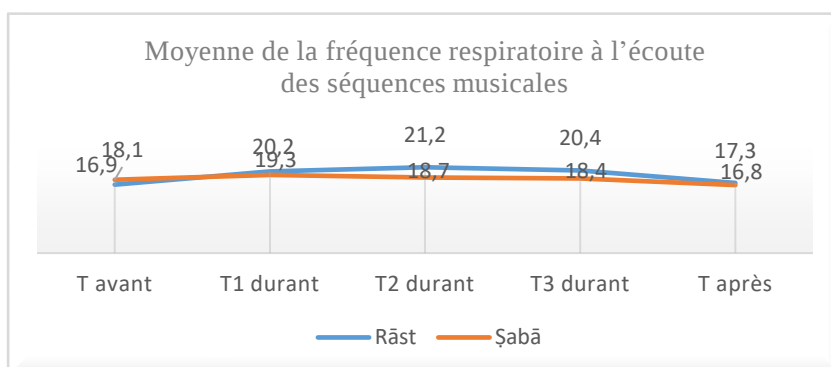
l'écoute de la séquence *Şabā* et le silence qui la suit. L'effet cumulatif de l'écoute des deux séquences consiste en une chute moyenne de 7 mm Hg de la PASM, soit 6%³².



Graphique n° 2 : Variation de la pression artérielle systolique moyenne, avant, pendant et après l'écoute des séquences musicales *Rāst* et *Şabā*

Variation de la fréquence respiratoire moyenne (FRM)

C'est le paramètre de la fréquence respiratoire moyenne (FRM) qui connaît les variations les plus accusées. Ainsi l'écoute de la séquence *Rāst* induit-elle une accélération respiratoire significative de 25% (passant de 16,9 à 21,2 c/mn)³³, laquelle s'estompe dans l'intervalle de temps séparant les deux séquences et reprend plus modérément (accélération respiratoire de 13%, passant de 18,1 à 19,3 c/mn)³⁴ à l'écoute de la séquence *Şabā*, avant de s'estomper à nouveau à l'arrêt de l'écoute musicale.



Graphique n° 3 : Courbes de la fréquence respiratoire moyenne, avant, pendant et après l'écoute des séquences musicales *Rāst* et *Şabā*

³² En se référant au Wilcoxon's Matched Pairs test, la baisse de la PAM, relative à R est hautement significative avec $p = 0.000$. Il en est de même pour la baisse relative à Ş, avec $p = 0.065$.

³³ Cette variation est significative à l'aune du Wilcoxon's Matched Pairs test (WMPT), avec $p = 0.000$.

³⁴ Cette variation est significative à l'aune du WMPT, avec $p = 0.050$.

Variation de la température corporelle moyenne (TCM)

La température corporelle moyenne est constante (36,6 °c pour *Rāst* et 36,7 °c pour *Ṣabā*) tout au long de l'écoute de chacune des deux séquences, tandis que l'effet cumulatif consiste en une augmentation de 0,3% entre le silence précédant *Rāst* et celui qui succède à *Ṣabā*³⁵.

5.3.3. Variation de la dopaminémie et de la cortisolémie

Le taux sanguin de la dopamine a été mesuré chez quinze des trente participants, dans l'intervalle de silence succédant à la séquence *Rāst* et dans celui succédant à la séquence *Ṣabā*, tandis que le taux sanguin du cortisol a été mesuré chez seulement onze de ces mêmes participants (pour des raisons de contingence logistiques) dans les deux mêmes intervalles de temps. Ce sont les variations de la dopaminémie et de la cortisolémie qui sont étudiées ici. Au vu du faible effectif de l'échantillon, l'examen des résultats est d'ordre avant tout indicatif.

En fait, la valeur moyenne de la dopaminémie est de 93 pg/ml, dans l'après-*Rāst*, et de 96 pg/ml, dans l'après-*Ṣabā* (le seuil-plafond de la normalité étant à 100 pg/ml). Cette augmentation de 3% n'est pas vraiment significative à l'aune du Wilcoxon's Matched Pairs test. Quant à la valeur moyenne de la cortisolémie, elle est de 17 micg/dl, dans l'après-*Rāst*, et de 16 micg/dl dans l'après-*Ṣabā* (les valeurs normales étant situées entre 4,82 et 19,5 micg/dl pour la période matinale au cours de laquelle les prélèvements ont été effectués). Cette baisse de 6% est significative à l'aune du Wilcoxon's Matched Pairs test, avec $p = 0.017$.

