

En quête du substrat neurocognitif de l'élaboration des échelles mélodiques^{*}

Nidaa ABOU MRAD^{**}, Sorbonne Université (Paris) et Université Antonine (Hadat, Liban) ; nidaa.abou_mrad@sorbonne-universite.fr ; nidaa.aboumrads@ua.edu.lb

Résumé

Cet article propose une théorie de l'élaboration et de la hiérarchisation des échelles à partir de chaînes contrastives de tierces, en s'appuyant sur des observations neurocognitives attestées (relatives notamment au phénomène des otoémissions acoustiques) et sur un important corpus théorique, permettant de fournir une modélisation pour un large échantillon de structures modales, pentatoniques et tonales, ce qui rend cette théorie plus proche de la transculturalité que son homologue néopythagoricienne de l'élaboration des échelles à base de quintes et quarts alternés.

Mots-clés : otoémissions acoustiques ; chaînes de tierces ; neurosciences et musique ; échelles mélodiques ; hiérarchisation mélodique.

Abstract

This article proposes a theory of the elaboration and hierarchization of scales from contrastive chains of thirds, based on neurocognitive observations (related to the phenomenon of otoacoustic emission) and on a large theoretical corpus, allowing to provide a modeling for a large sample of modal, pentatonic and tonal structures, which makes this theory

^{*} Article en cours de soumission en vue de sa publication dans les actes du colloque international « Musique et neurosciences » de Tunis 2024.

^{**} Professeur senior en musicologie à Sorbonne Université, docteur en médecine, doyen de la Faculté de musique et musicologie et directeur du Centre de recherche sur les traditions musicales à l'Université Antonine (Liban), coordonnateur du Réseau Musique, neurosciences et thérapie, Collegium Musicae – SU, et rédacteur en chef de la *Revue des traditions musicales*.

closer to transculturality than its Neopythagorean counterpart of the development of scales based on alternating fifths and fourths.

Keywords: otoacoustic emission; thirds chains; neuroscience and music; melodic scales; melodic hierarchy.

Introduction

Les musicologues, les ethnomusicologues et les compositeurs ont généralement tendance à tenir la musique pour une pure production socialement diversifiée de la culture (Blacking, 1973; Boulez, 1971; Nettl, 2000; Schoenberg, 1984), donc à se méfier des hypothèses conférant des assises neurobiologiques universelles à la faculté de musique ou musicalité et à sa grammaticalité (McDermott & Hauser, 2005; Peretz, 2006; Peretz & Lidji, 2006). Or, plusieurs musicologues et ethnomusicologues de renom voient dans le cycle des quintes et quarts alternés un processus génératif qui détermine l'élaboration des hauteurs mélodiques constitutives des échelles modales et des échelles pentatoniques, en même temps qu'il fonde la hiérarchie qui règne entre ces hauteurs, cette approche procédant d'une vision transculturelle qui frise l'universalisme (Brăiloiu, 1953; Chailley, 1956; Claire, 1962; Kodály, 2002; Labussière, 2005). Cependant, cette théorie, tout en n'étant pas vraiment transculturelle, n'a pas réussi à trouver son assise neurocognitive explicative. Le cycle des quintes est en effet incapable de rendre compte de l'élaboration d'échelles modales cruciales pour les traditions musicales d'Asie occidentale et d'Afrique septentrionale, ces modes comportant une tierce axiale (séparant la finale du troisième degré) qui est moyenne (ou neutre), du fait qu'elle partage la quinte en deux parts égales. De même, ce mécanisme comporte certes une assise mathématique, voire acoustique physique, celle de la théorie pythagoricienne, mais celle-ci n'est confortée par aucune observation scientifique d'ordre neurosensoriel ou d'ordre neurocognitif. Partant de ce double handicap, le présent article propose une théorie alternative, celle de l'élaboration et de la hiérarchisation des échelles à partir de chaînes contrastives de tierces, cette théorie présentant le double avantage de s'appuyer sur des observations neurocognitives attestées (et un important corpus théorique) et de fournir une modélisation pour un échantillon plus large de structures modales, pentatoniques et tonales, ce qui rend cette théorie plus proche de la transculturalité que son homologue néopythagoricienne.

1. Primat de la tierce dans l'encodage neurocognitif de la tonie

Cette première partie est dédiée à la part neuroscientifique de cette théorie générative à base de tierces.

1.1. *Universalité de la musicalité*

Plusieurs travaux de neuropsychologie de la musique mettent en avant l'universalité de la capacité musicale ou musicalité (Peretz & Lidji, 2006; Sloboda, 1985; Tillmann et al., 2005), et ce, nonobstant l'existence de cas fort rares d'amusie congénitale et d'amusie acquise (Peretz, 2002), ces exceptions ne faisant en somme que confirmer la règle, ce qui permet d'affirmer que la musique (en tant que capacité langagière) est aussi naturelle que le langage verbal.

Cette musicalité s'exprime par une expertise implicite de base (écoute et production de la musique) qui est universellement partagée (Bigand & Poulin-Charronnat, 2006; Tillmann et al., 2000, 2005), tout au moins pour la musique dite fonctionnelle ou populaire (Nettl & Béhague, 1973), même si la finalité fonctionnelle ontogénétique de cette faculté, de même que son évolution phylogénique (McDermott & Hauser, 2005), demeure quelque peu mystérieuse.

1.2. *Universalité de la mélodicité*

De même, les travaux de musicologie générale (incluant l'ethnomusicologie analytique) portent témoignage en faveur de l'existence dans presque toutes les cultures planétaires de systèmes mélodiques qui reposent sur deux principes (Carterette & Kendall, 1999; Dowling, 1984; Dowling & Harwood, 1986; Tràn, 1968) :

- (1) l'emploi d'échelles de hauteurs discrétisées (généralement de cinq à sept degrés, souvent répliquables à l'octave) et
- (2) la hiérarchisation de ces hauteurs en termes d'occurrence, de polarité et de stabilité.

