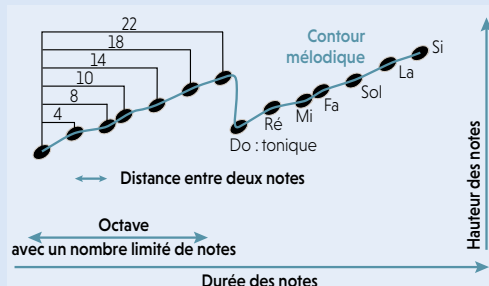


LES POINTS COMMUNS DES MUSIQUES DU MONDE

Certaines structures musicales sont présentes quelle que soit la culture ; on parle d'invariants musicaux. Il s'agit notamment de la distance variable entre les notes, du nombre de notes par octave qui est compris entre cinq et sept, de l'organisation des

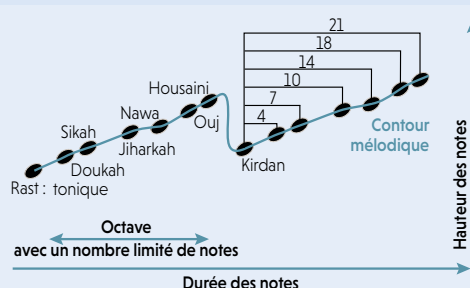
hauteurs des notes qui se fait par niveaux discrets. Ces invariants et d'autres existent dans toutes les musiques du monde. En revanche, le nombre de notes peut changer et la façon dont elles sont accordées dépend de la culture. Nous prenons en exemple la gamme de *do majeur* de la musique

occidentale tonale et celle nommée *rast* de la musique orientale pour présenter ces régularités musicales (sachant que certaines musiques ne s'écrivent pas sur des portées et, par conséquent, sont plus difficiles à présenter). Les invariants musicaux sont écrits en caractères gras.



UNE GAMME OCCIDENTALE

Cette gamme de *do majeur* possède sept notes par octave : *do, ré, mi, fa, sol, la, si*. La distance entre les notes, exprimée en quarts de tons par rapport à la première note, correspond au patron 0-4-8-10-14-18-22-24.



UNE GAMME ORIENTALE

Cette gamme *rast* a aussi sept notes par octave : *rast, doukah, sikah, jiharkah, nawa, housaini, ouj*, la première note de l'octave suivante se nommant *kirdan*. Le patron, en quarts de tons, est cette fois : 0-4-7-10-14-18-21-24.

D'AUTRES INVARIANTS

La fonction d'une note change selon le contexte ; ici le *do* est la tonique, la note la plus importante de la gamme, le *sol* la dominante et le *si* la note la moins importante de la gamme, la sensible. La note la plus importante de la gamme orientale est *rast*.

Le contour mélodique est le patron défini par les hauteurs des notes qui montent et qui descendent.

Le rythme est la durée des notes les unes par rapport aux autres.

La mesure est la pulsation de référence de la mélodie.

Le tempo est la vitesse d'exécution d'une mélodie.

importance dans la gamme : dans la musique indienne, le bourdon joue le rôle de la tonique ; dans la musique gamelan ce rôle revient au gong. En outre, l'organisation des notes dont les hauteurs montent et descendent dessine un contour mélodique, dont l'importance se retrouve dans les musiques de toutes les cultures.

Quant à la dimension temporelle de la musique, on distingue trois caractéristiques importantes : le rythme, la mesure et le tempo. Le premier définit la durée relative des notes dans un morceau. Il varie notablement selon les pièces musicales et les cultures. La mesure, l'unité de base d'une partition, impose une pulsation régulière sur laquelle les patrons rythmiques se superposent. On en compte plusieurs types : la mesure à deux temps ou celle à trois temps – de la valse – par exemple. D'autres, plus complexes, sont des mesures à cinq ou à sept temps qui mêlent des groupements de deux et de trois temps par exemple. Enfin, le tempo représente la vitesse d'exécution d'une œuvre musicale.

