



# Musi

# ci

# ex

# Machi

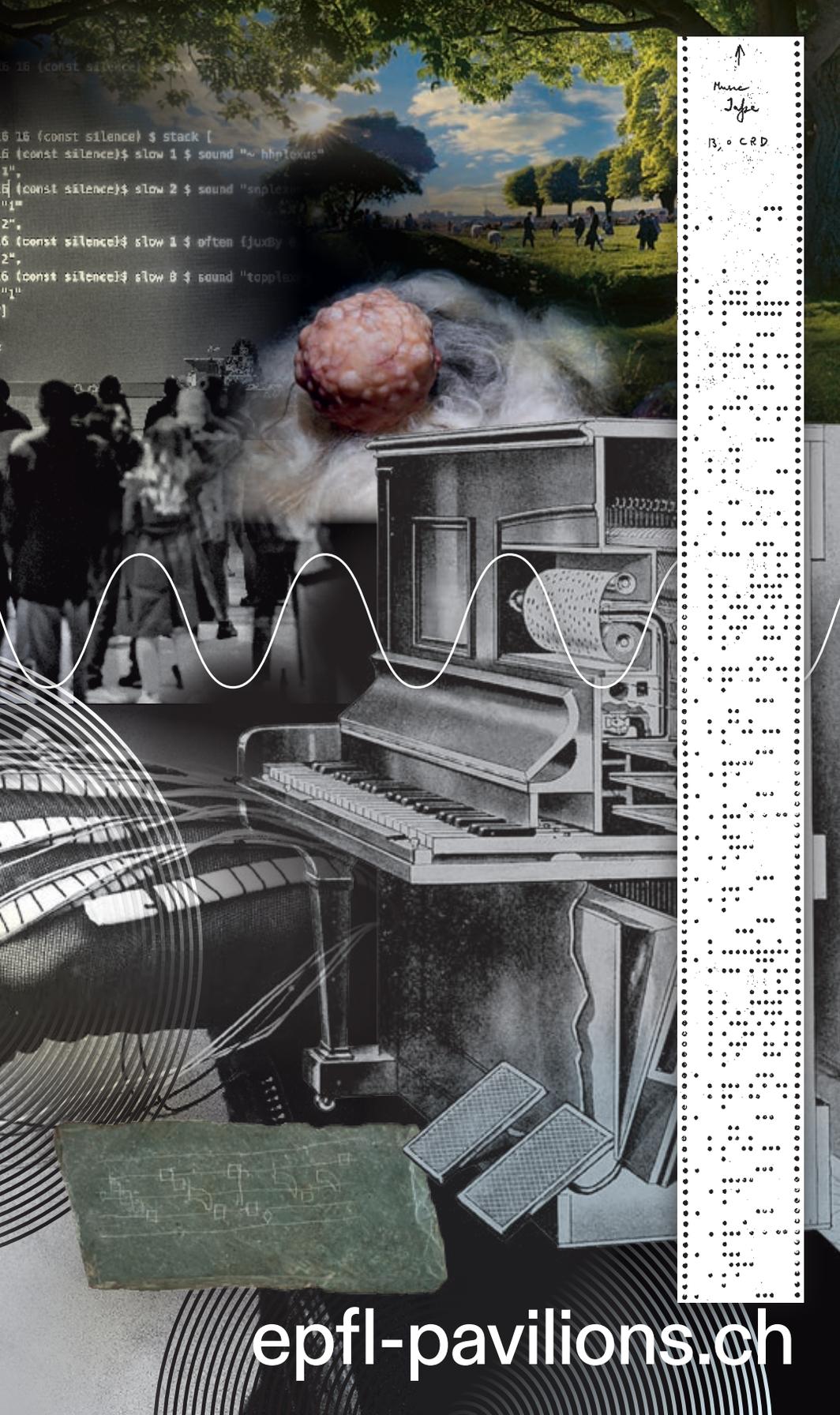
# na

EPFL

Machines Thinking Musically

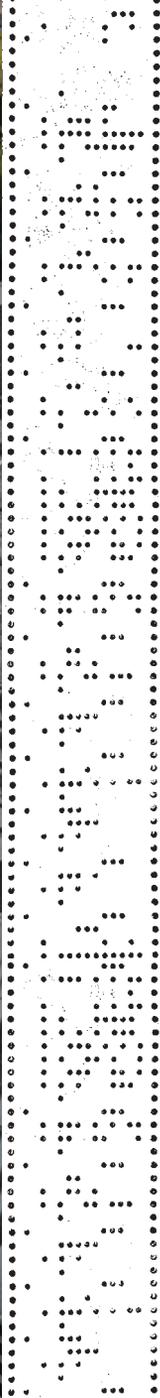
Pavilions

Français Guide

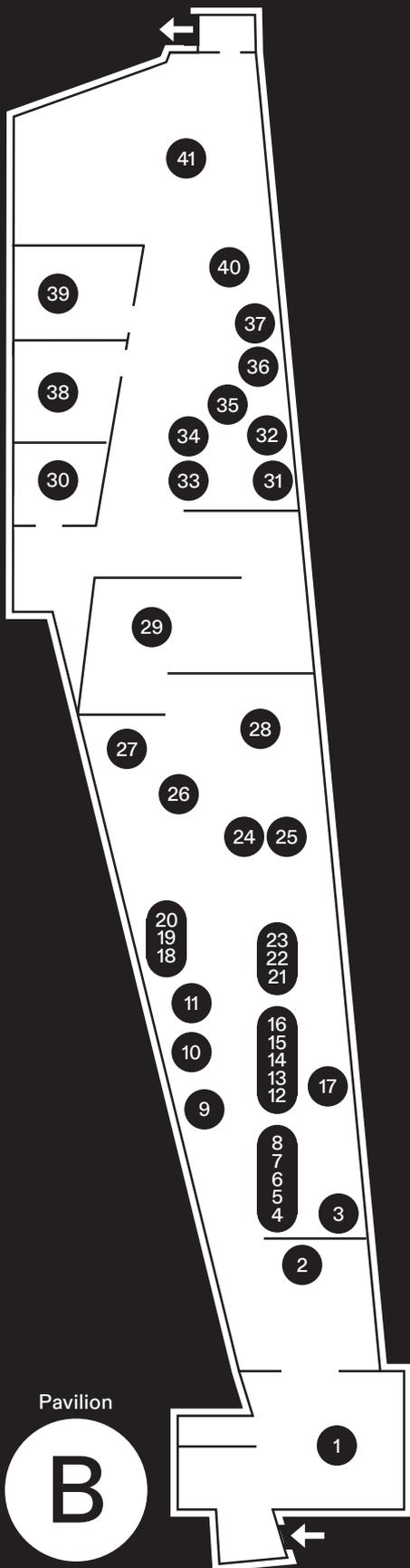


```
6 16 (const silence) $ stack [  
6 (const silence)$ slow 1 $ sound "hhptexus"  
1"  
6 (const silence)$ slow 2 $ sound "snplos  
"4"  
2"  
6 (const silence)$ slow 1 $ often {judy  
2"  
6 (const silence)$ slow 0 $ sound "topple  
"1"  
1
```

↑  
Mune  
Tjaja  
B, CRD



epfl-pavilions.ch



- 
- 1 Polyp
- 
- 2 La Main guidonienne
- 
- 2.1 Ut queant laxis & la Main guidonienne
- 
- 2.2 La notation de Guido d'Arezzo
- 
- 2.3 Les notes de l'hexachorde
- 
- 3 Libellus cantus mensurabilis
- 
- 4 Belle, Bonne, Sage / Tout par compas
- 
- 5 Ardoise pour polyphonie
- 
- 6 Enigma del espejo
- 
- 7 Je Missa Di dadì
- 
- 8 Missa L'homme armé super voces musicales – Agnus II
- 
- 9 Six représentations de la musique
- 
- 10 Athanasius Kircher
- 
- 10.1 Arca Musarithmica
- 
- 10.2 Neue Hall- und Ton-Kunst
- 
- 10.3 Musurgia Universalis
- 
- 11 Musikalisches Würfelspiel
- 
- 12 Tentamen novae theoriae musicae
- 
- 13 Le Cercle des quintes
- 
- 14 Die Lehre von den musikalischen Klängen
- 
- 15 12-Part Colour-Sound Circle
- 
- 16 Le Cercle de Coltrane
- 
- 17 Quatre perspectives sur la structure en musique
- 
- 17.1 Le déroulement du Tonnetz
- 
- 17.2 Le nuage tonal
- 
- 17.3 Visualisation en direct des structures arborescentes syntaxiques
- 
- 17.4 Visualisation en 3D des relations hiérarchiques ton sur ton

- 
- 18 Musique Gamelan
- 
- 18.1 Gamelan
- 
- 18.2 Le Gamelan numérique
- 
- 19 Rythmes polyphoniques en musique d'Afrique centrale
- 
- 20 L'extension scalaire dans la musique classique d'Inde du Nord
- 
- 21 Automate persan
- 
- 22 La Musicienne
- 
- 23 Automate de l'Ange avec harpe
- 
- 24 Partie de la machine à différences n°1 de Babbage
- 
- 25 Notes d'Ada Lovelace
- 
- 26 Arnold Schönberg
- 
- 26.1 Suite op. 29, Mouvement I, partition (Ouverture. Allegretto)
- 
- 26.2 Suite op. 29, tableau des rangées de douze tons
- 
- 26.3 Suite op. 29, tableau des rangées de douze tons
- 
- 26.4 Suite op. 29, tableau des rangées dodécaphoniques bidirectionnelles
- 
- 26.5 Quintette à vent op. 26, règle de la rangée dodécaphonique
- 
- 27 CSIRAC
- 
- 27.1 Ordinateur CSIRAC
- 
- 27.2 Programme informatique de CSIRAC
- 
- 28 Iannis Xenakis
- 
- 28.1 Archives Xenakis
- 
- 28.2 Pavillon Philips, Expo 58
- 
- 28.3 UPIC
- 
- 29 Musiques pour piano mécanique
- 
- 29.1 Study 41B – Conlon Nancarrow

- 
- 29.2 Étude 14A – György Ligeti
- 
- 29.3 Voyager – George Lewis
- 
- 29.4 OTodeBLU – Clarence Barlow
- 
- 29.5 Continuity 4 – Paul Doornbusch
- 
- 29.6 Arabesque – Nicolas Namoradze
- 
- 30 La Salle de concert
- 
- 30.1 Prometeo. Tragedia dell'ascolto – Luigi Nono
- 
- 30.2 La Légende d'Eer – Iannis Xenakis
- 
- 31 Studie II – Karlheinz Stockhausen
- 
- 32 Fontana Mix – John Cage
- 
- 33 Revox G36
- 
- 34 Buchla 200e Skylab
- 
- 35 Expert Senior Gramophone
- 
- 36 The Hands
- 
- 37 Lady's Glove v.4
- 
- 38 On the Nature of L.A.R.S.
- 
- 39 Life Codes
- 
- 40 Apollo e Marsia
- 
- 41 13 Ways of Looking at AI, Art & Music
- 
- 41.1 The Text Score Dataset 1.0
- 
- 41.2 QUANTA
- 
- 41.3 OSCAILT
- 
- 41.4 ULTRACHUNK
- 
- 41.5 URSONATE%24

# Musica ex Machina: Machines Thinking Musically

De l'Antiquité à nos jours, la nature de la musique a permis de l'encoder mathématiquement et de la conceptualiser algorithmiquement. De nombreuses structures musicales sont construites autour de modèles et de processus. La musique est sensible à la modélisation et à la manipulation par des systèmes basés sur des règles et, en fin de compte, par des machines. Que ce soit sous forme de données symboliques ou audio (notes, processus ou sons), la représentation de la musique invite à utiliser ces caractéristiques dans des œuvres d'une plus grande complexité et d'une plus grande imagination, telles que la musique d'art de nombreuses cultures.

*Musica ex Machina: Machines Thinking Musically* explore l'intersection de la pensée computationnelle, de la mécanisation, de la technologie et de la musique. L'exposition met en évidence la créativité humaine dans la relation complexe entre les machines, la pensée algébrique et l'innovation technologique. Elle démontre qu'il n'existe pas de dichotomie inhérente entre la musique "expressive" et la musique dite mécanique ou formaliste. La musique possède une technicité inhérente qui contribue à la manière dont nous interagissons avec elle. *Musica ex Machina* sélectionne des objets pour mettre en évidence et illustrer cette riche et dense histoire jusqu'à aujourd'hui.

L'exposition commence par explorer les premières façons dont la musique a été codée et conceptualisée de manière algorithmique. Les astronomes de la Grèce classique ont développé les premiers modèles de l'univers, et l'on pensait que la structure de la musique était calquée sur ces structures cosmiques. À son tour, la musique a été conçue comme un moyen pour les humains de toucher l'esprit de Dieu. La musique est également un langage commun reliant les différentes cultures, chacune ayant développé sa musique comme forme d'expression.

L'humanité a toujours utilisé les technologies les plus récentes pour créer de la musique ; des cordes en métal remplaçant les cordes en boyau aux dernières techniques de fabrication créant de nouveaux instruments tels que le piano. Avec l'avènement des dispositifs mécaniques, des technologies ont été utilisées pour créer et modifier automatiquement les sons musicaux. Les instruments automatisés et les mécanismes d'horlogerie de la Renaissance sont devenus des machines capables de travailler avec les humains, voire de les remplacer, dans l'art de la performance.

À la suite de l'invention des ordinateurs, les premières expériences de composition algorithmique ont été utilisées pour générer de la musique nouvelle. *Musica ex Machina* présente les diverses approches adoptées par les compositeur·trice·s qui ont utilisé des machines pour modéliser leurs processus créatifs. Des compositeur·trices pionnier·ières au milieu des années 1950, tels que le Gréco-français Iannis Xenakis, ont utilisé des machines pour modéliser les processus de composition et ont repoussé les limites de la structure musicale et de la pra-

tique de la composition. L'exposition explore les techniques particulières par lesquelles le hasard et l'imprévisibilité, au cœur de la modélisation de la pensée créatrice, ont été incorporés dans la composition et l'interprétation.

Les derniers développements en matière d'intelligence artificielle (IA) sont au centre des débats contemporains sur la musique, débats qui mettent la créativité humaine en tension avec la machine. *Musica ex Machina* examine d'un œil critique la progression logique de ce développement ainsi que les limites potentielles de l'IA. Il est important de faire la distinction entre les systèmes de réplique de style algorithmique et la véritable composition créative. Cette exposition examine dans quelle mesure les machines peuvent être considérées comme des agents créatifs à part entière, ce qui est particulièrement pertinent avec les dernières avancées de l'IA, et expose les implications éthiques et philosophiques de l'utilisation de machines pour générer de la musique. Les systèmes dont les résultats sont entièrement dérivés de données d'apprentissage peuvent-ils être véritablement créatifs ?

Bien que l'exposition soit en grande partie organisée de manière chronologique, quatre thèmes centraux lient les pièces exposées. L'exposition examine comment la pensée systématique et les machines ont été utilisées pour générer et façonner l'expression musicale au fil des siècles, à travers les grandes idées suivantes :

**Symboles, espaces et algorithmes** présente la manière dont la musique a été représentée symboliquement et conceptualisée par des moyens proto-informatiques : des systèmes anciens tels que l'outil de calcul de l'harmonie de

la main de Guido d'Arezzo jusqu'à la manipulation symbolique contemporaine et les traditions musicales algorithmiques non occidentales.

**Automatiser l'humain** illustre les machines à musique, les automates et les instruments automatisés à partir du XVIII<sup>e</sup> siècle qui ont introduit la mécanisation dans le domaine humain de l'interprétation et de la composition musicales, où une partie de l'activité humaine a été remplacée par une machine.

**La musique en tant qu'informations et données** se concentre sur l'émergence des technologies d'enregistrement qui ont transformé le son musical en données, ainsi que sur les premiers instruments électroniques et l'utilisation d'ordinateurs pour générer de la musique de manière algorithmique par des pionniers tels que Lejaren Hiller, Iannis Xenakis, Pietro Grossi, Clarence Barlow et Gottfried Michael Koenig.

**Corps, esprit & machine** explore les interactions entre les musicien·nes et la technologie par le biais de la détection, des capteurs et de l'intelligence artificielle, en présentant des œuvres d'artistes qui ont intégré l'interaction dans leur processus créatif.

*Musica ex Machina: Machines Thinking Musically* vise à susciter une réflexion critique sur la manière dont les compositeur·trices ont systématiquement abordé la musique et sur la manière dont la technologie façonne notre compréhension de la musique et de l'expression créative.

---

## Playlist de l'exposition



# 1 Polyp

## 2022-2024

Installation sonore interactive :  
3 sphères de 40 cm ø en silicone  
et poils de yak, système edgeML.  
Système de nid : armature en fil  
de fer et poils de yak synthétiques.

---

## Marek Poliks & Roberto Alonso Trillo

Marek Poliks et Roberto Alonso Trillo sont des technologues créatifs, travaillant à Minneapolis et à Hong Kong respectivement.

*Polyp* se compose de trois sculptures en silicone qui entraînent en permanence des modèles audio basés sur les sons ambiants qui les entourent et qui, en retour, restituent les résultats en direct. Au fur et à mesure que l'installation progresse, ces appareils développeront une compréhension dynamique de leur environnement. Les artistes considèrent l'IA comme un processus de reproduction, une manière dont le matériau produit par les humains (et les non-humains) est consommé, mélangé et transformé en quelque chose de nouveau. Dans le cas des Polypes (et dans le cas de nombreux outils d'IA, à mesure qu'ils se développent dans le paysage technologique), il est difficile, voire impossible, de se soustraire à ce processus. Les Polypes interagissent avec le

public en modifiant leurs comportements sonores et lumineux. Ils téléchargent le matériau enregistré dans le cloud et répondent par des sons générés par l'apprentissage automatique qui ressemblent de plus en plus à ceux présents dans leur environnement immédiat. En outre, les Polypes interagissent les uns avec les autres, en partageant des données, en communiquant et en adaptant réciproquement leurs comportements.

Ces quatre dernières années, Marek Poliks et Roberto Alonso Trillo ont collaboré à des projets théoriques et artistiques explorant l'impact déterminant de la technologie sur la société. Leur travail se concentre sur l'informatique (en particulier l'apprentissage profond) et son impact sur la portée créative et la pensée politique.

# Représentation symbolique de la musique en ton et en temps

Cette section explore les contributions essentielles de Guido d'Arezzo et de Johannes de Muris à la représentation symbolique du ton et du temps de la musique. Leurs innovations ont posé les bases de la notation musicale moderne, permettant une communication précise des idées musicales à travers les générations. Au début de la musique occidentale, la stabilisation du concept de ton était cruciale pour le développement musical.

Le système de solmisation de d'Arezzo (ut-re-mi-fa-sol-la), qui a évolué vers le solfège actuel, a joué un rôle déterminant dans ce processus. Le travail de de Muris a fourni une approche systématique similaire de la notation des aspects temporels de la musique, permettant une plus grande précision des schémas rythmiques. C'est un développement essentiel de la période de l'*Ars Nova* (c. 1300–1399), qui a favorisé le développement de formes musicales plus sophistiquées.

Ensemble, ces innovations représentent une avancée significative dans la codification de la musique, facilitant la manipulation algorithmique des éléments musicaux. Elles constituent la base de la notation musicale occidentale et sous-tendent l'évolution de la pensée et de la pratique musicales.

## 2

## La Main guidonienne

La Main guidonienne était un moyen mnémotechnique utilisé dans l'enseignement de la musique au XII<sup>e</sup> siècle, du nom de son inventeur, Guido d'Arezzo (vers 991–après 1033). Guido d'Arezzo était un théoricien de la musique novateur dont les contributions ont révolutionné la façon dont la musique était enseignée, écrite et comprise. Né dans la ville d'Arezzo en Italie, Guido est entré très jeune dans un monastère bénédictin où sa passion pour la musique et l'éducation s'est développée. Ses écrits sont devenus un élément fondamental de l'éducation musicale médiévale, et ses innovations restent essentielles pour la pratique moderne.

### 2.1

### *Ut queant laxis & la Main guidonienne*

### Début du XVI<sup>e</sup> siècle

Reproduction numérique. Taille originale : 15.7 × 10.5 × 3.6 cm  
Bodleian Library MS. Canon. Liturg. 216, avec l'aimable autorisation de Bodleian Libraries, Université d'Oxford. Chant avec animation digitale, en boucle.  
Chant & transcription : Ivo Haun.  
Enregistrement & montage : Elam Rotem. Design d'animation digitale : Shiro Beta.

L'utilisation de la Main s'est répandue au cours des siècles comme en témoigne cette copie agrandie du XVI<sup>e</sup> siècle, tirée d'un livre de chœur franciscain italien.

Cet outil innovant permettait aux chanteurs de localiser les tons et de comprendre les intervalles musicaux. Chaque articulation et bout de doigt correspondait à une note spécifique du système hexacorde (gamme de six notes), ce qui facilitait la navigation dans la mélodie et la mémorisation de celle-ci.

L'animation des notes de musique présentée ici suit le chant *Ut queant laxis*, l'hymne religieux qui a inspiré Guido d'Arezzo à nommer les notes de l'hexacorde.

Cette installation met à la fois en exergue l'ingéniosité de Guido d'Arezzo et la nature collaborative de l'étude de la musique médiévale. La Main guidonienne a marqué un changement significatif de l'éducation musicale basée sur des traditions orales moins structurées. Son impact s'est étendu bien au-delà de son utilisation initiale, influençant la notation musicale et la pédagogie pendant des siècles.

Elle a fourni un système structuré pour la compréhension et l'instruction des concepts musicaux, permettant une communication plus précise des idées musicales et facilitant le développement de compositions polyphoniques plus complexes.

## 2.2 La notation de Guido d'Arezzo

## Vers 1025–1026

Reproductions numériques: *Micrologus* (MSR-05, folio 91r), *Prologus in antiphonarium* (MSR-05, folio 97r), *Epistola ad Michahalem* (MSR-05, folio 99r). Guido d'Arezzo. Alexander Turnbull Library, Wellington, Nouvelle-Zélande.

Les trois reproductions numériques présentent des extraits d'explications par Guido d'Arezzo sur le développement de son système innovant de solmisation, devenu le solfège occidental actuel. Ses écrits ont été largement diffusés; les pages présentées ici proviennent d'une copie plus tardive dont on sait qu'elle a été utilisée au prieuré de la cathédrale Christ Church à Canterbury, en Angleterre, au XII<sup>e</sup> siècle.

Dans son traité intitulé *Micrologus de disciplina artis musicae* datant d'environ 1026, Guido d'Arezzo expose le principe de l'utilisation des six premières lettres de l'alphabet comme noms de notes. Cette page manuscrite montre comment elles sont associées à des mots, mais aussi comment deux voix peuvent se déplacer indépendamment l'une de l'autre. Ce concept de polyphonie – la simultanéité de différentes voix musicales – deviendra fondamental pour la musique d'art occidentale au cours du millénaire suivant.

Le *Prologus*, ou prologue, provient de l'*Antiphoner perdu* de Guido d'Arezzo (1025) – un livre de chants notés à l'aide du nouveau système qu'il décrit ici. Jusqu'à présent, les chants étaient notés sur trois ou quatre lignes en utilisant uniquement les lignes elles-mêmes et sans référence de ton commun. Afin d'uniformiser la notation, d'en faciliter la compréhension et d'établir des références communes de ton, Guido propose d'utiliser l'espace ainsi que les lignes des portées à quatre lignes. Les hauteurs représentées par les lignes sont donc espacées d'une tierce (e g b d), de même que les espaces. De plus, un symbole en début de ligne – notre clef moderne – indique la hauteur de référence. Avec l'ajout d'une cinquième ligne un siècle plus tard, ce système est encore utilisé aujourd'hui. Guido le décrit ainsi:

«Les sons sont donc disposés de telle sorte que chacun d'entre eux, même s'il se répète souvent dans une mélodie, se trouve toujours dans sa propre rangée. Et pour mieux distinguer ces rangées, des lignes sont tracées à proximité les unes des autres, et certaines rangées de sons se trouvent sur les lignes elles-mêmes, d'autres dans les intervalles ou les espaces intermédiaires. Les sons d'une même ligne ou d'un même espace se ressemblent alors tous. Et pour que vous puissiez également comprendre à quelles lignes ou à quels espaces chaque son appartient, certaines lettres du monocorde sont écrites au début des lignes ou des espaces, et les lignes sont également parcourues en couleurs, indiquant ainsi que dans l'ensemble de l'antiphonaire et dans chaque mélodie, les lignes ou les espaces qui ont une seule et même lettre ou une seule et même couleur, quel que soit leur nombre, sonnent de la même manière tout au long, comme si elles étaient toutes sur une seule ligne.»\*

La dernière page manuscrite exposée, une lettre écrite par Guido à son ami le frère Michel (*Epistola ad Michahalem*), décrit une méthode qu'il a mise au point pour accélérer l'enseignement de nouveaux chants aux enfants de chœur. Son secret est le chant *Ut queant laxis* (hymne à saint Jean-Baptiste), dans lequel chaque phrase commence un ton plus haut (Ut..., re(sonare)..., mi(ra)..., fa(muli)..., sol(ve)..., la(bii)....). Nous le retrouvons aujourd'hui, un millénaire plus tard, dans le do-re-mi du solfège occidental.

\*Traduction originale en anglais par Oliver Strunk (1965), *Source Readings in Music History*. vol.1, 118–119.

## 2.3 Les notes de l'hexacorde

## 2024

Application interactive avec enregistrement du chant. Voix: Ivo Haun. Enregistrement et édition: Elam Rotem. Animation: Shiro Beta. Reproduction numérique de la Main guidonienne: Bodleian Library, MS. Canon. Liturg. 216, avec l'autorisation de Bodleian Libraries, Université d'Oxford.

Guido d'Arezzo a inscrit les 22 notes de l'hexacorde sur chaque articulation et extrémité des doigts, en forme de spirale. La 22<sup>e</sup> a d'ailleurs été placée à

l'arrière du majeur. La première note, *ut*, se lit sur le bout du pouce. Les notes se poursuivent ensuite le long des doigts et de la main.

## 3 Libellus cantus mensurabilis

## Vers 1340

Reproduction numérique du manuscrit original. MS 410, Folio 37v/38r, The Parker Library, Corpus Christi College, Cambridge.

## Johannes de Muris

(1290–env. 1355) était un mathématicien français, astronome et théoricien de la musique.

De Muris a été un contributeur fondamental du mouvement *Ars nova* du XIV<sup>e</sup> siècle et de la création musicale qui en a découlé. Ces pages manuscrites proviennent de son livre «de chant mesuré», où le temps est mesuré. Elles présentent la notation rythmique de l'*Ars nova*, très reconnaissable et encore utilisée de manière conventionnelle. Dans le cadre d'un système proportionnel basé sur des relations «parfaites» (triples) et «imparfaites» (doubles), de Muris établit sa notation en utilisant des «lungo», «breve», «semibreve» (notre note entière moderne) et «minim» (notre demi-note), la valeur la plus courte.

# Polyphonies

La polyphonie, combinaison simultanée de deux ou plusieurs lignes mélodiques, atteint le sommet de sa complexité à la fin du Moyen Âge et à la Renaissance. Les objets présentés ici explorent le développement de la polyphonie musicale primitive ainsi que la pensée et les outils algorithmiques qui en ont découlé. La polyphonie et le principe de contrepoint reposent sur l'invention d'un ensemble de règles complexes qui décrivent comment les notes peuvent être combinées pour assurer le traitement de la dissonance et, plus tard, de l'harmonie. Des compositeurs comme Baude Cordier et Josquin des Prez ou des théoriciens comme Pedro Cerone ont repoussé les limites de la composition musicale, employant des techniques avancées pour tisser des voix indépendantes dans des structures harmonieuses. Cette période a également vu l'introduction d'outils et de méthodes innovants, tels que l'ardoise de polyphonie pour le calcul des intervalles musicaux et les processus algorithmiques à l'origine d'œuvres telles que la *Missa Di dadi* de Josquin des Prez. L'invention de l'*Arca Musarithmica* par Athanasius Kircher reflète les débuts de la pensée computationnelle en musique. Le dispositif permettait aux utilisateur-trices de créer de la musique polyphonique en sélectionnant des segments pré-composés.

Cet ensemble d'artefacts mettent en lumière l'évolution de la musique polyphonique et du contrepoint. Ils montrent comment les compositeur-trices s'ont utilisé à la fois l'intuition artistique et les méthodologies scientifiques pour créer des compositions complexes à plusieurs voix.

## 4 Belle, Bonne, Sage – Tout par compas

Vers 1400

Reproduction numérique du manuscrit original, *Codex Chantilly*. Avec l'aimable autorisation du Château de Chantilly, Musée Condé, manuscrit 564, f. 11v. Bibliothèque du château de Chantilly. Musiques: *Belle, Bonne, Sage*, 2:22 mins. *Tout par compas*, 3:54 mins.

### Baude Cordier

(v. 1380–v. 1440) était un compositeur et poète français de la fin de la période médiévale.

La double page exposée offre à voir deux des plus belles œuvres de Baude Cordier. Sur la page de gauche, la chanson d'amour *Belle, Bonne, Sage* dédiée à une noble dame. Sous la forme d'un rondeau, un style lyrique de la poésie française, l'auteur fait l'éloge de la beauté, de la bonté et de la sagesse de la bien-aimée, des qualités très appréciées dans la tradition de l'amour courtois de l'époque médiévale. La combinaison de paroles poétiques, d'une structure musicale complexe et d'une notation symbolique illustre la sophistication et l'élégance du style *Ars Subtilior* de l'époque. La particularité de ce manuscrit est sa notation unique élaborée en forme de cœur ; une représentation visuelle qui complète le thème romantique de l'œuvre. Chaque note est méticuleusement placée dans les contours du cœur, ce

qui fait du manuscrit non seulement une partition musicale mais également une œuvre d'art visuel à part entière.