Plus particulièrement, les musiques qui relèvent du système modal monodique se construisent à partir de ces deux caractérisations de ce que je propose de dénommer « mélodicité », auxquelles Tràn Van Khé adjoint deux autres : l'existence de formules mélodiques caractéristiques et d'un sentiment modal (*ethos*) (Tràn, 1968). Il convient néanmoins de considérer que cette hiérarchisation peut être duale en musique modale, hormis le cas

des modalités unipolaires (confondant finale et teneur), dans le sens que le phrasé musical est assujéti à une bipolarisation (parfois tripolarisation) vis-à-vis d'une finale modale par laquelle se conclut ce phrasé et d'une teneur modale mise en exergue par sa forte occurrence et son accentuation (Claire, 1962, 1975). Quant aux musiques relevant du système pentatonique monodique, elles obéissent à cette double caractérisation mélodieuse, avec, néanmoins une moindre inférence du principe de hiérarchisation (Picard, 2024), qui serait assigné non pas aux degrés forts (finale ou teneur) d'une structure scalaire, mais plutôt à des formulations mélodiques adaptables à une diversité d'aspects d'octaves des échelles pentatoniques¹. En revanche, le principe de hiérarchisation est renforcé dans les musiques relevant du système tonal harmonique, historiquement dérivé du système modal, et ce, en conséquence de l'adoption de la polyphonie verticale que Heinrich Schenker assujéti à une *Ursatz* ou structure originale/fondamentale qui va de l'accord de tonique et y ramène inéluctablement (Meeùs, 1993).

1.3. Spécificité musicale du module d'encodage de la fréquence

Les travaux en neuropsychologie de la musique convergent généralement pour assimiler l'encodage de la fréquence, perçue humainement en tant que hauteur mélodique, ou tonie, à un module (Peretz & Morais, 1989) doté de mécanismes de base qui sont uniques et spécifiques au domaine musical, en vertu du principe de modularité de l'esprit (Fodor, 1983). Ce module serait lié à des réseaux neuronaux spécialisés (Dowling, 2001; Lerdahl & Jackendoff, 1983; Peretz & Coltheart, 2003), ce traitement étant automatique et indépendant de traitements de niveau supérieur (Justus & Bharucha, 2001), du traitement de la parole et du traitement de la temporalité musicale (métrique et rythmique) (Di Pietro et al., 2004). Il reste que ce module semble avoir une base génétique (Drayna et al., 2001) ce qui lui conférerait son caractère inné (Peretz & Lidji, 2006, p. 358-362).

1.4. Mélodicité organique de l'encodage fréquentiel

Le siège de la transduction mécano-bioélectrique auditive est l'organe de Corti, agencement cellulaire complexe situé sur la membrane basilaire, tout au long du canal cochléaire (noyau longitudinal de la cochlée, fig. 1).

¹ D'après Sylvie Lebomin, communication personnelle, 28 novembre 2024.

Il comprend principalement les cellules sensorielles, dénommées cellules ciliées internes (CCI), dotées de stéréocils (sous-jacents à la membrane tectoriale, mise en branle par les ondes sonores²) et siège de l'encodage proprement dit, aux côtés des cellules ciliées externes (CCE), responsables de la préamplification sélective des fréquences afférentes. Aussi l'encodage de la fréquence fondamentale d'un son mélodique repose-t-il sur deux processus complémentaires, temporel et spatial :

1.4.1. Encodage temporel

L'encodage temporel est réalisé dans l'oreille interne par les CCI uniquement pour les fréquences inférieures à 5 kHz. Jusqu'à 1 kHz (période réfractaire du nerf) les dendrites, connectées à la CCI assignée à la fréquence caractéristique (CF) encodée, charrient des trains de spikes synchrones monophasés de cette CF. Entre 1 kHz et 5 kHz, les CF sont réparties sur les 4-5 dendrites et relayées sur un mode pluriphasé le long de la voie auditive, jusqu'au cortex auditif (Chouard, 2001, p. 186-187).

1.4.2. Encodage spatial par tonotopie

L'encodage spatial repose sur l'ordonnancement des CCI (en rangée unique, le long du canal cochléaire) en fonction de la CF de chaque CCI, la fréquence la plus basse (près de 16 Hz) étant encodée par la dernière CCI, située à l'extrémité de l'apex cochléaire, tandis que la fréquence la plus haute (près de 16 kHz) est encodée par la première CCI, jouxtant la fenêtre ovale, à l'entrée de la cochlée (Chouard, 2001, p. 187-190).

² Le mouvement conjugué de la membrane tectoriale et de la membrane basilaire entraîne la déformation des stéréocils qui déclenche la sécrétion d'un neurotransmetteur qui excite les dendrites innervant la CCI. L'augmentation de la décharge dans les fibres afférentes du nerf auditif suit une fonction logarithmique croissante de l'intensité de la stimulation, traduite par l'amplitude de la flexion des stéréocils et exprimable par une courbe en S (Galifret, 2012).

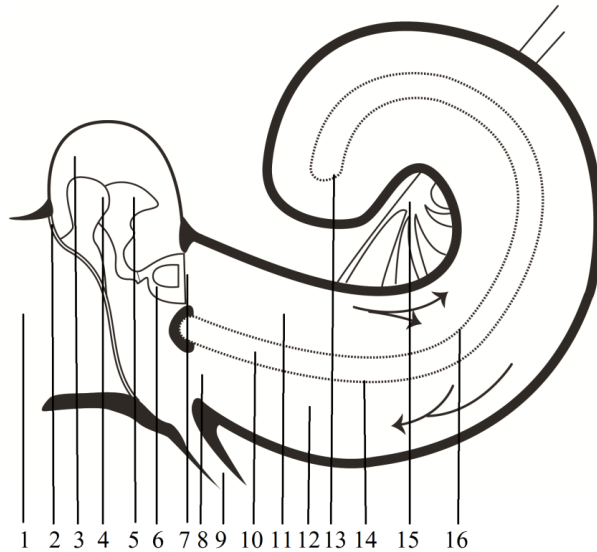


Figure 1 : Anatomie de l'oreille : (1) conduit auditif externe ; (2) membrane du tympan ; (3) caisse du tympan (oreille moyenne) ; (4) marteau ; (5) enclume ; (6) étrier ; (7) fenêtre ovale ; (8) fenêtre ronde ; (9) trompe d'Eustache ; (10) *scala media* ou canal cochléaire ; (11) rampe vestibulaire ; (12) rampe tympanique ; (13) apex ; (14) membrane basilaire ; (15) nerf cochléaire ; (16) membrane de Reissner (croquis réalisé par Youmna Saba)

Cet ordonnancement tonotopique donne lieu à une découpe de la cochlée en une dizaine de segments correspondant aux octaves séparant le seuil minimum de l'audition, 16 Hz, de son seuil maximum, soit $16.2^{10} = 16.1024 \approx 16 \text{ kHz}$). En outre, le faisceau des 30000 à 50000 fibres afférentes provenant des CCI forme le premier tronçon du nerf, le premier relais synaptique se situant dans le ganglion spiral. Enfin, l'ordonnancement tonotopique cochléaire se retrouve dans le nerf auditif, de même que dans la voie auditive et ses différents relais, et ce, jusqu'au cortex auditif (Cheveigné, 2004).