Diverses structures musicales se retrouvent donc dans toutes les cultures. Pourquoi ? Certains invariants résultent vraisemblablement de la façon dont le cerveau traite les sons. La musique, comme n'importe quel son, est

traitée par le cerveau qui met à profit ses propriétés d'organisation, d'apprentissage, de mémorisation et d'attention.

L'utilisation de notes de hauteurs discrètes permet de les catégoriser ; c'est une caractéristique cognitive de regrouper des événements différents dans une même catégorie selon leurs propriétés similaires. Par exemple, la perception catégorielle des sons contribue à la reconnaissance d'une mélodie même si les notes ne sont pas chantées justes.

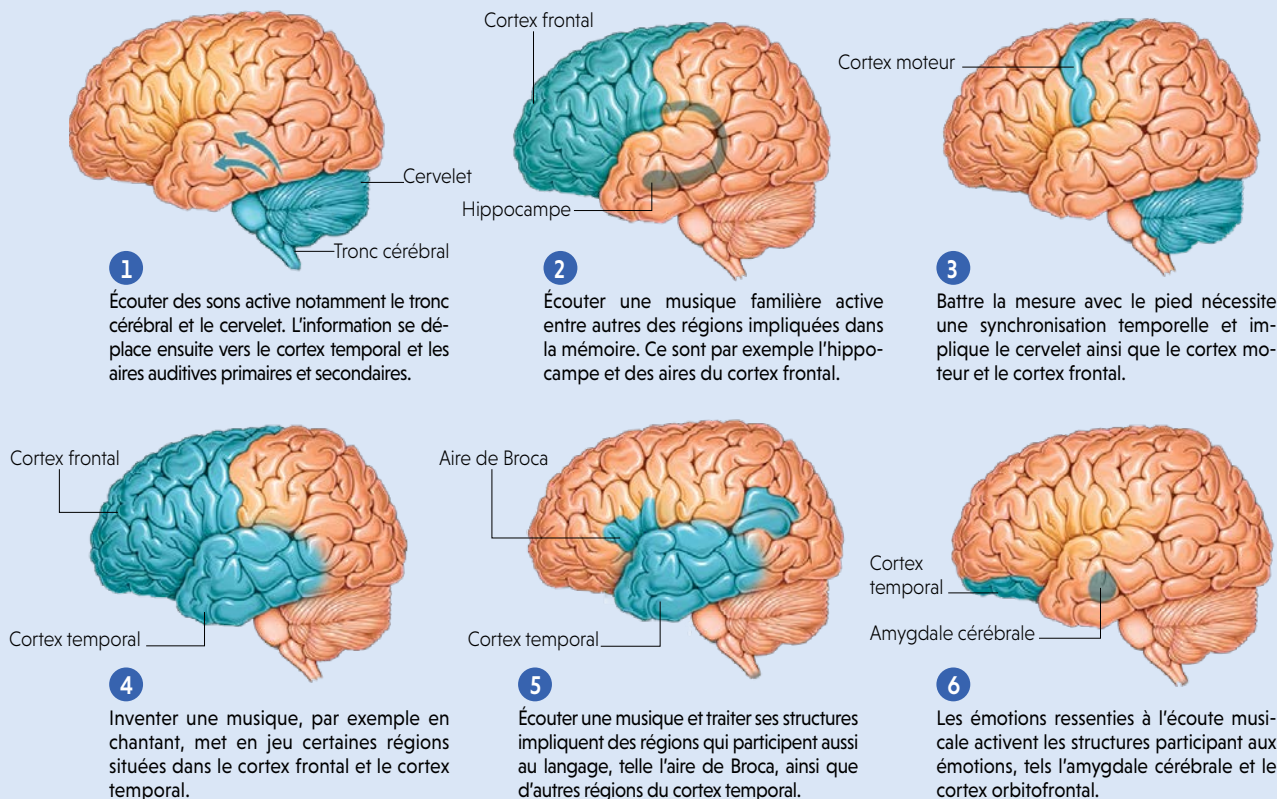
DES LIMITES COGNITIVES

De même, on distingue deux notes de hauteurs différentes (à condition qu'elles soient séparées d'une différence minimale de hauteur), mais on associe deux notes identiques séparées par une octave (elles n'ont donc pas la même fréquence). Ces deux aspects – les contraintes de perception discriminative des hauteurs et le phénomène d'équivalence d'octave – reflètent des caractéristiques du système auditif.