Cette complexité graphique reflète la subtilité de la pensée musicale, rendue possible par la nouvelle notation symbolique. Par exemple, elle permet à un-e compositeur-trice d'imaginer la subdivision du temps par 2 et 3 (et leurs multiples) en même temps, comme c'est le cas dans la pièce ci-contre, *Tout par compas suy compose*. On peut y voir une anticipation des pratiques assistées par ordinateur des dernières décennies, comme dans les partitions complexes de compositeurs tels que Brian Ferneyhough.

Cet objet rare et précieux met en lumière le talent et la créativité exceptionnels de Baude Cordier et donne un aperçu de la richesse artistique et culturelle de la fin du Moyen Âge.

## 5 Ardoise pour polyphonie

Vers le XV<sup>e</sup> siècle

Ardoise avec notation musicale: argile, 12.3×5.9×0.9 cm. Avec l'aimable autorisation de la ville de Gand, Service d'archéologie urbaine et de conservation du patrimoine.

Cette ardoise, découverte en 1993 lors de fouilles sur la Sint-Baafsplein à Gand, servait de tablette effaçable pour écrire de la musique, à la manière d'un cahier réutilisable. Elle présente une mélodie de ténor sur une portée de cinq lignes, probablement une section d'un chant ou d'un *cantus firmus* (un chant ecclésiastique fixe pré-existant utilisé comme base pour de nouvelles compositions).

Au XVI<sup>e</sup> siècle, les compositeurs maîtrisaient la création d'œuvres polyphoniques complexes, telles que des motets et des messes, sans utiliser de partition. Une grande partie de la composition était exécutée mentalement avec un minimum de notation, et l'œuvre finale était présentée dans des livres de parties, chaque chanteur ne voyant que sa propre ligne. Cette méthode consistait à reprendre une section du

*cantus firmus* ou à créer une nouvelle phrase musicale (une « pointe ») et à imaginer des phrases compatibles (« contrepoint »). La polyphonie de la Renaissance, qui atteint son apogée avec des compositeurs comme Josquin des Prez et Palestrina, utilise des procédés formels tels que l'imitation, la transposition, l'inversion, la diminution et l'augmentation du temps.

Sans vision globale de l'œuvre, les compositeurs devaient imaginer mentalement les séquences de notes et

de rythmes et les processus qu'elles devaient subir pour aboutir à une forme complète. D'aucuns considèrent qu'il s'agit d'un processus algorithmique. Les compositeurs utilisaient des tablettes effaçables comme cette ardoise ou des tablettes de cire (« cartella ») pour noter, examiner et enseigner ces matériaux musicaux et leurs combinaisons. Cette ardoise a probablement servi à ces fins éducatives et compositionnelles lors de sa dernière utilisation.

## 6 *Enigma del Espejo*

1613

Dans *El melopeo y maestro*, publié à Naples.  
Livre : 33 × 23 × 10 cm.  
Orpheus Instituut, Gand

## Pedro Cerone

(1566–1625) était un prêtre italien, théoricien de la musique et compositeur travaillant à la cour hispanophone de Naples, puis en Espagne.

*El melopeo y maestro* (Le faiseur de chants et le maître) est le traité complet de Cerone qui couvre un large éventail de sujets liés à la théorie musicale, à la composition, à l'interprétation et à la musique liturgique de l'époque. S'étendant sur plus de 1000 pages, le traité fournit, parmi tant d'autres sujets, des informations précieuses sur les fondements théoriques de la polyphonie de la Renaissance. Il informe également sur les pratiques de la musique vocale sacrée en usage dans les églises et les cours espagnoles et italiennes du début du XVII<sup>e</sup> siècle.

Dans la dernière partie de son traité, Cerone présente un recueil d'énigmes musicales, généralement connues sous le nom de canons « énigmatiques » ou « casse-tête ». Elles vont de l'imitation directe à des motets plus complexes faits de plusieurs sections et plusieurs parties. Cerone donne des indices ludiques sur la manière dont les lecteur-trices peuvent construire un mouvement entier, nécessitant à la fois une connaissance du style musical et un processus de jeu algorithmique pour imaginer comment l'œuvre pourrait être complétée. Dans de nombreux cas, il présente les énigmes sous

des formes inventives – une croix, une main lançant des dés, une paire de serpents et même un éléphant. Dans *Enigma del espejo*, ou Énigme du miroir, ce dernier est l'indice. En effet, la page affichée exige la résolution simultanée de deux lignes rétrogrades, c'est-à-dire lorsque plusieurs voix chantent la même musique à des moments différents mais que certaines d'entre elles lisent leur partie à l'envers. La lecture d'une phrase musicale à l'envers (« rétrograde ») est un élément conventionnel du répertoire technique polyphonique. Ici, le ou la soliste doit lire la page dans un miroir pour comprendre comment l'œuvre à quatre voix peut fonctionner. Cerone donne l'indice suivant pour son énigme :

« D'abord, vous chanterez comme vous la voyez ;  
Deuxièmement (et d'un pas rapide)  
Au fidèle miroir, qui souhaite vous montrer  
Où, quand et comment vous devez chanter.  
Et la clé de ce nouveau jeu  
Sera en Do, dans les basses ».

## 7 *Je Missa Di dadi*

Vers 1480

Dans *Missarum Josquin Liber Tertius*. Publié par Ottavino Petrucci, Venise, 1514.  
Reproduction numérique.  
Dimensions d'origine : 16 × 22,5 cm.  
SA.77.C.20/Liber III/Tenor, fol. 28v-29r, avec l'aimable autorisation de ÖNB Vienne.

## Josquin des Prez

(env. 1450–1521) était un compositeur franco-flamand de la Renaissance.

Dans *Missa Di dadi*, Josquin des Prez a recours à un élément bien connu : la mélodie *N'aray je jamais mieulx* (« n'aurais-je jamais mieux ») du compositeur anglais Robert Morton (env. 1430–1479). Des Prez semble utiliser des jets de dés pour déterminer les relations temporelles entre la mélodie de Morton comme *cantus firmus* du ténor (présenté ici) et les trois autres voix. Le chanteur ténor doit calibrer la vitesse de sa partie selon ce ratio pour la faire tenir. Ainsi, dans le *Kyrie* initial (prière chantée importante de la liturgie chrétienne), le ténor doit chanter à la moitié de la vitesse des autres (2:1).

Les théories abondent quant à la signification des dés – une référence aux

jeux de hasard à la cour des Sforza à Milan où des Prez travaillait, ou plutôt à la numérogie. Il est intéressant de noter que des Prez fait part des contraintes qu'il s'imposait pour son travail, et il le fait dans une forme abstraite ; une action quasi formaliste qui perd l'auditeur-trice, sans indication ni vision de la musique. Cette œuvre a eu une importance majeure pour les compositeur-trices de la fin du XX<sup>e</sup> siècle qui ont eu recours à des opérations de hasard et de la coexistence de multiples chemins possibles, que Josquin des Prez ait ou non réellement utilisé des dés dans son processus de composition.

## 8 *Missa L'homme armé super voces musicales – Agnus II* 1502, 2024

Publié par Ottavino Petrucci.  
Partition annotée par Jonathan Impett.

## Josquin des Prez

(env. 1450–1521) était un compositeur franco-flamand de la Renaissance.

Connu pour sa virtuosité technique, Josquin des Prez a acquis la réputation de maître du style polyphonique de la Renaissance. Il a introduit une pratique d'imitation de petits motifs mélodiques, créant ainsi un champ de développement plus large que l'accent mis auparavant sur les lignes mélodiques plus longues.

Au lieu de prendre un *cantus firmus* (un passage fixe et préexistant du chant ecclésiastique utilisé comme base

d'une nouvelle composition) dans le corpus du chant grégorien, les compositeurs ont parfois pris des mélodies connues qui permettaient un traitement contrapuntique similaire. *L'homme armé* est l'une d'entre elles, utilisée comme base de messes par de nombreux compositeurs, du compositeur franco-flamand Busnois à la fin du XV<sup>e</sup> siècle (qui en est peut-être l'auteur), à la messe monumentale à 12 voix du compositeur italien Carissimi au milieu du XVII<sup>e</sup> siècle.

La seconde mise en musique du texte *Agnus Dei* de la *Missa L'homme armé super voces musicales* de Josquin des Prez démontre clairement l'utilisation d'une seule mélodie soumise aux processus essentiels d'une telle polyphonie contrapuntique, dans une construction étroite à trois parties. La mélodie apparaît dans sa forme la plus lente dans la voix centrale d'alto. Autour d'elle, la basse et le soprano présentent

exactement le même élément, mais décalé de cinq pas vers le bas/quatre vers le haut. La basse se déplace deux fois plus vite que l'alto, le soprano un tiers, tout en se conformant aux règles strictes du mouvement polyphonique et de l'alignement harmonique. Cette construction stricte est connue sous le nom de « canon de mensuration », et est décrite par Pietro Cerone (installation n°6).

## 9 Six représentations 2024 de la musique

Musique : Franz Schubert  
4 *Impromptus*, D. 899,  
Op 90 No. 3 en sol bémol majeur,  
06:04 mins.  
Laboratoire de musicologie  
numérique et cognitive (DCML),  
EPFL.

## EPFL-DCML

Bien que la musique soit associée au son, elle existe sur différents supports, chacun avec ses propres modalités d'interaction, des manuscrits aux partitions, en passant par l'enregistrement audio, des représentations de partitions lisibles par ordinateur, les partitions gravées numériquement ou même les programmes informatiques qui décrivent et recréent des morceaux de musique. Six de ces formes de descriptions musicales sont présentées dans cette installation.

Les partitions (1) ou les manuscrits (2) ne rendent pas compte de la manière dont un morceau de musique sonne, mais représentent soit des actions pour les interprètes, soit des effets musicaux abstraits à interpréter par le son. En l'occurrence, la notation musicale sur le manuscrit commence par l'indication « No. III » dans la marge gauche de la feuille; elle est précédée par la fin de l'*Impromptu* précédent dans le cycle de Schubert.

Lorsque les partitions musicales sont représentées numériquement (3), ces informations sont traduites dans un format lisible par ordinateur.

Le « rouleau de piano » (4) représente les événements des notes dans le temps sous la forme d'un « canevas » bidimensionnel de temps et de hauteur.

Le rouleau représente chaque note par un rectangle perforé qui indique son ton (hauteur), son moment d'apparition et sa durée. Les rouleaux de piano étaient à l'origine utilisés comme support d'enregistrement et sont aujourd'hui adoptés dans les modèles informatiques d'analyse et de composition musicales.

Les représentations audio de la musique (5), telles que les formes d'ondes ou les spectrogrammes, permettent l'analyse et la manipulation avec les technologies d'enregistrement audio. Enfin, un morceau peut être (re)généralisé par un algorithme (6) basé sur des règles données, appliquées de manière déterministe ou probabiliste et exécutées par un humain ou une machine.

Cette installation met en lumière les avancées technologiques et les changements culturels qui ont façonné la manière dont la musique est écrite, manipulée et comprise au fil des siècles. De la notation ancienne aux formats numériques modernes, ce voyage chronologique illustre le croisement permanent de la musique et de la technologie, offrant de nouveaux outils et de nouvelles perspectives aux musicien·nes et aux compositeur·trices.

# 10 Athanasius Kircher

Athanasius Kircher (1602–1680) était un érudit jésuite et polymathe allemand, dont les travaux couvraient des domaines tels que la géologie, la médecine et la théorie musicale. Réputé pour sa capacité à synthétiser des connaissances issues de divers domaines, Kircher est une figure clé de l'histoire des sciences et de la musique. Son œuvre majeure, *Musurgia Universalis* (1650), couvre un large éventail de sujets musicaux, des fondements mathématiques de la musique à l'histoire des instruments de musique. Kircher a appliqué des méthodes algorithmiques et combinatoires à la théorie musicale. Créateur de dispositifs tels que l'*Arca Musarithmica* – une machine primitive à faire de la musique qui a démontré le potentiel de la composition algorithmique – il a été un pré-

curseur de la musique computationnelle moderne.

La fascination de Kircher pour l'acoustique et les propriétés physiques du son l'a conduit à des études poussées sur l'écho, la résonance et la conception des instruments de musique. Il croyait en une harmonie universelle qui reliait la musique à l'ordre cosmique et divin, mêlant les perspectives mystiques et scientifiques. Ses travaux de Kircher ont apporté une vision globale de la musique en tant qu'art et science, influençant les générations futures d'érudit·es et de compositeur·trices. Ses contributions mettent en lumière les premiers croisements entre la technologie, la science et les arts, ouvrant la voie aux futures explorations de la musique algorithmique et computationnelle.

## 10.1 Arca Musarithmica

### 1650

Illustration dessinée à la main. Reproduction numérique. Dans *Musurgia Universalis* de A. Kircher. Sp Coll Ferguson Af-x.10, avec l'aimable autorisation des archives et collections rares de l'Université de Glasgow.

L'*Arca Musarithmica*, une boîte d'arithmétique musicale, décrite dans *Musurgia Universalis* de Kircher (installation 10.3), est l'un des premiers dispositifs de calcul pour la composition musicale automatisée. L'illustration de l'*Arca Musarithmica* par Kircher lui-même peut être admirée ici. Sur le couvercle et la face avant est inscrite une taxonomie complète des échelles, des modes et de leurs caractéristiques, ainsi que des illustrations d'instruments anciens, ceux de la Grèce et de l'Égypte, tels que les concevait Kircher. À l'intérieur du coffre se trouvent des éléments qui peuvent être retirés et combinés. Chaque élément est marqué de son mètre poétique et du nombre de syllabes, de la gamme qu'il utilise et du fait qu'il soit « floride » ou simple. Les utilisateur·trices pouvaient ainsi combiner ces éléments pour produire une partition vocale à quatre voix selon le texte choisi.

Cette « boîte de calcul musical » permettait même à qui n'avait pas de connaissance musicale de composer de la musique complexe en suivant les règles de Kircher. Elle contenait des tables et des lamelles avec des permutations préétablies de nombres et de rythmes, que les utilisateur·trices combinaient pour générer des compositions à quatre voix dans différents styles.

Kircher prétendait que l'appareil pouvait produire de la musique que les professionnel·les reconnaîtraient comme correcte et expressive. Ses contemporains jésuites ont répandu l'influence de l'*Arca Musarithmica* dans le monde entier, des preuves de son utilisation et de ses adaptations ayant été trouvées jusqu'à Manille et Mexico. Aujourd'hui, il n'en existe plus que trois exemplaires en Europe et un au Mexique, toutes devenues

très fragiles avec le temps et impossibles à présenter ici.

L'*Arca Musarithmica* représente une intersection fascinante entre la théorie de la musique, les mathématiques combinatoires et les premières

idées informatiques. Il met en lumière l'esprit d'innovation du XVII<sup>e</sup> siècle et la quête de Kircher pour codifier l'ordre mathématique qui sous-tend la composition musicale.

à eau, alimenté par le flux de l'eau, générant la musique des animaux et des dieux. Cette illustration montre comment la musique relie les mondes matériel et spirituel par des moyens techniques précis.

*Musurgia Universalis* témoigne du savoir encyclopédique de Kircher et de son engagement à synthétiser divers domaines d'étude. Il reste une référence essentielle pour les spécialistes de l'histoire et de la théorie de la musique, offrant une fenêtre sur les courants intellectuels et artistiques du XVII<sup>e</sup> siècle.

## 10.2 *Neue Hall- und Thon-Kunst*

1673

Livre, 35.5×23×4.5 cm.  
Orpheus Instituut, Gand.

Le *Neue Hall- und Thon-Kunst* (Nouvel art de l'acoustique et du son) de Kircher est une exploration des propriétés acoustiques et des technologies du son. Kircher se penche sur les mécanismes de la production et de la propagation du son, comblant ainsi le fossé entre l'acoustique théorique et les applications musicales pratiques.

*Neue Hall- und Thon-Kunst* présente des analyses et des descriptions détaillées d'instruments de musique, de l'acoustique architecturale et des techniques d'amplification du son. Ses recherches comprennent des discussions sur la conception d'espaces pour une diffusion optimale du son et la

construction d'appareils qui manipulent les ondes sonores. Ces études sont complétées par des diagrammes et des illustrations qui donnent un aperçu de la mise en œuvre pratique de ses théories.

L'œuvre de Kircher se distingue par son approche novatrice de la compréhension du son, combinant observations empiriques et constructions théoriques. Ce texte reflète non seulement la curiosité scientifique de l'époque baroque, mais sert également de précurseur à la science acoustique moderne, influençant les développements ultérieurs de la technologie musicale et de l'étude du son.

## 10.3 *Musurgia Universalis*

1650

Reproductions numériques de planches illustrées. Sp Coll Ferguson Af-x.10, avec l'aimable autorisation des archives et collections rares de l'Université de Glasgow.

*Musurgia Universalis*, ou Musique universelle, de Kircher est l'un des ouvrages les plus complets sur la théorie et la pratique de la musique au XVII<sup>e</sup> siècle, connu pour ses illustrations et ses diagrammes inventifs. Trois de ces illustrations sont exposées.

La première illustration, intitulée *L'harmonie de la naissance du monde*, représente un orgue cosmique avec six registres correspondant aux jours de la création. Sous le clavier, on peut lire l'inscription suivante : « Ainsi joue la sagesse du Dieu éternel dans l'orbe terrestre ». Cette inscription reflète la croyance de Kircher dans le lien fondamental entre la musique et l'essence de l'univers, une idée enracinée dans la théorie musicale de la Grèce antique

et développée dans *L'harmonie des sphères* par des cosmologistes-astrologues tels que Johannes Kepler.

La seconde illustre un orgue automatisé doté d'un baril rotatif et de chevilles saillantes pour jouer les touches. À gauche, des automates humanoïdes travaillent sur une enclume, en référence à la théorie des intervalles de Pythagore. À droite, des humains dansent sur la musique de l'univers, avec l'inscription, « Dieu aime les nombres impairs. Alors tous chantent les louanges de Dieu avec une chanson triple ».

Enfin, la troisième et dernière illustration présente un autre mécanisme d'orgue (considéré comme le roi des instruments) : un « hydraulis » ou orgue

# Géométries musicales

Cette partie de l'exposition rassemble différentes manières de conceptualiser les espaces et les relations entre les tons dans la musique : elle présente le *Tonnetz* («réseau tonal») tel qu'il a été établi pour la première fois par Leonhard Euler dans son traité sur la musique, ainsi qu'une version ultérieure de la même idée par Otokar Hostinsky. Elle présente également le premier compte rendu historique du cercle des quintes (intervalles entre deux notes, séparées de cinq degrés), qui reste l'un des principaux moyens de conceptualiser les relations entre les tons, les accords et les tonalités. En outre, cette section met en lumière deux géométries moins célèbres : le *cercle couleur-son en 12 parties* de J. M. Hauer, ainsi qu'un cercle tonal différent dessiné par John Coltrane, qui démontre l'application durable de ce concept. La section se termine par quatre animations d'analyses musicales basées sur les recherches actuelles du Laboratoire de musicologie numérique et cognitive de l'EPFL, impliquant le *Tonnetz*, des arbres harmoniques hiérarchiques, des réseaux de relations tonales et un nuage 3D de relations entre les segments musicaux.

11

## Musikalisches Würfelspiel

1792, 2024

Logiciel pour application interactive : Alexander M. Aguilar.  
Direction de projet : Martin Rohrmeier, Ioannis Rammos.

### W. A. Mozart [?]

Probablement composé par Mozart, le *Musikalisches Würfelspiel* (Jeu de dés musical) est un exemple de composition algorithmique précoce publié dans diverses versions depuis 1792. Il permet aux joueur·euses de créer un menuet unique (forme de danse musicale issue de l'ère baroque) en lançant deux dés et en sélectionnant les fragments de musique correspondants parmi 176 mesures pré-composées qui sont fournies dans une grille numérotée. Chaque mesure peut ainsi être précédée ou suivie par d'autres fragments, ce qui permet d'obtenir un nombre pratiquement infini de compositions possibles.

Le jeu de dés n'est pas seulement un agréable passe-temps musical, mais

aussi un exemple précoce de musique générative, démontrant la créativité ludique de son créateur. Il s'agit de deux tables de 16 rangées chacune. Le joueur ou la joueuse lance une paire de dés pour sélectionner une mesure dans chaque tableau. L'imbrication de ces sélections aboutit à un menuet cohérent et stylistiquement homogène. Ce jeu musical historique reflète la fascination du siècle des Lumières pour les probabilités et la combinatoire, mêlant l'art et les mathématiques d'une manière qui préfigure la musique algorithmique moderne, générée par ordinateur. L'application interactive présentée dans cette installation est une réincarnation numérique du jeu de dés.

12

## Tentamen novae theoriae musicae

1739

Livre, 25.5×19.5×3 cm.  
Prêt de la bibliothèque de l'EPFZ,  
Livres rares, Rar 5162.

### Leonhard Euler

(1707–1783) était un mathématicien et physicien suisse.

Leonhard Euler est surtout connu pour ses travaux novateurs, notamment en calcul intégral, en théorie des graphes et en théorie des nombres. L'identité d'Euler,  $e^{i\pi} + 1 = 0$ , est considérée comme la plus belle des formules mathématiques. C'est peut-être en raison de cette sensibilité esthétique qu'Euler s'est intéressé toute sa vie à la musique et qu'il a appliqué des principes mathématiques à l'étude de la théorie musicale.

En 1739, Euler écrit *Tentamen novae theoriae musicae* (Tentative d'une nouvelle théorie de la musique), l'un de ses rares ouvrages consacrés spécifiquement à la musique. Dans son traité, il aborde des concepts musicaux tels que la subdivision des octaves en parties

fractionnaires d'un point de vue mathématique, en introduisant des idées telles que les logarithmes binaires pour décrire numériquement ces relations.

L'installation présente une contribution centrale de ce traité qui est toujours d'actualité pour la théorie de la musique et les formalismes musicaux : le *Tonnetz*. Le «réseau de tons» tel que développé par Euler est fondé sur une théorie de «l'intonation juste» et permet de représenter les relations entre les différents tons de manière géométrique bidimensionnelle, sous la forme d'un espace composé d'intervalles musicaux. En outre, l'espace est construit à partir des intervalles de quinte et de tierce.

Bien que critiqué pour son approche mathématique considérée trop

technique pour les musicien·nes, Euler a vu le potentiel d'intégrer formellement la théorie musicale dans les mathématiques. Son travail pionnier

dans l'application de concepts numériques à la théorie musicale a préfiguré certains développements ultérieurs dans ce domaine.

## 13 *Le Cercle des quintes*

1679

Reproduction numérique, copie du fac-similé original. Public Library of New York

### Nikolay Diletsky

(v. 1630–v. 1680) était un compositeur, théoricien de la musique et chef de chœur d'Europe de l'Est.

Le Cercle des quintes de Diletsky représente l'un des premiers témoignages connus de cette structure théorique aujourd'hui essentielle pour la musique tonale. Introduit pour la première fois dans son traité *Grammatika Musikiyskago Peniya* (Grammaire du chant musical), publié en 1679, le *Cercle des quintes* est une représentation visuelle qui illustre la relation entre les différents tons, accords ou tonalités de la musique occidentale, en les organisant dans un ordre cyclique de 12 étapes de quintes. La quinte constitue la relation principale de ce que l'on appelle les progressions authentiques ou plagales (quintes descendantes ou ascendantes

respectivement), qui sont fondamentales tout au long de l'histoire de la musique tonale occidentale jusqu'à nos jours.

L'utilisation du Cercle des quintes par Diletsky était révolutionnaire pour l'époque, influençant de manière significative le développement de la théorie musicale en Europe de l'Est, en particulier en Russie et en Ukraine. Il proposait une approche systématique de la compréhension de la tonalité musicale. Son diagramme ne se contente pas de représenter les tonalités majeures, mais intègre également les tonalités mineures, offrant ainsi une vue d'ensemble du paysage tonal.

## 14 *Die Lehre von den musikalischen Klängen*

1879

Copie numérique. Avec l'aimable autorisation de New York Public Library. Publication originale par H. Dominicus, Prague, 1879

### Otakar Hostinsky

(1847–1910) était un musicologue tchèque de renom, théoricien et professeur d'esthétique musicale.

*Die Lehre von den musikalischen Klängen* (La doctrine des sonorités musicales) est un texte fondateur dans les domaines de la théorie musicale et de l'harmonie. Le traité d'Hostinsky explore les propriétés des sons et de l'ouïe, la série harmonique, les intervalles musicaux, la consonance et la dissonance, la mélodie, et aboutit à une proposition de doctrine de l'harmonie (*Akkordlehre*).

L'exposition présente la version d'Hostinsky d'une structure de réseau musical reliant les noms de notes. Elle permet de retracer le mouvement

harmonique dans les compositions musicales sous la forme d'un chemin le long du réseau. La structure est similaire au *Tonnetz* d'Euler, mais son arrangement est hexagonal.

La publication de cet ouvrage à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle marque une évolution importante dans l'étude de la musique, influençant les recherches ultérieures en théorie musicale et en acoustique. *Die Lehre von den musikalischen Klängen* comble le fossé entre les aspects techniques et artistiques de la musique. Les idées d'Hostinsky sur les fondements scientifiques du son

musical ont jeté les bases des études acoustiques modernes et continuent d'inspirer les explorations théoriques et pratiques dans le domaine de la musique. Ce travail reflète la capacité

d'Hostinsky à synthétiser les connaissances entre les différentes disciplines, ce qui en fait une figure centrale dans le développement de la théorie musicale et de l'acoustique.

## 15 *12-part Colour-Sound Circle*

1919

Fac-similé, papier de couleur collé, encre, crayon sur papier, 34×21 cm. Avec l'aimable autorisation de mumok – Museum moderner Kunst Stiftung Ludwig Wien, Sammlung Dieter und Gertraud Bogner im mumok.

### Josef Matthias Hauer

(1883–1959) était un compositeur et théoricien de la musique autrichien.

Le Cercle de couleurs et de sons en 12 parties (titré à l'origine, *12-teiliger Farb-Klang-Kreis*) de Hauer est une exploration pionnière des relations synesthésiques entre la musique et les arts visuels. La synesthésie est un phénomène neurologique où le cerveau mélange deux ou plusieurs sens. Inspiré par les œuvres du peintre et enseignant d'art Johannes Itten, Hauer a attribué des couleurs spécifiques aux touches du cercle de quintes et de quarts, représentant les douze tons de la gamme chromatique. Cette représentation visuelle des relations musicales sert à la fois d'outil de composition et de reflet des idées philosophiques de Hauer sur les liens entre la musique et d'autres expériences sensorielles.

L'approche de la musique dodécaphonique (12 sons) de Hauer met l'accent sur des aspects spirituels et

intuitifs, à la différence de ses contemporains tels qu'Arnold Schönberg. Il a mis au point un système unique de notation sur huit lignes de portée pour ses « modes » dodécaphoniques, permettant de nouvelles façons de manipuler le matériau musical dans son univers harmonique.

Ce fac-similé donne un aperçu du cadre théorique de Hauer et de ses contributions à la théorie musicale moderne. Il met en lumière son point de vue sur l'interaction entre les modalités artistiques et sensorielles, soulignant sa conviction que la musique est un langage universel. Le Cercle de couleur et de sons demeure un outil important pour comprendre, l'approche novatrice de Hauer en matière de composition musicale, ses efforts pour allier l'art auditif au visuel, et ses contributions à la théorie musicale et à la synesthésie.

## 16 *Le Cercle de Coltrane*

Vers 1960

Copie numérique du diagramme publié par Yusef Lateef, dans *Repository of Scales and Melodic Patterns*, 1981. Jamey Aebersold Jazz.

### John Coltrane

(1926–1967) était un saxophoniste et compositeur de jazz américain.

Connu pour son travail pionnier dans le domaine du jazz Bebop et pour avoir ouvert la voie au développement de nouvelles musiques improvisées, les techniques et compositions novatrices de John Coltrane ont laissé une

marque indélébile sur le monde de la musique. Sa maîtrise du saxophone, associée à sa recherche incessante de nouvelles idées musicales, ont fait de lui une figure centrale de l'évolution du jazz.

Le cercle dit de Coltrane est un diagramme conceptuel dessiné à la main des relations tonales entre les notes. Il se compose de deux rangées cycliques de notes juxtaposant deux cycles différents de six notes à tons entiers (gammes régulièrement espacées) de la musique, chacun étant répété cinq fois. L'étoile au centre relie les cinq occurrences de la note de départ, C. Le dessin met également en évidence douze groupes de trois demi-tons (tels que B-C-C# en haut). Lorsque l'on alterne entre les deux gammes par tons entiers, les notes centrales de chacun des groupes de trois tons établissent un cycle de quintes.

D'autres indications sous-tendent les relations de tierce majeure dans chacun des segments de tons entiers, ainsi que les triades augmentées qui sont établies dans ces cellules. Son célèbre morceau *Giant Steps* – un défi pour la virtuosité dans l'improvisation jazz – est construit sur de tels motifs. Ce cercle témoigne de la profonde compréhension qu'avait Coltrane des relations et de l'harmonie au sein de la musique qu'il créait. Coltrane a donné le dessin au saxophoniste et professeur de jazz Yusef Lateef, qui l'a inclus dans son texte fondateur pour les improvisateur·trices.

