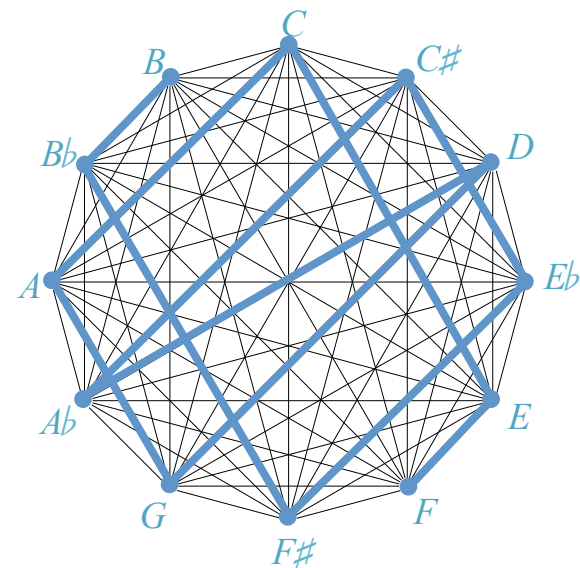
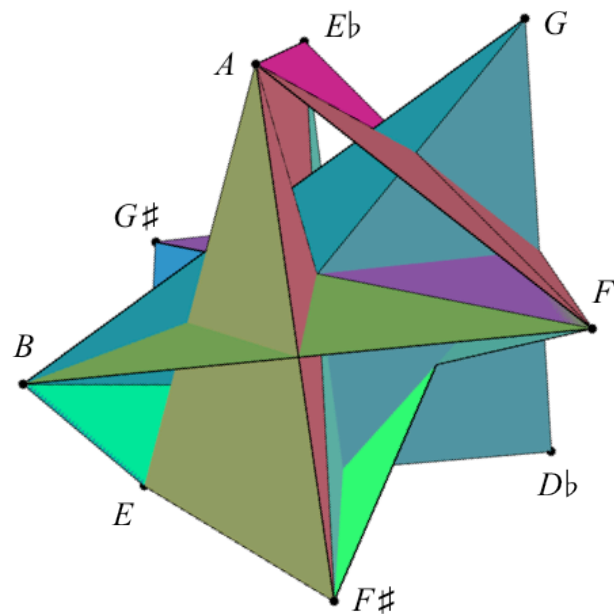


L'espace et son utilisation dans la formalisation de processus musicaux

Jean-Louis Giavitto

✉ Antoine Spicher, Louis Bigo, Moreno Andreatta



Résumé

- La notion d'espace symbolique est fréquemment utilisée de manière assez vague en théorie, analyse et composition musicale. On peut cependant utiliser des notions topologiques pour donner un support formel à ces notions. Plutôt que de s'interroger sur les rapport entre la géométrie et la perception sensible, ces constructions ont surtout une valeur pédagogique et heuristique qui peuvent intéresser un compositeur comme élément de ses processus créatifs.
- Nous verrons comment représenter spatialement des objets musicaux élémentaires (des hauteurs ou des accords) par des morceaux d'espace simple. En recollant entre eux ces morceaux, on construit des espaces, appelés complexes cellulaires, qui s'organisent suivant une relation de voisinage définie par une propriété musicale.
- Une phrase musicale est représentée dans un complexe par une trajectoire. L'aspect de la trajectoire révèle des informations sur le style de la pièce et les stratégies de composition employées. L'application d'opérations géométriques sur les trajectoires entraîne des transformations sur la pièce musicale initiale.
- L'approche spatiale offre ici un point de vue permettant de proposer des classifications nouvelles et suggèrent des transformations auxquelles on n'auraient pas pensé.

Plan

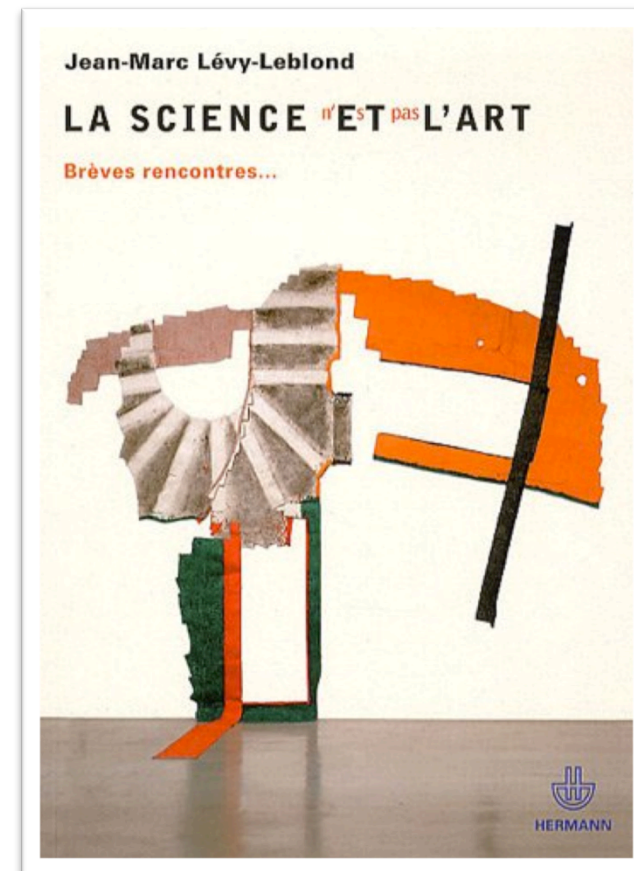
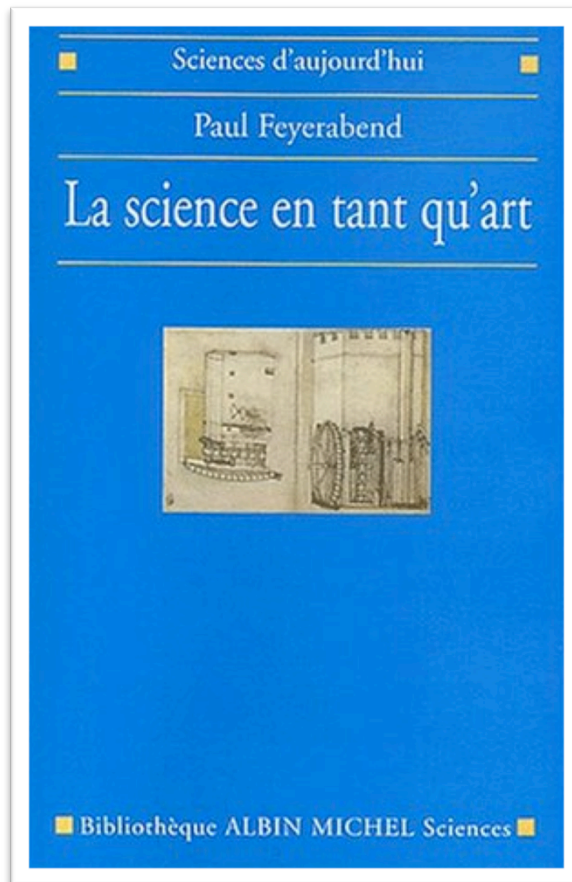
■ Art & Science ?