Si l'encodage temporel prédomine pour les basses fréquences et que l'encodage tonotopique est exclusif pour les fréquences élevées, les deux types d'encodage sont combinés pour les fréquences situées entre 60 Hz et 5 kHz (Chouard, 2001, p. 188).

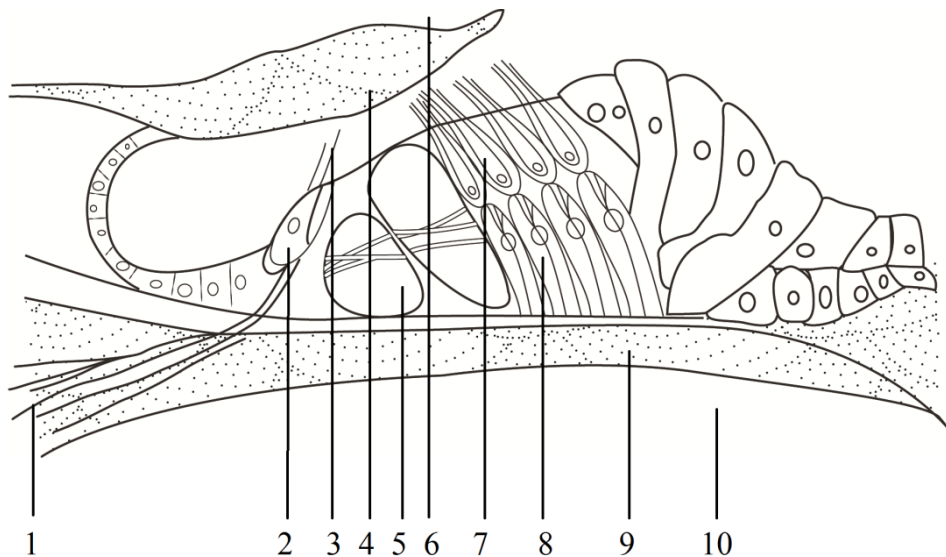


Figure 2 : organe de Corti : (1) fibres du nerf cochléaire ; (2) cellules ciliées internes ; (3) stéréocils ; (4) membrane tectoriale ; (5) tunnel de Corti ; (6) canal cochléaire (endolymphe) ; (7) cellules ciliées externes ; (8) cellules de Deiters ; (9) membrane basilaire ; (10) rampe tympanique (périlymphe) (croquis réalisé par Youmna Saba)

1.4.3. Encodage de l'intervalle mélodique ou *chroma* et normativité de l'octave

En outre, la perception neurocognitive de l'intervalle mélodique, ou *chroma*, situé entre deux CF, f_1 et f_2 , repose sur la comparaison entre le pattern produit par leur conjonction et celui produit par la conjonction de f_1 avec son octave ou redoublement fréquentiel $2f_2$. Aussi ce processus constitue-t-il la base neurocognitive de la normativité référentielle de l'intervalle d'octave.

1.5. *Prédilection neurocognitive pour les intervalles de tierce*

Les signaux périodiques parvenant à l'oreille interne ne sont pas, en général, suffisamment intenses pour induire une dépolarisation des CCI, ce qui requiert une préamplification sélective. Celle-ci se traduit par une hiérarchisation perceptive des intervalles mélodiques qui consiste en une prédilection neurocognitive pour les intervalles mélodiques de tierce.

1.5.1. Préamplification neurocognitive sélective des fréquences afférentes

La préamplification sélective des FC afférentes est prise en charge par les CCE, situées près des CCI correspondant à la FC du signal, en fonction de la répartition tonotopique. Synchronisée avec le signal entrant, la contraction des CCE accroît la vibration de la membrane basilaire de la zone tonotopique concernée du canal cochléaire et attire ainsi vers les CCI et leurs stéréocils la membrane tectoriale les surplombant, ce qui facilite la dépolarisation synchrone des CCI (voir fig. 2), donc la génération du message nerveux (Perrot, 2010).

Cette préamplification sélective est neurocognitive, dans la mesure où elle obéit à des régulations nerveuses efférentes d'origine centrale, portées par le système efférent olivocochléaire, dont les axones terminaux sont connectés aux CCE et indiquent à celles-ci les (bandes de) fréquences à amplifier ou à atténuer en fonction du contexte neurocognitif (Cheveigné, 2004; Chouard, 2001, p. 184, 188; Perrot, 2010, p. 12; Puel et al., 1988). Ainsi, par son action bimodale, le système auditif descendant permettrait-il non seulement, un ajustement « en temps réel » du message auditif ascendant, mais également, une amélioration des capacités de traitement et de perception des stimuli auditifs » (Perrot, 2010, p. 15). Aussi ce mécanisme de régulation permet-il de rendre compte des propriétés comme l'adaptation, la détection d'un signal dans le bruit (filtrage des bruits parasites de l'environnement) et des mécanismes de protection contre les surstimulations (Perrot, 2010, p. 14). De fait, ces régulations agissent comme un filtre inhibiteur³ pour les signaux nocifs (sons atteignant par leur intensité le seuil perceptif douloureux) ou non-pertinents (bruits, redondances etc.) et exciteur pour les signaux informatifs que les CCE ont pour fonction de faire émerger sur fond de bruit, donc d'élaborer une « sortie » corrélative.

1.5.2. Maximisation sélective des otoémissions acoustiques

Cette contraction périodique des CCE (électromotilité pouvant suivre des fréquences élevées au moins jusqu'à 20000 Hz), se cumulant aux mouvements liquidiens propagés corrélatifs, donne lieu à des sons périodiques de faible intensité, que transmet la chaîne des osselets (dans le

³ Il s'agit d'un processus équivalent sans être identique à une régulation (inhibition/excitation) synaptique transversale.

sens rétrograde : étrier, enclume, marteau, voir fig. 1) au tympan qui les émet dans le conduit auditif où ils peuvent être enregistrés par un microphone miniaturisé, sans être perçus par le sujet. Il s'agit du phénomène des otoémissions acoustiques (OEA), découvert par le physicien David Kemp, en 1978.

Plus particulièrement, l'inoculation de deux sons sinusoïdaux continus de fréquences f_1 et f_2 , dits « primaires », dans un système physique ayant un comportement non linéaire, comme l'oreille interne chez les mammifères, donne lieu à des produits de distorsion, consistant en un son complexe secondaire qui est une sommation de combinaisons fréquentielles de f_1 et f_2 ($nf_1 - mf_2$, n et m entiers).