## 17 Quatre perspectives sur la structure en musique

2024

Visualisations animées, 2–3 minutes chacune, en boucle.  
Chef de projet: Martin Rohrmeier.  
Programmeurs: Kalan Walmsley, Ioannis Rammos, Robert Lieck.

### EPFL-DCML

Au cours de son histoire, l'organisation structurelle de la musique a changé de diverses manières. Cette installation invite le public à faire l'expérience de quatre types de structures musicales qui se déploient au cours de l'écoute. Les quatre visuels exposés illustrent

différentes formes de complexité de relations rencontrées dans la tradition musicale occidentale et génèrent collectivement une vaste gamme d'effets de composition qu'un·e auditeur·trice peut découvrir dans la musique.

## 17.1 Le déroulement du Tonnetz

Bases de données: Francesco Foscarin *et al.*, «ASAP: A Dataset of Aligned Scores and Performances for Piano Transcription.», 2020.  
Curtis Hawthorne *et al.*, «Enabling Factorized Piano Music Modeling and Generation with the MAESTRO Dataset.», 2019.

Musiques: Fryderyk Chopin, *Étude Op. 25, n°5 en mi mineur*, 03:15 mins.  
Franz Liszt, *Concert Étude S. 145, n°2* («Gnomenreigen»), 02:45 mins.

La formulation du *Tonnetz* (réseau de tons) par Leonhard Euler (1707–1783) et Otakar Hostinsky (1847–1910) a constitué une étape majeure de la théorie musicale (installations n°12 et n°14). Il a permis de représenter les relations entre les différentes tonalités d'un morceau de musique de manière géo-

métrique, sous la forme de mouvements dans un « espace ». L'animation proposée illustre les relations tonales d'une musique dans l'espace géométrique du *Tonnetz*, en soulignant le rôle fondamental de certains intervalles: la quinte, la tierce majeure et la tierce mineure.

## 17.2 Le nuage tonal

Musiques: Johann Sebastian Bach *Prelude n°6 en ré mineur*, BWV 851, 1:24 mins.  
*Prelude n°13 en sol bémol majeur*, BWV 857, 1:23 mins.

Les segments de musique peuvent être comparés selon leur contenu en hauteur. Lorsque de très nombreux segments de musique occidentale idiomatique sont rassemblés en un seul ensemble de données et disposés dans un espace tridimensionnel par

un algorithme d'apprentissage automatique, de sorte que les segments similaires soient proches les uns des autres, la forme d'un tore apparaît. Ce résultat reflète notamment les propriétés des *Tonnetz* d'Euler et d'Hostinsky (voir les installations n°12 et n°14).

## 17.3 Visualisation en direct des structures arborescentes syntaxiques

Musiques: Duke Ellington, *Satin Doll*, extrait, 01:00 min.  
Johann Sebastian Bach, *Prélude n°1 en ut majeur*, BWV 846, 02:20 mins.

Comme les mots dans le langage courant, les accords sont également organisés dans un ordre hiérarchique et présentent des relations grammaticales qui peuvent se dérouler à différentes échelles de temps. Les formes d'arbres

dans cette vidéo illustrent les relations de dépendance syntaxique non seulement entre des accords consécutifs (en bas), mais aussi entre des accords potentiellement espacés de quelques secondes ou minutes (en haut).

## 17.4 Visualisation en 3D des relations hiérarchiques ton sur ton

Musique: Johann Sebastian Bach *Prélude en fa mineur*, BWV 857, extrait, 02:10 mins.

En règle générale, les notes d'un morceau de musique tonale occidentale sont liées de diverses manières: elles peuvent être membres d'une ligne mélodique globale, voisines dans la gamme ou consonantes les unes avec les autres. Certaines notes sont structurellement plus importantes que d'autres. Cette vidéo représente visuellement le réseau de ces relations pendant que le morceau est joué. Différentes couches indiquent différents niveaux d'importance structurelle et fournissent des « résumés » du morceau sur différentes échelles de temps.

# Musique non occidentale

La pensée algorithmique et computationnelle est un aspect fondamental de l'intelligence humaine et se manifeste dans toutes les cultures musicales. Les installations présentées ici mettent en évidence la riche tradition de la pensée algorithmique dans la musique non occidentale en présentant les structures complexes du gamelan indonésien, du raga indien et de la musique d'Afrique centrale. La musique gamelan, avec ses rythmes superposés et ses motifs cycliques imbriqués, témoigne d'un processus algorithmique précis et communautaire. Le rāga indien, avec ses règles complexes de développement mélodique et d'expansion scalaire, reflète un cadre profondément algorithmique guidant à la fois l'improvisation et la composition. La musique d'Afrique centrale, connue pour ses polyrythmies et ses motifs imbriqués, illustre une géométrie sophistiquée et des principes mathématiques dans ses structures rythmiques. À travers ces exemples, l'exposition révèle la nature universelle de la pensée algorithmique et computationnelle en musique qui transcende les frontières culturelles et enrichit le paysage musical mondial.

# 18 Musique Gamelan

## 18.1 *Gamelan*

Élément de gamelan Selunding (Bali-Est, Indonésie). Métallophone avec baguettes (1983): fer, bois de jacquier, cuir de buffle, 29 × 59.5 × 49 cm. ETHMU 048260, Musée d'ethnographie de Genève (MEG).  
Musique: Ladrang «Prabu Mataram», 7:04 mins.

L'Indonésie est riche d'une centaine de catégories d'ensembles instrumentaux à percussion nommés gamelan. Instrument collectif composé d'éléments aussi interdépendants que les touches d'un piano, il est essentiellement formé de carillons (gongs) et/ou de claviers de lames, jouables seulement collectivement, fabriqués simultanément (dans le même bronze, fer ou bambou) et accordés uniquement entre eux.

Le métallophone exposé ici est un élément d'un Selunding, le plus ancien type de gamelan de Bali, qui est un grand clavier de lames composé de 8 modules assemblés de diverses manières pour faire différents arrangements des mêmes pièces musicales en variant le nombre de musiciens par module.

La musique royale javanaise «Prabu Mataram», de forme Ladrang, est représentative de la structure musicale spécifique aux gamelans, hiérarchique, algorithmique, d'inspiration cosmologique hindoue-bouddhique tantrique. La roue musicale (*gongan*) symé-

trique est répétée par le gamelan seul (pendant l'entrée du souverain). Puis (à 0:40 mins) le ratio change, le même *gongan* est considérablement étiré, permettant l'ajout de chants, d'improvisations mélodiques d'instruments individuels, de claquements de mains et cris rythmés.

Le fondement métrique, hérité des sonneries rituelles de carillons de gongs, consiste en roues du temps (*kalacakra*) sonorisées: des cycles (*gongan*) initiés et bouclés par la frappe du son le plus grave (nommé gong quel que soit l'objet qui l'émet). Les différents niveaux de subdivision du *gongan* sont sonnés chacun par un timbre spécifique et, à l'origine, par une note spécifique. Les différentes formes sont définies par la métrique de leur *gongan*. Pour l'action et les processions, des roues musicales asymétriques donnent l'impression d'avancer. Via les changements de ratios, l'expansion des cycles sert l'esthétique, leur contraction est nécessaire aux rites de purification et aux combats.

## 18.2 *Le Gamelan numérique*

Vidéo. Sous la direction de Catherine Basset, d'après l'app interactive *Le Gamelan numérique*.  
Responsable pédagogique: Gilles Delebarre, Cité de la Musique  
Responsable scientifique: Catherine Basset  
Coordination: Marie-Hélène Serra  
Conception et réalisation interactive: Olivier Koechlin  
© Cité de la Musique – Philharmonie de Paris

# La Philharmonie de Paris & Catherine Basset

La vidéo illustre un élément des recherches de l'ethnomusicologue Catherine Basset. Elle a mis en évidence la

structure algorithmique fondamentale de la musique de Gamelan et son lien aux mandala, *cakra* (roue dentée),

*kalacakra* (Roue du Temps) et *padma* (lotus) hindous-bouddhiques, grâce à son invention de notation musicale graphique concentrique, mathématiquement exacte: sonorisée, elle joue réellement la musique.

La forme javanaise Ladrang est particulièrement représentative du système fractal de base, nommé Dhongding, ainsi que des changements de ratios entre la roue métrique des timbres et les parties mélodiques, qui, ici limités aux ratios (*irama*) 1 et  $\times 2$ , peuvent aller de  $1/2$  à  $\times 16$ .

En position suprême, le timbre et la note gong dominant une hiérarchie de tessitures dans laquelle le principe algorithmique génère des fractales d'un motif «b-A-b-» en arborescence. La vidéo est une démonstration d'une petite partie du *Gamelan numérique* (ex *Gamelan mécanique*). L'app offre,

pour une forme sundanaise (deux formes javanaises et une balinaise divisée en Baris et Gilak par la limitation à 8 pistes) un jeu interactif sur chacun des trois gamelans ainsi que sur la notation en tablatures, laquelle permet de composer. Les notations concentriques révèlent la forme permanente, un changement de pièce musicale ne modifiant que les couleurs des notes de musique.

Pour aller plus loin, testez le Gamelan numérique et consultez le complément à l'ouvrage de Catherine Basset en bas de la page d'accueil.



## 19 Rythmes polyphoniques en musique d'Afrique centrale

Musiques polyrythmiques, 21:46 mins, en boucle. Extraites de Ligeti/Reich. *African Rhythms*.

La musique d'Afrique centrale englobe une riche diversité de traditions musicales provenant de pays tels que la République démocratique du Congo, le Cameroun et la République centrafricaine. Cette musique se caractérise par ses rythmes complexes, sa polyphonie et l'utilisation de divers instruments traditionnels, notamment des tambours, des pianos à pouces (comme le mbira) et des instruments à cordes.

L'installation sonore ici permet une immersion dans les sons de la musique d'Afrique centrale. Leur nature algorithmique se manifeste par des cycles rythmiques complexes et des motifs imbriqués, souvent régis par un ensemble de règles et de formules qui guident les interprètes. Une caractéristique particulière réside dans l'utilisation de polyrythmies (instrumentales ou vocales), dans lesquelles plusieurs motifs rythmiques sont joués simultanément avec des périodicités ou des points de départ différents. Cela crée un son dense et stratifié, à la

fois dynamique et très organisé. Par exemple, dans la musique du peuple Aka (ou BaAka), différents motifs de tambour sont superposés de manière à ce que chaque motif s'imbrique dans les autres, créant ainsi un rythme composite plus complexe que la somme de ses parties. Le concept de «hoquet», où deux ou plusieurs voix ou instruments jouent alternativement des notes pour créer un flux sonore continu, est également très répandu dans la musique d'Afrique centrale.

Cette approche complète et systématique de la création musicale témoigne de la profonde compréhension culturelle et mathématique inhérente aux traditions musicales d'Afrique centrale. Ces communautés ont développé des systèmes complexes qui continuent d'influencer les pratiques musicales contemporaines dans le monde entier et ont inspiré de nombreux compositeurs tels que György Ligeti (installation n°29.2) ou Steve Reich.

## 20 L'extension scalaire 2024 dans la musique classique d'Inde du Nord

Animation numérique développée par Kalan Walmsley. Musique: Alap de rāga Multānī, interprétée par Dharambir Singh.

### Martin Rohrmeier & Richard Widdess

Martin Rohrmeier est professeur de musicologie numérique à l'EPFL.

Richard Widdess est professeur émérite de musicologie à la School of Oriental and African Studies de l'université de Londres.

Les deux principales traditions de la musique classique indienne, d'Inde du Nord et du Sud, présentent toutes deux des principes algorithmiques dans leurs systèmes mélodiques structurés. La tradition de l'Inde du Nord s'articule autour des *rāgas*, des cadres mélodiques complexes dont les règles strictes régissent la sélection des notes, les progressions et les expressions émotionnelles.

Un *rāga* possède un ensemble défini de gammes ascendantes et descendantes (*āroh* et *avāroh*), de notes principales et secondaires (*vadi* et *samvadi*) et de phrases caractéristiques (*pakad*). Les interprétations se déroulent à travers des sections telles que *ālāp*, *jor* ou *jhala*, permettant l'improvisation dans le cadre des contraintes du *rāga*.

La projection murale illustre la manière dont les *rāgas* de l'Inde du Nord organisent leur matériau mélodique

dans la partie *ālāp* sur la base de principes algorithmiques. Ces parties sont organisées selon un principe d'expansion scalaire. Ce terme fait référence à un algorithme selon lequel une courte phrase initiale est développée de manière répétitive pour aboutir à des phrases progressivement plus longues et plus complexes qui s'étendent sur toute la gamme. La fonction de cette stratégie musicale est de révéler progressivement le *rāga*, en particulier sa gamme et ses propriétés, à l'auditeur avant que le morceau ne passe à la section *jor*. Ce processus d'expansion progressive de la phrase est illustré dans cette installation, accompagné d'un exemple de musique. Les chiffres représentent les différents degrés (1 à 7) de la gamme du *rāga* en question.

Cette animation démontre comment la musique traditionnelle peut incarner des principes algorithmiques.

# Automates

Cette section de l'exposition présente l'univers fascinant des automates musicaux, expliquant les efforts historiques visant à utiliser la technologie pour reproduire et améliorer la performance musicale humaine. Les automates illustrent la recherche de remplaçant au musicien humain. Ils démontrent comment les premiers inventeurs ont exploité l'ingéniosité mécanique pour créer des instruments à jeu automatique. Ces automates ne sont pas seulement des merveilles d'artisanat et d'ingénierie, mais préfigurent aussi les technologies musicales algorithmiques modernes. Ils incarnent une forme précoce de pensée computationnelle et systématique dans leurs séquences programmées et leur précision mécanique. La sélection présentée dans l'exposition révèle la quête permanente d'une fusion entre l'art et la technologie, transformant la manière dont la musique est créée et vécue.

## 21 Automate persan

## Vers le XII<sup>e</sup> siècle

Reproduction numérique d'un manuscrit original.  
National Museum of Asian Art, Smithsonian Institution, Freer Collection, Purchase – Charles Lang Freer Endowment, F1930.73.

Cette illustration représente un exemple précoce d'automate musical persan. Issu du riche patrimoine culturel de l'âge d'or islamique, cet automate reflète les connaissances avancées de l'époque en matière d'ingénierie, d'horlogerie et d'art.

L'œuvre présente un dispositif mécanique sophistiqué, conçu pour divertir et étonner par sa performance musicale automatisée, montrant une scène de figures humaines animées et de machines complexes. L'automate fonctionne grâce à l'eau et à la gravité, une force motrice commune à de nombreux automates anciens, utilisant une série d'engrenages, de leviers et de roues hydrauliques pour produire de la musique. Il met en scène un groupe de musiciens, chacun jouant d'un instrument différent, le tout coordonné par

les mécanismes cachés en dessous. L'utilisation de l'eau pour actionner des dispositifs musicaux mécaniques est une caractéristique de l'ingénierie islamique médiévale, prouvant son ingéniosité et son expertise dans la création de machines complexes et engageantes.

Ces automates figuraient souvent dans les cours royales et les foyers de familles aisées, symbolisant la richesse et les prouesses intellectuelles. Ils servaient à la fois de divertissement luxueux et de démonstration des progrès technologiques réalisés par les ingénieurs et les artisans persans. Leur profonde compréhension des principes hydrauliques et mécaniques allait influencer les développements technologiques tant en Orient qu'en Occident.

## 22 La Musicienne

### 1772–1774

Extrait de film de l'exposition *Automates et merveilles*, 2012, 6:13 mins. Musée d'art et d'histoire de Neuchâtel.  
Réalisation: Philippe Calame.  
©Musée d'art et d'histoire de Neuchâtel/Rec Production SA, 2012.

## Henri-Louis Jaquet-Droz (1752–1791) était un horloger suisse.

Conçue par Henri-Louis Jaquet-Droz, *La Musicienne* est un exemple remarquable de l'ingéniosité humaine. Cet automate appuie sur les touches du clavier avec chacun de ses doigts, jouant sur un orgue dont les souffles amènent l'air à 48 tuyaux divisés en deux registres. *La Musicienne* respire en jouant et termine chaque mélodie par une élégante révérence en position assise. Jaquet-Droz était également musicien et il est probable qu'il ait

composé les cinq œuvres musicales jouées par l'automate. D'une hauteur de 1.3 mètre, *La Musicienne* est composée d'une quantité incroyable de pièces d'horlogerie en laiton, acier et bois de tilleul. Elle est actionnée par trois moteurs. Le premier contrôle la respiration, les mouvements de la tête et des yeux. Le second, très puissant, donne l'impulsion aux bras pour qu'ils se déplacent le long du clavier, et aux doigts pour qu'ils appuient sur

les touches. Le dernier moteur permet à *La Musicienne* de terminer chaque représentation par une révérence. Contrairement à une boîte à musique, elle joue réellement du piano avec ses dix doigts mécaniques.

Le père d'Henri-Louis, Pierre Jaquet-Droz, était horloger et fondateur de la manufacture du même nom. Entre 1768 et 1774, père et fils, associés à Jean-Frédéric Leschot,

construisent trois automates androïdes très sophistiqués qui feront la renommée de l'entreprise : *L'Écrivain*, *Le Dessinateur* et *La Musicienne*. Après avoir voyagé à travers l'Europe pendant plus d'un siècle, les automates ont été offerts à la ville de Neuchâtel en mai 1909. Ils sont aujourd'hui conservés au Musée d'art et d'histoire de Neuchâtel.

## 23 Automate de l'Ange avec harpe

Vers 1890

Automate avec mécanisme musical: 56×41.5×34 cm. Prêt du Museum für Musikautomaten, Seewen.

Cet automate est un autre exemple de dispositif mécanique complexe conçu pour jouer de la musique. L'automate de *l'Ange avec harpe* représente une intersection unique entre l'art, l'ingénierie et l'innovation musicale, profondément enracinée dans la pensée systématique. Utilisant les principes de l'horlogerie, les automates musicaux pouvaient exécuter des compositions élaborées grâce à des séquences d'actions préprogrammées, essentiellement des algorithmes, donnant vie à la musique sans intervention humaine.

Dans le cas présent, l'ange tourne la tête et bouge ses ailes. Les deux avant-bras effectuent des mouvements de jeu sur la musique d'un mécanisme musical à cylindre. L'ensemble du mécanisme est déclenché par l'enroulement d'une petite clef sur le côté. Les automates musicaux occupent une place importante dans l'histoire de la musique, car ils témoignent de l'ingéniosité et de la créativité de leurs créateurs tout en donnant un aperçu du contexte culturel et technologique de leur époque.

## 24 Partie de la machine à différences n°1 de Babbage

Vers 1879

Instrument scientifique: bois, laiton, acier, papier, 33.6×31.8×38.5 cm. Concepteur: Charles Babbage. Fabricant des pièces: Joseph Clement. Assembleur: Henry Babbage. Wh.2339, Whipple Museum of the History of Science, Université de Cambridge.

## Charles Babbage

(1791–1871) était un mathématicien et polymathe anglais.

Entre 1822 et 1834, Charles Babbage a conçu une machine à différences, ancêtre de l'ordinateur moderne. Cette calculatrice mécanique automatique était destinée à calculer et à mettre en tableau des fonctions polynomiales, cruciales pour la navigation aux XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> siècles. Traditionnellement calculées et tapées à la main, ces tables

contenaient souvent des erreurs. En 1822, Babbage a proposé de remplacer les « ordinateurs » humains par une machine capable de calculer et d'imprimer sans erreur. La machine à différences transforme la multiplication en addition en utilisant des différences finies, obtenues en programmant une fonction et en faisant tourner manuellement la

machine. Sa mécanique et son système de cartes perforées sont influencés par les automates du XVIII<sup>e</sup> siècle et par le métier à tisser Jacquard de 1804, qui ont tous deux fasciné Babbage.

La machine s'est avérée exceptionnellement compliquée à réaliser et Babbage n'a jamais réussi à construire un moteur fonctionnel. Après sa mort, son fils Henry a continué à travailler sur le problème, ayant hérité des composants originaux fabriqués lors des tentatives de construction infructueuses de son père. En rassemblant ces compo-

sants, Henry a produit ce fragment partiel en 1879, afin de démontrer la faisabilité du projet de son père. La conception originale de Babbage devait comporter sept essieux, alors que ce fragment n'en comporte que deux. Ainsi, bien qu'il démontre le fonctionnement de la machine à différences, il ne peut effectuer que des calculs très simples. Il a d'ailleurs été utilisé dans les années 1950 dans les laboratoires informatiques de l'université de Cambridge pour démontrer l'automatisation d'une simple addition.

## 25 Notes d'Ada Lovelace

1843

Livre, 22.3×14.4×4.9 cm. Publié dans *Scientific Memoirs*, vol. III, par Richard Taylor. Avec l'autorisation du Master and Fellows of St John's College, Cambridge.

## Ada Lovelace

(1815–1852) était une mathématicienne et savante anglaise.

Ada Lovelace est célèbre pour être la pionnière de la programmation informatique. Élève de Charles Babbage, avec qui elle a travaillé en étroite collaboration, elle a fait preuve d'une remarquable clairvoyance quant à la capacité des ordinateurs à traiter des symboles autres que des nombres. Dans ses notes détaillées traduisant un article sur la machine analytique de Babbage (un engin plus abouti et plus performant que la machine à différences originale, installation n°24), Lovelace a émis l'hypothèse que la machine pourrait manipuler des symboles représentant des notes et des compositions musicales, anticipant ainsi la synthèse et la composition musicales numériques modernes. Elle-même étant une musicienne accomplie, elle s'est rendu compte que les capacités informatiques de la machine analytique de Babbage pouvaient

s'étendre à la création de pièces musicales complexes en opérant sur les relations fondamentales qui régissent la théorie et la notation musicales.

Lovelace a observé qu'en représentant les relations fondamentales des tons musicaux et de la notation sous forme de symboles, la machine analytique pouvait composer des pièces musicales complexes de manière algorithmique. Ce bond en avant lui a permis de comprendre le concept de traitement symbolique et a préfiguré l'utilisation moderne des ordinateurs pour des tâches telles que la synthèse et la composition musicales à l'aide d'algorithmes et de codes. La perspective interdisciplinaire unique de Lovelace lui a permis d'anticiper le vaste potentiel des ordinateurs à usage général avant même qu'ils n'existent vraiment. Sa vision a ouvert la voie à l'exploration de la créativité informatique dans les arts.

Arnold Schönberg (1874–1951) était un influent compositeur, professeur, théoricien de la musique, écrivain et artiste visuel austro-américain, pionnier des techniques musicales dodécaphoniques. Né à Vienne, autodidacte, Schönberg composait déjà des pièces pour piano et des trios à cordes à l'âge de 10 ans. Ses premières œuvres, comme le sextuor à cordes *La Nuit transfigurée* (1899), s'inspirent des compositeurs romantiques tardifs. Rapidement, Schönberg a rompu avec la tradition, produisant des pièces «atonales» dès 1908. Il s'est ainsi écarté de l'harmonie du XIX<sup>e</sup> siècle. Son innovation la plus révolutionnaire est la technique des douze notes mise au point en 1923, connue sous le nom de dodécaphonie. Cette technique consiste à arranger les 12 notes de la gamme chromatique en rangées ou «séries» uniques, sans centre tonal.

*Suite, op. 29*, également connue sous le nom de *Suite pour sept instruments*, est l'une des principales œuvres dodécaphoniques de Schönberg, composée en 1926. Elle a été écrite pour trois clarinettes (dont l'une fait office de clarinette basse), un violon, un alto, un violoncelle et un piano. Cette instrumentation unique et inhabituelle contribue au timbre particulier de l'œuvre, qui rappelle la section d'anches d'un orchestre de jazz swing. La suite se compose de quatre mouvements. Le deuxième, *II. Tanzschritte: Moderato* est proposé à l'écoute dans cette installation.

Schönberg a fui l'Allemagne nazie en 1933 et a continué à développer le système dodécaphonique aux États-Unis, tout en enseignant dans des universités. Depuis sa mort en 1951, Schönberg est considéré comme l'un des innovateurs musicaux les plus influents du XX<sup>e</sup> siècle.

## 26.1 *Suite op. 29, 1924–1926* *Mouvement I, partition* *(Ouverture. Allegretto)*

Manuscrit, encre, crayon et crayon de couleur sur papier, 29×35 cm.  
Centre Arnold Schönberg, Vienne.

Le caractère joyeux et dynamique de la *Suite, op. 29* reflète l'état d'esprit d'Arnold Schönberg à cette époque. Tout juste marié, il a dédié l'œuvre à sa «chère épouse» Gertrud, dont le monogramme musical «eS-G» (mi bémol sol) est imbriqué dans les moments musicaux au début et à la fin de chaque mouvement. La suite à quatre voix, dans laquelle des éléments de tonalité ancienne sont intégrés au dodécaphonisme, combine trois mouvements de la suite baroque traditionnelle avec une série de variations sur une chanson. À l'instar de plusieurs mouvements de ses précédentes compositions pour piano, les rythmes de danse dominant ; les deux premiers mouvements en particulier,

reprenant des éléments de la musique de danse des années 1920.

## 26.2 *Suite op. 29, 1924* *tableau de rangées* *de douze tons*

Crayon et encre sur papier,  
36.8×36.5 cm.  
Centre Arnold Schönberg, Vienne.

Une rangée de douze tons (ou série) est un ordre abstrait de notes qui sert de base à une œuvre créée selon la «Méthode de composition avec douze tons qui ne sont liés qu'entre eux». Parfois, la rangée complète peut être entendue dans la mélodie ou dans la voix d'accompagnement. Schönberg composait généralement avec des

segments de la rangée ou des combinaisons de tons dérivés de la rangée originale reliés les uns aux autres de diverses manières. Les mélodies, les harmonies et les passages polyphoniques sont créés à partir de collections individuelles de tons, et la rangée reste généralement à l'arrière-plan en tant que cadre pour des idées musicales.

## 26.3 *Suite op. 29, 1924* *tableau de rangées* *de douze tons*

Encre sur papier sur carton,  
21×34 cm.  
Centre Arnold Schönberg, Vienne.

Afin d'obtenir une interaction significative entre l'obligation structurelle et la liberté créative, il est nécessaire de fonder les décisions compositionnelles sur une compréhension profonde de la rangée, de ses dérivations et des possibilités qui en découlent. Schönberg a exprimé les relations de

ton d'une rangée, y compris ses dérivations, dans différents types de représentations visuelles. Avec les premières œuvres qui commencent à utiliser son nouveau type de «composition avec les tons», il a conçu des aides pour faciliter les processus de composition.

## 26.4 *Suite op. 29, 1924* *tableau de rangées* *dodécaphoniques* *bidirectionnelles*

Encre sur papier sur carton,  
32.4×33.4 cm.  
Centre Arnold Schönberg, Vienne.

La ligne rouge la plus basse contient la forme primaire de la rangée marquée de la lettre «T». La lettre fait allusion à la tonique de l'harmonie tonale conventionnelle. Après avoir tourné la page de 90 degrés dans le sens des aiguilles d'une montre, Schönberg a utilisé les hauteurs de la rangée originale comme hauteurs de départ pour douze formes inversées de la rangée. Les transpositions de la forme primaire résultent d'un autre tour de la boîte dans le sens des aiguilles d'une montre, et les rétrogradations peuvent être lues de

droite à gauche. Des traits noirs et rouges subdivisent la rangée en groupes de trois ou quatre tons. Les notes d'angle des groupes de quatre notes sont reliées entre elles par des intervalles de quarte ou de quinte.

## 26.5 Quintette à vent op. 26, Règle de la rangée dodécaphonique

1923

Tapuscrit et encre sur papier sur carton, lin et cordelette fendue, 6.3×21.4 cm.  
Centre Arnold Schönberg, Vienne.

Arnold Schönberg a utilisé une règle à calcul faite sur mesure pour l'aider à composer son *quintette à vent Opus 26*. Cette règle à calcul a été spécialement conçue pour organiser les rangées dodécaphoniques de cette composition

sérielle. En utilisant cet outil, Schönberg pouvait systématiquement (ou de manière algorithmique) arranger et manipuler les séquences dodécaphoniques, garantissant ainsi le respect de sa méthode de composition.

## 27 CSIRAC

### 27.1 Ordinateur CSIRAC

1952

Avec l'aimable autorisation de CSIRO Archive  
Musique : Avec l'aimable autorisation de Paul Doornbusch.

## Maston Beard, Trevor Pearcey & Geoff Hill

Maston Beard (1913–1998) était un scientifique et un ingénieur de recherche australien qui a participé à la recherche sur les radars et a co-créé CSIRAC.

Trevor Pearcey (1919–1998) était un scientifique australien d'origine britannique qui a co-créé CSIRAC.

Geoff Hill (1928–1982) était un mathématicien et le premier programmeur informatique australien.

Cette photographie grand format montre CSIRAC (Council for Scientific and Industrial Research Automatic Computer), le quatrième ordinateur au monde et le premier à jouer de la musique. Développée en Australie, cette machine massive pesait 2 500 kilogrammes et mesurait 2.5 m × 3 m × 7 m, nécessitant une climatisation industrielle. Elle fonctionnait avec une vitesse d'horloge de 0,001 MHz, 2 500 octets de mémoire et 2 000 valves (tubes à vide).

En 1951, CSIRAC a franchi une étape importante en jouant de la musique, démontrant ainsi que les premiers ordinateurs pouvaient s'appliquer aux arts. Le mathématicien Geoff Hill a programmé la machine pour jouer des mélodies. Cet avène-

ment a surtout mis en évidence la créativité humaine, l'ingéniosité de la programmation et la polyvalence de l'ordinateur.