Poursuivons la recherche de liens entre musique et cerveau. C'est le cas du nombre de notes par octave. Limiter ce nombre à cinq ou sept notes (et les répéter dans les différentes

UNE MUSIQUE DANS LA TÊTE

Plusieurs régions cérébrales participent à la musique. Le son est d'abord traité par les structures de l'oreille et les régions sous-corticales et corticales propres au système auditif. Puis interviennent des parties du cerveau impliquées dans la mémoire, les émotions, les mouvements ou d'autres modalités sensorielles. Certaines sont communes à la musique et au langage et d'autres seraient spécifiques à la musique.



© Delphine Bailly

- octaves) diminue le nombre de données que l'auditeur doit traiter. Cela refléterait les limites cognitives de la perception catégorielle et de la mémoire à court terme qui ne pourrait stocker simultanément que quatre à neuf éléments. De plus, prendre des distances inégales entre les notes dans une gamme et leur attribuer des fonctions distinctes facilitent l'encodage et le stockage des informations mélodiques en mémoire (à court et à long termes) : les notes s'organisent autour d'un point de référence – la tonique par exemple – qui sert de point d'ancrage cognitif.

DES BÉBÉS MUSICIENS

Dans la recherche des universaux musicaux, on peut se tourner vers les nouveau-nés, ou des adultes n'ayant pas été exposés à certaines musiques, pour approcher les capacités innées. Certains travaux se sont intéressés à la

mémoire et à la perception auditives des bébés, considérés comme des « universalistes », c'est-à-dire capables de percevoir la musique de toutes les cultures.

Dans des expériences dites de préférence, le bébé de 6 ou 12 mois est assis sur les genoux de sa mère et écoute des mélodies sans que la mère ne les entende. On change ensuite une caractéristique musicale de la mélodie – la distance entre les notes, le contour mélodique ou la hauteur des notes, selon ce que l'on cherche à étudier – et on regarde quelle chanson le bébé préfère écouter. Par exemple, un bébé regarde plus souvent le haut-parleur qui diffuse une mélodie familière et il ignore celui qui diffuse une musique qu'il ne reconnaît pas. On observe aussi s'il distingue des variations dans la structure musicale. Ainsi, on a montré que les bébés mémorisent mieux les notes quand elles sont séparées de distances inégales, et

qu'ils préfèrent la consonance – des sons acoustiquement cohérents ou qui sont « accordés » – à la dissonance.

Qui plus est, les bébés prêtent davantage attention aux hauteurs relatives des notes, c'est-à-dire au contour mélodique, qu'à la hauteur spécifique des différentes notes de la mélodie. Ce comportement reflète aussi une caractéristique de la perception des auditeurs adultes.

L'importance cognitive de l'information relative s'observe aussi pour la dimension temporelle de la musique : les bébés et les adultes focalisent leur attention sur l'organisation temporelle relative des notes, à savoir le rythme, plutôt que sur les durées absolues de chaque note. Ainsi, on reconnaît une mélodie grâce à son rythme, même si elle est chantée de façon différente.

En outre, on observe dans les musiques de différentes cultures que la mesure engendre un comportement de synchronisation : elle crée un cadre de référence temporelle qui permet de taper des mains ou du pied en cadence quand on écoute une mélodie à deux, trois ou quatre temps. C'est aussi grâce à elle que l'on danse sur la musique, que l'on chante et que l'on joue sur différents instruments ensemble. Cette caractéristique serait un invariant cognitif.

Pour trouver d'autres invariants cognitifs liés à la musique, on peut s'intéresser à des domaines différents. La psychologie cognitive a décrit des principes d'organisation pour la perception visuelle, notamment des règles de groupement. L'idée fondamentale est que l'observateur cherche à percevoir une « bonne forme » dans l'information fournie. Pour ce faire, il regroupe des données semblables pour y chercher une continuité.