5.3.4. Résultats croisés entre paramètres physiologiques et paramètres neurochimiques

En étudiant les corrélations entre les paramètres physiologiques et les paramètres neurochimiques, le Friedman test montre une relation significative entre la variation de la fréquence respiratoire moyenne et celles de la dopaminémie et de la cortisolémie ($p=0.000$ et $p = 0.017$) et entre la variation de la pression artérielle systolique moyenne et celle de la cortisolémie ($p = 0.000$).

5.3.5. Discussion

Ce qui ressort d'une relecture affinée des variations des valeurs moyennes des quatre indicateurs physiologiques neurovégétatifs et des deux indicateurs neurochimiques est :

- (1) que les fréquences cardiaque et respiratoire augmentent significativement à l'audition des deux séquences et reprennent leurs valeurs antécédentes à l'arrêt de l'écoute musicale, signe d'une activation passagère du système sympathique adrénergique, liée à la sollicitation excitatrice inhérente à cette audition, et ce, d'une manière un peu plus accusée pour la séquence en mode *Rāst* (probablement parce qu'elle est rythmiquement plus animée et plus variée du point de vue de la forme compositionnelle et de l'instrumentation), en comparaison avec la séquence en mode *Ṣabā* ;
- (2) que l'augmentation (même minime et dont la significativité statistique n'est pas attestée) de la dopaminémie en conséquence de l'écoute de la séquence en mode *Ṣabā* est un

³⁵ Cette augmentation est significative à l'aune du WMPT, à 10% de niveau de confiance, avec $p = 0.064$.

indicateur de l'activation du circuit de la récompense et du plaisir à l'audition musicale, et ce, même pour une séquence au mode dont l'éthos s'est avéré être le plus systolique parmi les sept modes principaux de la tradition musicale artistique du *Mašriq* ;

- (3) que la baisse de la pression artérielle systolique, conjuguée à l'augmentation de la température corporelle et à la baisse de la cortisolémie, tout au long de la séance, dénote un effet globalement inhibiteur du système sympathique, en d'autres termes un effet globalement relaxant qui ressort de l'écoute successive des deux séquences musicales d'éthos global diastolique puis systolique.

6. Conclusion

Cet article a pour premier mérite de démontrer que l'évaluation auditive comparative de l'éthos des modes mélodiques traditionnels repose essentiellement sur la structuration intervallique des échelles de ces modes. Certes, les données relatives à la formulation rythmico-mélodique, au tempo et aux autres paramètres psychoacoustiques musicaux, sont autant de déterminants différentiels de la modulation du contenu émotionnel véhiculé par les monodies modales, mais il est désormais possible d'affirmer que l'éthos modal, *ceteris paribus sic stantibus* (c'est-à-dire que lorsque l'échelle de la monodie change, les autres paramètres sont maintenus constants), est une sorte de représentation émotionnelle de l'appariement entre une échelle et une finale modales. La démonstration a été faite en invitant des jeunes, préalablement initiés à la tradition musicale du *Mašriq*, à proposer un classement éthique modal des sept modes fondamentaux de cette tradition (exprimés par une seule et même composition instrumentale brève qui est adaptée aux sept modes et interprétée à l'identique) et en constatant que ce classement (par calcul des moyennes des « votes ») se superposait pleinement à celui que l'analyse sémiotique intervallique permet de prédire. Il reste à reprendre cet exercice avec des participants de divers âges, experts et non-experts, puis à tester (en suivant la même méthodologie) des matériaux musicaux relevant d'autres traditions monodiques modales (y inclus le chant grégorien).