Bien que la performance originale n'ait pas été enregistrée, le professeur Paul Doornbusch a mené un projet de reconstitution précise de la musique de CSIRAC. En analysant des documents d'archives, des schémas techniques et des souvenirs personnels, et en construisant du matériel informatique, son équipe a simulé les sons historiques avec une extrême précision, préservant ainsi ce moment unique de l'histoire de l'informatique.

CSIRAC n'a pas directement influencé les développements futurs de la musique numérique. Toutefois, il

a marqué un moment clé où le codage mathématique et l'expression musicale ont convergé pour la première fois

dans le domaine numérique, illustrant le désir humain d'explorer le potentiel artistique des nouvelles machines.

## 27.2 Programme informatique de CSIRAC

Vers 1951–1952

Bande de programme en papier perforé, 6 cm × 7 m. Boîte de rangement pour les bandes musicales, 6 × 6 × 20 cm.  
Prêtées par Paul Doornbusch.

## Geoff Hill

(1928–1982) était un mathématicien et le premier programmeur informatique australien.

Cette bande de papier perforé est la bande originale du programme musical utilisé pour programmer CSIRAC à jouer de la musique. Geoff Hill a travaillé avec CSIRAC dès le début. Il a utilisé la programmation de CSIRAC pour jouer de la musique comme un défi ultime. En codant les notes sous forme de chiffres sur une bande de papier perforé, les ingénieurs ont réussi à

faire en sorte que CSIRAC génère du son et joue une mélodie très basique par l'intermédiaire d'un haut-parleur connecté. Bien que primitive au regard des standards techniques actuels, cette expérience pionnière a démontré le potentiel de l'utilisation des ordinateurs pour générer et performer des compositions musicales directement à partir d'instructions programmées.

## 28 Iannis Xenakis

Iannis Xenakis (1922–2001) était un compositeur pionnier, architecte et mathématicien gréco-français, réputé pour ses travaux novateurs dans le domaine de la composition algorithmique assistée par ordinateur. Né en Roumanie, il a combattu dans la résistance grecque pendant la Seconde Guerre mondiale, perdant un œil au passage. Exilé de Grèce en raison de ses activités politiques, il s'est installé à Paris, où il a travaillé comme architecte avec Le Corbusier et a conçu l'emblématique pavillon Philips pour l'exposition internationale de Bruxelles de 1958. Le parcours musical de Xenakis a pris un tournant décisif lorsqu'il a commencé à étudier avec Olivier Messiaen, qui l'a encouragé à intégrer sa formation mathématique et son patrimoine grec dans ses compositions musicales. C'est ainsi que Xenakis a développé la musique stochastique, une approche révolutionnaire qui utilise des pro-

grammes informatiques, des structures mathématiques et des systèmes de probabilité pour générer des œuvres musicales. Des œuvres comme *Metastasis* (1954) et *Achorripsis* (1958) sont des exemples de cette technique, qu'il a ensuite affinée en utilisant des ordinateurs IBM pour contrôler divers paramètres musicaux.

Les contributions de Xenakis vont au-delà de la composition algorithmique, puisqu'il a également créé des œuvres électroacoustiques avant-gardistes et mis au point le système UPIC, capable de traduire des images graphiques en œuvres musicales. Ses compositions ont repoussé les limites de la musique traditionnelle, explorant l'intersection de l'art, de la science et de la nature. Malgré les fondements mathématiques de son approche, la musique de Xenakis est réputée pour sa puissance brute et son impact émotionnel.

## 28.1 Archives Xenakis 1954–1994

Installation interactive, Navigateur linéaire, écran LCD de 55 pouces sur un rail de 12 m de long.  
Fabricant: Nelissen Decorbouw.  
Contenu des archives avec l'aimable autorisation de la Famille Iannis Xenakis.  
Production: Laboratoire de muséologie expérimentale de l'EPFL (eM+). Développement logiciel: Nikolaus Völzow.  
Design UIX: Patrick Donaldson.

Grâce au Navigateur linéaire, le public peut parcourir quelques 2000 images provenant des archives Xenakis. Cette collection unique offre ainsi un aperçu inégalé de l'esprit du compositeur et de la fusion des mathématiques et de la musique. Chaque image est un témoignage visuel de son approche unique, capturant son approche graphique complexe et les partitions, modèles mathématiques et notations algorithmiques qui ont étayé son travail innovant.

Des motifs géométriques de *Metastasis* aux processus stochastiques de *Pithoprakta*, ces images

révèlent comment Xenakis a traduit des concepts mathématiques complexes en expériences sonores évocatrices. Son utilisation de graphiques, de courbes et de dessins d'architecture illustre une méthode visionnaire où l'art visuel et la rigueur scientifique s'allient pour créer de la musique.

Le Navigateur linéaire permet d'explorer l'interaction entre la structure et la créativité dans les compositions de Xenakis. Cette collection d'archives est indispensable pour comprendre la profondeur de sa contribution à la musique et son influence durable sur la composition contemporaine.

## 28.2 Pavillon Philips, Expo 58

### Vers 1957–1958

Maquette: métal, bois et polyester, environ 110×175×85 cm.  
Rijksmuseum, prêt de Philips International BV.

## Iannis Xenakis & Le Corbusier

Mandatés par l'entreprise néerlandaise d'électronique Philips, les architectes Le Corbusier et Xenakis ont conçu un pavillon pour l'Expo 1958 à Bruxelles. Le bâtiment en béton était recouvert d'une peinture aluminium. À l'intérieur, il y avait un spectacle multimédia avec des films, des lumières colorées et de la musique électronique. Des pans de couleur dans l'entrée donnaient le ton de la « performance électronique » à l'intérieur, qui a attiré près d'un million et demi de visiteuses. Le bâtiment était basé sur la construction mathématique des « paraboloïdes hyperboliques » que

Xenakis utilisait également dans sa musique, et montre comment il pouvait exprimer un concept unique à la fois à travers l'architecture et la musique.

## 28.3 UPIC

## 1985

Système informatique numérique pour la création musicale:  
200×200×100 cm.  
Prêt du KSYME/CMRC Archives, Conservatoire d'Athènes.

Le système UPIC (Unité Polyagogique Informatique du CEMAMu) est un système informatique numérique inventé par Iannis Xenakis. L'ordinateur convertit en son la représentation graphique dessinée par l'utilisateur-trice sur la carte d'interface. L'UPIC grec (*Polyagogia*) a été inauguré en 1986 par le Centre de recherche sur la musique contemporaine (CMRC, fondé à Athènes en 1979 par Xenakis et 24 autres membres) dans le but de promouvoir la recherche en informatique musicale. Il permettait aux utilisateur-trices de dessiner des partitions musicales directement sur une tablette graphique, traduisant des conceptions visuelles en paysages sonores complexes. Avec l'UPIC, Xenakis a cherché à démocratiser le processus de composition et à le rendre accessible à celles et ceux qui n'avaient pas de formation musicale formelle. Xenakis a été inspiré par l'idée que la musique pouvait être composée par des moyens visuels, reflétant sa formation en architecture et en mathématiques. Le système UPIC incarne cette approche interdisciplinaire et offre un nouveau moyen d'expression artistique. Cette innovation a comblé le fossé entre l'art visuel et la musique, offrant des possibilités créatives sans précédent.

# Salle du piano mécanique

Cette collection explore l'évolution de la musique automatisée à travers le piano mécanique, ou pianola. Découlant des automates musicaux du XVIII<sup>e</sup> siècle, le piano mécanique s'est développé à partir des orgues de barbarie et des orchestrions. Edwin Scott Votey a breveté le premier véritable « Pianola » dans les années 1890, ce qui lui a valu une grande popularité au début du XX<sup>e</sup> siècle.

Les pianos mécaniques traditionnels utilisaient des pneumatiques actionnés par le pied pour lire les rouleaux de papier perforés et actionner les touches du piano en conséquence. Cette technologie a démocratisé l'accès à des compositions complexes tout en préservant des interprétations remarquables. Le piano mécanique devient ainsi le premier support d'enregistrement sonore et de lecture musicale.

Après avoir atteint son apogée dans les années 1920, le piano mécanique a perdu de sa popularité avec l'avènement de la radio et des phonographes. Il reste néanmoins un symbole précieux de l'ingéniosité du début du XX<sup>e</sup> siècle en matière de musique automatisée.

Le Yamaha Disklavier exposé ici illustre l'évolution numérique du piano mécanique, en combinant les innovations historiques avec la technologie informatique moderne. Il permet la reproduction précise et la création d'œuvres musicales complexes. Elles montrent comment les compositeur·trices contemporain·es continuent d'explorer la performance musicale automatisée, en dépassant les limites physiques de l'humain.

Avec le généreux soutien de Yamaha Europe GmbH, (succursale suisse).

## 29 Musiques pour piano mécanique

### 29.1 *Study 41B* 1969–1977

Musique : avec l'aimable autorisation de Chris Sansom.  
Vidéo de visualisation : 6:36 mins, ©Stephen Malinowski, musanim.  
Reproduction numérique de la partition originale. Collection Conlon Nancarrow, Fondation Paul Sacher, Bâle.

### Conlon Nancarrow

(1912–1997) était un compositeur d'origine américaine, pionnier de la musique algorithmique.

La reproduction numérique de la partition *Study 41B* de Nancarrow témoigne de l'intérêt du compositeur pour les structures rythmiques complexes. Cela l'a conduit au piano mécanique, un instrument capable d'exécuter ses compositions avec une précision impossible pour des interprètes humains. Nancarrow avait l'habitude de percer à la main des trous dans les rouleaux de piano, lui permettant de contrôler de nombreux aspects de l'exécution, notamment le tempo, la dynamique et les motifs rythmiques complexes en musique. Il a ainsi pu explorer les complexités temporelles et métriques, en superposant des rythmes à différentes vitesses et en créant des textures polymétriques sans précédent.

Longtemps oubliées et méconnues, les *Studies for Player Piano* de Nancarrow sont particulièrement renommées. Elles comprennent plus de cinquante œuvres qui repoussent les limites du temps et du rythme musicaux. Ces œuvres font souvent appel à des techniques algorithmiques, utilisant des processus mathématiques et mécaniques pour générer des structures temporelles et musicales complexes. Les compositions de Nancarrow se caractérisent souvent par l'utilisation de canons temporels, où les mélodies sont jouées simultanément à des vitesses différentes, créant des effets complexes et vertigineux.

### 29.2 *Étude 14A* 1985

Musique : avec l'aimable autorisation des Archives Jörgen Hocker.  
Vidéo de visualisation : 1:52 mins. ©Stephen Malinowski, musanim. Reproduction numérique de la partition originale annotée. Collection György Ligeti, Fondation Paul Sacher, Bâle.

### György Ligeti

(1923–2006) était un compositeur austro-hongrois de musique algorithmique.

Cette reproduction d'esquisse colorée de *Étude 14A* est griffonnée avec les annotations de Ligeti et montre la grande complexité de sa musique. L'œuvre de Ligeti dans les années 1960 et après se caractérise par l'utilisation de textures et de structures complexes qui s'apparentent souvent à des pro-

cessus algorithmiques. Son intérêt pour les processus mathématiques et la composition algorithmique est peut-être plus évident dans ses dernières œuvres. Dans les années 1980 et 1990, Ligeti a exploré l'utilisation des fractales et de la théorie du chaos dans la musique, en particulier dans

ses *Études pour piano*. Nombre de ces études utilisent des structures et des motifs rythmiques algorithmiques complexes qui mettent au défi à la fois l'interprète et l'auditeur-trice. L'*Étude 14A*, initialement intitulée *Coloana fără sfârșit* (Colonne sans fin), est une œuvre écrite spécifiquement pour le piano mécanique. Elle explore des

motifs ascendants entrelacés d'accords épais et évoque des illusions auditives telles que la gamme infinie des tons de Shepard, qui semble s'élever sans fin. La configuration de sa composition se situe à l'extrême limite du possible – même si plusieurs pianistes ont déjà travaillé avec cette composition.

## 29.3 Voyager

1986 –

Musique : avec l'aimable autorisation de George Lewis.  
Vidéo de l'exécution d'un programme informatique, éditée à partir de l'original : 21:27 mins.  
Laboratoire de muséologie expérimentale (eM+), EPFL.

## George Lewis

est un compositeur, musicologue et tromboniste américain.

*Voyager* est un logiciel novateur écrit par George Lewis dans lequel des improvisateurs humains dialoguent avec un programme interactif d'un « improvisateur virtuel » qui analyse la musique des interprètes en temps réel. Il utilise ensuite cette analyse pour guider la formulation de réponses complexes. Le système produit également un comportement musical indépendant ; il n'a pas besoin de données en temps réel pour générer de la musique. *Voyager* est d'abord apparu sous la forme d'un concerto dans lequel un ou plusieurs interprètes humains interagissent avec un « orchestre virtuel électronique », aux timbres multiples et micro-intervalles de 64 voix synthétisées. Après 2004, *Voyager* est devenu un pianiste improvisateur interactif qui s'est produit avec des instrumentistes solistes, des ensembles de chambre et des orchestres symphoniques. *Voyager* est profondément influencé par la vaste expérience de Lewis en tant qu'improvisateur expérimental. Ses comportements sonores et auditifs résultent de négociations entre les improvisateur-trices et d'interactions entre de nombreux algorithmes de génération de musique différenciellement chronométrés.

Ces algorithmes suivent des paramètres tels que le ton, le volume, la durée, l'accent, le silence et la longueur

des intervalles. Cela leur permet d'évaluer des facteurs plus importants dans le temps, tels que le degré de stabilité. Les versions postérieures à 2022 intègrent des algorithmes d'apprentissage automatique pour reconnaître les gestes musicaux, créant ainsi un système métastable et quasi prévisible avec une variabilité à court terme, façonnant la « personnalité » ou l'« identité » unique de *Voyager*.

Membre depuis 1971 de l'influent collectif africain-américain de musique expérimentale AACM (Association for the Advancement of Creative Musicians), Lewis est largement considéré comme un pionnier des systèmes de musique assistée par ordinateur qui improvisent aux côtés de musicien-nes humain-es. Son travail a été à la pointe de la musique d'avant-garde et expérimentale pendant plus de cinq décennies, démontrant le potentiel innovant des systèmes interactifs de musique assistée par ordinateur dans le cadre d'une performance en direct.

## 29.4 OTOdeBLU

1990

Musique : avec l'aimable autorisation de Birgit Faustmann.

## Clarence Barlow

(1945–2023) était un compositeur pionnier connu pour son travail dans le domaine de la musique électronique et informatique.

*OTOdeBLU* pour piano mécanique est une pièce innovante qui illustre l'approche distinctive de Barlow en matière de composition algorithmique,

où des processus mathématiques sont utilisés pour générer des structures musicales.

## 29.5 Continuity 4

2015

Musique : avec l'aimable autorisation de Paul Doornbusch.

## Paul Doornbusch

est un compositeur, musicien et universitaire connu pour ses contributions à la musique informatique, à la composition algorithmique et au patrimoine culturel numérique.

*Continuity 4* pour piano mécanique est basée sur le bruit fractal, elle explore l'interaction dynamique entre la conti-

nuité et la fragmentation dans la hauteur, le timbre et le temps, créant une expérience auditive complexe et évolutive.

## 29.6 Arabesque

2018

Musique : avec l'aimable autorisation de Nicolas Namoradze.  
Partition pour piano solo, 6 minutes. Publiée par Muse Press.

## Nicolas Namoradze

est un pianiste et compositeur qui travaille à New York.

L'*Arabesque* de Nicolas Namoradze est basée sur les principes qui définissent les arabesques dans les arts visuels : des motifs ornés, en spirale et entrelacés. Les mains du pianiste se superposent tout au long de l'œuvre, jouant des figurations entrelacées où les fils individuels ne peuvent être distingués que par des changements dynamiques entre les mains. Deux types de sections s'alternent – l'une ascendante, l'autre descendante – créant une lente oscillation dans la moitié supérieure du clavier. Étude des changements de couleurs et de sonorités en douceur, les passages entre les différentes textures se font de manière extrêmement progressive tout au long de l'œuvre, d'une manière qui rappelle

les gravures *Metamorphosis* de l'artiste graphique allemand M. C. Escher. Le rythme de ces changements et le moment auquel ils ont lieu sont contrôlés par un certain nombre d'algorithmes. Le premier d'entre eux est le plus simple. Il transforme la texture d'un contrepoint à deux voix – où la main droite a de courtes figurations ascendantes et la main gauche des figurations descendantes – en une juxtaposition à une voix entre les mains, réalisée par l'omission de plus en plus fréquente de notes. L'introduction progressive d'accords triadiques et de motifs triadiques accentués densifie la texture, atteignant un point culminant en termes de dynamique et de registre avant une nouvelle dissolution régu-

lière. La dernière série de transformations n'est pas seulement texturale mais aussi temporelle: de courtes rafales de figurations accélérées apparaissent suffisamment fréquemment

pour provoquer un changement global de vitesse, entraînant l'ornement (section d'une composition musicale constituée essentiellement de figures ornementales) dans un tourbillon sans fin.

## 30 La Salle de concert

La Salle de concert est un espace d'expérience immersive. Elle présente deux œuvres musicales algorithmiques spatialisées, *Prometeo. Tragedia dell'ascolto* de Luigi Nono et *La Légende d'Eer* de Iannis Xenakis. Elle offre ainsi un environnement propice à la découverte de ces œuvres telles qu'elles ont été conçues, avec une

spatialisation immersive et des détails acoustiques. La disposition des enceintes et de l'acoustique reproduit le plus fidèlement possible les conditions d'exécution originales, ce qui permet au public d'apprécier pleinement les éléments spatiaux et algorithmiques complexes de ces compositions visionnaires.

### 30.1 *Prometeo. Tragedia dell'ascolto*

1984–1985

Trois extraits de l'enregistrement original, *Prometeo. Tragedia dell'ascolto*, environ 2 heures.

## Luigi Nono

(1924–1990) était un compositeur italien.

*Prometeo. Tragedia dell'ascolto* (Prométhée. Tragédie de l'écoute) est l'une des œuvres les plus ambitieuses de Luigi Nono. Cette œuvre monumentale est une fusion unique de musique, de théâtre et d'acoustique spatiale, conçue pour plonger le public dans une profonde expérience d'écoute réflexive.

Connu pour ses œuvres avant-gardistes à forte connotation politique et membre de l'école de Darmstadt, Nono a été profondément impliqué dans le développement du sérialisme et de la musique électronique après la Seconde Guerre mondiale. Ses compositions reflètent souvent son engagement pour les questions sociales et politiques, intégrant des techniques et des technologies innovantes pour défier et repousser les limites de l'expression musicale. L'œuvre est structurée comme une série de fragments musicaux et textuels, s'inspirant de diverses sources, dont Eschyle, Goethe et Hölderlin. Elle ne suit pas une narration conventionnelle mais crée plutôt

un paysage sonore méditatif et contemplatif. L'utilisation innovante par Nono de l'électronique en direct, de la spatialisation et d'une orchestration non conventionnelle enveloppe les auditeurs, faisant d'eux une partie intégrante de l'expérience auditive.

*Prometeo* a été conçue en collaboration avec le philosophe Massimo Cacciari et l'architecte Renzo Piano, qui a réalisé la structure mobile dans laquelle la pièce a été jouée à l'origine. Cette structure a permis une manipulation dynamique du son dans l'espace de représentation, soulignant l'exploration par Nono de la relation entre le son, l'espace et l'auditeur-trice.

*Prometeo. Tragedia dell'ascolto* témoigne de la vision révolutionnaire de Nono, qui remet en question les formes traditionnelles et invite le public à s'engager dans un acte d'écoute profond. Elle reste une œuvre importante dans le canon de la musique contemporaine, illustrant la quête incessante de Nono pour de nouvelles possibilités musicales et expressives.

## 30.2 *La Légende d'Eer*

1977–1978

Deux extraits d'environ 6-7 mins & enregistrement complet, environ 45 mins.

## Iannis Xenakis

(1922–2001) était un compositeur, architecte et ingénieur gréco-français.

*La Légende d'Eer* est l'une des œuvres phares de Iannis Xenakis dans les domaines de la musique électronique et de la performance spatiale. Commandée pour l'ouverture du Centre Georges Pompidou à Paris, elle a été jouée dans le Diatope, un espace architectural et acoustique spécialement conçu par Xenakis lui-même.

L'œuvre s'inspire du mythe d'Er dans la *République* de Platon, qui décrit le voyage d'un soldat dans l'au-delà. Xenakis traduit ce récit en une expérience sonore, utilisant des sons électroniques pour évoquer des aspects d'un autre monde et de transformation.

Remarquable pour son environnement immersif, *La Légende d'Eer* utilise un réseau complexe de haut-parleurs pour projeter des sons dans tout le Diatope. Un spectacle lumineux composé de centaines d'ampoules, de lasers et de miroirs contrôlés par ordi-

nateur renforce l'expérience sensorielle. La composition utilise une riche palette de sons électroniques, y compris la synthèse granulaire et des textures de bruit complexes, reflétant la maîtrise de Xenakis des processus stochastiques et des modèles mathématiques.

Structurée comme un flux continu de sons sans divisions claires, l'œuvre invite les auditeurs à s'engager profondément avec le paysage sonore en évolution. Elle illustre l'approche révolutionnaire de Xenakis en matière de musique, combinant sa vision architecturale avec une utilisation innovante de la technologie et du son.

*La Légende d'Eer* est une référence dans l'histoire de la musique électronique, mettant en évidence la capacité unique de Xenakis à allier rigueur intellectuelle et expression artistique profonde.

# Musique électronique

Cette section explore le domaine innovant de la musique électronique, en présentant des œuvres telles que *Studie II* de Karlheinz Stockhausen et *Fontana Mix* de John Cage. Ces œuvres illustrent l'impact transformateur de la technologie sur la création musicale, en mettant en évidence les techniques de génération de sons synthétiques et de manipulation de bandes.

Les magnétophones à bobines ouvertes, introduits dans les années 1930 et 1940, ont révolutionné la composition et l'édition musicales. Avec la *musique concrète*, Pierre Schaeffer a été novateur dans la manipulation de sons naturels enregistrés pour créer de nouvelles textures sonores. Quant au studio de la WDR à Cologne, il est devenu un centre d'expérimentation de la musique électronique.

Les premières musiques électroniques utilisaient des outils techniques de base tels que des oscillateurs et des filtres pour créer et façonner des ondes sonores. L'invention des synthétiseurs contrôlés par tension dans les années 1960 par Robert Moog et Don Buchla a permis une modulation plus complexe du son. De nombreux compositeur-trices ont utilisé la manipulation de bandes sonores dans leurs œuvres, comme John Cage, Vladimir Ussachevsky, Milton Babbitt et Steve Reich, Pierre Schaeffer, Pierre Henry, Hugh Le Caine, Daphne Oram, Edgard Varèse, Luciano Berio et Luigi Nono. La copie entre magnétophones, la manipulation des bandes et les pistes multiples sont devenues des éléments fondamentaux de la musique populaire dans des albums tels que *Pet Sounds* des Beach Boys et *Sergeant Pepper* des Beatles.

31

*Studie II*

1954

Vidéo de Georg Hadju, 3:25 minutes, en boucle.  
Enregistrement sonore & partition: Karlheinz Stockhausen, *STUDIE II / STUDY II Electronic Music* (1954).  
Photographies: avec l'aimable autorisation des Archives WDR.

## Karlheinz Stockhausen

(1928–2007) était un compositeur allemand, pionnier de la musique électronique.

*Studie II* de Karlheinz Stockhausen est une œuvre fondamentale dans sa carrière et dans l'histoire de la musique électronique. Composée en 1954 au studio de la Westdeutscher Rundfunk (WDR) à Cologne, Stockhausen a utilisé des techniques d'assemblage de bandes et d'overdubbing (enregistrement d'une ou plusieurs parties déjà enregistrées) qui ont permis d'appliquer une synthèse additive. La grande photo en noir et blanc présente ledit studio de la WDR. Cette œuvre, ainsi que la précédente intitulée *Studie I*, représente l'une des premières explorations de la composition sonore purement électronique. Contrairement aux compositions traditionnelles, *Studie II* utilise des sons synthétiques générés et manipulés par des moyens électroniques, notamment des ondes sinusoïdales, le filtrage et la modulation d'amplitude. La vidéo projetée ainsi que la partition imprimée permettent de lire et de comprendre la complexité de l'œuvre de Stockhausen.

En effet, la composition de *Studie II* implique une planification méticuleuse et une précision mathématique. Stockhausen a utilisé des techniques sérielles pour contrôler divers para-

mètres du son, tels que le ton, la durée, la dynamique et le timbre. Le résultat est un paysage sonore complexe et abstrait qui remet en question les notions conventionnelles de mélodie et d'harmonie. La composition est structurée en 81 sections, chacune soigneusement conçue pour produire une expérience sonore distincte. Stockhausen a calculé avec précision ces fréquences pour établir un cadre sériel exact, mettant en évidence les corrélations mathématiques entre les tons. En outre, il a employé des techniques de synthèse soustractive, en utilisant des filtres pour former du bruit blanc, ce qui a ajouté à la complexité du timbre de l'œuvre.

Cette pièce reflète la croyance de Stockhausen dans le pouvoir de transformation de la musique électronique et son engagement à repousser les limites de l'expression musicale. L'influence de l'œuvre s'étend au-delà de la musique électronique et touche la composition d'avant-garde et l'art sonore.

*Studie II* reste un point de repère dans l'histoire de la musique, démontrant le potentiel des médias électroniques dans la création de nouvelles expériences sonores.

## 32 Fontana Mix

### 1958

Enregistrement original, environ 15:44 minutes, avec l'autorisation de Suisa.  
Partition imprimée : Fontana Mix par John Cage © 1960 Henmar Press Inc., New York.  
Avec l'autorisation de Faber Music Ltd. Tous droits réservés. Photo avec l'aimable autorisation du John Cage Trust.

## John Cage

(1912–1992) était un compositeur, théoricien de la musique, écrivain et artiste américain.

*Fontana Mix* a été composée à l'aide d'un modèle complexe, dérivé du hasard, pour assembler des fragments de bande magnétique, choisis parmi six catégories de sons : ville, campagne, électronique, produit manuellement (y compris la musique), produit par le vent, et petits sons nécessitant une amplification. Cage a utilisé un nouveau système graphique pour déterminer le choix et éditer ces fragments. Il a également utilisé un ensemble de diagrammes sur plastique transparent comme outil pour créer des versions de l'œuvre. Des points sont sélectionnés sur des lignes courbes pour représenter le type de son, les moyens de modifier l'amplitude, la fréquence et le timbre, ainsi que la durée. Les transparents sont superposés dans diverses combinaisons au-dessus des lignes droites, qui

servent de référence pour les mesures. L'algorithme est ainsi présent dans le processus de montage de la bande sonore qu'entreprend le musicien et non pas dans la manipulation symbolique des sons.

La version originale de Cage a été réalisée au Studio di Fonologia de Milan en 1958, avec l'aide de Marino Zuccheri pour le laborieux processus de découpage et de copie des bandes son. Réalisée à l'époque précédant l'enregistrement multipiste, elle est conçue pour quatre bandes mono-pistes ou deux bandes stéréo. L'œuvre originale peut être jouée en combinaison avec un·e musicien·ne jouant certaines autres œuvres de Cage. L'œuvre, les matériaux, le compositeur, l'interprète et l'environnement établissent des relations nouvelles et dynamiques.

## 33 Revox G36

### 1966

Magnétophone composé de plastique, électronique, bandes, métal, 29.5×47.7×34.1 cm.  
Bobines : 26.5 cm ø.  
Fabriqué par Revox.  
Prêté par le SMEM, Musée suisse et centre des instruments de musique électroniques.

La société suisse Revox, fondée en 1951 par Willi Studer, est réputée pour ses équipements audio de haute qualité. L'un de ses produits les plus emblématiques est le magnétophone Revox G36. Cet appareil a été révolutionnaire car c'était le premier magnétophone à incorporer un moteur synchrone comme moteur de cabestan (entraînement de la bande), améliorant considérablement sa précision et sa

stabilité audio. Le G36 offrait deux vitesses de bande (3,75ips et 7,5ips) et une capacité de double piste, pouvant ainsi s'adapter aux divers besoins d'enregistrement. Également réputé pour sa robustesse et sa fiabilité, il est rapidement devenu un élément essentiel des studios professionnels et des systèmes de home studio haute-fidélité. Ce type de magnétophone à bobine était typique de ceux utilisés

dans les studios de musique électronique pour les œuvres faisant appel à des techniques de collage de bandes. Les compositeur·trices plaçaient la bande dans un sillon et marquaient les points pour le montage avec un crayon gras avant de la couper à l'aide d'une lame de rasoir. Pour joindre deux bandes, les extrémités étaient alignées dans la rainure du bloc d'édition et un petit morceau de ruban adhésif était appliqué à l'arrière. Les composi-

teur·trices pouvaient créer des effets en inversant des segments de bande, en formant des boucles ou en modifiant la vitesse de lecture. Ce processus méticuleux permettait de créer des compositions novatrices impossibles à réaliser par le biais de la notation musicale traditionnelle ou de l'interprétation. Le Revox G36 a ainsi marqué une avancée technologique significative dans l'ère de l'enregistrement analogique.

## 34 Buchla 200e Skylab

### 2012

Synthétiseur analogique : bois, électronique, plastique, câbles, 18×58×38 cm.  
Fabriqué par Buchla.  
Collection privée.