- la science en tant qu'art ?
- de nouveaux « objets » artistiques
- l'exemple de l'IRCAM
- la technique comme moyen de l'art
- L'espace et l'imagination

■ L'espace en musique

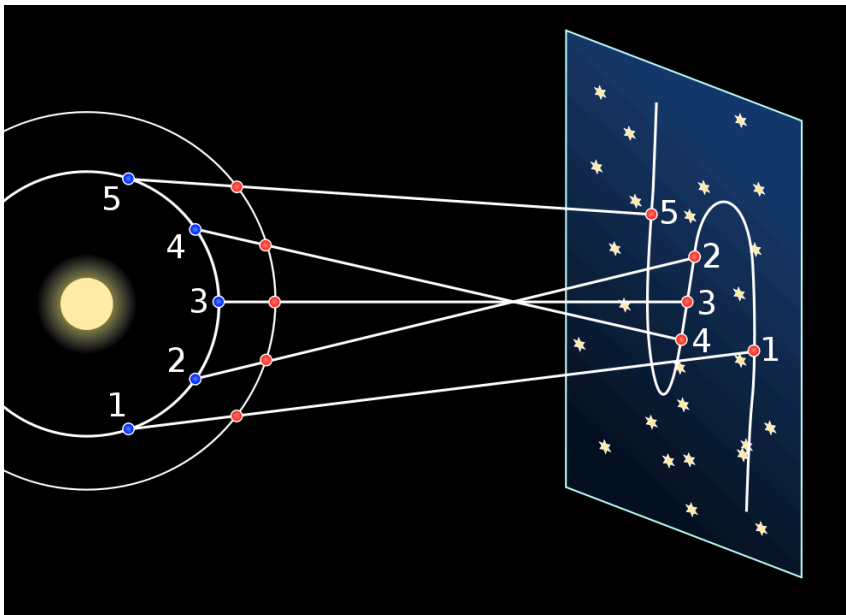
- les espaces de hauteurs
- Tonnetz: groupe, action de groupe et graphe de Cayley
- trajectoire et transformation
- espace d'accords: topologie algébrique, complexe simplicial et nombre de Betti

Art & Science (le beau et le vrai ?)

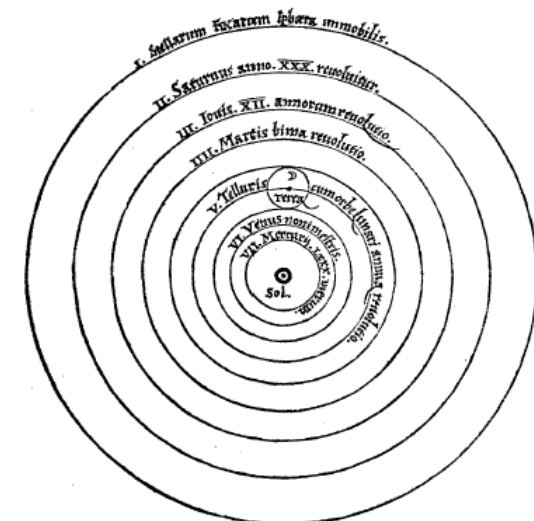
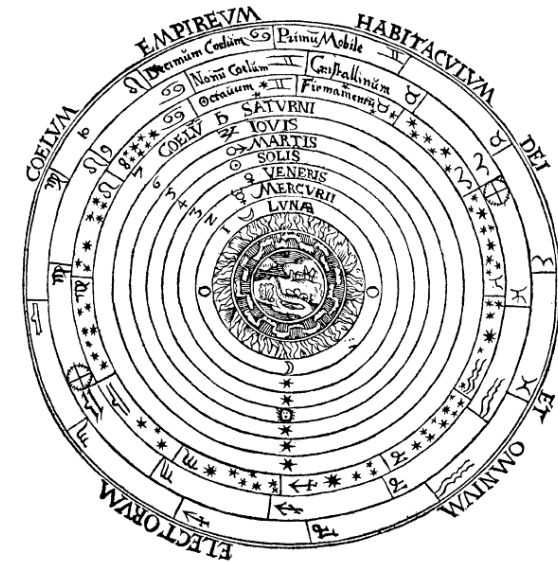


La représentation du monde

- le système géocentrique et le modèle héliocentrique
- Deux représentations (réconciliables) du même monde



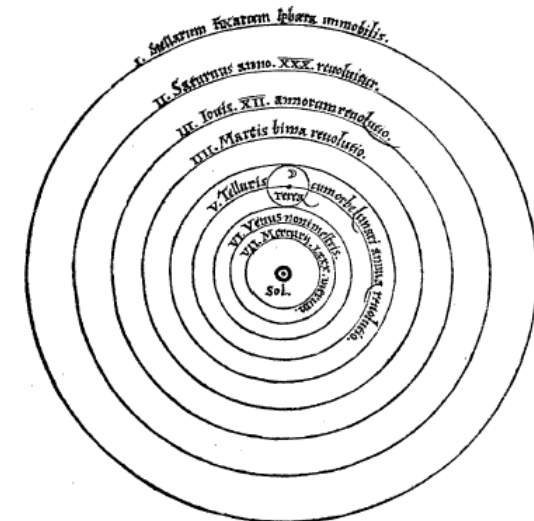
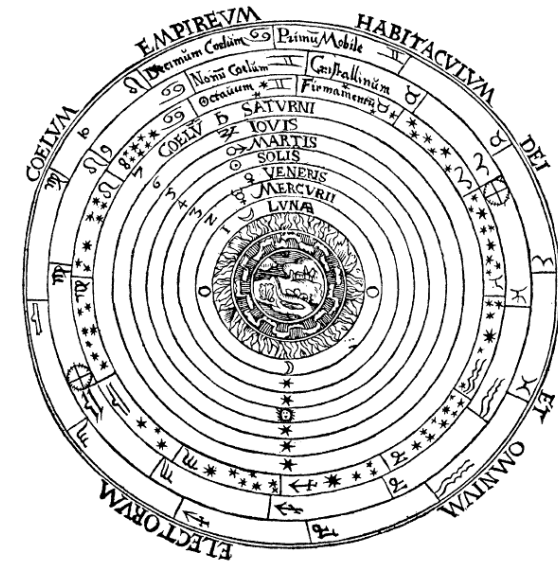
Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum.



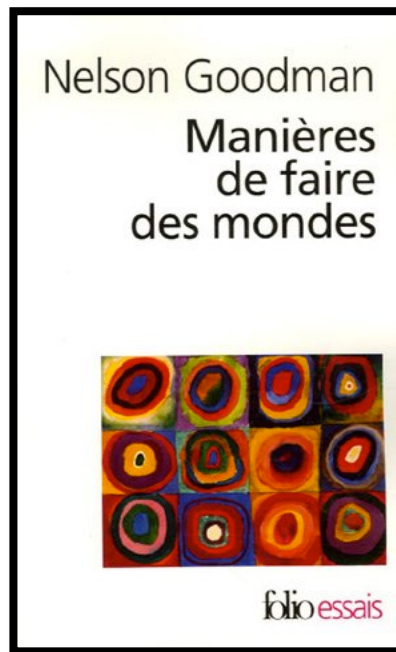
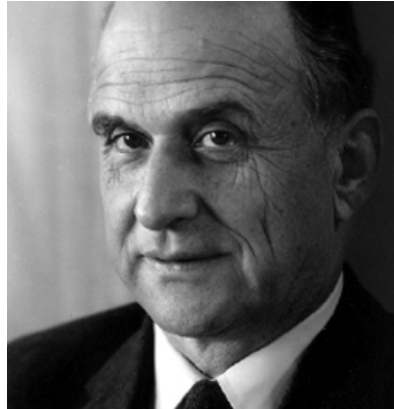
La représentation du monde

- le système géocentrique et le modèle héliocentrique
- Deux représentations (réconciliables) du même monde
- Le style platement littéral, dénotationnel et concis de la science vs. le style analogique, métaphorique, discursif... de l'art
- Deux représentations du *même* du même monde ?

Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum.