En analysant les structures mélodiques de différents systèmes musicaux, on a constaté que des lois similaires existent pour la perception auditive, puisque l'auditeur groupe les séquences de notes selon une similarité de timbre ou d'intensité et une proximité (temporelle ou de hauteur).

En 2002, Glenn Schellenberg, de l'université de Toronto, et ses collègues ont étudié l'influence de la proximité de hauteur dans la perception des mélodies. Ils ont présenté aux participants des débuts de mélodies dont la dernière note variait en hauteur (donc en proximité avec la note précédente) et les participants devaient juger si elle convenait bien pour terminer la séquence. Dans une autre étude, les participants chantaient la suite des mélodies et les chercheurs analysaient la distance de hauteur entre la dernière note entendue et la première note chantée.

Les participants préfèrent produire ou entendre des notes proches en hauteur de la dernière entendue. Et ce, quel que soit leur âge, leur expertise musicale, leur origine culturelle et le style musical des mélodies.

DES INVARIANTS COGNITIFS

- Une préférence pour des notes proches en hauteur.
- Un traitement des sons par catégories.
- Une mémoire à court terme de cinq à neuf éléments.
- L'information relative (le contour mélodique et le rythme) est privilégiée.
- On associe la musique à d'autres comportements, telle la danse.
- L'exposition à la musique et son apprentissage implicite, sans intention d'apprendre, entraînent des connaissances et des attentes musicales.

Les invariants musicaux présents dans les différentes cultures refléteraient donc les mêmes contraintes perceptives et cognitives. L'apprentissage des régularités qui existent dans les structures musicales est une autre façon d'étudier comment le cerveau traite la musique.

En psychologie cognitive, on a mis en évidence une capacité qui permet d'acquérir des connaissances sur des informations complexes par simple exposition, sans intention d'apprendre. Ce type d'apprentissage est dit implicite : étant exposé à des matériaux structurés, le cerveau extrait des régularités et devient sensible aux structures sans connaissances explicites. C'est ainsi que l'enfant (avant sa scolarisation et les cours de grammaire) acquiert des connaissances sur sa langue maternelle en étant exposé aux flots de paroles de son environnement.

LES EXPERTS IMPLICITES

De même, la capacité cognitive d'apprentissage implicite permet aux auditeurs d'acquérir des connaissances sur le système musical de leur culture, notamment dans la vie quotidienne, par simple exposition à des pièces musicales (berceuses, radio...). Et ce, sans formation musicale explicite. L'auditeur est face à la musique comme l'enfant est face à sa langue maternelle : il traite les structures et développe des attentes, sans être capable de les expliciter. On parle d'acculturation musicale : l'auditeur est un expert implicite de la perception de la musique de sa culture.

La plupart des travaux sur la cognition musicale se sont intéressés à la perception de la musique occidentale tonale par l'auditeur occidental et à ses principales régularités qui s'appliquent à une variété de styles musicaux (musique classique, pop, folk, jazz...).

On sait qu'une même note peut remplir différentes fonctions musicales selon son contexte d'utilisation. Par conséquent, une note peut être adéquate pour finir une mélodie donnée, mais pas pour en terminer une autre. Pendant l'écoute, un auditeur acculturé développe donc des attentes perceptives sur les notes futures qui diffèrent selon le début de la mélodie.

Ces attentes musicales sont semblables aux attentes face au langage : un même mot, « neige » par exemple, est plus attendu après « Le skieur glisse sur la » qu'après « Le chauffeur conduit sur la ». Les connaissances sur la langue française, les relations sémantiques entre les mots et leur fréquence d'association permettent de développer des attentes sur la suite d'une phrase ; et ces attentes sont plus fortes pour un mot plus probable. Ainsi, lors d'une expérience de psychologie cognitive, un participant perçoit plus vite « neige » dans la première phrase que dans la seconde. Plus un événement est attendu, plus on le traite rapidement.