L'autre mérite de cet article aura été de démontrer que la connotation émotionnelle des modes, en termes de (valence) sentiment plaisant vs déplaisant, se situe sur un autre plan que celui de l'évaluation de l'excitation (*arousal*), qui permet de juger du caractère relaxant (apaisant) ou excitant (stimulant) du donné musical. Ainsi un mode d'éthos systolique ou triste n'est-il pas *a fortiori* stressant. L'écoute d'une monodie s'y inscrivant peut en effet activer le circuit dopaminergique de la récompense et du plaisir et induire une inhibition du système sympathique, donc un état de relaxation se situant apparemment en opposition avec le sentiment triste ou systolique qu'il peut véhiculer de par sa composition intervallique. En somme : une douce et agréable tristesse se dégage du mode *Ṣabā* et perdure en vertu d'une relaxation cholinergique et d'un plaisir dopaminergique.

Certes, il reste à élargir l'échantillon de la population-cible de ce type d'investigation et à conforter ces observations par des études de ce phénomène en neuroimagerie fonctionnelle. Cependant, cette étude ouvre d'ores et déjà la voie à des applications dans les

domaines éducationnels (formation musicale à la reconnaissance des modes des monodies recourant à l'évaluation de leur éthos) et thérapeutiques (emploi affiné de l'écoute de monodies modales dans des protocoles de soins anxiolytiques ou antistress).

Références

- ABOU MRAD, Nidaa et MAATOUK, Toufic, 2012, « Sémiotique modale des chants maronites du Vendredi saint », *Revue des Traditions Musicales des Mondes Arabe et Méditerranéen*, n° 6 « Sémiotique et psychocognition des monodies modales (1) », Hadat, Éditions de l'Université Antonine, p. 67-80.
- ABOU MRAD, Nidaa, 1989, *Musicothérapie chez les Arabes au moyen-âge*, thèse non publiée de médecine, direction : Yves Pélicier, Université René Descartes Paris V.
- ABOU MRAD, Nidaa, 2005, « Échelles mélodiques et identité culturelle en Orient arabe », *Musiques. Une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, vol. III « Musiques et cultures », sous la direction de Jean-Jacques Nattiez, Arles, Actes Sud, p. 756-795.
- ABOU MRAD, Nidaa, 2016, *Éléments de sémiotique modale. Essai d'une grammaire musicale pour les traditions monodiques*, Hadat et Paris, Éditions de l'Université Antonine et Éditions Geuthner.
- ABOU MRAD, Nidaa, 2021, « Réécriture grammaticale musicale du répons de l'Alleluia Ave Maria grégorien », *Revue des Traditions Musicales* n° 15 « Monodies modales et recherches cognitives (1) : Grammaire musicale », Hadat et Paris, Éditions de l'Université Antonine et Éditions Geuthner, p. 19-45.
- ABOU MRAD, Nidaa, CHOUVEL, Jean-Marc, BILLIET, Frédéric, SAADÉ, Carmen, ABOU JAOUDE, Nathalie et YASSINE, Hayaf, 2022, « Discrimination cognitive des modalités sémantiques des monodies modales », *Revue des Traditions Musicales*, n° 16 « Monodies modales et recherches cognitives (2) : Sémiose et perception des monodies », Hadat et Paris, Éditions de l'Université Antonine et Éditions Geuthner, p. 67-92.
- AL-KINDI, Ya'qūb ibn Ishāq, *Risāla fī l-luḥūn wa-n-naḡam* [Traité des mélodies et des modes], MS 5530, fol. 29, Berlin, et MS 1705, fol. 110-123, Bibliothèque de Magnessa, Turquie.
- ARISTOTE, 1995, *La Politique*, traduction, introduction, notes et index par J. Tricot, Paris, Vrin.
- AVAN, Paul, BONFILS, Pierre, 2005, « Otoémissions acoustiques », *Encyclopædia Universalis*, version CD-Rom.
- AYARI, Mondher et MCADAMS, Stephen, 2003, "Aural Analysis of Arabic Improvised Instrumental Music (Taqsim)", *Music Perception*, Vol. 21, Issue 2.
- BÉCHÉALANY, Bouchra, 2009, « La discrimination de l'ossature zalzalienne chez des enfants libanais de 8 à 12 ans et son développement par l'apprentissage », *Revue des traditions musicales des mondes arabe et méditerranéen*, n° 3 « Systèmes mélodiques », Baabda (Liban), Éditions de l'Université Antonine, p. 75-88.
- BÉCHÉALANY, Bouchra, 2012, « La perception des unités sémiotiques modales chez des enfants libanais de 8 à 12 ans », *Revue des traditions musicales des mondes*