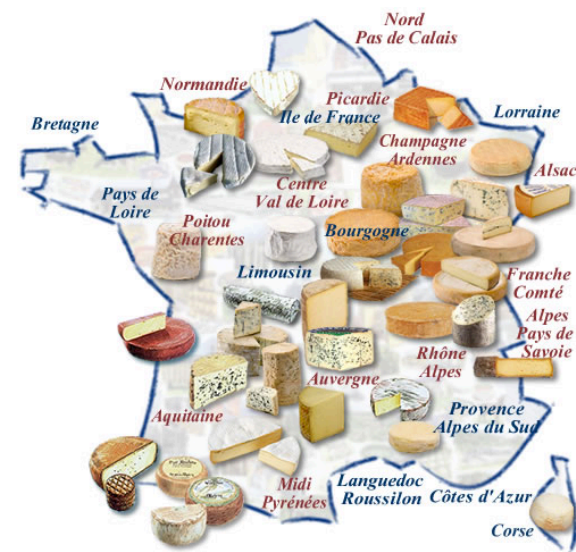
Le dévoilement du monde par la conscience



Le monde n'est pas ; il se **fabrique** et il existe de multiples *manières de faire des mondes* :

- « Loin d'être un maître solennel et sévère, la vérité est un serviteur docile et obéissant. Le scientifique s'abuse lui-même quand il suppose qu'il est un esprit uniquement voué à la recherche de la vérité. Il ne s'intéresse pas aux vérités triviales qu'il pourrait ressasser sans fin, mais s'occupe de résultats d'observations irréguliers et à facettes multiples, qui ne lui fourniront pas plus que des suggestions pour des structures globales et des généralisations significatives. Il recherche le système, la simplicité et la portée ; et quand il est satisfait sur ces rubriques, il taille la vérité à leur mesure. Il décrète autant qu'il découvre les lois qu'il établit, il dessine autant qu'il discerne les modèles qu'il définit. »
- « Si, en outre, les mondes sont autant faits que trouvés, alors connaître c'est autant refaire que rendre compte... Découvrir des lois implique de les rédiger. »
- « Pour construire le monde comme nous savons le faire, on démarre toujours avec des mondes déjà à disposition ; faire, c'est refaire. »

Plusieurs cartes, un seul territoire



Plus petitement...

- Le jugement scientifique sur l'art
 - GDR ESARS (esthétique, art et science)
 - analyse oculométrique
 - enquête psychologique

- les beautés de la science
 - <http://www.tribunes.com/tribune/alliage/63/page9/page9.html>
 - la beauté des démonstrations
 - fractale, macro et microphotographie...

Stradivarius vs. lutherie moderne...



Bruegel – La chute d'Icare



Pollock, Mondrian and Nature: Recent Scientific Investigations

By Richard Taylor

(University of Oregon, email: rpt@darkwing.uoregon.edu)

Invited article for “Art and Complexity”, a special edition of *Chaos and Complexity Letters*

Abstract

The abstract paintings of Piet Mondrian and Jackson Pollock are traditionally regarded as representing opposite ends of the diverse visual spectrum of Modern Art. In this article, I present an overview of recent scientific research that investigates the enduring visual appeal of these paintings.

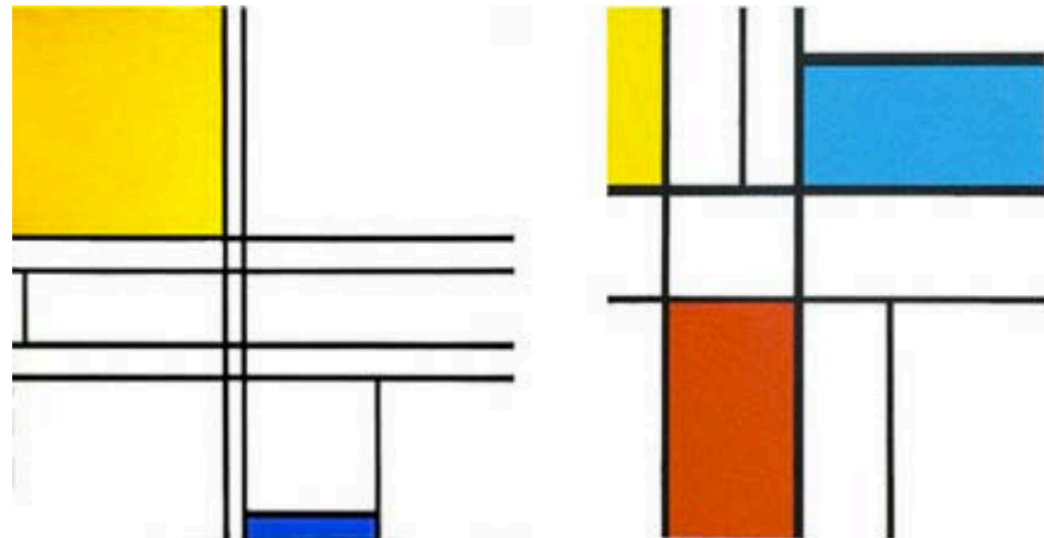


Figure 1. A comparison of Piet Mondrian's “Composition with Blue and Yellow” (1935) with a painting by Alan Lee in which the lines are positioned randomly. Can you tell which is the real Mondrian painting?

La science du beau ?

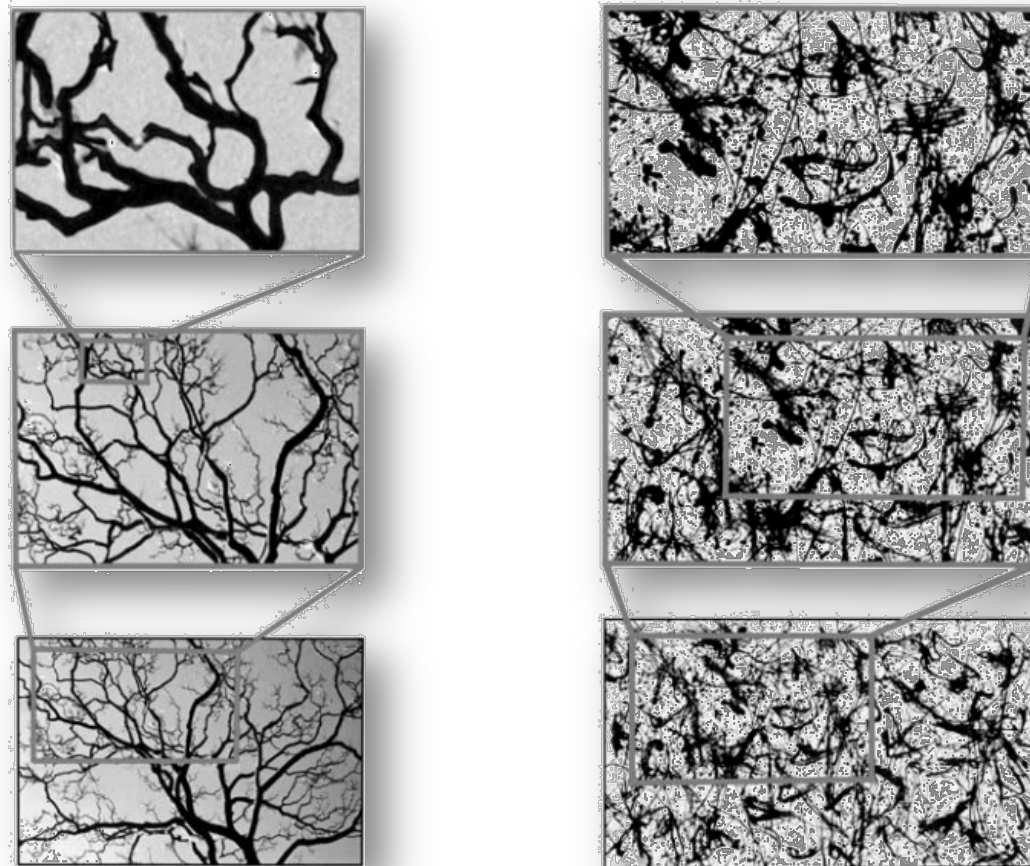


Figure 3. (a) Trees are an example of a natural fractal object. Although the patterns observed at different magnifications don't repeat exactly, analysis shows them to have the same statistical qualities (photographs by R.P. Taylor). (b) Pollock's paintings (in this case "Number 32, 1950") display the same fractal behavior.

La science du beau ?