Cette expérience étudiant les connaissances de l'auditeur sur le langage a été ➤

- > transposée à l'étude des connaissances de la musique. On a proposé à des participants deux mélodies qui ne différaient que par une seule note. Musicalement, ce changement d'un demi-ton – une note proche en hauteur – laisse inchangé le contour mélodique, mais modifie la tonalité installée, de sorte que la dernière note de la mélodie est adéquate en note finale pour la première mélodie, mais ne l'est pas pour la seconde; cette dernière note prend la fonction de la tonique (la note la plus importante de la tonalité) dans la première mélodie, mais la fonction d'une sous-dominante (une fonction moins importante) dans la seconde.

Un auditeur non musicien, sans formation musicale explicite, fait-il cette différence, même si acoustiquement les deux mélodies sont presque identiques? Oui. Il traite plus rapidement la dernière note de la première mélodie. Comme il s'agit de la même information acoustique, cela suggère que l'auditeur a des connaissances sur le système musical et l'utilisation des notes, ce qui lui permet de distinguer les deux mélodies; en d'autres termes, les débuts des mélodies – qui varient du fait d'une note – activent différemment les connaissances musicales et engendrent des attentes perceptives distinctes, qui influent sur la perception de la dernière note. Voilà une démonstration de l'acculturation tonale des auditeurs occidentaux *via* une exposition à la musique occidentale tonale.

Quelques études avec des musiques et des auditeurs d'autres cultures confirment que l'acculturation par simple exposition est un invariant cognitif. Par exemple, en comparant la perception de la musique indienne par des auditeurs indiens – c'est-à-dire acculturés – et par des auditeurs américains – dits naïfs –, on constate que les deux groupes sont sensibles aux caractéristiques acoustiques des notes entendues (leur durée et leur fréquence d'apparition), mais seuls les auditeurs indiens perçoivent les différences d'organisation fonctionnelle des notes.

APPRENDRE EN ÉCOUTANT

Un autre exemple porte sur la perception des structures temporelles. Plusieurs études avaient montré que les auditeurs occidentaux préfèrent les rythmes avec des mesures simples (à deux ou trois temps). On pensait alors que les mesures plus complexes nécessitaient davantage de ressources cognitives.

En 2005, Erin Hannon et Sandra Trehub, de l'université de Toronto, bousculent cette interprétation en suggérant l'importance de l'acculturation musicale, même pour les structures temporelles. Ils montrent que les auditeurs américains perçoivent facilement les mesures simples pour lesquelles ils sont acculturés, mais qu'ils rencontrent des difficultés pour des

mesures complexes. En revanche, des auditeurs bulgares et macédoniens sont sensibles aux deux types de mesures: ils sont acculturés pour les deux, car la musique folklorique des Balkans contient des mesures complexes.

De plus, Erin Hannon et Sandra Trehub ont montré que des bébés américains de six mois sont sensibles aux deux types de mesures; cependant, dès l'âge de 12 mois, l'acculturation s'est mise en place et les bébés américains obtiennent les mêmes résultats que les adultes américains. Les bébés pourraient donc apprendre différentes structures musicales (ici temporelles), mais après une période restreinte, ils se spécialiseraient aux caractéristiques musicales de leur culture.

Il existe donc des invariants cognitifs liés à la perception de la musique: les auditeurs apprennent des informations sur le système musical de leur culture par simple exposition – ils reconnaissent les notes utilisées, leur combinaison en gammes, leurs organisations –, et ces connaissances musicales implicites influent sur le traitement des structures musicales, par exemple par la formation d'attentes perceptives. Alors quelles sont les aires cérébrales dédiées au traitement des structures musicales? Existe-t-il des régions cérébrales et des capacités cognitives spécifiques à la musique?

De nombreuses études sur les fondements biologiques de la musique ont montré un recouvrement des réseaux neuronaux impliqués dans le traitement de la musique et du langage (*voir l'encadré page 20*). Par exemple, certaines études ont appliqué à la musique des méthodes expérimentales utilisées pour le langage, notamment en introduisant un événement inattendu dans une séquence musicale et en comparant la réaction du cerveau à cette violation de structure

**Les berceuses
sont universelles:
on les reconnaît dans
les autres cultures, même
sans comprendre
les paroles**

avec sa réaction face à un événement qui respecte les structures musicales. Ainsi, on a montré que le cerveau réagit rapidement après une violation musicale (en 200 millisecondes après le début du son). Cette réaction est semblable à celle observée après la violation d'une structure syntaxique dans des phrases.