Le Buchla 200e Skylab, commercialisé en 2012, est un synthétiseur modulaire compact mais puissant qui résume l'essence de l'approche innovante de Buchla en matière de musique électronique. Depuis le début des années soixante, l'entreprise Buchla est connue pour ses conceptions uniques et expérimentales. Son fondateur, Don Buchla (1937–2016) était un inventeur et compositeur américain avant-gardiste, reconnu pour ses contributions significatives à la musique électronique. L'invention la plus notable de Buchla est le Buchla Series 100, l'un des premiers synthétiseurs modulaires, créé en 1963. Le 200e Skylab perpétue cet héritage en transposant le célèbre ADN Buchla dans un système portable et flexible. Ce synthétiseur combine

des technologies numériques et analogiques, offrant un large éventail de possibilités sonores pour les performances en direct et la conception de sons complexes. Sa nature modulaire permet aux utilisateur·trices de personnaliser et d'étendre leur configuration, favorisant ainsi la créativité et l'exploration. L'interface distinctive du Skylab, avec ses commandes tactiles et son retour d'information visuel, facilite la création musicale intuitive et expressive. Les premiers synthétiseurs électroniques analogiques ont joué un rôle déterminant dans l'histoire de la musique électronique et algorithmique, en offrant aux compositeur·trices et aux musicien·nes de nouveaux outils pour la création et la manipulation de sons.

## 35 Expert Senior Gramophone

### 1930

Gramophone : bois, papier mâché, métal, 178×74×122 cm.  
Fabriqué par E.M.G Handmade Gramophones.  
Collection privée.

Le gramophone exposé ici a été le premier à disposer d'une qualité essentielle : la forme du pavillon suit une accélération de son diamètre calculée mathématiquement. L'accélération commence juste derrière la caisse de résonance, passe par le bras de lecture et les tubes intérieurs jusqu'à l'em-

bouchure du pavillon. Cette dernière est faite de papier mâché, collé sur une fine structure de soutien afin de minimiser les résonances et les réflexions. La caisse de résonance est construite de manière à permettre l'accord, à minimiser la perte d'information du sillon du disque et à fournir une qualité

sonore optimale. Ces gramophones sont réputés comme les meilleurs jamais produits.

Les premiers gramophones, phonographes et tourne-disques ont profondément influencé le développement de la musique, y compris les genres électroniques et algorithmiques. Inventé par Thomas Edison en 1877, le phonographe a été le premier appareil capable d'enregistrer et de reproduire le son. Cette technologie a révolutionné l'expérience et la production musicale. Son impact est encore significatif, car si aujourd'hui les chansons pop durent environ trois minutes, c'est parce que

le disque phonographique d'Edison ne pouvait stocker que trois minutes de musique.

L'influence de ces premiers appareils s'étend à la musique contemporaine, permettant de traiter les sons comme des données. Les échantillonneurs numériques et les logiciels imitent aujourd'hui les techniques développées par les premières musicien·nes électroniques et algorithmiques. Ces technologies innovantes ont jeté les bases de la manipulation du son et des processus algorithmiques, qui continuent de façonner la musique contemporaine.

## 36 *The Hands*

2000

Instrument électronique :  
40 × 30 × 30 cm.  
Technicien : Jorgen Brinkman  
STEIM.  
Vidéo : 3:29 minutes, en boucle.  
Avec l'aimable autorisation  
des Archives Michel Waisvisz.

## Michel Waisvisz

(1949–2008) était un compositeur, performeur, musicien et inventeur néerlandais.

*The Hands* (Les Mains) de Michel Waisvisz ont révolutionné la musique électronique en direct. Développés pour la première fois en 1984, il s'agissait de deux contrôleurs portés sur les mains de l'artiste, équipés de capteurs capables de détecter divers mouvements et gestes de la main. Ces mouvements étaient ensuite traduits en signaux de contrôle, ce qui permettait à l'artiste de manipuler des paramètres sonores tels que le ton, le volume et le timbre d'une manière dynamique et nuancée. L'appareil utilisait des technologies telles que les capteurs infrarouges et ultrasons ainsi que des accéléromètres pour capturer les gestes de l'interprète, ce qui en a fait l'un des premiers contrôleurs portables dans la musique électronique.

L'invention de Waisvisz a permis d'atteindre un niveau d'expressivité sans précédent. Contrairement aux synthétiseurs traditionnels basés sur des claviers, *The Hands* offre un moyen direct et physique d'interagir avec les sons électroniques, ce qui rend la

performance plus attrayante et visuellement convaincante.

L'impact des *Hands* sur la musique électronique a ouvert de nouvelles voies pour la performance en direct et l'improvisation, influençant une génération de musicien·nes et de compositeur·trices électroniques. Waisvisz lui-même a beaucoup utilisé *The Hands* dans ses performances, démontrant leur potentiel dans divers contextes musicaux.

L'héritage de Michel Waisvisz et des *Hands* continue d'inspirer les développements contemporains en matière de conception d'interfaces musicales. Son travail a encouragé l'exploration de nouvelles formes d'interaction entre l'humain et l'ordinateur dans la musique, en soulignant l'importance de la réalité physique et du geste dans la création et l'interprétation de la musique électronique.

37

*Lady's Glove v.4*

1994

Gant électronique portable : lycra,  
19 senseurs électroniques,  
66 × 14 × 5 cm.  
Inventrice : Laetitia Sonami.  
Ingénieur : Bert Bongers.  
Vidéo : *Sonami in Guangzhou-2012*.  
Réalisée par Brian Laczko,  
1:12 mins, en boucle.

## Laetitia Sonami

est une musicienne d'origine française qui travaille à Oakland, en Californie.

Les œuvres novatrices de Laetitia Sonami explorent les thèmes de la présence, de la participation et de l'imédiateté du son, du lieu et des objets. Elle est surtout connue pour son emblématique *Lady's Glove*, dont l'exemplaire actuellement exposé est la quatrième génération. Ce gant, qui remonte jusqu'au coude, est équipé de nombreux capteurs capables de traduire en sons les mouvements de la main et du corps de l'artiste, préfigurant ainsi la technologie portable d'aujourd'hui.

Sonami est une artiste sonore, une interprète et une chercheuse pionnière qui a repoussé les limites de la musique électronique et de la performance gestuelle. Née en France, elle s'est installée aux États-Unis en 1975 pour s'immerger dans le domaine émergent de la musique électronique, étudiant avec des pionnier·ères tels qu'Eliane Radigue, Joel Chadabe, Robert Ashley et David Behrman. A la suite du gant, elle a créé en 2015 le *Spring Spyre*, un nouvel instrument qui applique les réseaux neuronaux à la synthèse audio en temps réel.

# IA & musique

La musique fondée sur des règles a une longue histoire, qu'elles concernent l'imagination, la création, l'éducation ou l'automatisation. L'ère de l'information a fait entrer ces approches dans une phase féconde, depuis la *Suite Illiac* de Hiller et Isaacson en 1957 sur un ordinateur de la taille d'une pièce, jusqu'aux récentes technologies d'apprentissage automatique accessibles au public qui génèrent des bandes sonores ou des chansons pop à partir de simples instructions.

Les développements récents de l'IA transforment la création, la réception et la compréhension de la musique, en traitant de vastes données et en s'adaptant à notre monde saturé d'informations. De nombreux efforts ont été déployés pour générer des styles de musique connus, les imiter et les recommander.

Cette exposition propose de nouvelles approches, abordant la performance, l'écoute, la créativité humaine, la paternité, l'éthique post-humaine et la culture globale. *Polyp* de Trillo et Poliks nous rappelle la surveillance constante et l'évolution de la vie sonore. *Voyager* de Lewis incarne une créativité et une musicalité profondes. Dans *Nature of L.A.R.S.*, Wollny et Rohrmeier explorent l'interaction en direct entre l'humain et la machine sur un piano. *Life Codes* de Cárdenas nous met en contact direct avec l'ordinateur. *Apollo e Marsia* d'Impett, explore le temps et la mémoire humaine. Walshe examine d'un œil critique 13 façons de voir l'IA, l'art et la musique.

38

## On the Nature of L.A.R.S.

2024

Développement: Joris Monnet, Martin Rohrmeier, Ioannis Rammons.  
Vidéo: Matthias Grunder.  
Management: ACT Music.

### Michael Wollny & Martin Rohrmeier

Michael Wollny est un pianiste de jazz allemand et un professeur de piano jazz à la Hochschule für Musik und Theater Leipzig.

Martin Rohrmeier est professeur de musicologie numérique à l'EPFL.

*On the Nature of L.A.R.S.* montre le pianiste de jazz Michael Wollny en duo avec une machine musicale sur un Disklavier. Développé conjointement par Michael Wollny et Martin Rohrmeier, *L.A.R.S.* est un système doté des capacités superposées d'écoute, d'action, de réaction et de silence. Il incarne à la fois une réflexion sur l'essence du processus créatif, et une esthétique autonome, agissant comme une extension de l'esprit musical des auteurs. Lors d'un rendez-vous musical, *L.A.R.S.* et son partenaire humain apprennent

à se connaître et explorent ensemble la relation entre la créativité, les règles, la liberté et la spontanéité. L'œuvre est aussi un engagement personnel de ses créateurs avec la longue histoire de la composition basée sur des règles et des algorithmes, y compris des figures comme Machaut, Frescobaldi, Nancarrow, Ligeti, Stockhausen et Lewis. Il relie l'histoire des pianos mécaniques et des agents musicaux computationnels aux développements de l'interaction avec les machines, d'ELIZA à l'IA moderne.

39

## Life Codes

2024

Installation interactive immersive, 60 minutes, en boucle.  
Compositrice, artiste principale: Alexandra Cárdenas.  
Artiste visuel: Roger Pibernat.  
Programmeur, designer d'interaction: Patrick Borgeat.  
Assistant de production: Nikita Freeboïd Khudiakov.

### Alexandra Cárdenas

est une compositrice et live coder originaire de Colombie, qui travaille à Berlin.

*Life Codes* initie le public à la pratique du codage en direct et à l'art de la programmation de la musique algorithmique. En démystifiant le fonctionnement interne de la pensée musicale algorithmique, l'artiste met en lumière la manière dont les ordinateurs permettent d'élargir les horizons de la création musicale en direct. *Life Codes* vise à élargir l'accès au codage en direct au-delà des groupes spécialisés, estimant que l'expression artistique et l'éducation technologique doivent être inclusives et participatives. L'installation transforme la manipulation du code

une expérience engageante et immersive. Le public découvre des fragments de code en informatique à la dérive, accompagnés d'images visuelles et de sons. En scannant un code QR à l'aide de leur téléphone ou tablette, les utilisateurs se voient attribuer un curseur qui apparaît sur les murs. Par des gestes intuitifs, les participants peuvent ensuite manipuler les fragments de code, en reliant de manière transparente différents morceaux et en influençant le son et l'image en temps réel, pour créer de nouvelles compositions et visualisations.

Grâce à une interaction tangible et intuitive avec le code, les participant·es deviennent des créateur·trices actifs et actives et développent un lien plus profond avec le processus de création. *Life Codes* cherche ainsi à susciter

la curiosité, la créativité et une appréciation renouvelée des liens entre la musique, les machines, les algorithmes, les technologies numériques et l'expression humaine.

## 40 *Apollo e Marsia* 2024

Vidéo, résonateurs et IA.  
Flûte alto: Richard Craig.  
Viole d'amour: Marco Fusi.  
Vidéaste: Shivadas De Schrijver.  
Ingénieur du son: Juan Parra Cancino.  
Constructeur d'instruments:  
Magno Caliman.  
Programmeur: Leonardo Impett.

### Jonathan Impett

est compositeur, trompettiste et chercheur. Il est actuellement directeur de recherche à l'Orpheus Instituut de Gand.

Cette œuvre prolonge le moment représenté par Tintoret dans son tableau *La gara tra Apollo e Marsia* (vers 1545). Apollon, qui joue d'une viola da braccio avec des cordes sympathiques, est défié par le satyre Marsia, qui joue d'un long instrument à vent, pour savoir qui est le plus grand musicien. D'après *Les Métamorphoses* d'Ovide, Apollon gagnera. Toutefois, au moment de la scène décrite, les deux protagonistes attendent le jugement du roi Midas.

L'installation *Apollo e Marsia* comprend deux grands écrans affichant des interprétations de compositions pour viole d'amour et flûte alto dans des schémas changeants de fragments. Le son de l'alto est également traité par deux longs tubes, celui de la flûte par deux longues cordes; leurs performances se modulent mutuellement. Les deux musiciens sont constamment à l'écoute l'un de l'autre et des sons

changeants de la pièce grâce à des réseaux d'apprentissage automatique, générant de nouveaux souvenirs qui peuvent prédire, rappeler ou surprendre.

L'œuvre joue sur la non-linéarité de la mémoire en situation de stress; des souvenirs sont rappelés, rejoués ou perturbés, mais leur reconstitution change continuellement. Tout en reconstituant leurs propres souvenirs, Apollon et Marsia s'écoutent mutuellement, essayant de remettre en question la mémoire de l'autre.

Ces souvenirs sonores, fragmentés par des ratures, proviennent de deux hymnes à Apollon inscrits sur les pierres du temple qui lui est dédié à Delphes. Il s'agit sans doute de notations musicales parmi les plus anciennes au monde, une mémoire partiellement perdue que l'installation tente de recréer.

## 41 *13 Ways of Looking at AI, Art & Music*

2021-2024

### Jennifer Walshe

est une compositrice et interprète irlandaise, travaillant à Londres et à Roscommon.

En 2023, Jennifer Walshe a écrit un essai très influent intitulé *13 Ways of Looking at AI, Art & Music* (13 façons de voir l'IA, l'art et la musique), qui propose de nouvelles manières radicales de penser ce qu'est et ce que fait l'IA. Cette salle présente cinq œuvres de Walshe – *AI as Fan Fiction*, *as Energy Drink*, *as Conceptual Art*, *as Companion Species*, *as Nature*, *the Ineffable* – qui résument chacune les 13 façons d'envisager l'IA présentées dans son essai.

Walshe note que: «L'intelligence artificielle n'est pas un phénomène unique, [...] mais c'est beaucoup, beaucoup de choses différentes – le chatbot fantaisiste qui tel un·e partenaire nous murmure des mots doux virtuels à l'oreille, l'algorithme qui scanne nos visages au contrôle des passeports, les listes de lecture qu'on nous sert lorsque nous ne nous donnons pas la peine de choisir un album par nous-mêmes. La technologie est similaire dans chaque cas, mais les réseaux, les ensembles de données et les résultats sont tous différents.

Il en va de même pour l'art et la musique créés à l'aide de l'IA. Nous pouvons écouter Frank Sinatra chanter

d'outre-tombe une reprise d'une chanson de rap, nous pouvons regarder des peintures réalisées par des robots, nous pouvons rester dans la section des commentaires d'un livestream de death metal généré par l'apprentissage automatique. Mais le fait que ces œuvres d'art soient réalisées à l'aide de l'IA ne signifie pas qu'elles posent toutes les mêmes questions ou qu'elles poursuivent les mêmes objectifs. Nous percevons ces œuvres – et la manière dont l'IA y est utilisée – d'une multitude de façons.

Ainsi, au lieu de chercher une approche définitive [...], peut-être devrions-nous essayer de penser comme les réseaux – dans des dimensions plus élevées. Il ne s'agit pas d'une seule façon d'envisager l'IA, mais de plusieurs.»

Le texte intégral (en anglais) peut être consulté via le code QR ci-dessous.



### 41.1.A *The Text Score Dataset 1.0*

2021

Panneaux, partition sur t-shirt, ensemble de données en 12 volumes.

### Jennifer Walshe

La partition textuelle – instructions écrites n'impliquant aucune notation musicale standard – est l'une des formes de notation les plus démocratiques et les plus puissantes. Initiée par Marcel Duchamp (1887–1968) et reprise par John Cage à la fin des

années 1950, la partition de texte a été rapidement adoptée par des artistes, des écrivain·nes, des musicien·nes et des cinéastes. En 2017, Jennifer Walshe a commencé à rassembler des partitions de texte en vue de constituer un ensemble de données qui pourrait être

utilisé pour entraîner un système d'apprentissage automatique à créer de nouvelles partitions. Chaque partition de texte devait être transcrite et être ensuite générée en métadonnées. Il en a résulté un ensemble de données de plus de 3000 notes de texte, soit un corpus d'environ un demi-million de mots.

En 2021, le Centre PRISM du Royal Northern College Music a commandé l'achèvement de la première phase du projet. En collaboration avec David DeRoure, cofondateur de PRISM et professeur au département des sciences de l'ingénieur de l'Université d'Oxford, Walshe et son assistant Ragnar Ámi Ólafsson ont produit les résultats présentés dans l'exposition et dans le livret du projet.

« #2 : Energy Drink. L'IA est une boisson énergétique. Elle vous permet d'en faire plus, pour moins cher. Pourquoi écrire qu'une partition quand on peut en écrire des centaines ? »

Le livret *Text Score Dataset 1.0* peut être téléchargé gratuitement en ligne grâce au code QR ci-dessous. Les partitions existent pour être jouées, librement, par n'importe qui.



## 41.1.B *The Text Score Dataset 1.0*

2021

Puzzle, saxophone gonflable, règles, arbres de cristal, soldats et animaux en plastique, papier bulle, radio, couverture d'urgence, enregistreur, ruban adhésif.

Des accessoires jetés et des traces de performances des partitions générées par l'IA de *The Text Score Dataset 1.0*

peuvent être trouvés dans l'espace ; des traces de l'activation humaine de l'art généré par l'ordinateur.

## 41.2 QUANTA

2018

Vidéo, 42:41 minutes, extraite d'un film de 60 minutes.

## Tomomi Adachi & Jennifer Walshe

Jennifer Walshe et le compositeur et interprète japonais, Tomomi Adachi, sont des collaborateurs de longue date qui partagent tous deux un intérêt pour l'IA. Le *Tomomibot*, un projet primé d'Adachi, est un système d'IA basé sur sa voix. En 2018, Adachi et Walshe ont réalisé une performance très conceptuelle dans une chambre d'hôtel au Luxembourg. Ils ont utilisé une planche d'oui/ia pour tenir une séance de spiritisme, afin de contacter une « IA du futur ». Les deux artistes ont eu la chance d'entrer en contact avec un être qui s'est identifié comme « Quanta » et qui a répondu à leurs

questions sur le développement de l'IA. La performance pose des questions sur les espoirs que les humains placent dans l'IA, ainsi que sur notre sentiment d'autorité par rapport à elle.

« #6 : The Ineffable. L'IA est l'ineffable. C'est une façon d'utiliser le langage pour accéder à quelque chose au-delà du langage, une voie d'accès à des idées particulières sur le génie musical intemporel. »

## 41.3 OSCAILT

2023

Vidéo, 7:16 mins.  
Commande de Music Network Ireland. Interprété par Panos Ghikas, Elizabeth Hilliard, Nick Roth et Jennifer Walshe.

## Jennifer Walshe

L'Irlande est devenue le pays des centres de données, des entreprises technologiques et des câbles de fibre optique qui transportent l'information à grande vitesse de l'Atlantique à l'Europe et au-delà. L'œuvre de Walshe, OSCAILT, une pièce de théâtre musical d'une heure, s'interroge sur ce que cela signifie pour la plus jeune génération d'Irlandais-es, les « natif-ves du numérique ». Les androïdes irlandais rêvent-ils de moutons électriques ? De pull-overs Aran fluo ? D'illuminations médiévales psychédéliques ? La vidéo présentée ici, tirée de la dernière section de la pièce, part d'une image simple – des adolescent-es irlandai-ses

et leurs smartphones – et utilise l'IA pour dériver à travers la compréhension que se fait le réseau de l'île d'Émeraude, révélant progressivement un paysage cosmique.

« #10 : Nature. L'IA est la nature. L'IA générative fonctionne parce qu'elle est construite sur d'immenses ensembles de données constitués de fragments d'Internet. Nous vivons dans ces ensembles de données et y contribuons quotidiennement, que nous utilisions ou non l'IA générative. Les données numériques constituent aujourd'hui le véritable paysage. »

## 41.4 ULTRACHUNK

2018

Système d'IA pour le spectacle vivant. Vidéo, 23:12 mins.  
ULTRACHUNK a été commandé par les Somerset House Studios avec le soutien généreux de la Case Foundation.

## Memo Akten & Jennifer Walshe

ULTRACHUNK est une collaboration entre Walshe et l'artiste et technologue turc Memo Akten. Le résultat est une étrange version de Walshe, générée par l'IA, avec laquelle elle peut improviser en temps réel. Pendant un an, Walshe s'est livrée à un rituel quotidien d'improvisations vocales en solo devant sa webcam, recueillant d'innombrables heures de vidéo et d'audio.

Akten a ensuite utilisé ce matériel comme corpus d'entraînement pour un système d'apprentissage automatique qu'il a intitulé GRANMA MagNet (Granular Neural Music & Audio with Magnitude Networks).

En performance, ULTRACHUNK navigue dans l'hypersphère, générant de la vidéo et de l'audio en temps réel. La vidéo et le son créés ne sont ni échantillonnés ni traités. Cela signifie que chaque image et chaque son sont générés en direct, construits à partir des fragments de mémoire qui se trouvent dans les profondeurs des réseaux neuronaux. La Walshe originale et la Walshe virtuelle habitent ensemble l'Uncanny Valley (la vallée de l'étrange), chantent en duo, improvisent, s'écoutent et se répondent.

Pendant l'année qu'elle a passée à générer le matériel pour l'ensemble de données sur lequel ULTRACHUNK

s'entraînerait, Walshe a tenu un journal relatant l'expérience. Des citations tirées de son journal sont incluses dans la vidéo, qui présente des extraits de la première représentation d'ULTRACHUNK.

« #13: Companion Species. L'IA est une espèce de compagnie. Il s'agit d'une espèce non humaine avec laquelle les humains travaillent et nouent des relations. C'est nous, les humains, qui sommes responsables de l'IA, nous, les humains, qui devons en prendre soin, la façonner, la former. »

## 41.5 URSONATE%24 2024

Album de musique, 45 minutes.

### Jennifer Walshe

*L'Ursonate* (1922-1932) de Kurt Schwitters est considérée comme l'un des textes clés du dadaïsme, une œuvre phare de l'histoire de la poésie sonore. Il s'agit d'une composition méticuleusement structurée, divisée en quatre mouvements, qui s'étendait sur 30 pages de texte lorsque Schwitters l'a publiée pour la première fois dans son magazine *Merz* en 1932. Walshe entretient une relation étroite avec cette œuvre, qu'elle a interprétée à de nombreuses reprises au cours des vingt dernières années, dans des contextes très variés. Pour URSONATE%24, Walshe a utilisé l'IA pour générer une

nouvelle performance de l'œuvre, navigant dans un large éventail de genres. Elle considère cela comme un renouvellement du dadaïsme *Ursonate*, un siècle après que Schwitters ait commencé à y travailler.

« #1: Fan Fiction. L'IA est une fan-fiction. L'IA donne aux fans le pouvoir de produire davantage de la musique qu'ils aiment, de la manière qu'ils veulent, indépendamment de la volonté des artistes, des maisons de disques ou des éditeur-trices. »

1

Polyp

## Marek Poliks & Roberto Alonso Trillo



Polyps. Avec l'aimable autorisation de Roberto Alonso Trillo & Marek Poliks.

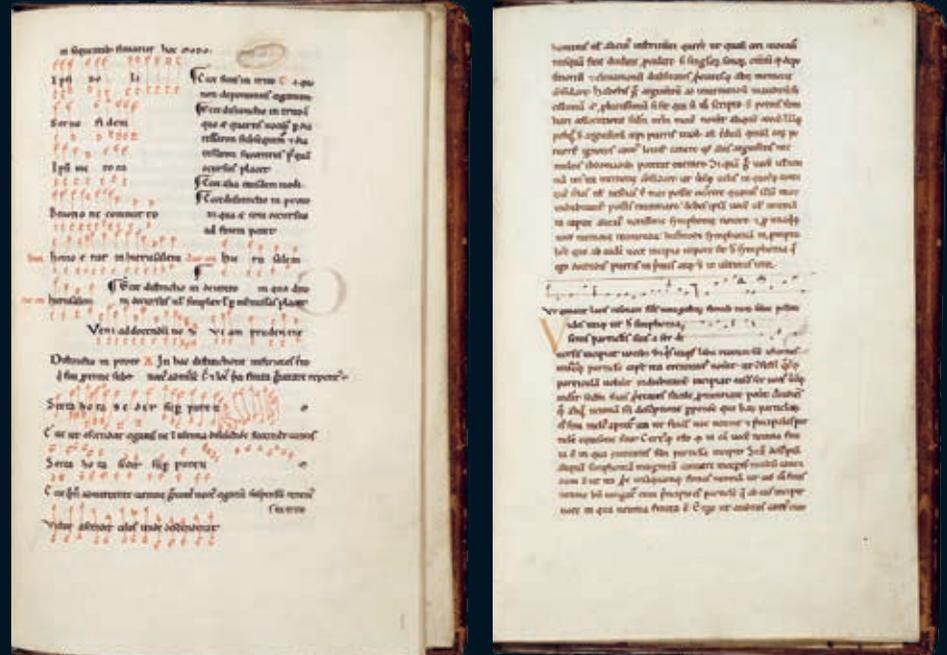
# 2.1 Ut queant laxis & La Main guidonienne



La Main guidonienne, copie datant du XVIe siècle. © Bodleian Libraries, University of Oxford.

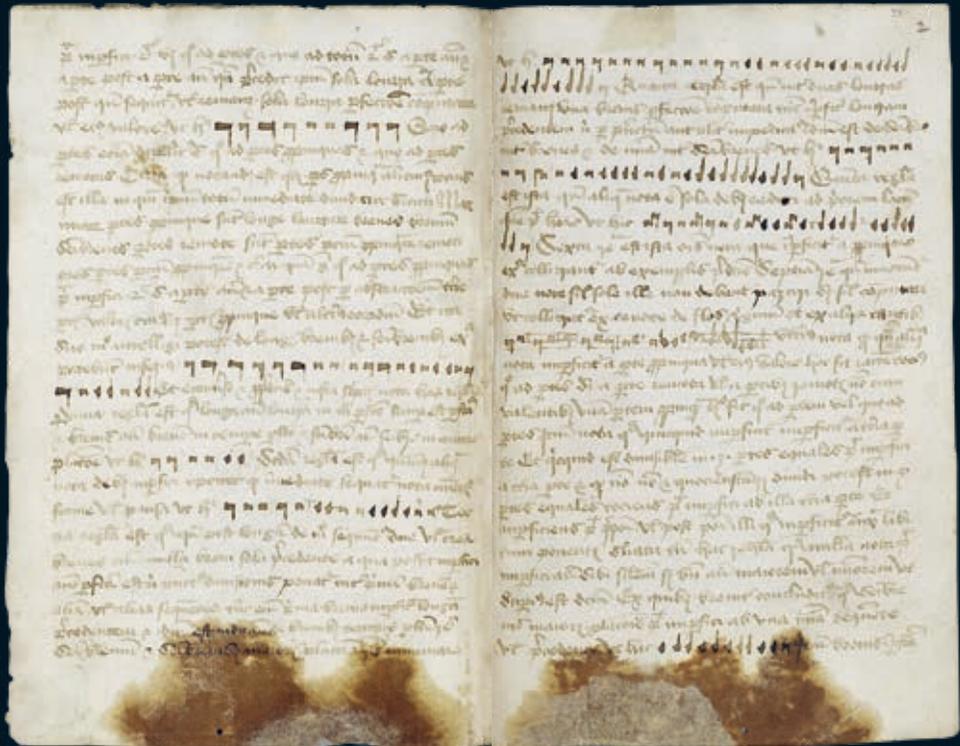
# 2.2 La notation de Guido d'Arezzo

Gauche: Micrologus, MSR-05, folio 91r. Droite: Epistola ad Michaelem, MSR-05, folio 99r, Guido d'Arezzo. Relié avec Boethius, De Musica, Alexander Turnbull Library, Wellington, Nouvelle Zélande.



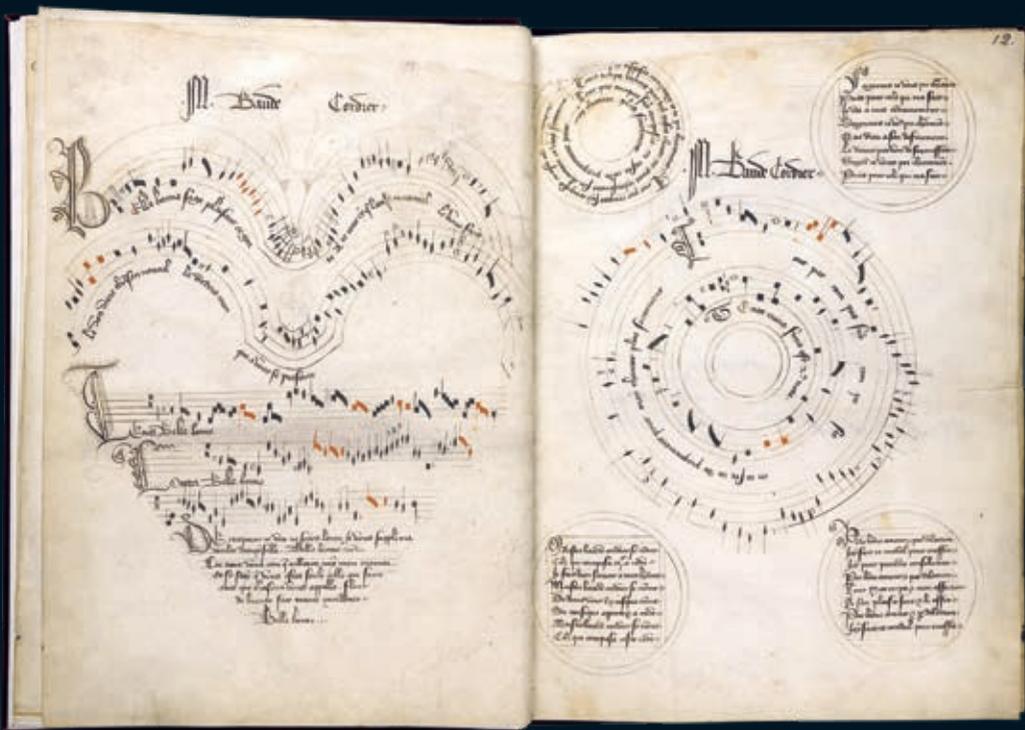
# 3 Libellus cantus mensurabilis Johannes de Muris

Libellus cantus mensurabilis par de Muris. Avec l'amable autorisation de la Parker Library, Corpus Christi College, Cambridge.