Il est démontré que l'introduction dans l'oreille de sons primaires de faible intensité (inférieure à 60 dB) donne lieu à des produits de distorsion qui correspondent à un phénomène d'otoémissions provoquées qui reflète strictement l'activité des CCE, tandis que les fortes intensités génèrent des produits de distorsion en relation avec d'autres structures de l'oreille interne (Avan & Bonfils, 2005). Le produit de distorsion le plus ample chez tous les mammifères a pour fréquence $f_3 = 2f_1 - f_2$. Claude-Henri Chouard (Chouard, 2001, p. 195) rapporte celle-ci à l'action des CCE situées à l'endroit du clavier cochléaire où se code la fréquence égale à la moyenne géométrique de f_1 et f_2 , soit $f_4 = (f_1 \cdot f_2)^{\frac{1}{2}}$.

Or, selon Paul Avan et Pierre Bonfils, « l'intérêt majeur de l'étude des produits de distorsion résulte des possibilités de faire varier la fréquence des sons primaires. Les deux fréquences primaires doivent être proches l'une de l'autre, le rapport optimal $[f_2/f_1]$ étant voisin de 1,22, d'où diverses possibilités de stimulation à des fréquences différentes » (Avan & Bonfils, 2005).

Les importantes implications qui découlent de cette observation ne sont pas que médicales. Ainsi Claude-Henri Chouard accorde-t-il une forte pondération musicale à cette maximisation de l'amplitude de la composante fréquentielle ($f_3 = 2f_1 - f_2$) prépondérante du produit de distorsion. Cet auteur associe en effet ce phénomène à l'intervalle de quinte, constatant que « la moyenne géométrique des fréquences qui définissent cet intervalle est une fonction de la tonique égale à 1,22 ». Il en déduit ensuite « l'explication de l'engouement pour la quinte, de tout temps et dans toutes les civilisations » (Chouard, 2001, p. 196).

En somme : cette prédilection pour l'intervalle associé à ce rapport fréquentiel constituerait un universal perceptif et neurocognitif mélodique. Mais ce rapport, plutôt que de correspondre à la quinte, renvoie très précisément à l'intervalle de tierce moyenne/neutre (Abou Mrad, 2005, 2012) (3^{en}, doté du rapport fréquentiel 1,22 ($\sqrt{3/2}$)), qui divise la quinte juste (de rapport fréquentiel 3/2) en deux parts égales, par exemple *do-sol* = *do-mi^{db}* + *mi^{db}-sol*, soit⁴ :

$$\frac{f_2}{f_1} = \left(\frac{3}{2}\right)^{\frac{1}{2}} = 1,22 \text{ et } val(\text{tierce moyenne}) = \frac{1}{2} val(\text{quinte}) = \frac{1}{2} * 700 = 350c.$$

En somme, il est permis de considérer cette tierce moyenne comme étant l'intervalle optimum qui maximise l'intensité des OAM et ce, indépendamment de toute contextualisation culturelle (Abou Mrad, 2012, 2016, p. 506-508). Aussi ces OAM reflètent-elles directement l'activité de préamplification du signal sonore qu'assument les CCE à l'égard des cellules sensorielles CCI. Et cette activité est fondamentale dans le processus neurocognitif de sélectivité auditive (amplification préférentielle de certaines fréquences et masquage des autres), qui a pour fonction de faire émerger, sur fond de « bruit », les informations acoustiques pertinentes. Ces observations conduisent à considérer l'intervalle de tierce comme étant l'« entrée » psychoacoustique ou stimulus mélodique optimum qui maximise automatiquement sa « sortie » cognitive (Abou Mrad, 2016, p. 508).

Cela semble faire de la tierce moyenne (par exemple *do-mi^{db}*) l'objet d'une préférence neurocognitive notable au sein du système neurosensoriel humain, qui est assujettie aux efférences du système olivocochléaire ou voie auditive descendante, qui sont placées sous un contrôle cortical et sous-cortical. Mais les rapports fréquentsiels des intervalles de tierce mineure (autour de 1,2, soit environ 300 c, par exemple *do-mi^b* ou *ré-fa*) et de tierce majeure (autour de 1,25, soit environ 400 c, par exemple *do-mi* ou *fa-la*), 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 neurocognitive parmi les intervalles mélodiques, conférant une prépondérance sélective à la tierce moyenne, suivie en cela par la tierce mineure et la tierce majeure, puis par la tierce

⁴ L'acronyme db est une abréviation du signe demi-bémol assignant une altération descendante d'un quart de ton aux hauteurs de l'échelle diatonique de référence pour la notation musicale occidentale standard sur portée à cinq lignes.

minime (environ 260 c, par exemple *sol-si^{bdb}*), sachant que les autres intervalles bénéficient d'une prédilection neurosensorielle moindre. Les intervalles de quinte et de quarte peuvent néanmoins être considérés, dans certains cas, comme des dérivés de tierces (Abou Mrad, 2016, p. 508) :

(1) par processus extensif ou d'excroissance, une quarte se substituant sous certaines conditions à une tierce (par exemple *do-mi^b→do-fa*), ou

(2) par processus combinatoire, la concaténation de deux tierces donnant lieu à une quinte (par exemple *do-mi^{db} + mi^{db}-sol = do-sol*), tandis que la réplique de la quinte ou double-tierce à l'octave inférieure institue la quarte (par exemple *do₃-mi^{db}₃-sol₃ = sol₂-do₃*).

Ces processus dérivationnels permettent ainsi à ces intervalles d'intégrer par un biais indirect le cadre de la propension neurocognitive pour la tierce, sans avoir à recourir à la théorie de la résonance.

2. Théories des chaînes de tierces contrastives

La prédilection neurocognitive pour les tierces se traduit par deux mécanismes grammaticaux complémentaires. Le premier est celui de l'élaboration générative des échelles mélodiques, qui relève d'une phonologie musicale structurale. Quant au deuxième, il concerne l'élaboration transformationnelle de l'énonciation musicale proprement dite, envisagée dans le cadre d'une phonologie musicale générative. Or, cette prédilection pour la tierce trouve son pendant théorique dans les traités arabes de grammaire modale (qui entrent en résonance avec la théorie schenkérienne), de même que dans la théorie musicale ecclésiastique romaine orientale des *phthores* et dans la théorie des chaînes de tierces contrastives, formulée par Curt Sachs, en musicologie comparative, employée dans l'analyse des monodies médiévales proposée par Joseph Smits van Waesberghe et reprise par John Sloboda dans une perspective cognitive.

Au xvi^e siècle, *Le révélateur musicologique* d'al-Ḥiṣnī, traité qui relève de l'école des grammairiens arabes de l'arborescence modale, confère une acception phonologique générative au degré *rāst* (régulier) en le qualifiant de *source des modes* et une acception syntaxique générative au mode éponyme Rāst en l'instituant en tant que *mode originel/fondamental* (Abou Mrad & Didi, 2013).