UNE AIRE DE MUSIQUE

En outre, par imagerie cérébrale, on a mis en évidence l'importance du cortex frontal inférieur (qui comprend l'aire de Broca et son homologue dans l'hémisphère droit) dans la musique. L'aire de Broca n'est donc pas spécialisée dans le traitement du langage : sa fonction est plus générale. Elle serait impliquée dans les mécanismes nécessaires à l'intégration structurale des informations, notamment au cours du temps – qu'il s'agisse des notes d'une mélodie ou des mots d'une phrase. En 2003, Aniruddh Patel, de l'Institut de neurosciences, à San Diego, aux États-Unis, émet l'hypothèse que des réseaux neuronaux pour le traitement des informations structurales ou syntaxiques sont partagés entre la musique et le langage.

Toutefois, Isabelle Peretz, de l'université de Montréal, et d'autres chercheurs défendent l'hypothèse que certains réseaux neuronaux sont spécifiques à la musique et séparés de ceux du langage. Notamment, certains patients souffrant de lésions cérébrales présentent des troubles du langage (nommés aphasies) sans troubles du traitement de la musique. Et d'autres patients ont les symptômes inverses : ils n'ont aucune difficulté avec le langage, mais montrent des troubles de traitement de la musique, l'amusie.

L'amusie congénitale, un dysfonctionnement de la perception musicale permettra peut-être d'en apprendre davantage. Pour les quelques personnes qui en sont atteintes, la musique ne fait pas sens, elle sonne comme une langue étrangère, voire comme du bruit. Elles comprennent normalement la parole et reconnaissent des voix et des sons de l'environnement. En revanche, elles sont incapables de reconnaître une mélodie familière sans paroles et de détecter une fausse note ou quelqu'un qui chante faux.

On estime qu'environ 4% de la population souffre d'amusie congénitale (le révolutionnaire argentin Che Guevara en était atteint), mais la proportion réelle est probablement supérieure, car il est socialement peu acceptable de ne pas aimer la musique. Certaines personnes n'avoueraient pas leur handicap musical. Ce dernier contraste avec les capacités musicales des bébés et les connaissances musicales des adultes non musiciens.

Les fondements neuronaux de l'amusie congénitale commencent seulement à être étudiés. Le déficit musical serait présent dès la naissance (par opposition à l'amusie acquise



Che Guevara était atteint d'amusie congénitale : la musique sonnait pour lui comme une langue étrangère.

liée à des lésions cérébrales) et des études récentes suggèrent même qu'il se transmet génétiquement. L'étude de l'amusie congénitale améliorera notre compréhension des fondements comportementaux, neuronaux et génétiques de la cognition musicale. Toutefois, à l'heure actuelle, les corrélats neuronaux spécifiques de la musique restent l'objet des recherches en neurosciences.

La liste des universaux en musique que nous avons mis en évidence est loin d'être exhaustive. Nous pouvons notamment ajouter les berceuses. De fait, on peut reconnaître une berceuse d'une autre culture (sans comprendre les mots) ou certaines émotions dans des pièces musicales d'une autre culture. Ces invariants seraient communs au langage et à la voix.

Les berceuses mettent en œuvre des caractéristiques acoustiques comparables à celles utilisées quand on parle à un bébé : un contour mélodique simple, des répétitions, une variété limitée de hauteurs...

De même, les émotions suscitées par la musique ont des caractéristiques retrouvées dans la voix. Par exemple, l'expression de la joie est souvent associée à un tempo rapide et à une large variété de hauteurs. Toutefois, certaines émotions, évoquées par les structures spécifiques d'un système musical, renvoient à l'invariant cognitif de l'acculturation musicale. Ainsi, un des universaux de la musique serait lié à un resserrement de son universalité à un contexte culturel particulier. Un comble ? ■

BIBLIOGRAPHIE

F. MARMEL, B. TILLMANN ET W. DOWLING, Tonal expectations influence pitch perception, *Perception & Psychophysics*, vol. 70, pp. 841-852, 2008.