# 4 Belle, Bonne, Sage – Tout par compas

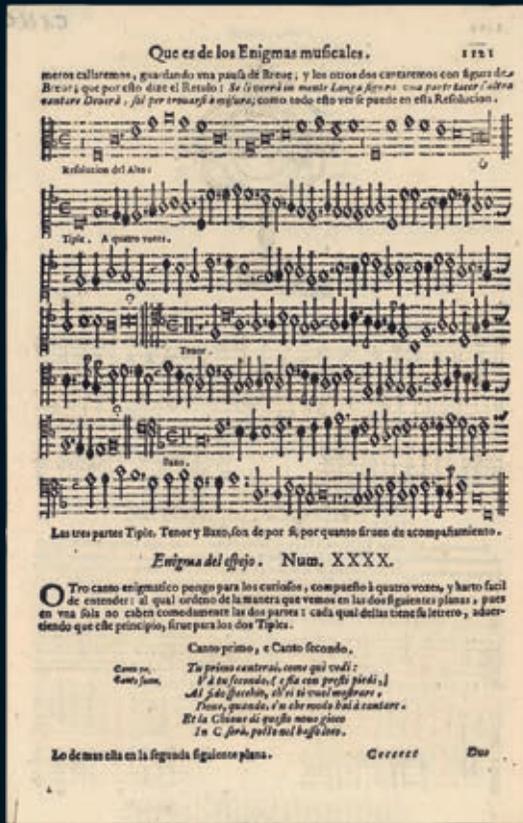
## Baude Cordier



Manuscrits de Belle, Bonne, Sage (gauche) & Tout par compas (droite), par Baude Cordier (issus du Codex Chantilly. Avec l'aimable autorisation du Château de Chantilly, Musée Condé, manuscrit 564, t. 11v. Cliché IRHT-CNRS / Bibliothèque que du Château de Chantilly.

# 6 Enigma del Espejo

## Pedro Cerone



L'Enigma du miroir, dans Melopoeo y maestro, Cerone, 1613. World Digital Library.



# 5 Ardoise pour polyphonie



Ardoise du XVe siècle avec portée musicale. Avec l'aimable autorisation de la ville de Gand. Service d'archéologie urbaine et de conservation du patrimoine.

# 7 Je Missa Di dadi

## Josquin des Prez

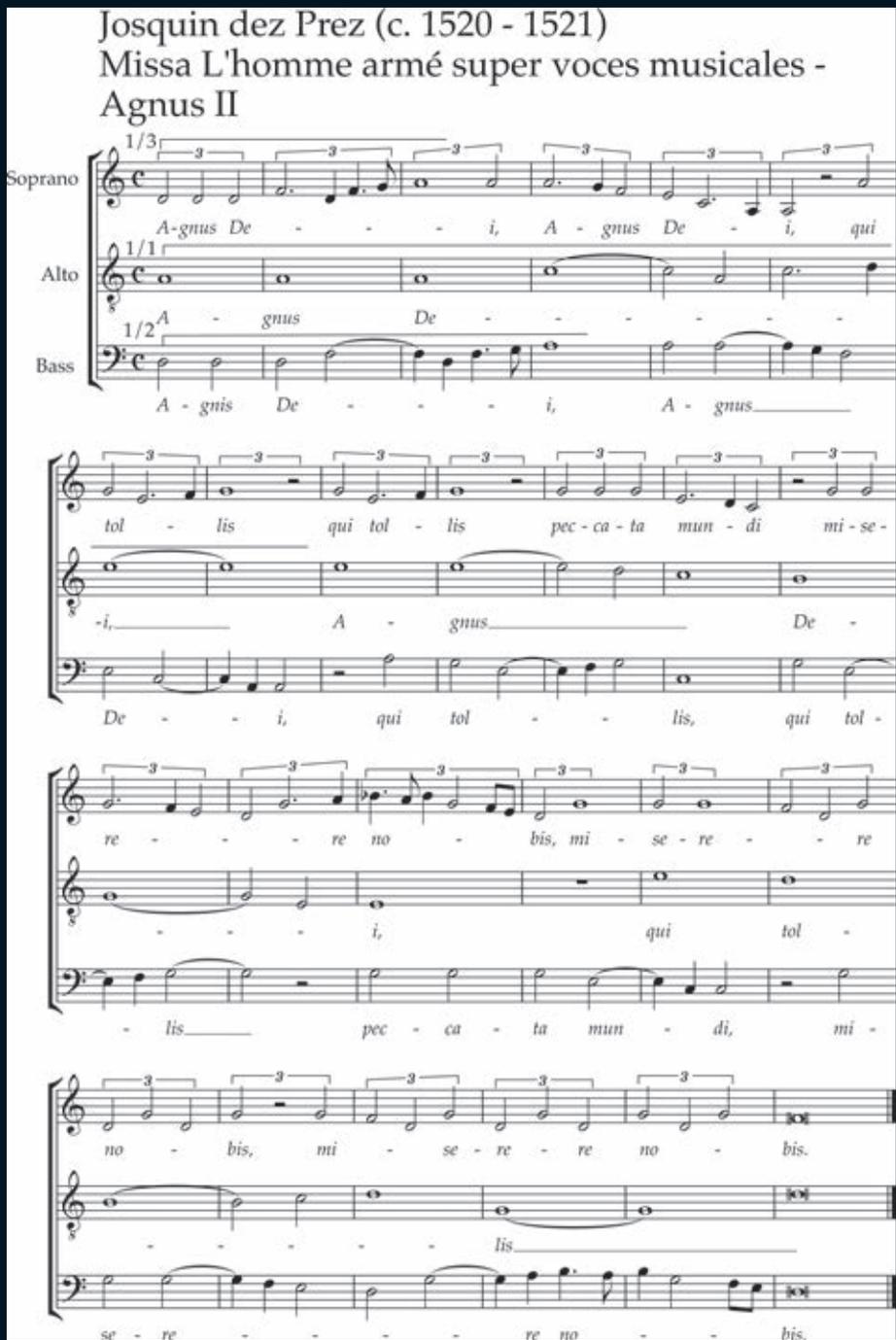


Manuscrit de Missa Di dadi. Reproduction digitale. Avec l'aimable autorisation de l'ONB Vienne: SA.77C.20/LiberIII/Tenor, fol. 28v-29r.

# 8 Missa L'homme armé super voces musicales – Agnus II

## Josquin des Prez

Josquin dez Prez (c. 1520 - 1521)  
Missa L'homme armé super voces musicales -  
Agnus II



Soprano  
Alto  
Bass

A - gnus De - - - i, A - gnus De - i, qui  
A - gnus De - - - i, A - gnus  
tol - lis qui tol - lis pec - ca - ta mun - di mi - se -  
- i, A - gnus De -  
De - - i, qui tol - lis, qui tol -  
lis pec - ca - ta mun - di, mi -  
no - bis, mi - se - re - re no - bis.  
lis  
se - re - re no - bis.

Missa l'homme armé super voces musicales – Agnus II. Partition annotée. Avec l'aimable autorisation de Jonathan Impett.

# 9 Six représentations de la musique

## EPFL-DCML

Codage XML pour une représentation numérique de la musique, Franz Schubert, *Impromptu No. 3 en sol bémol/majeur*, D. 899 (1827). ©DCML.

```
<credit page="1">  
<credit-type="title"><credit-type="text">  
<credit-words default="p" style="font-size: 12pt; font-weight: bold; text-align: center; text-decoration: underline;">Six représentations de la musique</credit-words>  
</credit-type>  
</credit>  
<credit page="2">  
<credit-type="text">  
<credit-words default="p" style="font-size: 12pt; font-weight: bold; text-align: center; text-decoration: underline;">Franz Schubert</credit-words>  
</credit-type>  
</credit>  
<credit page="3">  
<credit-type="text">  
<credit-words default="p" style="font-size: 12pt; font-weight: bold; text-align: center; text-decoration: underline;">Impromptu No. 3 en sol bémol/majeur</credit-words>  
</credit-type>  
</credit>  
<credit page="4">  
<credit-type="text">  
<credit-words default="p" style="font-size: 12pt; font-weight: bold; text-align: center; text-decoration: underline;">D. 899</credit-words>  
</credit-type>  
</credit>  
<credit page="5">  
<credit-type="text">  
<credit-words default="p" style="font-size: 12pt; font-weight: bold; text-align: center; text-decoration: underline;">1827</credit-words>  
</credit-type>  
</credit>  
<credit page="6">  
<credit-type="text">  
<credit-words default="p" style="font-size: 12pt; font-weight: bold; text-align: center; text-decoration: underline;">©DCML</credit-words>  
</credit-type>  
</credit>
```



Partition originale de Franz Schubert, *Impromptu No. 3 en sol bémol/majeur*, D. 899 (1827). Avec l'aimable autorisation de The Morgan Library & Museum, New York.

# 10.1 Arca Musarithmica

Athanasius Kircher

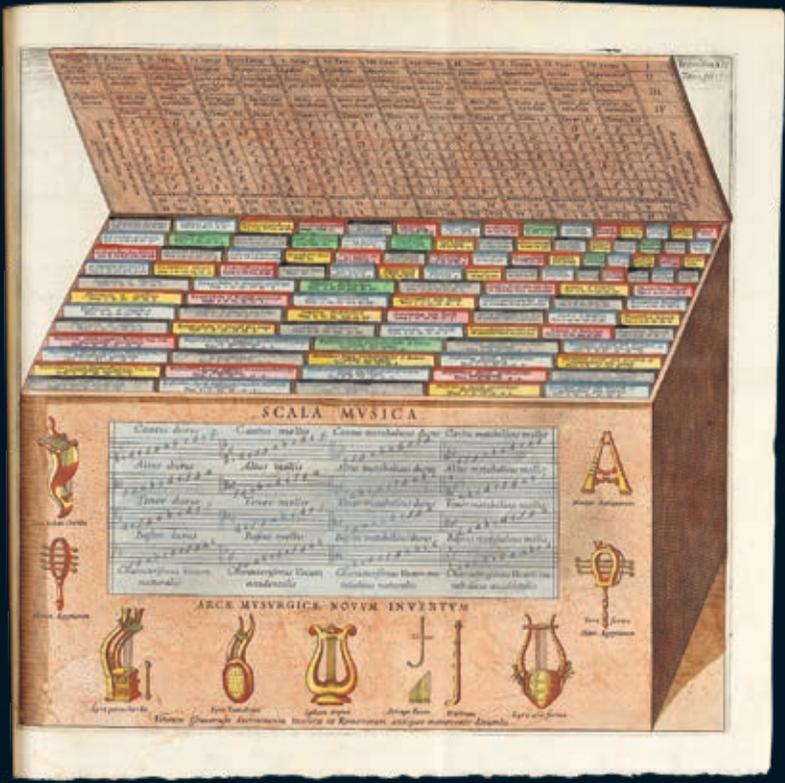


Illustration de l'Arca Musarithmica. Dans Musurgia Universalis de A. Kircher. Sp Coll Ferguson Af-x-10, avec la permission de University of Glasgow Archives and Special Collections.

# 10.2 Neue Hall- und Thon-Kunst

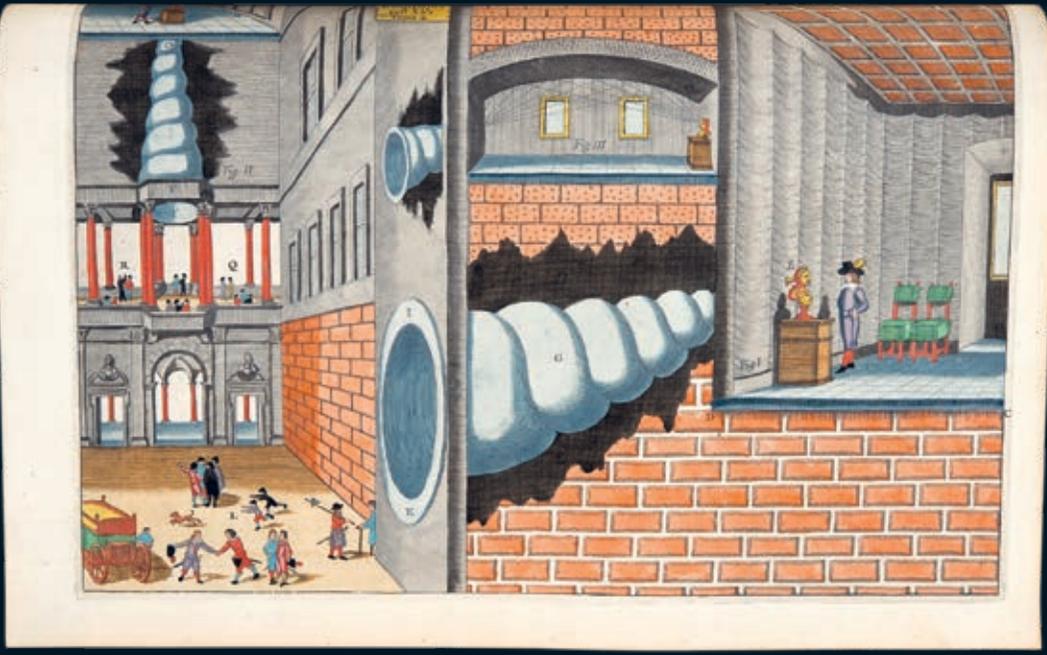


Illustration de A. Kircher. Sp Coll Ferguson Af-x-10, avec la permission de University of Glasgow Archives and Special Collections.

# 10.3 Musurgia Universalis



Illustration d'un orgue hydraulique. Dans Musurgia Universalis par A. Kircher. Sp Coll Ferguson Af-x-10, avec l'autorisation de University of Glasgow Archives and Special Collections.

# 11 Musikalisches Würfelspiel

W.A. Mozart [?]



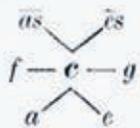
Partition numérisée, Musikalisches Würfelspiel, de W.A. Mozart. Source: gallica.bnf.fr / BnF. Département Musique, MS-253. Bibliothèque nationale de France.



# 14 Die Lehre von den musikalischen Klängen

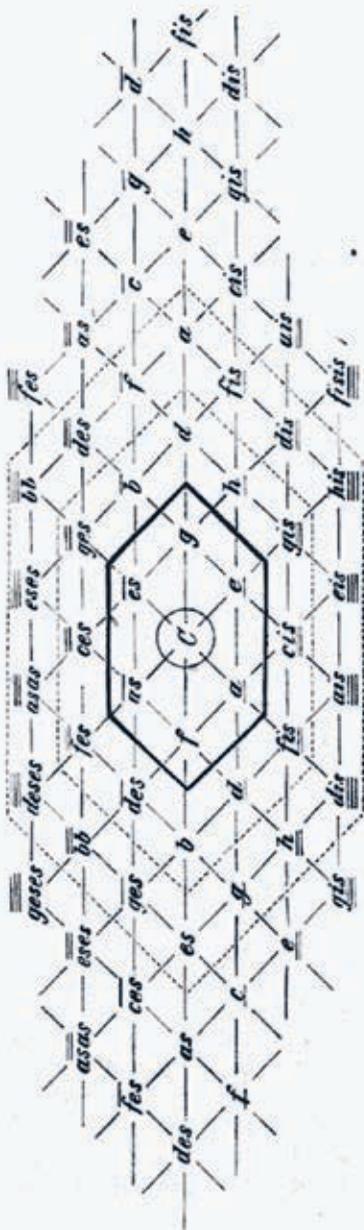
Otakar Hostinsky

engsten verwandtschaftlichen Verhältnisses gewissermassen nur als Alterego, als Verdoppelung des betreffenden Grundtones in anderer Lage angesehen wird und deshalb auch den Namen des letzteren beibehält, die Quarte und die Sexten aber aus der Quinte und den Terzen durch Umkehrung entstehen, so haben wir blos eine dreifache wechselseitige und unmittelbare Verwandtschaft, die uns zu neuen Tönen führt: die der Quinte, der grossen und der kleinen Terz. Wenn wir z. B. vom Tone *c* ausgehen, so sind die directen Verwandten: *g* und *f*, *e* und *as*, *es* und *a*, also schematisirt:



Selbstverständlich ist der Verwandtschaftsgrad in der Quintenrichtung am stärksten, in der Richtung der kleinen Terz am schwächsten. Man kann dieses Schema noch erweitern, indem man es auch auf die mittelbare Verwandtschaft ausdehnt; auf diese Weise erhält man schliesslich eine das ganze Tonsystem, d. h. die gesammten aus künstlerischen Gründen der continüirlichen Tonlinie entnommenen discreten Punkte umfassende Uebersicht, die keiner näheren Erklärung bedarf.

Der Unerschöpflichkeit der musikalischen Kunstmittel entsprechend lässt sich dieses Schema nach allen Seiten beliebig fortsetzen. Allerdings sind darin die Octaven ganz unberücksichtigt geblieben. Man sieht aber auf den



Réseau musical par O. Hostinsky, dans Die Lehre von den musikalischen Klängen. Reproduction numérique de la New York Public Library. Publié à l'origine par H. Dominicus, Prague, 1879.

# 15 12-part Colour-Sound Circle

Josef Matthias Hauer

Le Cercle de couleurs et de sons en 12 parties de J.M. Hauer. Avec l'aimable autorisation du mumok - Musée d'art moderne Fondation Ludwig Vienne, Collection Dieter et Gertraud Bogner au mumok. Photo © mumok.



# 16 *Le Cercle de Coltrane*

John Coltrane

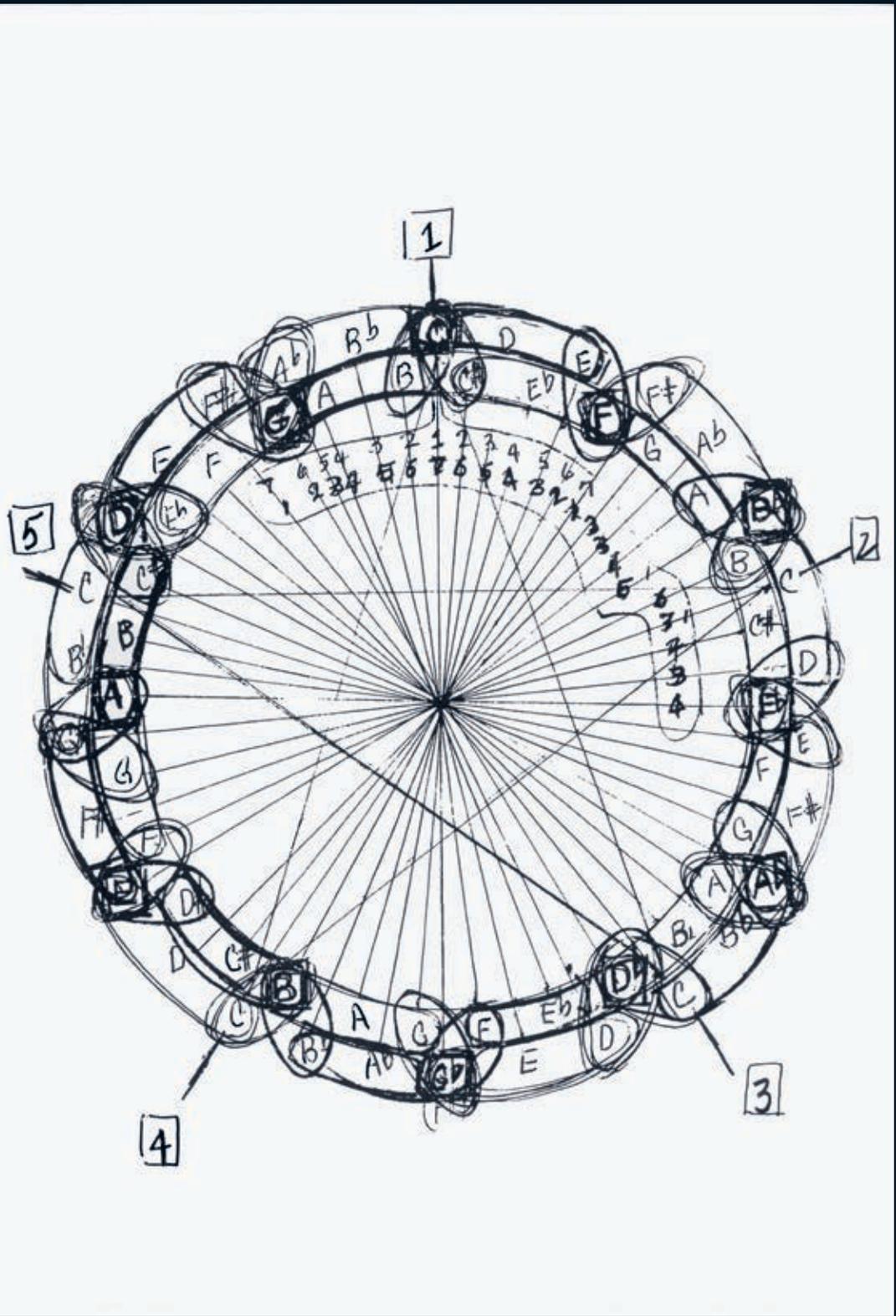
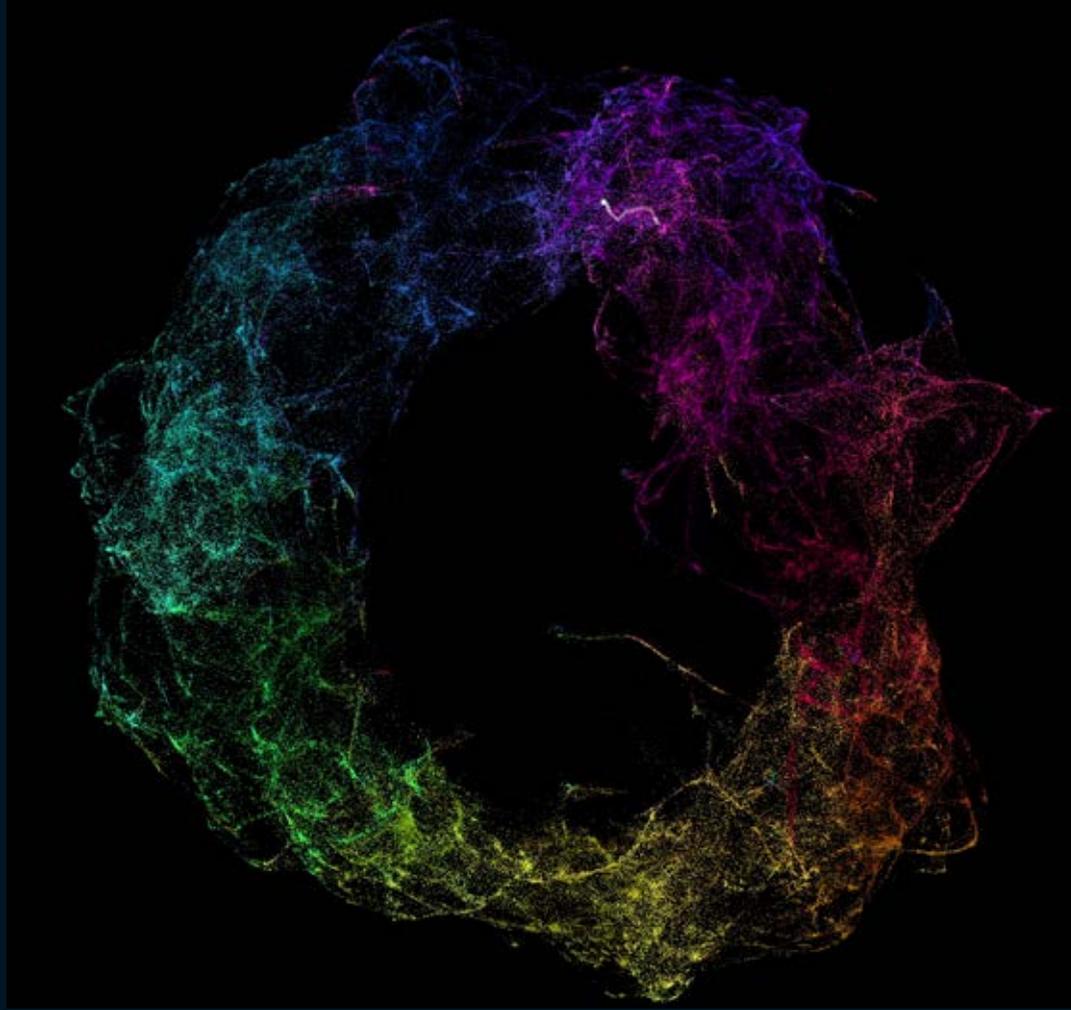


Diagramme du Cercle de Coltrane dans Yusef Lateef, 1981, *Repository of Scales and Melodic Patterns*. Jamey Aebersold Jazz.

# 17 *Quatre perspectives sur la structure en musique*

EPFL-DCML



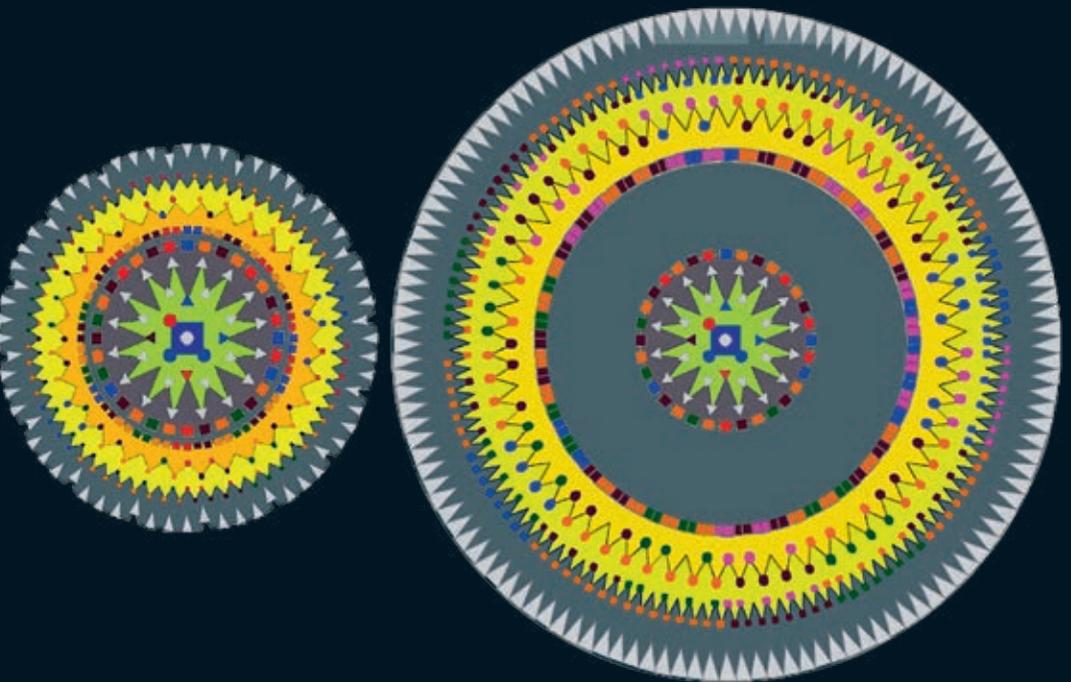
Le usage tonal en forme de tore. ©DCML.

# 18.1 Gamelan



Métallophone balinais. Musée d'ethnographie de Genève (MEG). ©Jonathan Watts.

# 18.2 Le Gamelan numérique



Gamelan javanais, Ladrang, ratios 1 & 2. ©Kati Basset.

# 19 Rythmes polyphoniques en musique d'Afrique centrale

Chant polyphonique des Pygmées Aka d'Afrique centrale (République centrafricaine). ©Commission nationale Centrafricaine et Ministère de la jeunesse et des sports, arts et culture. Source: UNESCO, <https://ich.unesco.org/en/RL/polyphonic-singing-of-the-aka-pygmies-of-central-africa-00082>.