Figure 4. Examples of natural scenery (left column) and drip paintings (right column). Top: Clouds and Pollock's painting *Untitled* (1945) are fractal patterns with $D=1.3$. Bottom: A forest and Pollock's painting *Untitled* (1950) are fractal patterns with $D=1.9$. (Photographs by R.P. Taylor).

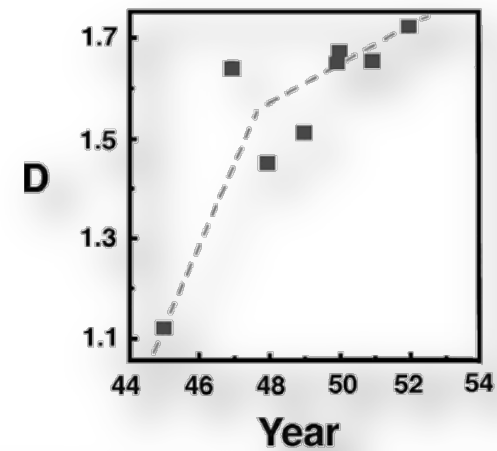


Figure 5. The fractal dimension D of Pollock paintings plotted against the year that they were painted (1944 to 1954). See text for details.

La science du beau ?

Watanabe S (2013) Preference for and Discrimination of Paintings by Mice. PLoS ONE 8(6).

Abstract. I measured preference for paintings (Renoir vs. Picasso or Kandinsky vs. Mondrian) in mice. In general mice did not display a painting preference except for two mice: one preferred Renoir to Picasso, and the other preferred Kandinsky to Mondrian. Thereafter, I examined discrimination of paintings with new mice. When exposure to paintings of one artist was associated with an injection of morphine (3.0 mg/kg), mice displayed conditioned preference for those paintings, showing discrimination of paintings by Renoir from those by Picasso, and paintings by Kandinsky from those by Mondrian after the conditioning. They also exhibited generalization of the preference to novel paintings of the artists. After conditioning with morphine for a set of paintings consisting of two artists, mice showed discrimination between two sets of paintings also from the two artists but not in association with morphine. These results suggest that mice can discriminate not only between an artist's style but also among paintings of the same artist. When mice were trained to discriminate a pair of paintings by Kandinsky and Renoir in an operant chamber equipped with a touch screen, they showed transfer of the discrimination to new pairs of the artists, but did not show transfer of discrimination of paintings by other artists, suggesting generalization.

La science du beau ?

Watanabe S (2013) Preference for and Discrimination of Paintings by Mice. PLoS ONE 8(6): e65335.

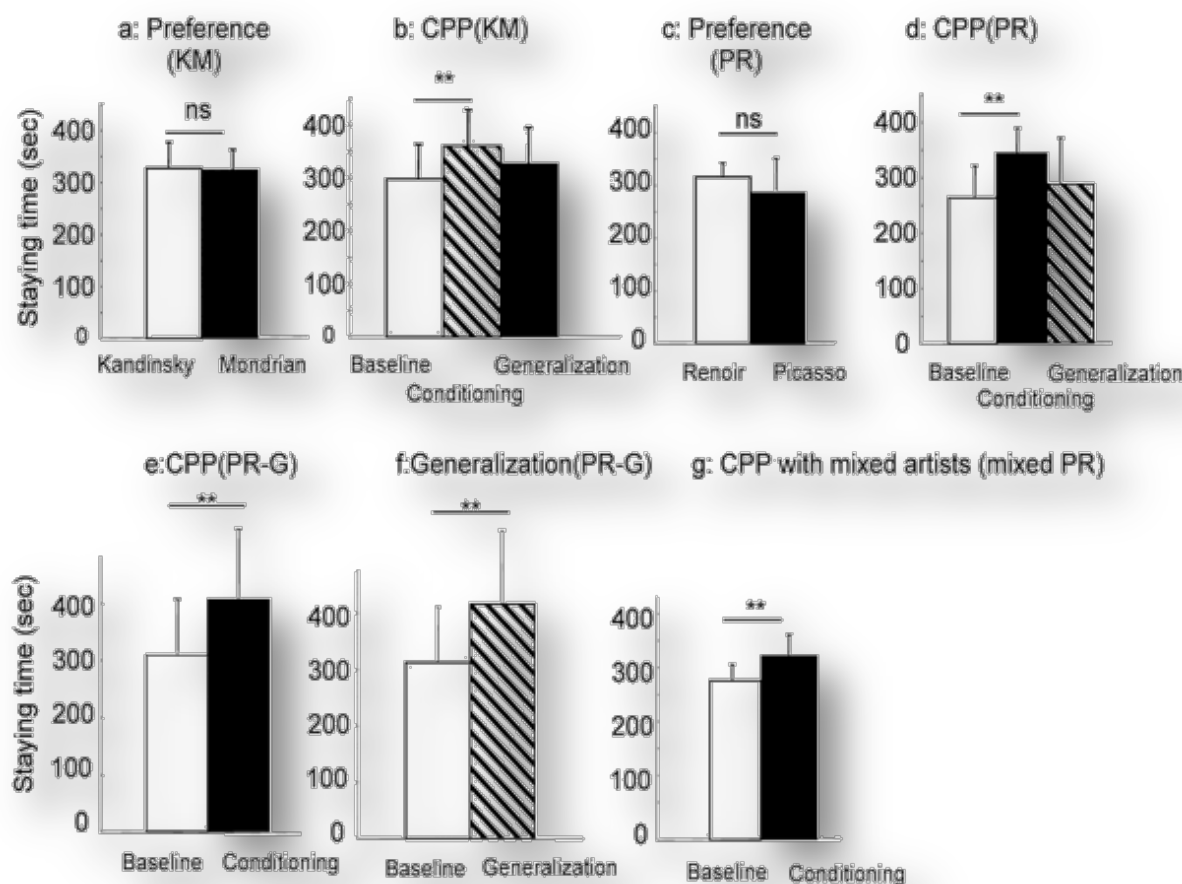


Figure 1. Results of experiment 1. a: Preference test with paintings by Kandinsky and Mondrian, b: Conditioned painting preference with Kandinsky and Mondrian, c: Preference test with paintings by Picasso and Renoir, d: Conditioned painting preference with Picasso and Renoir, e: Conditioned painting preference with 5 paintings by Picasso and Renoir, f: Generalization test with another 5 paintings by Picasso and Renoir, g: Conditioned painting preference with mixed artists. ns = not significant, ** $P < 0.05$. KM, PR, PR-G and mixed PR indicate Kandinsky-Mondrian group, Picasso-Renoir group, Picasso-Renoir generalization group and mixed Picasso-Renoir group respectively.

Experimental Demonstration of the tomatotopic organization in the soprano (*Cantatrix sopranica L.*)

Experimental Demonstration of the tomatotopic organization in the soprano (*Cantatrix sopranica L.*)

Georges PÉREC*

* Laboratoire de Physiologie, Faculté de Médecine Saint-Antoine, Paris, France.