- arabe et méditerranéen*, n° 6 « Sémiotique et psychocognition des monodies modales (1) », Baabda (Liban) et Paris, Éditions de l'Université Antonine et Éditions Geuthner, p. 81-102.
- BÉCHÉALANY, Bouchra, 2017, « La perception catégorielle des différences intéressant les échelles modales par des enfants libanais de 6 à 12 ans », *Revue des traditions musicales des mondes arabe et méditerranéen*, n° 11 « Perception et apprentissage des traditions musicales », Baabda (Liban) et Paris, Éditions de l'Université Antonine et Éditions Geuthner, p. 11-38.
- BECKER, Judith, 2010, « L'action-dans-le-monde. Émotion musicale, mouvement musical et neurones miroirs », *Cahiers d'ethnomusicologie*, 23/2010, p. 29-52.
- BIGAND E., VIEILLARD S., MADURELL F., MAROZEAU J. & DACQUET A., 2005, "Multidimensional scaling of emotional responses to music: The effect of musical expertise and excerpts' duration", *Cognition and Emotion*, 8, p. 1113-1139.
- BIGAND, Emmanuel, FILIPIC, Suzane, LALITTE, Philippe, 2005, "The time course of emotional response to music" *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060(1), 429-437.
- BLOOD, Anne J., and ZATORRE, Robert J., 2001, "Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion", *PNAS* September 25, 2001 98 (20) 11818-11823; <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>.
- BLOOD, Anne J., ZATORRE, Robert J., BERMUDEZ, Patrick and EVANS, Alan C., 1999, "Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions", *Nature Neuroscience*.
- BONFILS, Pierre., RÉMOND, Marie-Claude and PUJOL, Rémy, 1986, "Efferent tracts and cochlear frequency selectivity", *Hearing research*, 24.
- BOULEZ, Pierre, 1981, *Points de repère*, Jean-Jacques Nattiez (éd.), Paris, Christian Bourgeois.
- CARR Laurie, IACOBONI, Marco, DUBEAU, Marie-Charlotte, MAZZIOTTA, John C., & LENZI, Gian Luigi, 2002, "Neural mechanisms of empathy in humans: A relay from neural systems for imitation to limbic areas", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 100(9), p. 5497- 5502.
- CHAILLEY, Jacques, 1985, *Éléments de philologie musicale*, Paris, Alphonse Leduc.
- CHOUARD, Claude-Henri, 2001, *L'Oreille Musicienne : Les chemins de la musique de l'oreille au cerveau*, Paris, Gallimard.
- CHOUVEL, Jean-Marc, 2006, *Analyse musicale ; sémiologie et cognition des formes temporelles*, Paris, L'Harmattan.
- Collectivité d'auteurs, 2010, Mondher Ayari et Hamdi Makhoulouf, *Musique, Signification et Émotion*, Paris, Éditions Delatour.
- DALLA BELLA, Simone, PERETZ, Isabelle, ROUSSEAU, Luc, & GOSSELIN, Nathalie, 2001, "A developmental study of the affective value of tempo and mode in music", *Cognition* 80, B1-B10.
- DENNETT, Daniel, 1988, "Quining Qualia", *Consciousness in Modern Science*, A. Marcel and E. Bisiach, eds, Oxford University Press 1988, p. 42-77.