De la première note focale ou saillante *rāst*, dérivent et se composent en effet deux autres focales, *dūkāh* et *sikāh*. Ceci établit une hiérarchie

fonctionnelle entre les onze notes focales du système, ce qui ouvre la voie à une catégorisation sémiotique distinctive de ces degrés. Il y est question de dénoter pour chacune de ces *notes* l'inférence de *rāst*, « source première », versus celle du deuxième ou du troisième degré, sources secondaires des autres notes focales. Cela permet d'établir au sein du continuum tonal indifférencié un *espace modal* normé originel/fondamental. Celui-ci est propre à un mode formulaire donné. Il est surtout à base d'association d'un nombre très réduit de hauteurs discrétisées et disjointes, dérivées de l'une des trois notes focales primordiales. Cette note élue tient lieu de finale du mode formulaire (Abou Mrad, 2016, p. 11).

Or, un tel *espace modal* est analogue à cet *espace tonal* de la théorie schenkérienne, que délimitent entre elles les notes de la triade harmonique de l'accord parfait de tonique, constitué de la superposition de deux tierces (Beduschi & Meeùs, 2011, p. 1).

En substituant leurs traits sous-jacents aux notes focales des mélodies-types par lesquelles se présentent les modes, *Le révélateur musicologique* pose implicitement qu'il est possible de mettre en exergue la structure grammaticale profonde de ces modes-formules (Abou Mrad & Didi, 2013). Ainsi la mise en succession de ces notes focales donne-t-elle prise au séquençage temporel de leurs traits phonologiques distinctifs sous-jacents respectifs. Or, l'analogie est frappante avec la Structure Originelle Fondamentale (SOF) ou l'*Ursatz* schenkérienne⁵.

L'exégèse textuelle du *Révélateur musicologique* permet d'instaurer une ségrégation qualitative des notes focales en deux associations opposées, à partir desquelles ces notes seraient susceptibles de se remplacer mutuellement :

⁵ « La structure fondamentale se réduit essentiellement à un accord parfait, imitation artistique de l'empilement des harmoniques. Mais cet accord n'est pas utilisable comme tel, notamment parce qu'il ne convient pas aux voix humaines. Il sera donc présenté sous une forme déployée en deux lignes contrapuntiques : à la basse, l'arpégiation de la basse, un arpège qui monte d'abord de la fondamentale à sa quinte, puis redescend à la fondamentale ; à la partie supérieure, la ligne fondamentale, une ligne mélodique qui descend par mouvement conjoint depuis la tierce, la quinte ou l'octave de l'accord jusqu'à sa fondamentale. Dès ce moment, la structure fondamentale comporte en germe toute la composition : elle s'inscrit dans la durée ; elle est à la fois contrapuntique et harmonique ; elle ajoute aux notes de l'accord fondamental les notes de passage qui complètent la ligne fondamentale : elle exprime une tonalité » (Meeùs, 1993, p. 44).

- noyau principal α (Rāst), associé au degré fondamental ($rāst$, C) du mode Rāst et de l'ensemble du système,

versus

- noyau secondaire β (Rāst), associé au degré nf_2 ($dūkāh$, D).

De fait, l'intersubstituabilité des notes focales permet de rattacher au noyau α la troisième note focale $sīkāh$ (E ou mi^{db}) et au noyau β la quatrième note focale (F). Ce qui constitue l'amorce de deux chaînes concurrentes de tierces (Abou Mrad, 2016, p. 57-58).

Cette dichotomie modale à base de tierces se retrouve dans la théorie musicale ecclésiastique romaine orientale et, plus particulièrement, dans son système de notation neumatique qui a recours à un type particulier de signes, nommé *phthora* (pl. *phtores*), pour indiquer le positionnement intervallique d'un degré par rapport à l'échelle de référence du mode. Selon Dimitri Giannelos, les degrés d'une échelle-type donnée sont ainsi dissociés en deux groupes assignés à deux *phtores* opposées qui « se placent en alternance, sur toutes les notes de l'échelle » (Giannelos, 1996, p. 107).

C'est à partir d'une analyse similaire des monodies médiévales européennes occidentales que Joseph Smits van Waesberghe propose d'opposer, au sein du même énoncé monodique modal, les notes appartenant à ce qu'il dénomme « tierce principale » (du mode) et celles appartenant à la « contre-tierce » ou « tierce contrastive ». De même oppose-t-il au sein du même groupement (par tierces) les degrés entre eux selon leurs fonctions modales, opposition susceptible d'induire une « tension fonctionnelle entre la note fondamentale et sa tierce supérieure » (Waesberghe, 1955, p. 38).

Toujours est-il que, dans un article de 1943, Curt Sachs tente de faire le lien entre ce type d'analyse des monodies et la théorie tonale, et ce, dans une perspective comparatiste. Ainsi cet auteur met-il en exergue des chaînes structurales de tierces dans l'analyse d'une multitude de monodies de diverses traditions du monde (Sachs, 1943). Ces monodies relèvent dans leur majorité d'une seule chaîne triple structurale, avant tout la chaîne $\{D, F, A, C\}$, mais aussi $\{C, E, G, B\}$ ou $\{F, A, C, E\}$, tandis qu'une minorité de ces monodies s'appuie sur une chaîne structurale quadruple $\{D, F, A, C, E\}$ ou bien $\{C, E, G, B, D\}$ (Sachs, 1943, p. 386). Cependant, dans d'autres cas, Sachs observe la fixation/accentuation de notes ornementales étrangères à la chaîne structurale. Ces degrés constituent alors

une « contre-chaîne » qui s’oppose à celle-ci⁶. Aussi cet auteur fonde-t-il la tonalité des œuvres polyphoniques européennes et l’émergence des accords générateurs de cette tonalité sur cette structuration à base de chaînes de tierces (et ce, en rupture avec l’analyse en termes de substrat pentatonique).

John Sloboda décrit un phénomène analogue à partir de la théorie schenkérienne en établissant sur la dualité qui s’instaure entre la triade principale de tonique et celle « rivale » de la dominante un cheminement cognitif, en termes de tension/détente (Sloboda, 1985, p. 38-39).