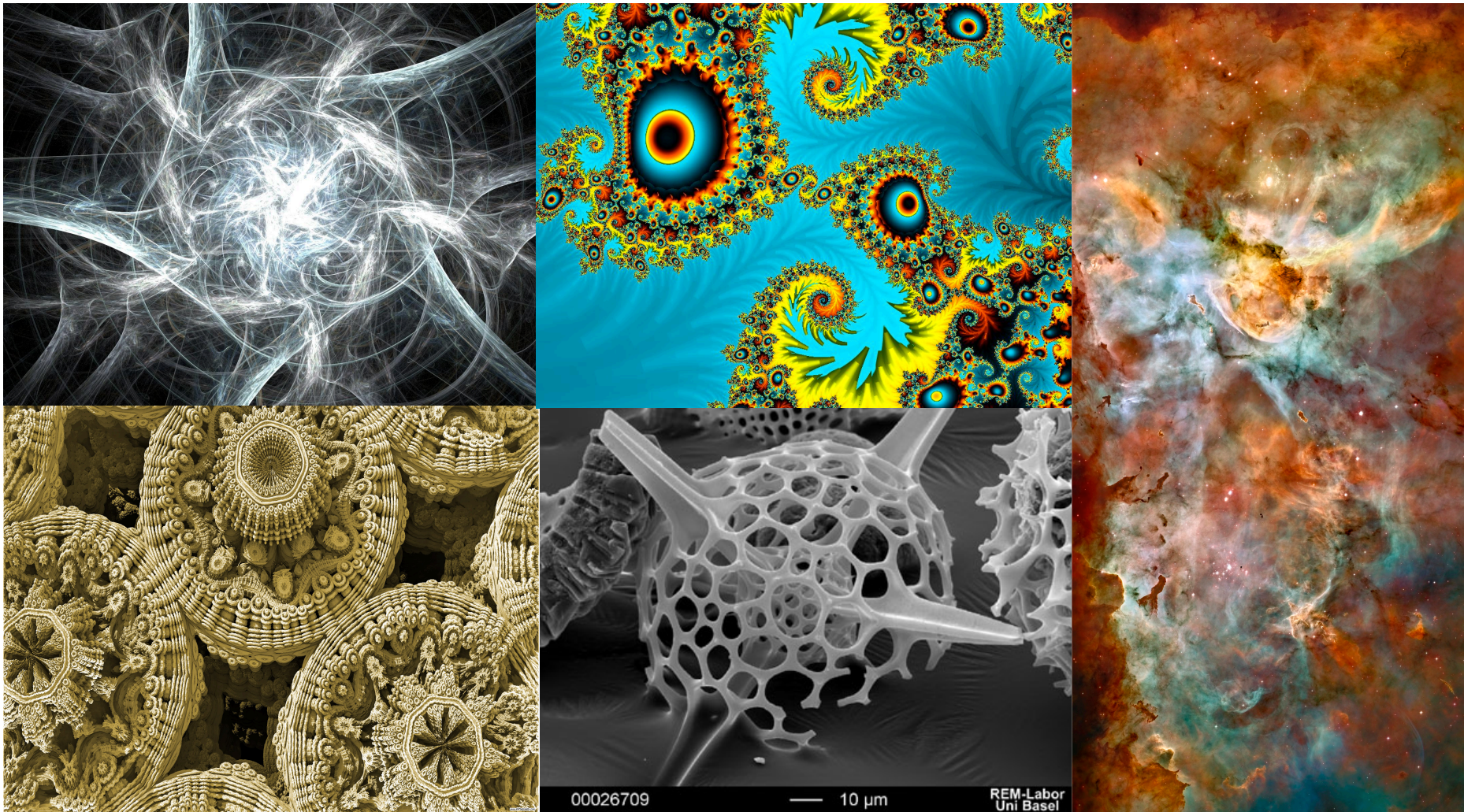
Sommaire : Démonstration expérimentale d'une organisation tomatotopique chez la Cantatrice. L'auteur étudie les fois que le lancement de la tomate il provoque la réaction yellante chez la Chantatrice et demonstre que divers plusieurs aires de la cervelle elle était implicatées dans le response, en particulier le trajet légumier, les nuclei thalameux et le figure musicien de l'hémisphère nord.

As observed at the turn of the century by Marks & Spencer (1899), who first named the « yelling reaction » (YR), the sticking effects of tomato throwing on Sopranos have been extensively described. Although numerous behavioral (Zeeg & Puss, 1973; Roux & Combaluzier, 1932; Simon *et al.*, 1948), pathological (Hun & Deu, 1960), comparative (Karybb & Szyla, 1973) and follow-up (Else & Vire, 1974) studies have permitted a valuable description of these typical responses, neuro-anatomical, as well as neurophysiological data, are, in spite of their number, surprisingly confusing. In their hencforth late twenties' classical demonstrations (Mason & Ragoun, 1960) afferents have been likely pointed out as well as macular (Zakouski, 1954), saccular (Bortsch, 1955), utricular (Malosol, 1956), ventricular (Tarama, 1957), monocular (Zubrowska, 1958), binocular (Chachlik, 1959-1960), triocular (Strogonoff, 1960), auditive (Balalaïka, 1515), and digestive (Alka-Seltzer, 1815) inputs. Spinothalamic (Attou & Ratathou, 1974), rubrospinal (Maotz & Toug, 1973), nigro-striatal (Szentagothai, 1972), reticular (Pompeiano *et al.*, 1971), hypothalamic (Hubel & Wiesel, 1970), mesolimbic (Kuffler, 1969), and cerebellar (High & Low, 1968) pathways have been vainly search out for

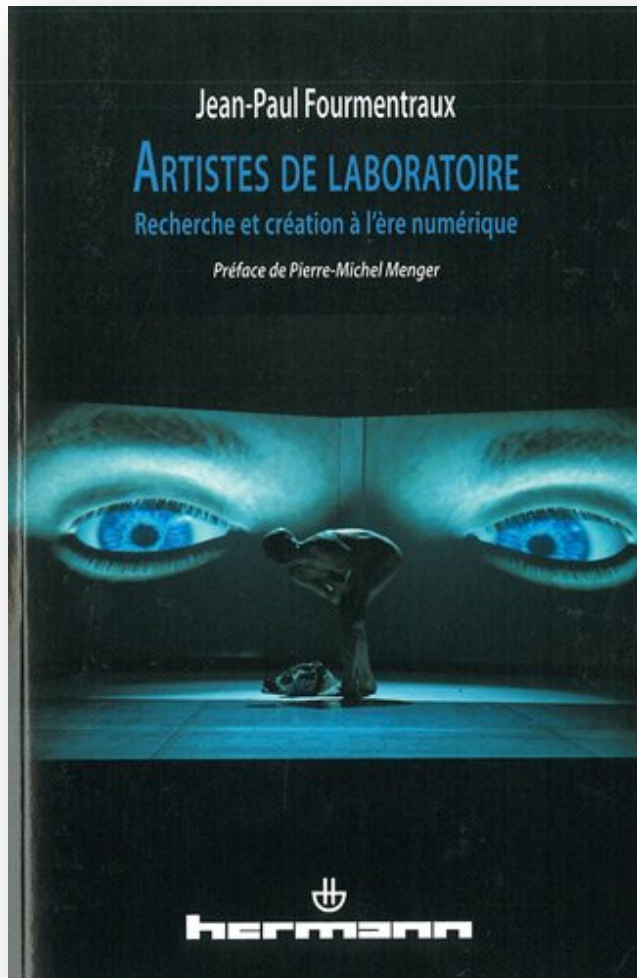
Jean-Marc Lévy-Leblond

- réconciliation œcuménique, des retrouvaille, pour abolir une coupure douloureuse
- *mais historiquement le mouvement a été la séparation des champs et l'autonomisation des disciplines*
- la beauté de la science
- *alors que l'art se détache de cette notion et que la beauté idéelles des équations est remplacée par des images technokitsch (communication et propagande)*

Le beau en science ?



Le numérique, une nouvelle matière...