# 20 L'extension scalaire dans la musique classique d'Inde du Nord

Martin Rohrmeier & Richard Widdess

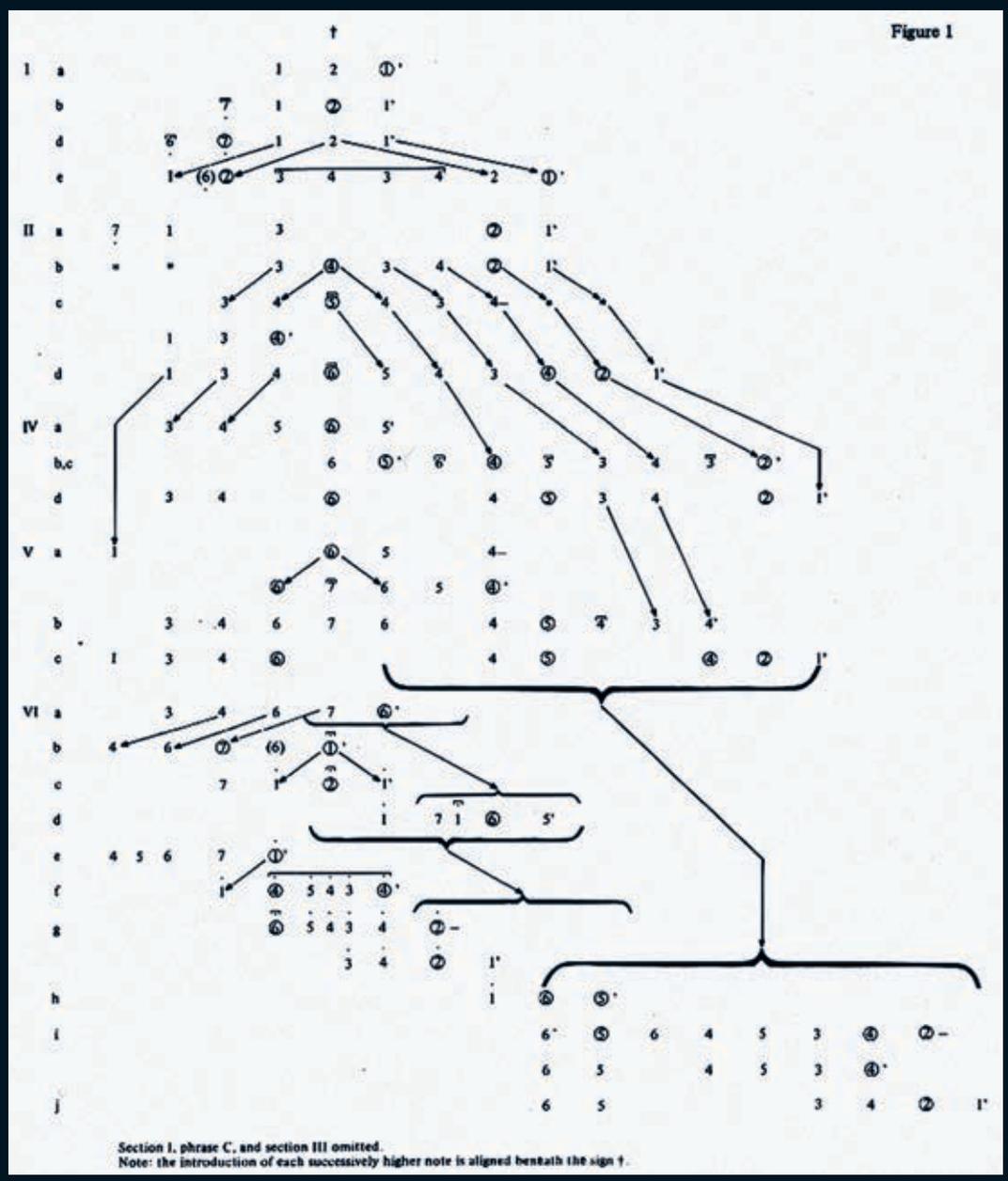


Diagramme du principe d'expansion scalaire, dans *Music & Tradition. Essays on Asian and other musics presented to Laurence Picken*, édité par D.R. Widdess & R.F. Wolpert, Cambridge University Press, 1981. Avec l'aimable autorisation de Richard Widdess.

# 21 Automate persan

Automate persan du XII<sup>e</sup> siècle. Reproduction numérique. Avec l'aimable autorisation du National Museum of Asian Art, Smithsonian Institution. Freer Collection, Purchase - Charles Lang Freer Endowment, F1930.73.



# 22 *La Musicienne*

Henri-Louis Jaquet-Droz

L'automate *La Musicienne*. ©Musée d'art et d'histoire de Neuchâtel. Photo: Stefano Iori.



Mécanisme interne de *La Musicienne*. ©Musée d'art et d'histoire de Neuchâtel. Photo: Stefano Iori.

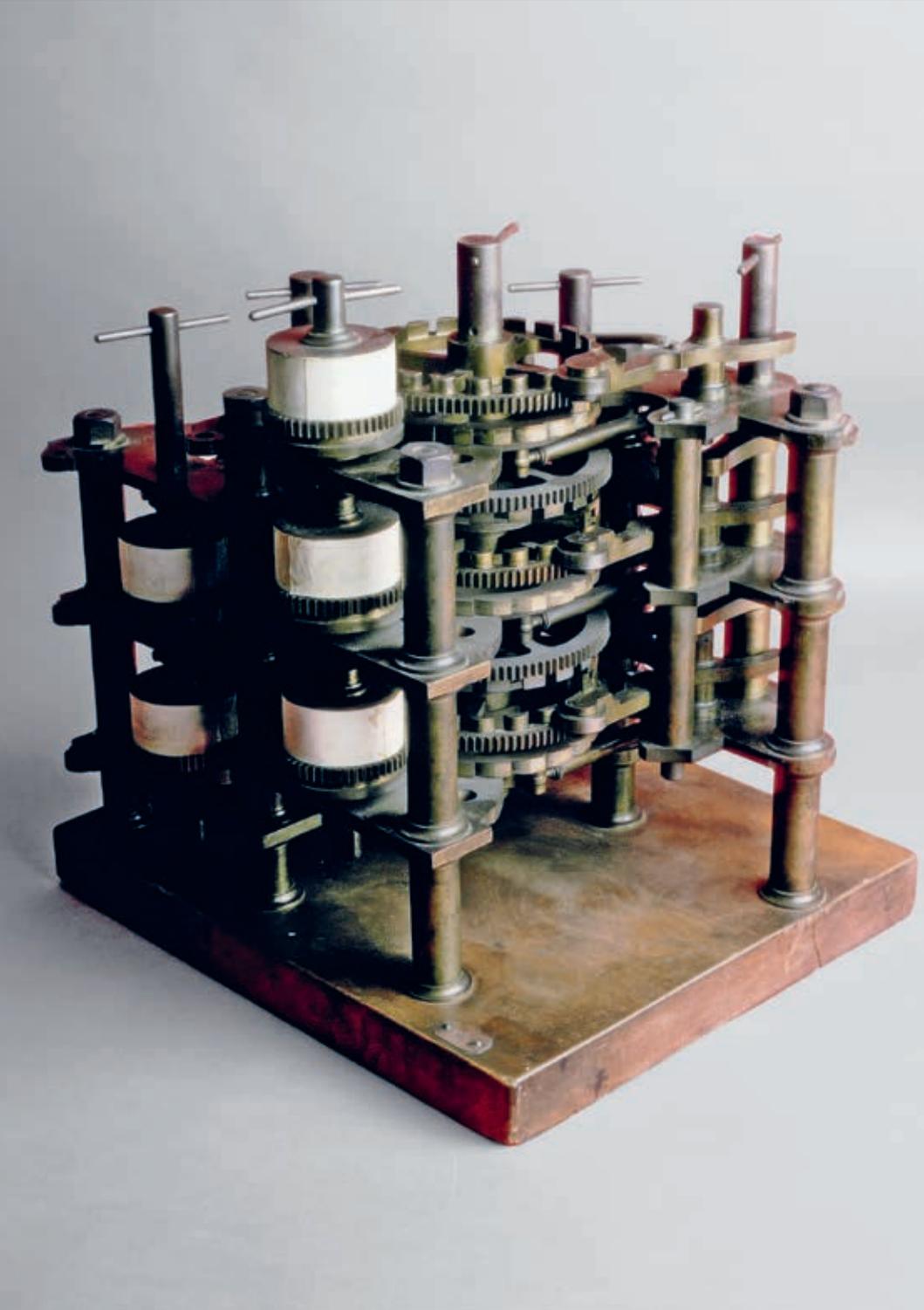
# 23 *Automate de l'Ange avec harpe*



Automata l'Ange avec harpe. Avec l'aimable autorisation du Museum für Musikautomaten .

# 24 Partie de la machine à différences n° 1 de Babbage

Charles Babbage

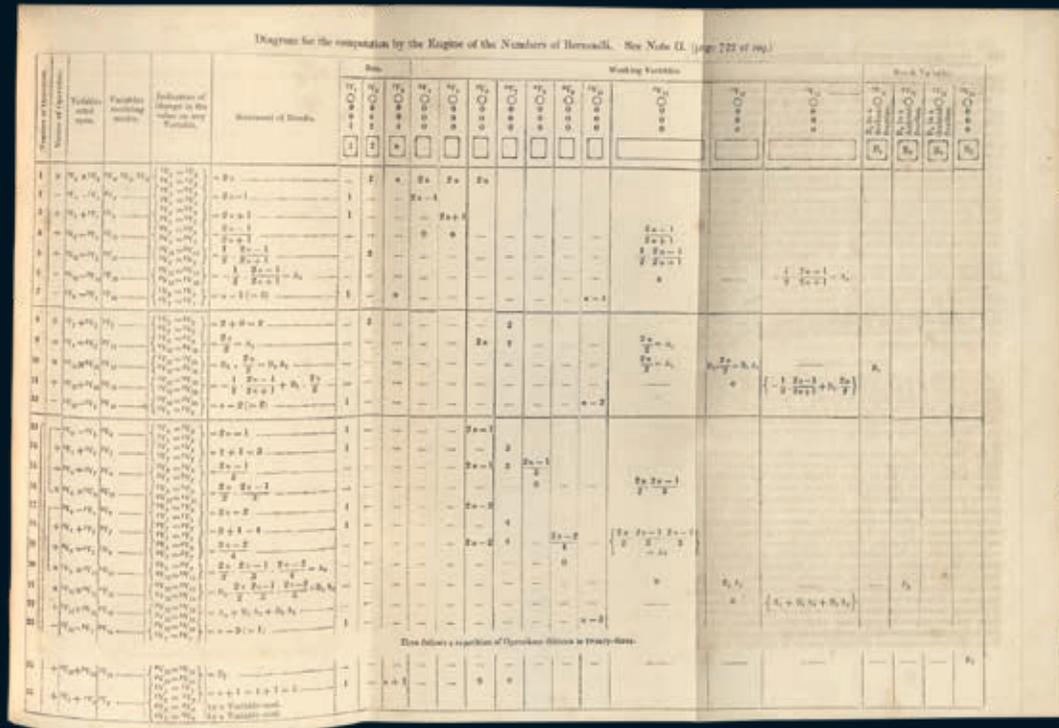


Partie de la machine à différences n°1 de Babbage. Avec l'aimable autorisation du Whipple Museum of the History of Science, University of Cambridge.

# 25 Notes d'Ada Lovelace

Ada Lovelace

Diagramme plié tiré des notes de Lovelace. Avec l'autorisation du Master and Fellows of St John's College, Cambridge.



Portrait d'Ada, Comtesse de Lovelace. Cette image est publiée sous la licence CC BY-NC-SA 4.0. © The Board of Trustees of the Science Museum, Londres.





Arnold Schönberg et son épouse. ©Centre Arnold Schönberg, Vienne.



Portrait of Arnold Schönberg. © Centre Arnold Schönberg, Vienne.

## 26.1 Suite op. 29, Mouvement I, partition (Ouverture. Allegretto)

Suite op. 29, partition, MS29, 11f9. ©Centre Arnold Schönberg, Vienne.

# 26.2 Suite op. 29, tableau de rangées de douze tons

This image shows a handwritten musical manuscript on aged paper. It features a large grid of musical staves, organized into two main sections. The top section contains several rows of notes, with red and black markings indicating specific intervals or groupings. On the left side, there are handwritten annotations including 'U5', 'U8', and 'U5' in black ink, and 'T' and 'U' in red ink. The bottom section also contains musical staves with similar markings. The overall appearance is that of a working draft or a detailed score for a 12-tone composition.

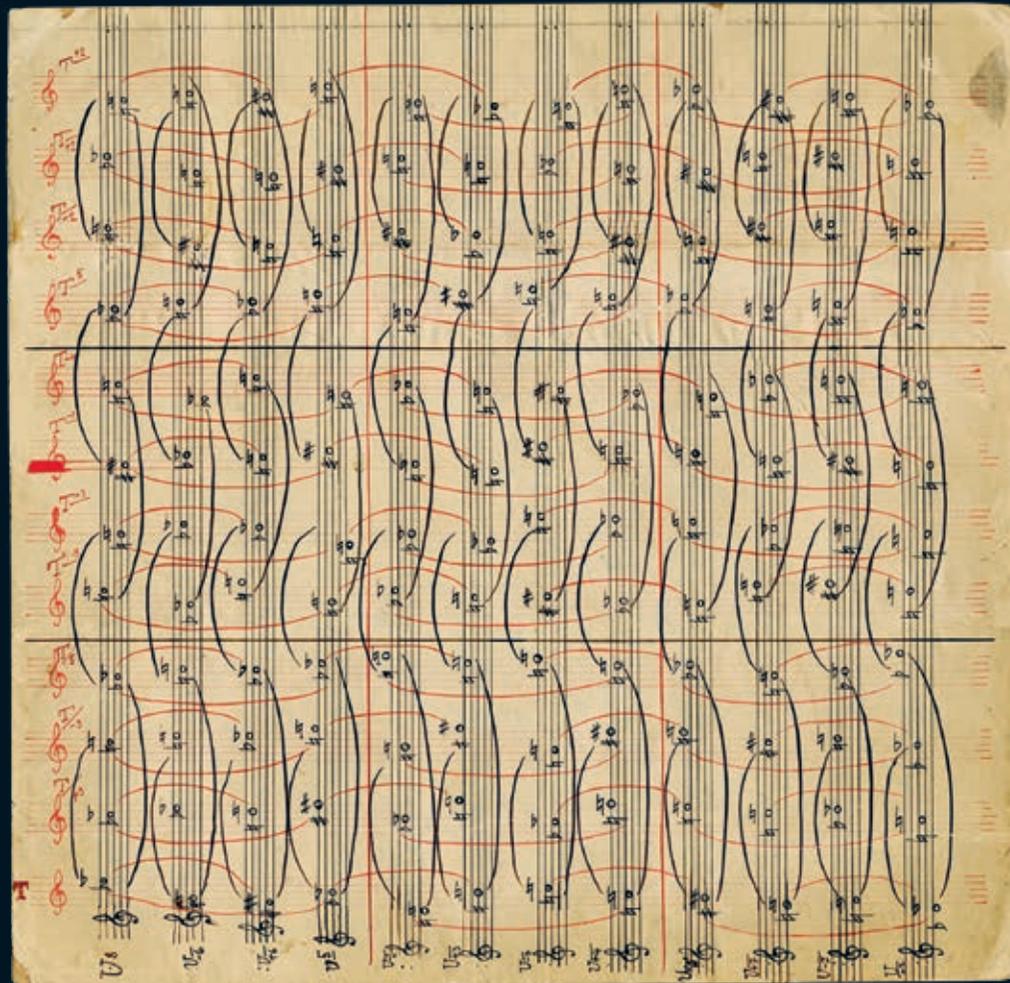
Suite op. 29, tableau des rangées de douze sons, MS29, 1181. ©Centre Arnold Schönberg, Vienne.

# 26.3 Suite op. 29, tableau de rangées de douze tons

This image shows a handwritten musical manuscript on aged paper, similar to the one in 26.2. It features a grid of musical staves. On the left side, there are handwritten annotations including 'U8', '6', '5', '5', '5', '8', '5', '5', and '8' in black ink. The manuscript contains several rows of musical notation with notes and stems, and some red markings. The overall appearance is that of a working draft or a detailed score for a 12-tone composition.

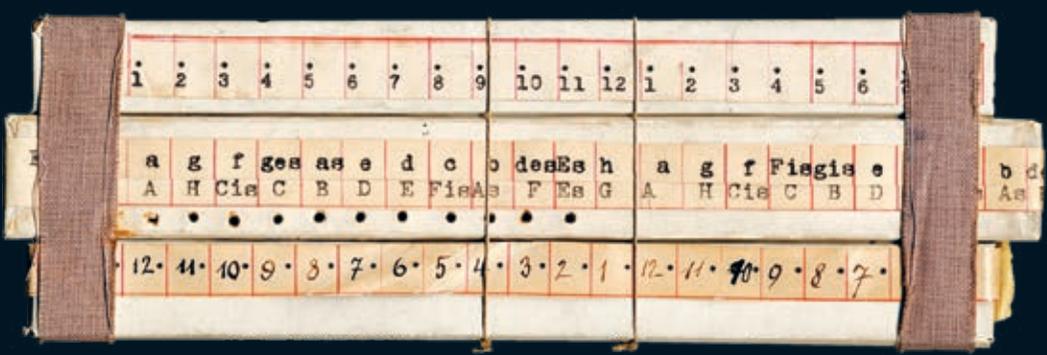
Suite op. 29, tableau de rangées en douze tons, MS29, 1171 ©Arnold Schönberg Center, Vienne.

# 26.4 Suite op. 29, tableau de rangées dodécaphoniques bidirectionnelles



Suite op. 29, Diagramme de rangée dodécaphonique bidirectionnelle, MS29. ©Centre Arnold Schönberg, Vienne.

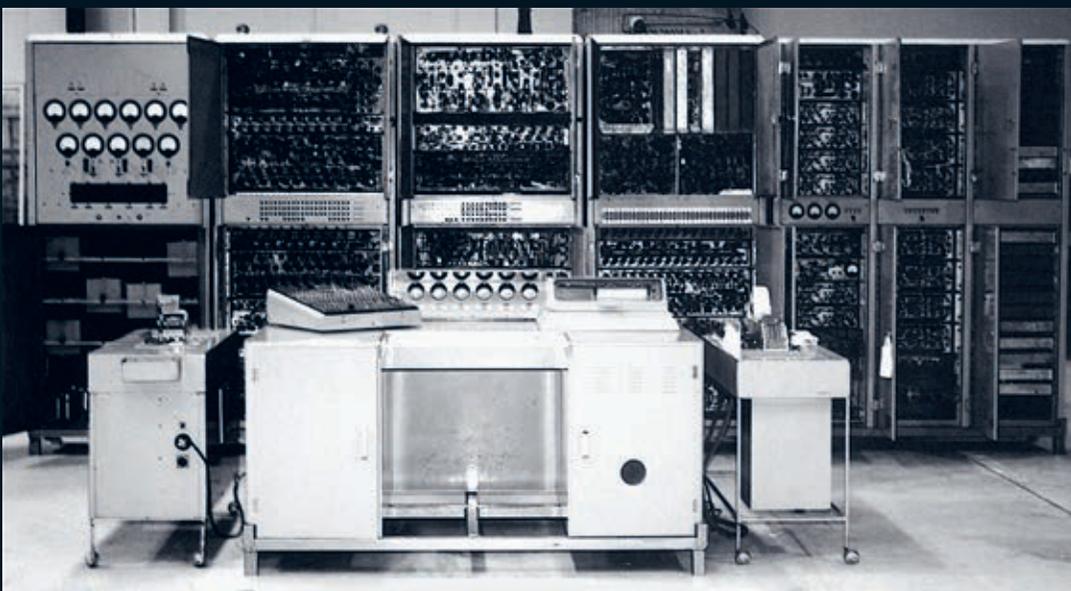
# 26.5 Quintette à vent, op. 26. Règle de la rangée dodécaphonique



Quintette à vent, op. 26, Règle des rangées dodécaphoniques, MS26. ©Centre Arnold Schönberg, Vienne.

# 27.1 Ordinateur CSIRAC

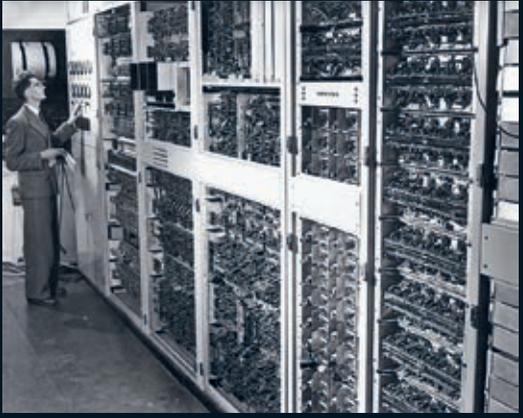
## Maston Beard, Trevor Pearcey & Geoff Hill



Vue d'ensemble du CSIRAC. Photo: Paul Doombusch, avec son aimable autorisation.



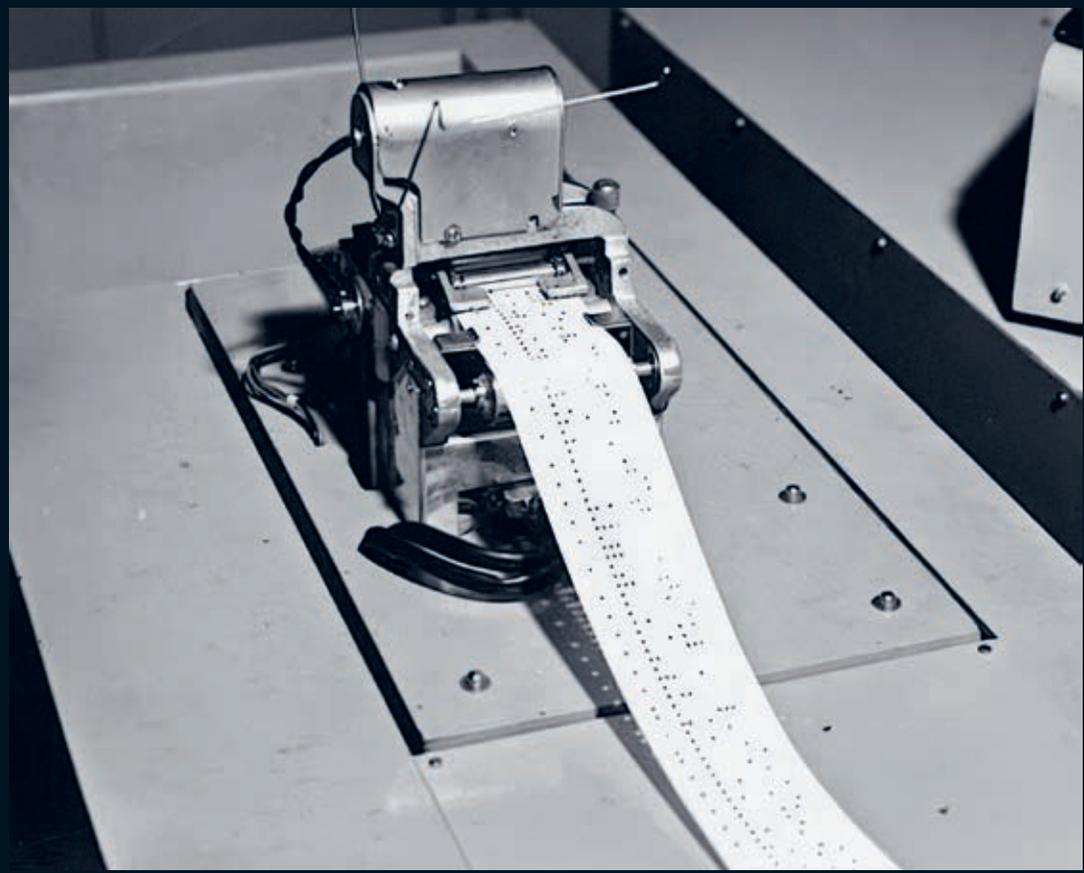
CSIRAC mise en fonctionnement par Trevor Pearcey & Geoff Hill. Avec l'aimable autorisation de CSIRO Archive.



Jurij Semkiw faisant fonctionner CSIRAC. Avec l'aimable autorisation de CSIRO Archive.

# 27.2 Programme informatique de CSIRAC

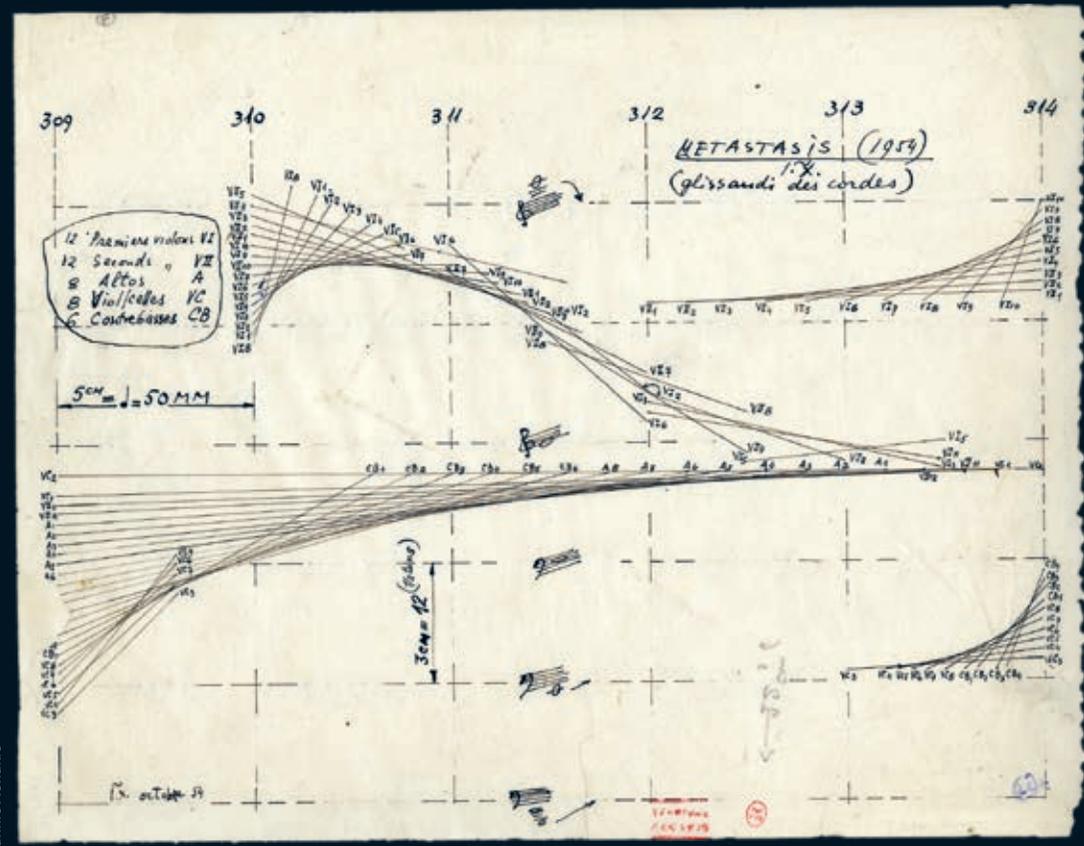
Geoff Hill



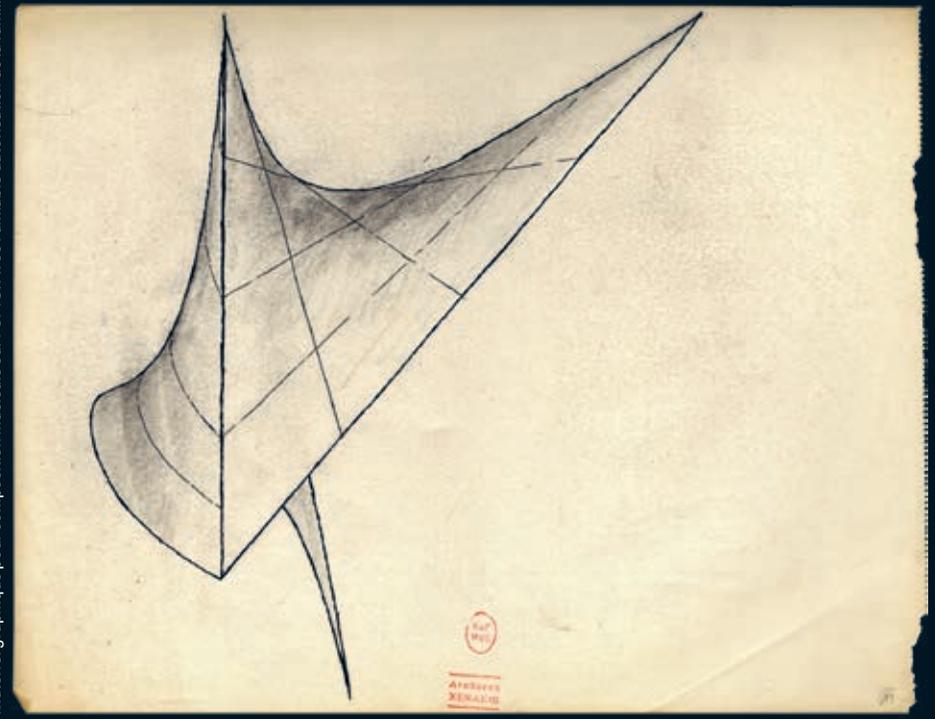
Programme informatique utilisé pour CSIRAC. Avec l'aimable autorisation de CSIRO Archive.