Toutes ces similitudes qui rapprochent la théorie schenkérienne de la tonalité de celle de la grammaticalité arborescente modale amènent à considérer provisoirement comme un universal sémiotique et cognitif probable la dissociation des hauteurs d’un énoncé musical en des chaînes contrastives de tierces, qui sont hiérarchisées en fonction de la finale/tonique. En outre, ceci fournit à la construction musicale de la triade harmonique une assise neurocognitive plus avérée du point de vue neurosensoriel que celle strictement mathématique et physique (la nature du son et non pas la nature de la perception du son) de l’agrégation des partiels harmoniques, à laquelle recourt la théorie de la résonance harmonique, qu’il s’agisse de sa formulation originale par Joseph Sauveur (Jedrzejewski & Papadopoulos, 2021) et Jean-Philippe Rameau (1726) ou de son historicisation par Jacques Chailley (1976).

3. Élaboration des échelles mélodiques à base de chaînes de tierces

La première systématisation théorique résultant de la confrontation de l’observation de la prédilection neurocognitive pour les intervalles de tierces avec les théories des tierces contrastives consiste à considérer les chaînes de tierces (plutôt que le cycle des quintes et quarts alternés) comme étant le substrat génératif de l’élaboration des échelles mélodiques (Abou Mrad, 2016, Chapitre 1).

Le point de départ de cette élaboration est la reformulation de la théorie des chaînes de tierces contrastives à l’aune de l’observation du phénomène de la maximisation des OEA et la prise en compte de l’intervalle de tierce

⁶ “In such symmetrical forms, the infixes, by nature unstressed and rather transitional, exchange parts with the structural thirds in all phases of relaxation: they take the stress and degrade the structural thirds. In doing this, they form a chain of thirds in their own right, indeed a counter-chain” (Sachs, 1943, p. 393).

moyenne. Or, l'approche comparatiste universaliste que propose Curt Sachs donne lieu à trois structures analytiques et génératives à base de tierces, à savoir : les chaînes $\{D, F, A, C\}$, $\{C, E, G, B\}$ et $\{F, A, C, E\}$.

La confrontation de ce modèle à l'observation neurocognitive de la prédilection primaire pour la tierce moyenne et secondaire pour la tierce mineure et la tierce majeure donne lieu à une reformulation de ce modèle qui introduit les notions de tierce axiale et de tierce complémentaire :

- (1) La tierce axiale est celle qui se positionne sur la borne inférieure de la chaîne, qui est généralement la finale modale ou tonique.
- (2) La tierce complémentaire est celle qui complète la tierce axiale à la quinte.

Ces notions permettent de départager les chaînes de tierces en deux groupes : une chaîne de tierces moyennes, pourvue de tierces axiale et complémentaire toutes deux moyennes, et deux chaînes alternant tierces mineures et majeures. Ceci donne lieu à la description suivante,

1. La chaîne de tierces moyennes correspond à la chaîne C à tierce axiale et tierce complémentaire toutes deux moyennes, également dénommée « substrat zalzalien »⁷ ou sz, soit : $\{C, E^{db}, G, B^{db}\}$.
2. Les deux chaînes qui alternent tierces mineures et tierces majeures correspondent
 - a. à la chaîne D à tierce axiale mineure et tierce complémentaire majeure, également dénommée « substrat mineur » ou sm, soit : $\{D, F, A, C\}$.
 - b. à la chaîne F à tierce axiale majeure et tierce complémentaire mineure, également dénommée « substrat majeur » ou sM, soit : $\{F, A, C, E\}$.

Ces chaînes constituent chacune un cadre pour l'élaboration d'échelles pentatoniques, d'échelles heptatoniques ou heptacordes modales et d'échelles heptacordes tonales, par remplissage des tierces vacantes.

⁷ Le qualificatif zalzalien provient du positionnement du médus dit de Zalzal (célèbre joueur de 'ūd à la cour abbasside) sur la touche du 'ūd au début de l'époque abbasside (VIII^e -X^e siècle), qui se situe à un intervalle de tierce moyenne de la même corde à vide (Abou Mrad, 2005).

3.1. *Élaborations à partir de la chaîne D*

La première élaboration à partir de la chaîne D consiste en l'insertion de la médiane G au milieu de la tierce majeure ou diton central du substrat sm, ce qui permet de construire l'aspect de D de l'échelle pentatonique anhémitonique $\{D, F, G, A, C\}$. Si Annie Labussière fait de ce diton composé la signature analytique du pentatonique (Labussière, 2007, Note 8)), Nicolas Meeùs voit dans cette composition du diton une sorte de « genèse du pentatonisme » s'effectuant à partir (et au sein) de la chaîne de tierces $\{D, F, A, C\}$ (Meeùs, com. perso., 14/11/2024).

En fait, de très nombreuses traditions musicales reposent sur des échelles pentatoniques anhémitoniques qui sont autant d'aspects (de F, de G, de A et de C) dérivés par permutation circulaire de l'aspect de D du pentatonique, ici considéré comme de référence.

Quant aux échelles heptacordes, elles s'élaborent par remplissage des tierces mineures vacantes, conformément au schéma des *pyens* (Brăiloiu, 1973), ces hauteurs de passage se stabilisant en hauteurs structurales (Chailley, 1956).

Cette insertion peut se faire selon une logique diatonique, en divisant chaque tierce mineure en un demi-ton et un ton ou en un ton et un demi-ton, et donner lieu à une variante en genre diatonique de l'échelle du Protus ou mode de ré, pouvant se décliner en des aspects issus de permutations circulaires. De même, cette insertion diatonique peut permettre l'élaboration de l'échelle du mode mineur du système tonal.

Cependant, cette insertion peut se faire selon une logique zalzalienne, en divisant chaque tierce mineure en deux secondes moyennes, et donner lieu à une variante en genre zalzalien⁸ de l'échelle du Protus ou mode de ré, dénommée Ḥusaynī dans les traditions musicales artistiques d'Asie occidentale. En fait, cette élaboration peut être interprétée également dans le sens de l'insertion des hauteurs de la chaîne C dans la chaîne D : $\{D, E^{db}, F, G, A, B^{db}, C\}$.

⁸ Voici la typologie des échelles modales, en fait des segments (tétracordes et pentacordes) de celles-ci, en termes de genres (Abou Mrad, 2005) : (1) tétracorde zalzalien : agencement de deux secondes moyennes (3/4 de ton, soit environ 150 cents) et d'une seconde majeure (devenant moyenne en tétracorde zalzalien altéré du mode *Ṣabā*) ; (2) tétracorde diatonique : agencement de deux secondes majeures et d'une seconde mineure ; (3) tétracorde chromatique : agencement de deux petites secondes (mineures ou moyennes) et d'une seconde maxime ou augmentée.