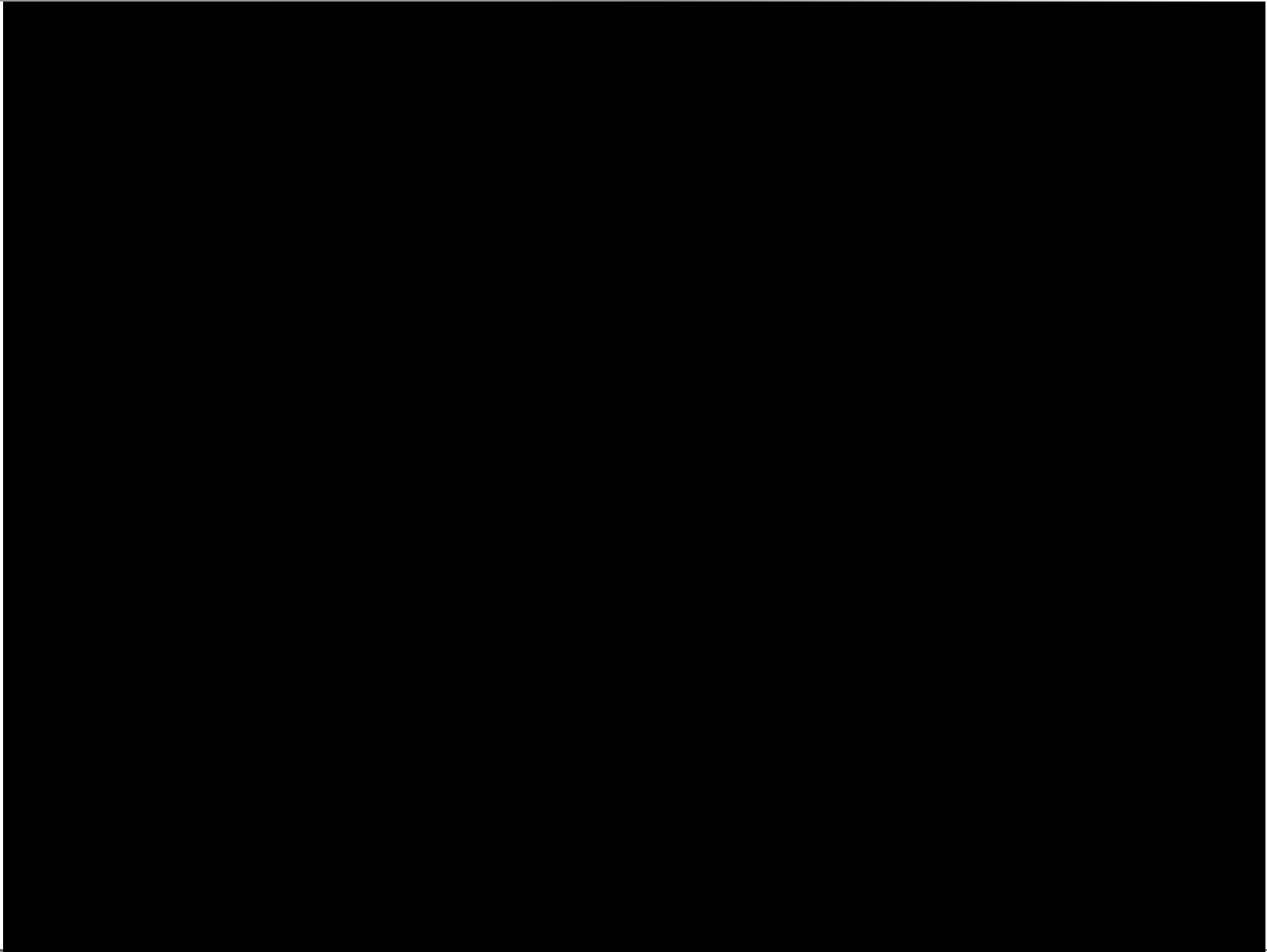


- de nouvelles frontières : biotechnologie, numériques
- une redéfinition de la manière de faire des œuvres, de la finalité et du statut de l'œuvre d'art
- œuvres hybrides fusionnant logique d'innovation technologique et artistique, recherche esthétique et utilité technologique et industrielle
- impulsion des politiques culturelles vers une porosité entre œuvre d'art, invention technologique et innovation commerciale : la recherche artistique vise également une utilité sociale, une application commerciale ou une valorisation industrielle,

Cap Digital : Futur en scène



Le jardin des hasard



Une institution singulière

IRCAM



ircam

Centre Pompidou



Départements

- R&D (9 teams)
- Production & Diffusion
- Transmission
- Bibliothèque multimedia

- > 180 collaborateurs
- ~ 65 chercheurs
- 25 PhD + post-docs
- 20 étudiants en composition
- 15 résidences
- Compositeurs, Artistes, etc.



PERSONNES

164 personnes employées
(en équivalent temps plein)

7 thèses HDR soutenues

PUBLICATIONS

43 articles pour
des revues à comité
de lecture

9 conférences invitées
dans des congrès nationaux
et internationaux

86 communications
avec actes dans
des congrès nationaux
et internationaux

14 communications
sans actes dans des
congrès nationaux et inter-
nationaux

21 ouvrages scientifiques
ou chapitres d'ouvrages

29 thèses, mémoires et
travaux universitaires

CRÉATIONS : CONCERTS ET SPECTACLES

50 concerts et spectacles
Dont

8 en saison

15 lors du festival Agora

27 en tournée

48 825 spectateurs

PROGRAMME MÉRIDIEN SCIENCES ARTS SOCIÉTÉ

99 738 spectateurs

DIFFUSION WEB

356 059 brahms.fr

263 590 ircam.fr

104 175 médiathèque.fr

723 824 soit

1 983 visiteurs par jour
en 2010

PERSONNES

163 personnes employées
(en équivalent temps plein)

7 thèses de doctorat
et HDR soutenues

PUBLICATIONS

41 articles pour
des revues à comité
de lecture

94 conférences dans
des congrès nationaux et
internationaux

23 ouvrages scientifiques
ou chapitres d'ouvrages

CRÉATIONS : CONCERTS ET SPECTACLES

97 concerts et spectacles
Dont

10 en saison

16 lors du festival Agora

71 en tournée (dont
31 pour *Le Mage en été*)