A. PATEL, Music, language and the brain, *Oxford University Press*, 2008.

E. HANNON ET S. TREHUB, Metrical categories in infancy and adulthood, *Psychological Science*, vol. 16, pp. 48-55, 2005.

I. PERETZ ET K. HYDE, What is specific to music processing? Insights from congenital amusia, *Trends in Cognitive Science*, vol. 7, pp. 362-367, 2003.

S. TREHUB, The developmental origins of musicality, *Nature Neuroscience*, vol. 6, pp. 669-673, 2003.

L'ESSENTIEL

● La musique, de la composition dodécaphonique et sérielle jusqu'aux morceaux pop, obéit à des règles mathématiques dont la connaissance facilite notablement l'analyse des compositions.

● Au cœur de ces règles mathématiques, on trouve le concept de groupes et diverses transformations, notamment des symétries.

● Selon certains, cette structure mathématique serait naturelle et préexisterait dans notre cerveau, ce qui ouvrirait de nouvelles perspectives pour étudier la perception musicale.

LES AUTEURS



MORENO ANDREATTA est directeur de recherche CNRS en musicologie computationnelle à l'Ircam et à l'Institut de recherche mathématique avancée de Strasbourg.



CARLOS AGON est professeur en informatique à Sorbonne Université et chercheur dans l'équipe Représentations musicales de l'Ircam.

Algèbre et géométrie : sont-elles inscrites dans le cerveau ?

La musique contemporaine se comprend mieux avec les mathématiques et notamment avec la théorie des groupes. Ce sont des concepts abstraits, pourtant, ces structures seraient inhérentes à notre cerveau.

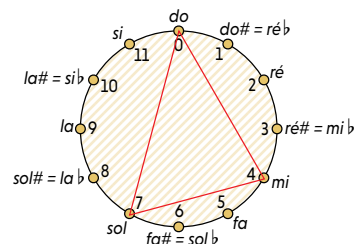
A

u début du ^{xvii}e siècle, le mathématicien suisse Leonhard Euler se penche sur une question cruciale : pourquoi la musique apporte-t-elle du plaisir ? Dans son *Tentamen novae theoriae musicae ex certissimis harmoniae principijs dilucide expositae* (« Essai d'une nouvelle théorie de la musique, exposée en toute clarté selon les principes de l'harmonie les mieux fondés »), en 1739, il répond. Selon lui, l'élément clé est la perfection, qu'il recherche dans les rapports de nombres représentant les accords.

Euler est l'un des nombreux mathématiciens, depuis Pythagore, qui se sont intéressés à la musique. Depuis une vingtaine d'années, grâce à l'informatique, l'étude des relations entre mathématiques et musique a connu de nombreux développements. La musicologie est devenue une discipline systématique, jusqu'à donner naissance à un nouveau champ d'études, la « musicologie computationnelle ». Il s'agit d'analyser les œuvres musicales de façon à mettre en évidence les structures mathématiques sous-jacentes.