3.2. *Élaborations à partir de la chaîne C*

La principale élaboration à partir de la chaîne C consiste en l'insertion de *pyens* dans les tierces moyennes vacantes divisant ainsi les tierces axiales en seconde majeure et seconde moyenne et les tierces complémentaires en seconde moyenne et seconde majeure. En fait, cette élaboration peut être interprétée également dans le sens de l'insertion des hauteurs de la chaîne D dans la chaîne C : $\{C, D, E^{db}, F, G, A, B^{db}\}$. Aussi cette élaboration est-elle à l'origine de modes très importants dans les traditions musicales d'Asie occidentale et d'Afrique du Nord, caractérisés par une tierce axiale moyenne et dénommés Rāst et Sīkāh, avec tous leurs modes dérivés. Or, il est important de noter que les théories de génération des échelles à partir du cycle des quintes et quarts alternées ou du substrat pentatonique (Brăiloiu, 1973; Chailley, 1956; Labussière, 2005) sont incapables de décrire l'élaboration de cette échelle à tierce axiale moyenne et notamment de mélodies populaires constituées des hauteurs relatives $\{C, E^{db}, F\}$.

3.3. *Élaborations à partir de la chaîne F*

La première élaboration à partir de la chaîne F consiste en l'insertion de la médiane G au milieu de la tierce majeure ou diton du substrat sM, ce qui permet de construire l'aspect de F de l'échelle pentatonique anhémitonique $\{F, G, A, C, D\}$. Et à partir de ce substrat, il est possible de construire l'échelle diatonique du mode de F et le mode majeur du système tonal.

4. Hiérarchisation générative des hauteurs des échelles

Le deuxième mécanisme grammatical déductible de la prédilection pour les tierces consiste dans l'élaboration transformationnelle de l'énonciation musicale proprement dite, envisagée dans le cadre d'une phonologie musicale générative, qui procède d'une hiérarchisation générative des hauteurs des échelles selon une référence téléologique.

Il ressort des considérations neurocognitives et musicologiques antécédentes que la catégorisation distinctive sous-jacente des hauteurs à base de tierces se conjugue avec le statut hiérarchique de premier plan que confèrent le système modal et son homologue tonal à la note fondamentale, dénommée *finale* ou *tonique*, par laquelle se conclut un énoncé musical. Il en résulte l'assignation d'un trait distinctif à l'appartenance (ou non-appartenance) à la chaîne de tierces qui s'associe à cette finale (degré I de

l'échelle) du mode M et qui rassemble les degrés de rang impair. Aussi cette chaîne est-elle instituée comme noyau distinctif modal principal α de M ou $\alpha(M)$. Il convient néanmoins de considérer les cas où la teneur (degré accentué de forte occurrence statistique, représentant une corde de récitation) appartient au noyau secondaire, ce qui renforce la polarisation entre les deux noyaux et stabilise dans certains cas le noyau secondaire au détriment du noyau principal.

En outre, les intervalles situés entre les hauteurs de ce noyau forment un *espace modal*. Cette notion est proche de sur celle de l'*espace tonal* de la théorie schenkérienne. Il s'agit d'une structure mélodique que délimitent entre elles les hauteurs de la triade harmonique de l'accord parfait de tonique et dont les interstices (ou tierces) sont comblés par des notes de passage et des broderies, lesquelles s'apparentent à la notion susdécrite de *pyen*. De même en est-il pour les tierces de l'*espace modal* que remplissent des notes ornementales. En se prolongeant, d'abord, par syllabation prosodique métrique, ensuite, par déploiement compositionnel et/ou improvisatif, ces notes deviennent saillantes ou focales. Elles constituent par conséquent le noyau secondaire β de M ou $\beta(M)$. À son tour, ce noyau secondaire donne lieu à de nouvelles élaborations basées sur le code binaire α/β , et ce, jusqu'à l'obtention de la monodie terminale (Abou Mrad, 2016, p. 60). Si le mécanisme génératif de l'énonciation modale se contente de deux noyaux, l'un principal et l'autre secondaire ou contrastif, celui de l'énonciation tonale peut se contenter de deux accords générateurs, celui $I=\alpha$ de la tonique et celui $V=\beta$ de la dominante, dans le cadre de la théorie schenkérienne, comme il peut recourir à trois accords, de tonique, de sous-dominante et de dominante, le cas échéant, dans d'autres épistémès.

5. Conclusion

Là où les théories élaboratrices mélodiques à base de cycles de quintes et quarts alternées pêchent par insuffisance dans leur inscription transculturelle, en même temps qu'elles ne trouvent pas d'assise neurocognitive, la théorie générative et hiérarchique mélodique à base de tierces semble être mieux armée pour modéliser le composant tonal de la phonologie musicale, et ce, dans une perspective résolument transculturelle. Les trois systèmes mélodiques traditionnels, modal, pentatonique et tonal, peuvent alors être assimilés à trois familles linguistiques mélodiques partageant une même phonologie musicale descriptive structurale de surface et une même phonologie musicale

général affectée aux structures sous-jacentes. Ces considérations sont appelées à être étendues aux autres composants de la grammaire musicale (dans son double pendant structural et génératif) afin de contribuer à l'élaboration d'une grammaire principielle transculturelle musicale ayant un volet modulaire paramétrable assigné à la part spécifique culturellement construite de cette grammaire.

Références

- Abou Mrad, N. (2005). Échelles mélodiques et identité culturelle en Orient arabe. In J.-J. Nattiez (éd.) *Musiques. Une encyclopédie pour le xxie siècle: Vol. III « Musiques et cultures »* (Actes Sud, p. 756-795).
- Abou Mrad, N. (2012). Noyaux distinctifs par tierces de l'articulation monodique modale. *Musurgia. Analyse et Pratique Musicales*, XIX/4, 5-32.
- Abou Mrad, N. (2016). *Éléments de sémiotique modale: Essai d'une grammaire musicale pour les traditions monodiques*. Éditions Geuthner et Éditions de l'Université Antonine.
- Abou Mrad, N., & Didi, A. (2013). Le révélateur musicologique d'al-Hiṣnī: Un précis de grammaire modale transformationnelle du XVIe siècle. *Revue des Traditions Musicales*, 7 « Sémiotique et psychocognition des monodies modales (2) », 29-50.