35 460 spectateurs

DIFFUSION WEB

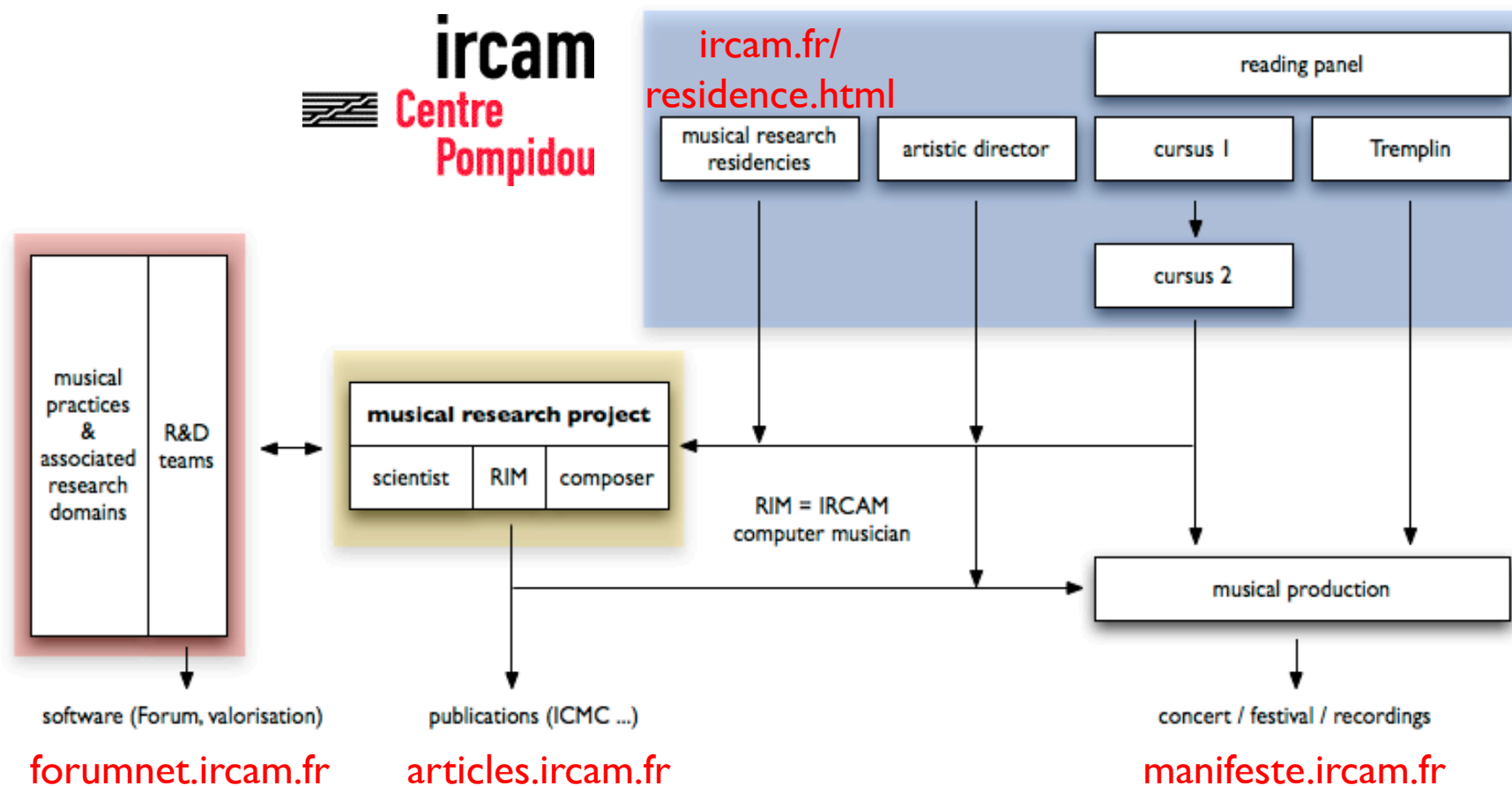
356 777 brahms.fr

264 965 ircam.fr

104 209 médiathèque.fr

725 951 soit

1 989 visiteurs par jour
en 2011



Institut de recherche et
coordination acoustique/musique

COMPOSITEURS, INTERPRÈTES, ARTISTES

APPEL À CANDIDATURE 2014

CURSUS DE COMPOSITION ET D'INFORMATIQUE MUSICALE

SEPTEMBRE 2014 - AVRIL 2015

CANDIDATURE DU 23 SEPTEMBRE
AU 28 OCTOBRE 2013

MANIFESTE-2014 ACADÉMIE

23 JUIN - 10 JUILLET 2014

ATELIERS DE COMPOSITION
MASTER CLASSES D'INTERPRÉTATION
ET DE DIRECTION D'ORCHESTRE
ATELIERS D'INFORMATIQUE MUSICALE
CANDIDATURE DU 23 SEPTEMBRE
AU 28 OCTOBRE 2013

RÉSIDENCE RECHERCHE MUSICALE ET ARTISTIQUE

3 À 6 MOIS

(DURANT L'ANNÉE SCOLAIRE 2014-2015)

CANDIDATURE DU 1^{er} JUILLET
AU 1^{er} OCTOBRE 2013

INFORMATIONS
IRC-RESIDENCY@IRCAM.FR

CANDIDATURE
www.ulysses-network.eu

INFORMATIONS
www.ircam.fr

IRCAM
1, PLACE IGOR-STRAVINSKY
75004 PARIS
FRANCE

du laboratoire à la scène

une étude de cas

Jonathan Harvey Speakings

pour Orchestra & Live Electronique

G. Nouno, A. Cont: Computer Music Designers

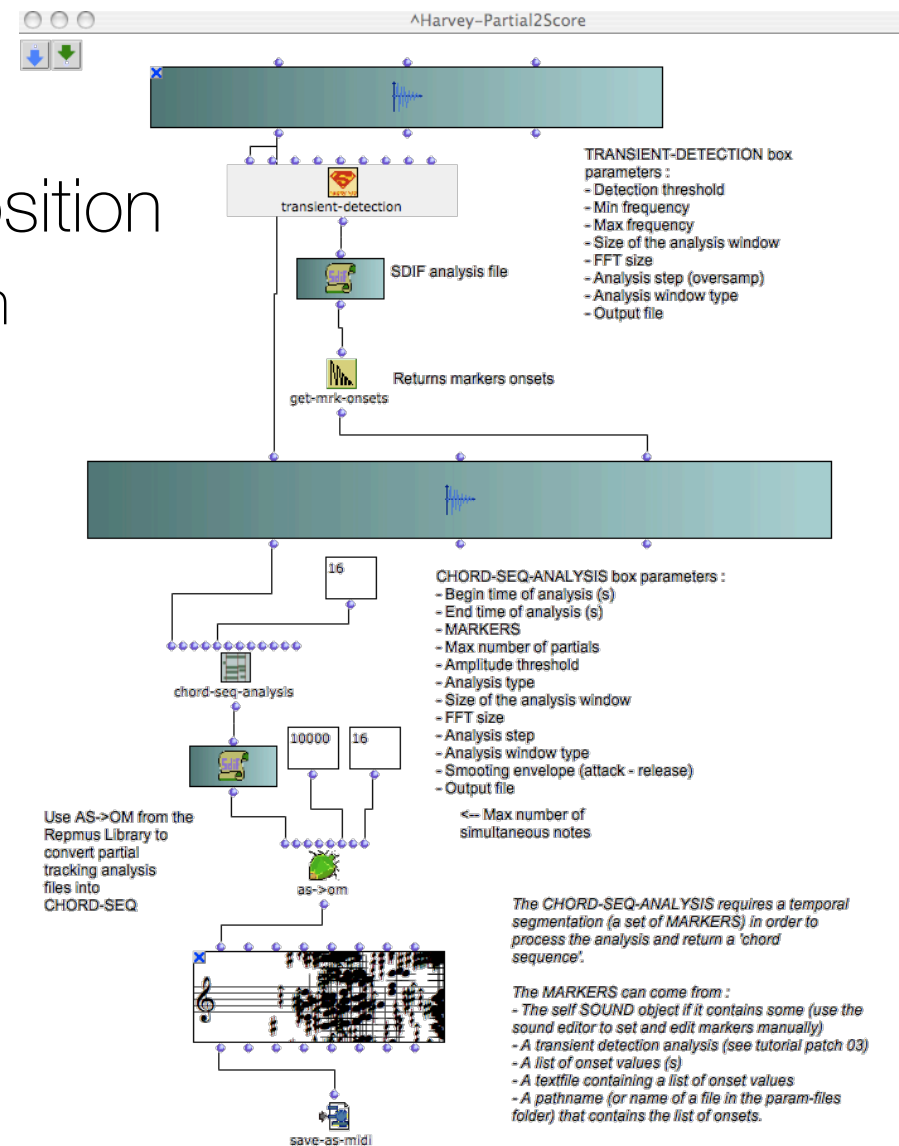


Harvey's « Speakings »

- Jonathan Harvey
 - Idea: An orchestra that speaks
 - From speech to orchestra and vice versa
 - Enrich orchestral timbre using non-existing speech structures
 - Read:
 - G. Nouno, A. Cont, G. Carpentier, and J. Harvey
“Making an Orchestra Speak” , *Sound and Music Computing Conference, 2009*.
Best paper award.
 - Tribune article on Forumnet with Max and OpenMusic patches.
 - Precedence: Modest Mussorgsky, Clarence Barlow
 - Procedure:
 - Study existing artistic approaches (Modest Mussorgsky, Clarence Barlow, ...)
 - Musical research: Prototype ideas, artistic trial and error, choose pertinent approaches.
 - Development & Composition
 - Tests and performance considerations
 - Rehearsal and Concert (Royal Albert Hall, Proms Festival, BBC Orch. 2008)
-

Harvey's « Speakings »

- Computer Assisted Composition
- Speech to music transcription
 - OpenMusic + SuperVP



Phase I: CAC

Speech to music transcription



A Game of Chess

1 2 3 4 5 1

voice

partials

6 7

8 9

10 11

A musical score for a piece titled "A Game of Chess". The score is divided into two systems. The first system contains measures 1 through 5, and the second system contains measures 6 through 11. The score is written for voice and piano (partials). The voice part is in the upper staff, and the piano part is in the lower staff. The piano part is divided into two staves, each with a treble and bass clef. The score includes various musical notations such as notes, rests, and dynamic markings. The title "A Game of Chess" is centered above the first system. The measure numbers 1 through 11 are placed above the corresponding measures. The labels "voice" and "partials" are placed to the left of their respective staves. The labels "6 7", "8 9", and "10 11" are placed above the piano staves in the second system.