# 28.1 Archives Xenakis

## Iannis Xenakis



Matériel graphique pour composition musicale sur l'UPIC. Avec l'aimable autorisation de la famille Iannis Xenakis



# 28.2 Pavillon Philips, Expo 58

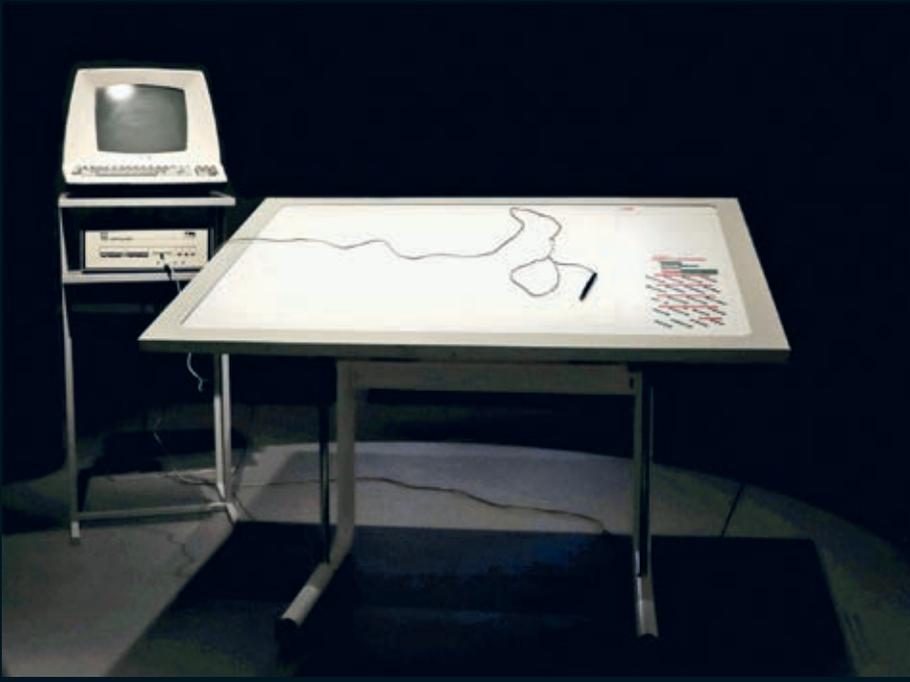
Iannis Xenakis & Le Corbusier



Pavillon Philips à l'Expo 58. Sous la license Creative Commons Attribution.

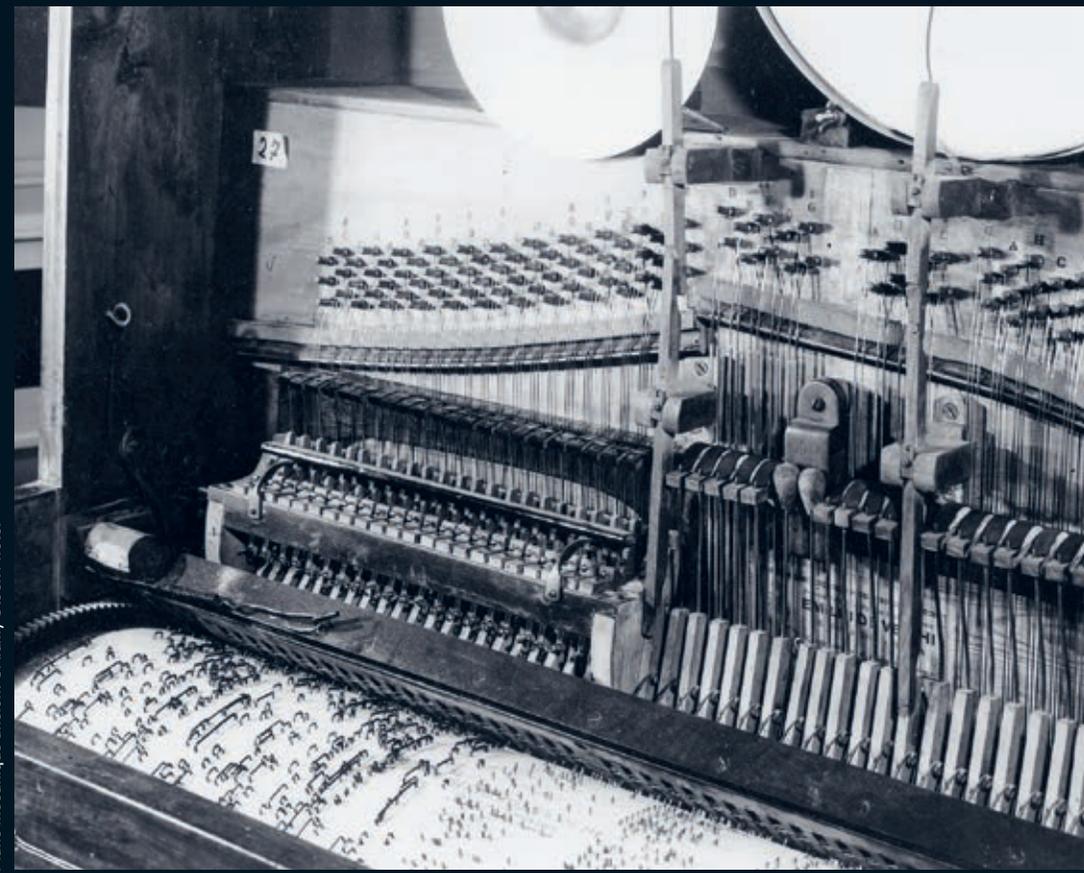
# 28.3 UPIC

Iannis Xenakis



UPIC. Avec l'aimable autorisation du CMRC/KSYME, Athènes. ©Estela Valasi.

# 29 Salle du piano mécanique



Piano mécanique ancien. ©Alamy Stock Photo.



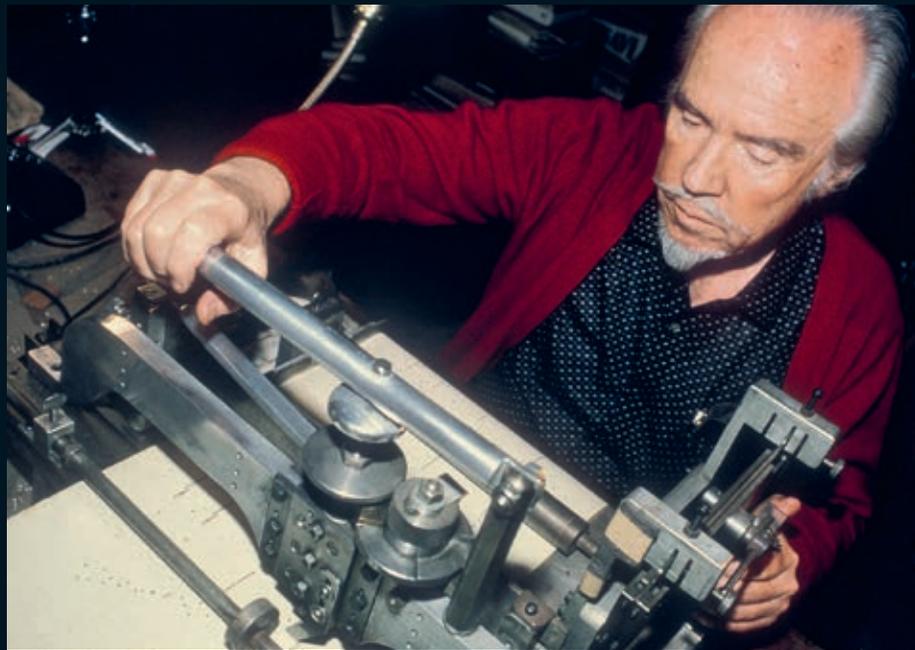
Yamaha C6 Disklavier. ©Yamaha.

# 29.1 Study 41B

---

## Conlon Nancarrow

---



Nancarrow utilisant une machine à perforer les rouleaux de piano, 1981. ©Philip Makanna. Avec l'aimable autorisation d'Eva Soites.

# 29.2 Étude 14A

---

## György Ligeti

---



Ligeti dans son bureau, 1982. ©Peter Andersen. Collection György Ligeti, Fondation Paul Sacher, Bâle.

# 29.3 Voyager

---

## George Lewis

---



Lewis avec un Apple II et un instrument kalimba actionné par des algorithmes. Avec l'aimable autorisation de George Lewis.

# 29.4 OTOdeBLU

---

## Clarence Barlow

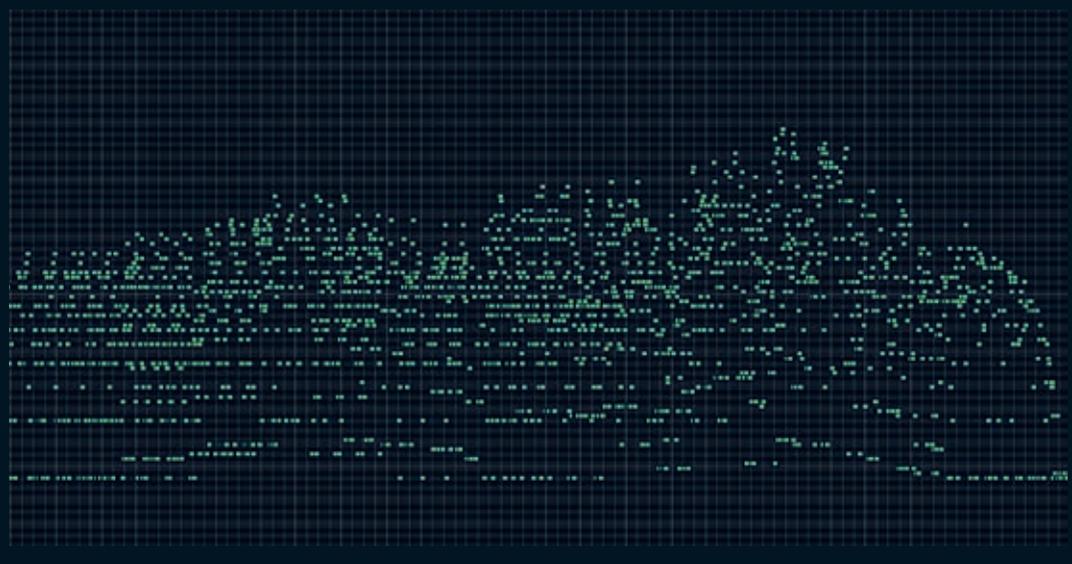
---



Clarence Barlow avec George Lewis. Avec l'aimable autorisation de Birgit Faustmann.

# 29.5 Continuity 4

Paul Doornbusch



Structure de Continuity 4. Avec l'aimable autorisation de Paul Doornbusch.

# 29.6 Arabesque

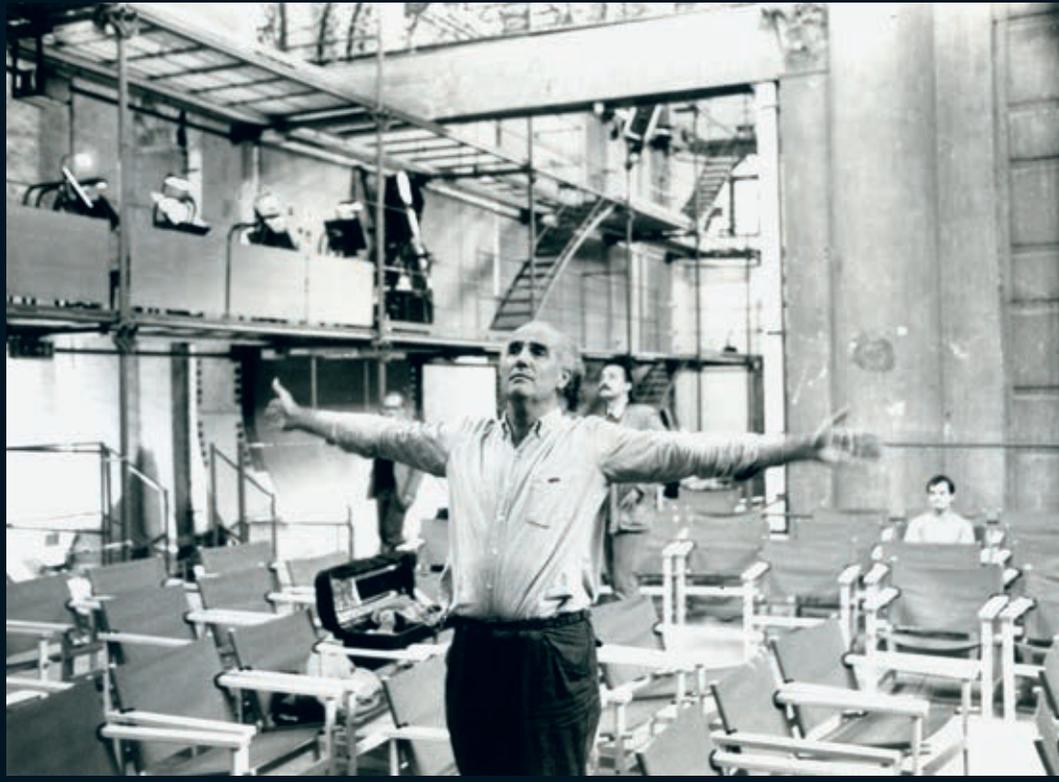
Nicolas Namoradze



Nicolas Namoradze en pleine performance. © Antoine Saiton / Festival Bach Montréal.

# 30.1 Prometeo. Tragedia dell'ascolto

Luigi Nono



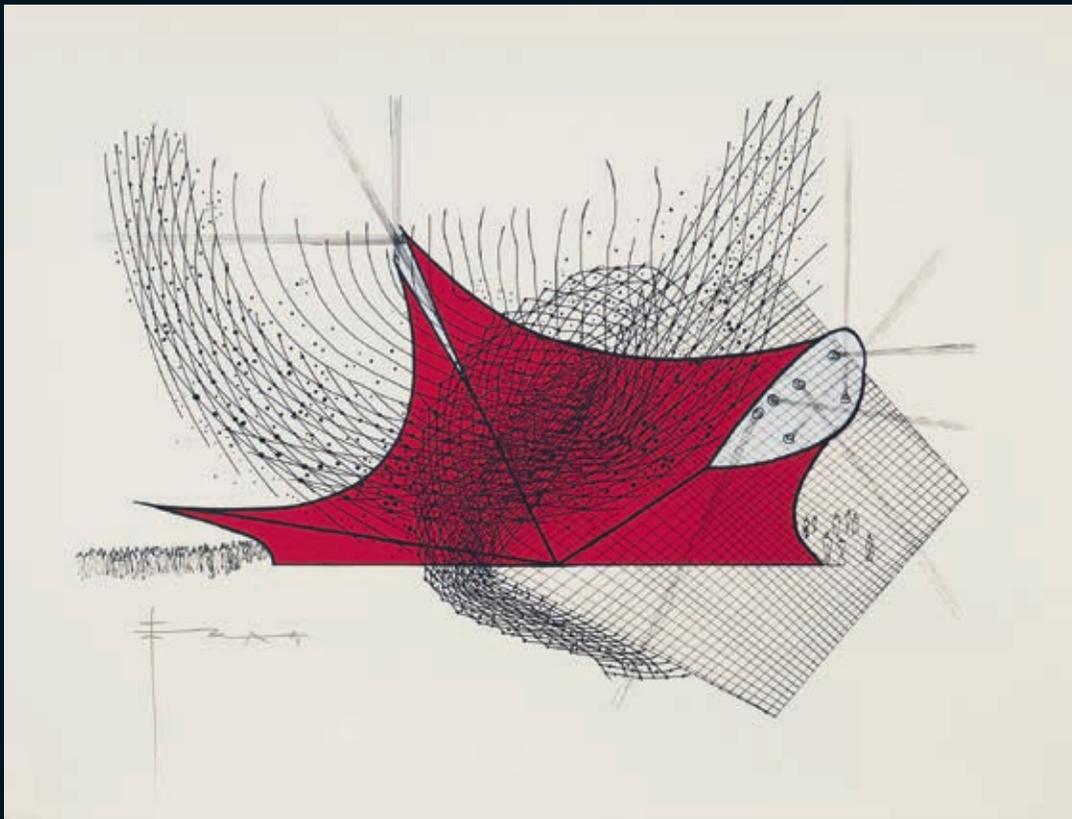
Le compositeur Luigi Nono, lors des répétitions pour l'ouverture de Prometeo, 1984. © Archivio Storico della Biennale di Venezia-ASAC/Photographe: Lorenzo Capellini.



Structure architecturale de Prometeo, conçue par Renzo Piano. © Archivio Storico della Biennale di Venezia-ASAC/Photographe: Lorenzo Capellini.

# 30.2 La Légende d'Eer

## Iannis Xenakis



Esquisse du Diatope, par Iannis Xenakis. Image reproduite avec l'aimable autorisation de la famille Xenakis.



Le Diatope à l'extérieur du Centre Georges Pompidou à Paris. Crédit photo: ©Bruno Rastoin.



Représentation de La Légende d'Eer dans le Diatope. Crédit image: ©Bruno Rastoin.



Représentation de La Légende d'Eer dans le Diatope. Crédit photo: ©Bruno Rastoin.

# 31 Studie II

## Karlheinz Stockhausen



Studio WDR tel qu'utilisé par Stockhausen. ©WDR / Volker Müller.

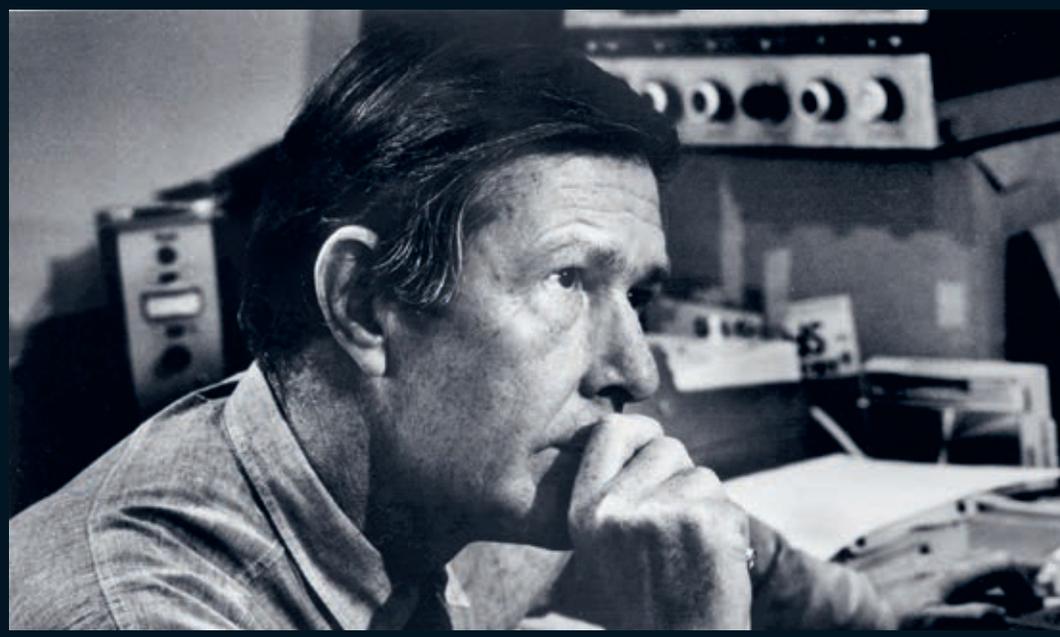


Portraits de Stockhausen au studio de la WDR.



# 32 Fontana Mix

## John Cage



John Cage dans un studio d'enregistrement (vers 1972).  
©James Klosty. Avec l'aimable autorisation du John Cage Trust.

# 33 Revox G36



Avec l'aimable autorisation du SMEEM. Photo: ©Victorien Genna.

# 34 Buchla 200e Skylab



Le synthétiseur Buchla 200e Skylab. Avec l'aimable autorisation du SMEEM. Photo: ©Victorien Genna.

# 35 Expert Senior Gramophone



Expert Senior Gramophone. Collection privée.

36 *The Hands*

Michel Waisvisz



Michel Waisvisz en train de performer avec *The Hands*. © Archives Michel Waisvisz.

37 *Lady's Glove v.4*

Laetitia Sonami



Laetitia Sonami avec le *Lady's Glove v.4*. Avec l'aimable autorisation de Laetitia Sonami. © F. Hoekzema.



# 38 On the Nature of L.A.R.S.

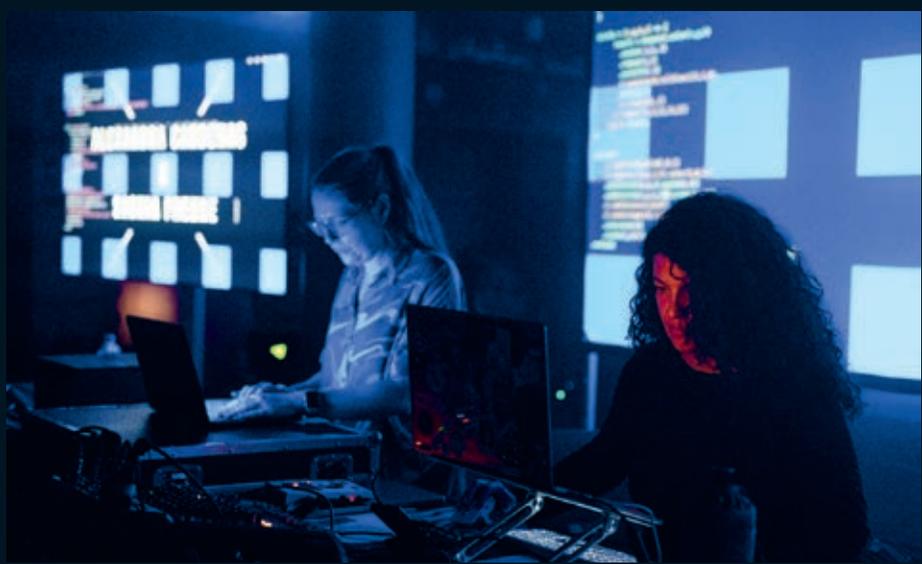
Michael Wollny & Martin Rohrmeier



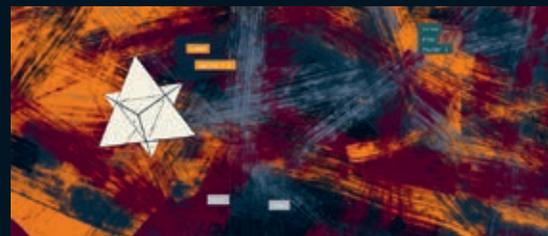
On the Nature of L.A.R.S. © Jörg Steinmetz.

# 39 Life Codes

Alexandra Cárdenas



Images du haut : Life Codes par A. Cardenas. ©Katya Goliath. Images du bas : Life Codes. ©Roger Pibernat.



# 40 Apollo e Marsia

Jonathan Impett



Vidéo de la viole d'amour, rappelant Apollon (à gauche) et de la flûte alto, rappelant Marsia (à droite). ©Shivadas De Schrijver.



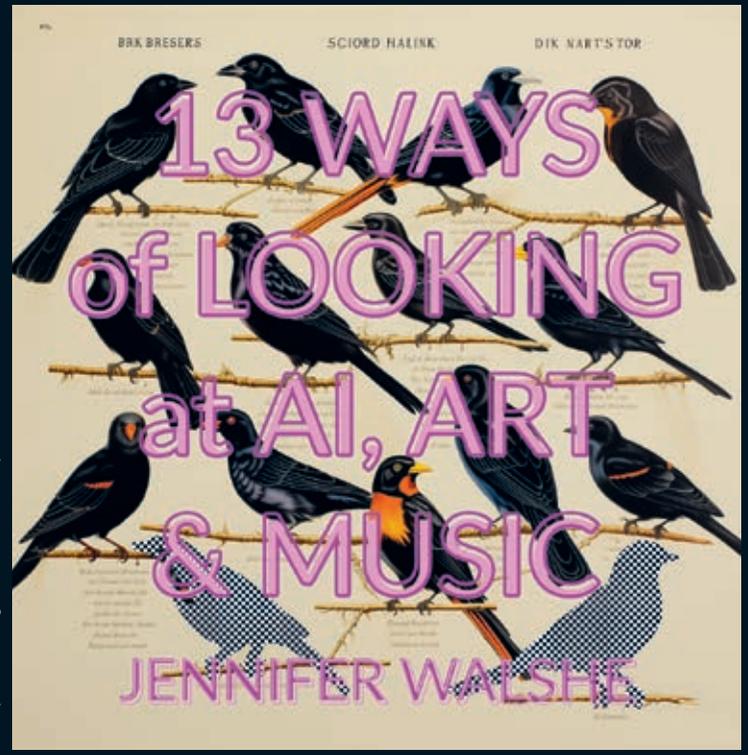
Apollo et Marsyas, tableau peint par Jacopo Tintoretto, 1545.

# 41 13 Ways of Looking at AI, Art & Music

Jennifer Walshe



AI is AI. ©Jennifer Walshe.



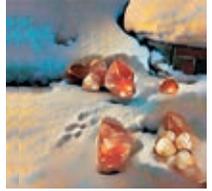
13 Ways of Looking at AI, Art & Music, par Jennifer Walshe. ©Jennifer Walshe.

# 41.1 A/B The Text Score Dataset 1.0

## Jennifer Walshe



Take a walk in the snow and collect small pieces of sunstone. At a home or other quiet spot in the dark, sing them back to their sounds.



In the course of an hour, transform yourself into a unicorn and dance with her.



Watch parties in a haunted house; if the weather's dark, make a rain fire.



For a day, be a situationist provocateur. Try to convince as many as possible that the moon is actually yoghurt. Return every question with the phrase "I'm trying to have a praxis."

The Text Score Dataset 1.0. @Jennifer Walshe.

# 45.2 QUANTA

## Tomomi Adachi & Jennifer Walshe



QUANTA, performance par Tomomi Adachi et Jennifer Walshe. ©Tomomi Adachi et Jennifer Walshe.

# 41.3 OSCAILT

## Jennifer Walshe



OSCAILT. © Jennifer Walshe

# 41.4 ULTRACHUNK

## Memo Akten & Jennifer Walshe



Walshe performant ULTRACHUNK. Crédit photo: © Anne Tetzlaff.

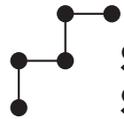
# 41.5 URSONATE%24

## Jennifer Walshe



Jennifer Walshe performant Ursonate à Darmstadt, Allemagne. © Stefan Daub.

Soutenu par :

	 <p>Swiss National Science Foundation</p>
	<p>ERNST GÖHNER STIFTUNG</p>

# Musica

EPFL Pavilions  
Lausanne

# ex Machina

20.9.24–  
29.6.25

## Machines Thinking Musically

### Crédits d'exposition

### Curation

Sarah Kenderdine,  
Professeure EPFL,  
Directrice du Labora-  
toire de Muséologie  
expérimentale (eM+)

Martin Rohrmeier, Pro-  
fesseur EPFL, Directeur  
du Laboratoire de Musi-  
cologie numérique et  
cognitive (DCML), Chaire  
Latour de Musicologie  
numérique

Paul Doornbusch,  
Professeur invité, BNU-  
HKBU United Internatio-  
nal College Zhuhai

Jonathan Impett, Pro-  
fesseur, Directeur  
de recherche, Orpheus  
Instituut, Gand

Avec les chercheur-  
euses scientifiques:

- EPFL-DCML: Ioannis Rammos, Kalan Walmsley, Marina Borsodi-Benson
- EPFL-eM+: Jean-Pierre Chabrol, Nelissen Decorbouw (Linear Navigator), Patrick Donaldson (Design), Nikolaus Völzow (Software application), Yi Zhang (Polimi-FARB project)
- Orpheus Instituut: Bruno Forment, Liesa Deville

- Amis de Xenakis: Mâkhi Xenakis, Etienne Assous, Pierre Carré

Production  
EPFL Pavilions

Directrice, Curatrice prin-  
cipale: Sarah Kenderdine

Responsable, exposi-  
tions et programmes:  
Marie Carrard

Responsable, gestion et  
administration:  
Anne-Gaëlle Lardeau

Assistante de production,  
expositions et pro-  
grammes: Alexia Panos

Scénographes:  
Jean-Pablo Mühlestein,  
Yi Zhang

Techniciens d'exposition:  
Ryan Jones, Jean-Pablo  
Mühlestein

Chargé de communica-  
tion: Loïc Sutter

Coordinatrice évène-  
ments: Le Thy Nguyen

Médiatrice culturelle:  
Audrey Hostettler

Assistants administra-  
tives: Sophie Bauer,  
Stéphanie Romon

Ecriture du guide:  
curateurs et artistes

Edition & traduction du  
guide: Alexia Panos,  
Loïc Sutter

Avec la collaboration de:

- Design graphique de l'exposition et du guide: Knoth & Renner (Konrad Renner), Lamm & Kirch (Florian Lamm, Jakob Kirch)
- Mobilier d'exposition: LAPORCH
- Assistance technique montage exposition: GTM Technique Montage
- Peinture: Renov'Immeuble
- Signalétique galerie, vitrines: Décora Publicité
- Constats d'état: Pierre-Antoine Héritier
- Accrochage d'œuvres d'art: ArtSolutions
- Impression du guide: BSR Imprimeurs
- Impression des af-fiches: Werbedruck AG

© 2024 EPFL Pavilions  
© les artistes, les auteurs

Exposition à  
EPFL Pavilions  
École polytechnique  
fédérale de Lausanne  
Place Cosandey  
CH-1015 Lausanne  
Suisse

En supposant que [...] les relations fondamentales des sons aigus dans la science de l'harmonie et de la composition musicale soient susceptibles d'une telle expression et de telles adaptations, la machine pourrait composer des pièces musicales scientifiques et élaborées de n'importe quel degré de complexité ou d'étendue.

La sous-structure de la musique est beaucoup plus proche de la sous-structure de l'espace et du temps. La musique est plus pure, plus proche des catégories de l'esprit.



Diagrams for the comparison by the Eigenvalues of the Operators of Bornelli. See Note II, (page 711 et seq.)

Wesley Young

$\lambda$	$\mu$	$\nu$	$\rho$	$\sigma$	$\tau$	$\theta$	$\phi$	$\psi$	$\chi$	$\xi$	$\eta$	$\zeta$	$\delta$	$\epsilon$	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$
$\frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2}$																	
$\frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2}$																	
$\frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2}$																	
$\frac{1}{2} \sqrt{A^2 + B^2}$																	





20.9.<sup>24</sup>  
-29.6.<sup>25</sup>

**EPFL  
Pavilions**

**Amplifier for Art,  
Science and Society**

Place Cosandey  
1015 Lausanne

Mardi—Dimanche  
11 h—18 h

Entrée  
libre