- Avan, P., & Bonfils, P. (2005). Otoémissions acoustiques. In *Encyclopædia Universalis CD-Rom*.
- Beduschi, L., & Meeùs, N. (2011). *Analyse schenkrienne*. Nicolas Meeùs.
nicolas.meeus.free.fr
- Bigand, E., & Poulin-Charronnat, B. (2006). Are we « experienced listeners » ? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training.
<https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.11.007>. *Cognition*, 100(1), 100-130.
- Blacking, J. (1973). *How musical is man?* University of Washington Press.
- Boulez, P. (1971). *Boulez on music today*. Harvard University Press.
- Brăiloiu, C. (1953). Sur une mélodie russe. In *Musique russe* (P. Souvtchinsky éd., Vol. 2, p. 329-391). PUF.
- Brăiloiu, C. (1973). Problèmes d'ethnomusicologie. In *Problèmes d'ethnomusicologie* (Textes réunis et préfacés par Gilbert Rouget). Minkoff reprint.
- Carterette, E. C., & Kendall, R. A. (1999). Comparative music perception and cognition. In *The psychology of music* (D. Deutsch, p. 725-791). Academic Press.

- Chailley, J. (1956). *Formation et transformation du langage musical*.
Centre de documentation universitaire.
- Chailley, J. (1976). *Traité historique d'analyse harmonique*. Alphonse Leduc.
- Cheveigné, A. de. (2004). *Structure du système auditif*. IRCAM.
- Chouard, C.-H. (2001). *L'Oreille Musicienne : Les chemins de la musique de l'oreille au cerveau*. Gallimard.
- Claire, D. J. (1962). L'Évolution modale dans les répertoires liturgiques occidentaux. *Revue grégorienne*, 40, 196-211; 229-245.
- Claire, D. J. (1975). Les Répertoires liturgiques latins avant l'octoéchus. I. L'office férial romano-franc. *Études grégoriennes*, 15, 5-192.
- Di Pietro, M., Laganaro, M., Leeman, B., & Schnider, A. (2004). Receptive amusia : Temporal auditory processing deficit in a professional musician following a left temporo-parietal lesion. *Neuropsychologia*, 42, 868-877.
- Dowling, W. J. (1984). Development of musical schemata in children's spontaneous singing. In *Cognitive processes in the perception of art* (W. R. Crozier & A. J. Chapman (Eds.), p. 145-163). North Holland.

- Dowling, W. J. (2001). Perception of music. In *Blackwell handbook of perception* (E. B. Goldstein, p. 469-498). Blackwell.
- Dowling, W. J., & Harwood, D. L. (1986). *Music cognition* (Orlando).
- Drayna, D., Manichaikul, A., de Lange, M., Snieder, H., & Spector, T. (2001). Genetic correlates of musical pitch recognition in humans. *Science*, 291(5510), 1969-1972.
- Fodor, J. (1983). *The modularity of mind*. MIT Press.
- Galifret, Y. (2012). Audition—Acoustique physiologique. In *Encyclopaedia Universalis*.
- Giannelos, D. (1996). *La musique byzantine*. L'Harmattan.
- Jedrzejewski, F., & Papadopoulos, A. (2021). *Joseph Sauveur : Écrits sur la musique et l'acoustique, édition critique, avec commentaires et notes*. Hermann.
- Justus, T., & Bharucha, J. (2001). Modularity in musical processing : The automaticity of harmonic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 1000-1011.
- Kodály, Z. (2002). *Legyen a zene mindenkié / Music should belong to everyone, 120 quotations from his writings and speeches* (compiled by Ildikó Herboly Kocsár). the Executive Office of the IKS.

- Labussière, A. (2005). Geste et structure modale dans le chant traditionnel à voix nue. In *Musiques une encyclopédie pour le XXIe siècle: Vol. V « L'unité de la musique »* (Jean-Jacques Nattiez, p. 980-1021). Actes Sud.
- Labussière, A. (2007). Perennité du sens modal dans l'organisation du chant traditionnel à voix nue. *L'analyse mélodique*,. Actes de la Rencontre interartistique du 20 mars 2006, OMF, Paris.
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). *A Generative Theory of Tonal Music*. MIT Press.
- McDermott, J., & Hauser, M. (2005). The origins of music : Innateness, uniqueness, and evolution. .
<https://doi.org/10.1525/mp.2005.23.1.29>. *Music Perception*, 23(1), 29-59.
- Meeùs, N. (1993). *Heinrich Schenker. Une introduction*. Mardaga.
- Nettl, B. (2000). An Ethnomusicologist Contemplates Universals in Musical sound and Musical Culture. In *The Origins of Music* (Wallin, N., Merker, B., Brown, S, (Ed.), p. 463-472). MIT Press.
- Nettl, B., & Béhague, G. (1973). *Folk and traditional music of the Western continents. Second edition*. Printice Hall.
- Peretz, I. (2002). L'amusie congénitale. *Med Sci (Paris)*, 18(8-9), 806-807.

- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 6(7), 688-691.
- Peretz, I. (editor). (2006). The Nature of Music. *Cognition*, 100(1), 1-216.
- Peretz, I., & Lidji, P. (2006). Une perspective biologique sur la nature de la musique. *Revue de neuropsychologie*, 16(4), 335-386.
- Peretz, I., & Morais, J. (1989). Music and modularity. *Contemporary Music Review*, 4, 277-291.
- Perrot, X. (2010). Anatomie et physiologie du système nerveux auditif central. *Les cahiers de l'audition*, 23(6), 5-16.
- Picard, F. (2024). Pentatonismes et fonctionnement pentatonique. *Revue des traditions musicales*, 18.
- Puel, J.-L., Bonfils, P., & Pujol, R. (1988). Selective attention modifies the active micromechanical properties of the cochlea. *Brain Research*, 447, 380-383.
- Rameau, J.-P. (1726). *Nouveau système de musique théorique, où l'on découvre le principe de toutes les regles necessaires à la pratique, pour servir d'introduction au Traité de l'harmonie*. Jean-Baptiste-Christophe Ballard,.
- Sachs, C. (1943). The Road to Major. *The Musical Quarterly*, Vol. 29(3 (Jul., 1943)), 381-404.

- Schoenberg, A. (1984). *Style and idea*. University of California Press.
- Sloboda, J. A. (1985). *The Musical Mind : The Cognitive Psychology of Music*. Oxford University Press.
- Tillmann, B., Bharucha, J., & Bigand, E. (2000). Implicit learning of tonality : A self-organized approach. *Psychological Review*, 107(4), 885-913.
- Tillmann, B., Madurell, F., Lalitte, P., & Bigand, E. (2005). Apprendre la musique : Perspectives sur l'apprentissage implicite de la musique et ses implications pédagogiques. *Revue française de pédagogie*, 152, « *Sciences cognitives, apprentissages et enseignement* », 63-77.
- Tràn, V. K. (1968). Modes musicaux. In *Encyclopædia Universalis: Vol. XI* (p. 48-153).
- Waesberghe, J. S. van. (1955). *Textbook of Melody : A Course in Functional Melodic Analysis*. American Institute of Musicology.