- DURING, Jean, 1988, *Musique et Extase. L'Audition Mystique dans la Tradition Soufie*, Paris, Albin Michel.
- ERLANGER, Rodolphe d', 1930-1959, *La musique arabe*, tomes I (1930), II (1932), III (1938), IV (1939), V (1949) et VI (1959), Paris, Paul Geuthner.
- FARMER, Henry George, 1929 (R. 2001), *A History of Arabian Music to the XIIIth Century*, Londres, Luzac, réédité à New Delhi par Goodword Books.
- FERRERI, Laura, MAS-HERRERO, Ernest, ZATORRE, Robert J., RIPOLLÉS, Pablo, GOMEZ-ANDRES, Alba, ALICART, Helena, OLIVÉ, Guillem, MARCO-PALLARÉS, Josep, ANTONJOAN, Rosa M., VALLE, Marta, RIBA, Jordi, RODRIGUEZ-FORNELLS, Antoni, 2019, "Dopamine modulates the reward experiences elicited by music", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Feb 2019, 116 (9) 3793-3798; DOI: 10.1073/pnas.1811878116.
- FIELD, Tiffany, HERNANDEZ-REIF, Maria, DIEGO, Miguel, SCHANBERG, Saul, KUHN, Cynthia, 2005, "Cortisol decreases and serotonin and dopamine increase following massage therapy", *International Journal of Neuroscience*, 2005 Oct; 115(10), p. 1397-1413. doi: 10.1080/00207450590956459.
- FLOM, R., GENTILE, D. A., & PICK, A. D., 2008, "Infants' discrimination of happy and sad music", *Infant Behavior & Development*, 31, p. 716-728.
- GEBAUER, L., KRINGELBACH, M. L., & VUUST, P., 2012, "Ever-changing cycles of musical pleasure: The role of dopamine and anticipation", *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 22(2), p. 152-167. <https://doi.org/10.1037/a0031126>
- HANSLICK, Eduard (Edouard), 1854 (1986), *Vom Musikalisch-Schönen*, Leipzig, trad. fr. *Du Beau dans la musique. Essai de réforme de l'esthétique musicale*, avec une introd. de J.-J. Nattiez, Paris, Christian Bourgois, 1986.
- ḤULA'Ī, Muḥammad Kāmil Al- (1904/1905 R. 1993), *Kitāb al-mūsīqī a-š-šarqī* [Livre du Musicien oriental], Maktabat a-d-Dār al-ʿarabiyya li-l-kitāb, Le Caire.
- IMBERTY, Michel, 1969, *L'acquisition des structures tonales chez l'enfant*, Paris, Klincksieck.
- ISFAHĀNĪ, Abū al-Faraj al-, 1927-1974, *Kitāb al-aḡānī* [Le Livre des chants], Le Caire, Dār al-kutub al-Miṣriyya.
- JAKOBSON, Roman, 1971, "Language in Relation to Other Communication Systems", *Roman Jakobson, Selected Writings*, vol. 2: *Word and Language*, The Hague-Paris, Mouton, p. 697- 708.
- KHALFA, Stéphanie, DALLA BELLA, Simone, ROY, Mathieu, PERETZ, Isabelle, & LUPIEN, Sonia J., 2001, "Effects of Relaxing Music on Salivary Cortisol Level after Psychological Stress", *Annals of the New York Academy of Sciences* · December 2003.
- KOELSCH, S., 2014, "Brain correlates of music-evoked emotions", *Nature reviews. Neuroscience*, 15(3), 170-180. <https://doi.org/10.1038/nrn3666>.
- KOELSCH, S., 2018, "Investigating the Neural Encoding of Emotion with Music". *Neuron*. 2018 Jun 27;98(6):1075-1079. doi: 10.1016/j.neuron.2018.04.029. PMID: 29953870.