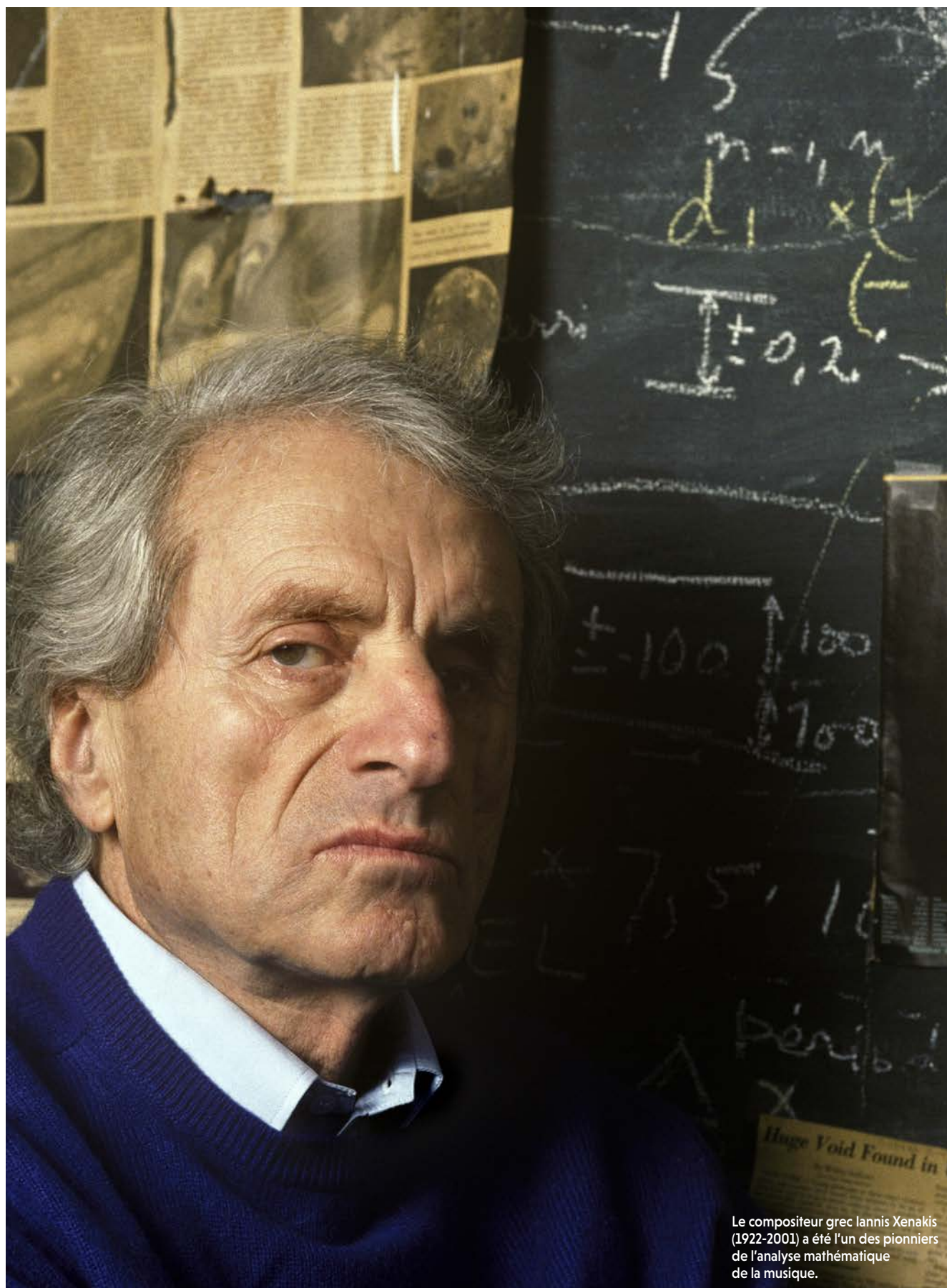
Cependant, à mesure qu'elle prenait son essor, la musicologie computationnelle s'est éloignée d'autres démarches systématiques, en particulier celles orientées vers la cognition et la perception musicales. Les deux visions sont-elles compatibles ? Oui et, plus encore, nous verrons qu'elles s'enrichissent mutuellement dans un dialogue entre mathématiques et cognition.

L'utilisation des méthodes algébriques pour étudier la musique, notamment contemporaine, met en œuvre trois aspects souvent liés, à savoir les aspects théoriques et analytiques, qui nous intéresseront ici, ainsi que ceux d'aide à la composition. Trois compositeurs et théoriciens sont emblématiques de cette réflexion théorique sur ➤



LA GAMME TEMPÉRÉE

La gamme tempérée, c'est-à-dire celle où toutes les notes sont séparées par un demi-ton, correspond à l'octave d'un piano. Elle est représentée par un cercle où chaque note est numérotée, les dièses (#) et les bémols (b) étant considérés comme équivalents selon le principe de l'identification enharmonique (par exemple le *do#* est égal au *réb*). Dans cette représentation, un ensemble de *n* notes, par exemple un accord ou une série dodécaphonique, correspond à un polygone à *n* côtés (en rouge).



Le compositeur grec Iannis Xenakis (1922-2001) a été l'un des pionniers de l'analyse mathématique de la musique.