- LAMBERT, Jean, 2010, « Le musicien Yahyâ al-Nûnû L'émotion musicale et ses transformations (Yémen) », *Cahiers d'ethnomusicologie*, 23/2010, p. 147-171.
- MAŠŠĀQA, Miḥā'īl, 1899 (1840), *A-r-Risāla a-š-šihābiyya fī a-š-Šinā'a al-mūsīqiyya* [Épître à [l'émir Bašīr ii] Šihāb sur l'art musical, 1840-1899], édition et commentaires par Louis Ronzevalle, Beyrouth, Imprimerie des Pères jésuites.
- MEEÛS, Nicolas, 1992, « À propos de logique et de signification musicales », *Analyse musicale* (juin 1992), p. 57-59. Version revue (2008) : <http://nicolas.meeus.free.fr/NMSemio/NMLogique.pdf>.
- MEEÛS, Nicolas, 2017, "Schenker's 'Inhalt', Schenkerian semiotics", in: Jonathan Dunsby, Jonathan Goldman (eds), *The Dawn of Music Semiology. Essays in Honor of Jean-Jacques Nattiez*, Rochester: Rochester University Press, p. 81–96.
- MEEÛS, Nicolas, 2021, "Intrinsic and Extrinsic Meaning in Verbal Language and in Music", *Musical Analysis. Historia, Theoria, Praxis*, vol. VI, Anna Granat-Janki e. a. éd. Wrocław, The Karol Lipiński Academy of Music, p. 14-26.
- MEYER, Leonard B., 1956, *Emotion and Meaning in Music*, University of Chicago Press, Chicago, 2011, *Émotion et signification en musique*, traduit de l'anglais par Catherine Delaruelle, préface de Jean-Jacques Nattiez, Arles (France), Actes Sud.
- MILUK-KOLASA B, OBMINSKI Z, STUPNICKI R, GOLEC L., 1994, "Effects of music treatment on salivary cortisol in patients exposed to pre-surgical stress", *Exp Clin Endocrinol* 1994; 102(2), p.: 118-120. doi: 10.1055/s-0029-1211273. PMID: 8056055.
- MOLINO, Jean, 1975, « Fait musical et sémiologie de la musique », *Musique en jeu* 17 (1975), p. 46-49.
- MOLNAR-SZAKACS Istvan & OVERY, Katie, 2006, "Music and mirror neurons: from motion to 'e'motion", *Social Cognitive and Affective Neuroscience* 1(3), p. 235-241.
- MOULIN, A., BERA, J., & COLLET, L., 1994, *Audiology*, 33, p. 305-326.
- MOUSSARD, Aline, ROCHETTE, Françoise, BIGAND, Emmanuel, 2012, « La musique comme outil de stimulation cognitive », *L'Année psychologique*, September 2012.
- MUMFORD, D., 1992, "On the computational architecture of the neocortex. II. The role of cortico-cortical loops", *Biol. Cybern.* 66, p. 241–251.
- NATTIEZ, Jean-Jacques, 1975, *Fondements d'une sémiologie de la musique*, Paris, Union Générale d'Éditions.
- NATTIEZ, Jean-Jacques, 2004, « La signification comme paramètre musical », *Musiques une encyclopédie pour le XXI^e siècle*, vol. II, « Les savoirs musicaux », Jean-Jacques Nattiez éd., Arles, Actes Sud, p. 255-289.
- OLDS, J, and MILNER, P, 1954, "Positive reinforcement produced by electrical stimulation of septal area and other regions of rat brain", *J Comp Physiol Psychol* 47(6), p. 419–427.
- PERETZ, I., GAGNON, L., & BOUCHARD, B., 1998, "Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage", *Cognition*, 68, p. 111-141.

- PICARD, François, CAUL-FUTY, FOURÉ, MIRAMON-BONHOURE, Jeanne, RODA, Jessica, DOS SANTOS, Mina, 2010, « Musique et émotion pour une anthropologie de la musique », Mondher Ayari et Hamdi Makhlouf (éd.), *Musique, Signification et Émotion*, Paris, Éditions Delatour, p. 263-291.
- PINEAU, Marion, Tillmann, Barbara, 2001, « *Percevoir la musique : une activité cognitive* », éd. L'Harmattan, Coll. « Sciences de l'Éducation Musicale ».
- PLATEL, Hervé, 2017, « L'étude du cerveau nous aide-t-elle à mieux comprendre l'impact de l'art sur nos vies ? », *Nectart* 2017/1 (N° 4), p. 144-151.
- PLATON, 1993, *La République*, traduction P. Pachet, Paris, Folio Gallimard.
- RAO, R. P., and BALLARD, D. H., 1999, "Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects", *Nat. Neurosci.* 2, 79–87. doi: 10.1038/4580.
- RIZZOLATTI, Giacomo & CRAIGHERO, Laila, 2004, "The Mirror-Neuron System", *Annual Review of Neuroscience* 27, p. 169-192.
- ROUGET, Gilbert, 1980, *La musique et la transe, esquisse d'une théorie générale des relations de la musique et de la possession*, Paris, Gallimard.
- ROYER-ARTUSO, Nicolas, 2022, « Quelques propositions pour une sémantique des musiques de *maqām* », *Revue des Traditions Musicales*, n° 16 « Monodies modales et recherches cognitives (2) : Sémiose et perception des monodies », Hadat et Paris, Éditions de l'Université Antonine et Éditions Geuthner, p. 11-28.
- SACHS, Curt, 1943, "The Road to Major", *The Musical Quarterly*, Vol. 29, No. 3 (Jul., 1943), Oxford University Press, p. 381-404.
- SALIMPOOR, Valorie N., BENOVOY, Mitchel, LARCHER, Kevin, DAGHER, Alain, ZATORRE, Robert J., 2011, "Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music", *Nature Neuroscience* 14, p. 257–262 (2011). <https://doi.org/10.1038/nn.2726>.
- SALIMPOOR, Valorie N., BENOVOY, Mitchel, LARCHER, Kevin, DAGHER, Alain, ZATORRE, Robert J., 2011, "Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music".
- SALIMPOOR, Valorie N., BENOVOY, Mitchel, LONGO, Gregory, COOPERSTOCK, Jeremy R., ZATORRE, Robert J., 2009, "The Rewarding Aspects of Music Listening Are Related to Degree of Emotional Arousal", *PLOS ONE*, October 16, 2009, <https://doi.org/10.1371/j.>
- SALIMPOOR, VN, ZALD, DH, ZATORRE, RJ, DAGHER, A, MCINTOSH, AR, 2014, "Predictions and the brain: how musical sounds become rewarding". *Trends Cognitive Science*, 2015 Feb;19(2):86-91. doi: 10.1016/j.tics.2014.12.001. Epub 2014 Dec 19. PMID: 25534332.
- SAMSON, Séverine, DELLACHERIE, Delphine, 2010, « La neuropsychologie des émotions musicales », *Musique, langage, émotion : Approche neuro-cognitive* [en ligne], Rennes, Presses universitaires de Rennes (généré le 13 avril 2021). Disponible sur Internet : <http://books.openedition.org/pur/60638>.
- SCHENKER, Heinrich, 1895, *Der Geist der musikalischen Technik*, Leipzig, Fritsch.

- SLOBODA, John A. and O'NEILL, Susan A., 2001, "Emotions in everyday listening to music", *Music and Emotion: Theory and Research*, Juslin, P. and Sloboda, J. (Eds.), Oxford University Press, p. 415-429.
- STRAVINSKI, Igor, 1935-2000, *Chroniques de ma vie*, Paris, Denoël.
- TRAN Van Khé, 1968, « Modes musicaux », *Encyclopædia Universalis*, Paris, vol. XI, p. 148-153.
- URMAWĪ, Šafiy a-d-Dīn AL-, 1986, *Kitāb al-adwār fī l-mūsīqā* [Livre des cycles en musique], éd. Ġaṭṭās 'Abd al-Malik Ḥašba et Maḥmūd Aḥmad al-Ḥifnī, Le Caire, al-Hay'a al-miṣriyya al-'amma li-l-kitāb.
- VUUST, P., & KRINGELBACH, M. L. 2010, "The pleasure of music", in M. L. Kringlebach & K. C. Berridge (Eds.), *Pleasures of the brain* (p. 255–269). Oxford University Press.
- VUUST, Peter & WITEK, Maria, 2014, "Rhythmic complexity and predictive coding: A novel approach to modeling rhythm and meter perception in music", *Frontiers in psychology*. 5. 1111. 10.3389/fpsyg.2014.01111.
- ZATORRE, Robert J., SALIMPOOR, Valorie N., 2013, "From perception to pleasure: Music and its neural substrates", *PNAS*, June 18, 2013, vol. 110, suppl. 2, 10430–10437.
- ZHAOYANG Pang, 2022, « Codage prédictif dans le cerveau et les réseaux de neurones profonds », thèse de doctorat en neurosciences, sous la direction de Rufin VanRullin, Université de Toulouse.