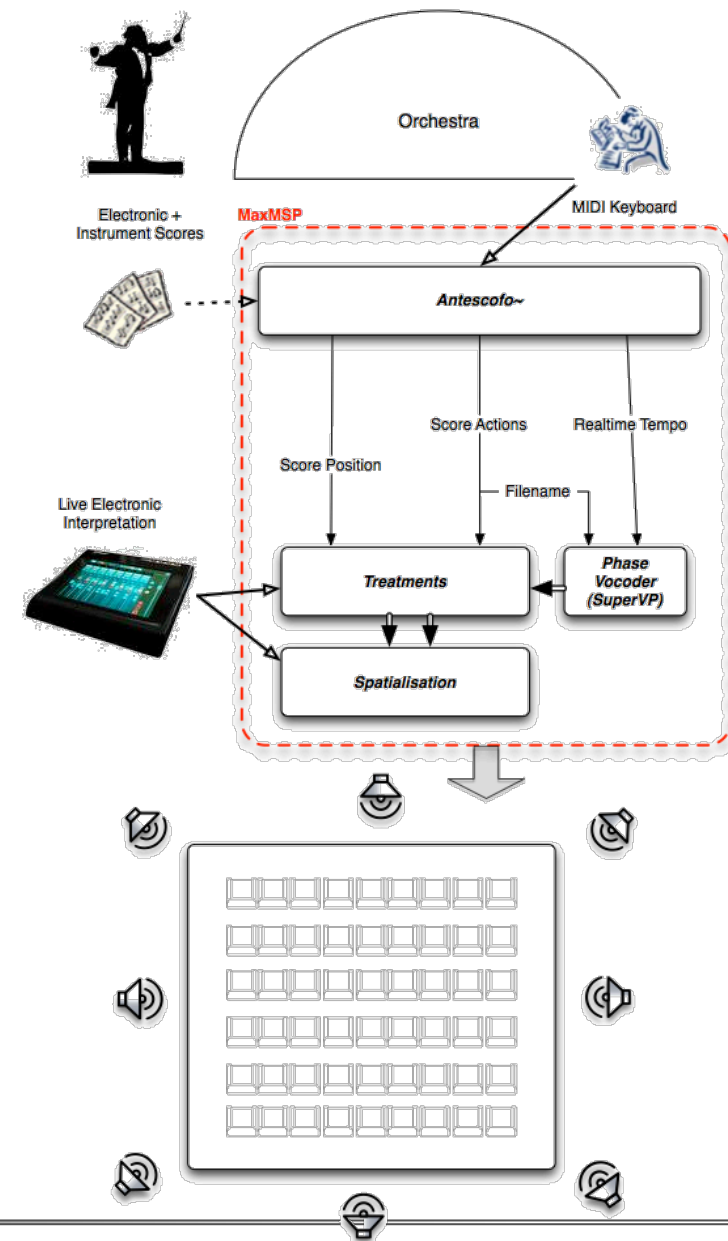
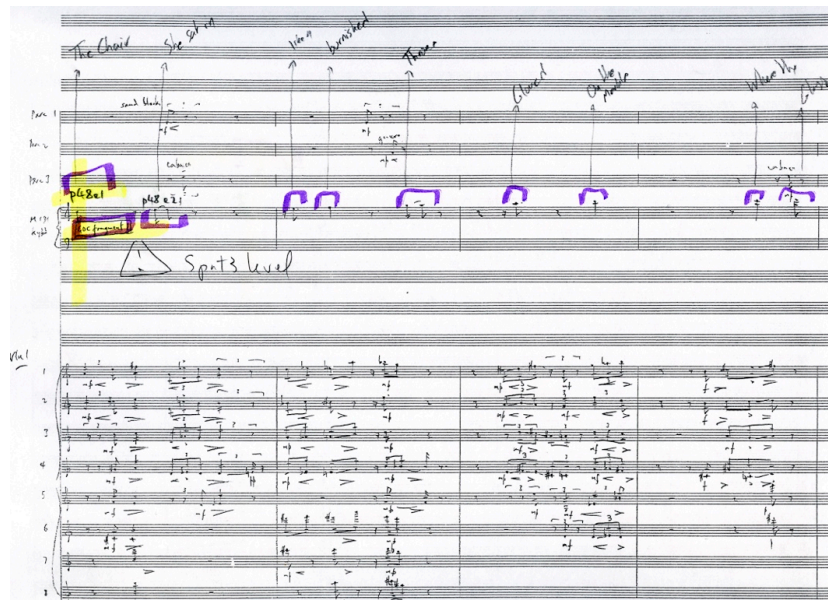
Phase I: CAC

- Automatic Orchestration
 - How to write speech structures for Orchestra?
 - The Orchidée project



Phase II: Live electronics

- Impose speech structures on orchestral sound
- Real-time transformation
- Synchronizing electronics with conductor/orchestra



Speakings

- An excerpt
 - That uses “Mantra” orchestration and live electronics
 - Premier from August 2008 by BBC Scottish Orchestra in London (Royal Albert Hall)



L'INTUITION SPATIALE

Geometry and the imagination

PREFACE

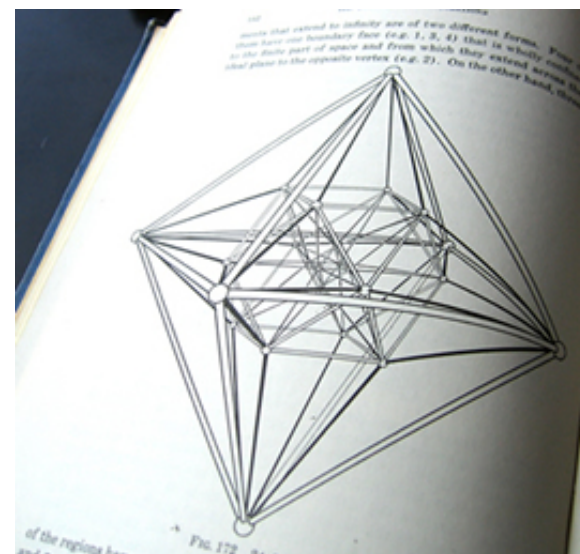
In mathematics, as in any scientific research, we find two tendencies present. On the one hand, the tendency toward *abstraction* seeks to crystallize the *logical* relations inherent in the maze of material that is being studied, and to correlate the material in a systematic and orderly manner. On the other hand, the tendency toward *intuitive understanding* fosters a more immediate grasp of the objects one studies, a live *rapprochement* with them, so to speak, which stresses the concrete meaning of their relations.

As to geometry, in particular, the abstract tendency has here led to the magnificent systematic theories of Algebraic Geometry, of Riemannian Geometry, and of Topology; these theories make extensive use of abstract reasoning and symbolic calculation in the sense of algebra. Notwithstanding this, it is still as true today as it ever was that *intuitive* understanding plays a major role in geometry. And such concrete intuition is of great value not only for the research worker, but also for anyone who wishes to study and appreciate the results of research in geometry.

In this book, it is our purpose to give a presentation of geometry, as it stands today, in its visual, intuitive aspects. With the aid of visual imagination we can illuminate the manifold facts and problems of geometry, and beyond this, it is possible in many cases to depict the geometric outline of the methods of investigation and proof, without necessarily entering into the details connected with the strict definitions of concepts and with the actual calculations. For example, the proof of the fact that a sphere with a hole can always be bent—no matter how small the hole—or of the fact that two different toroidal surfaces can not in general be wrapped onto each other conformally, can be treated in such a fashion that even one who does not wish to follow the details of the analytical arguments, may still gain an insight into how and why the proof works.

In this manner, geometry being as many-faceted as it is and being related to the most diverse branches of mathematics, we may even obtain a summarizing survey of mathematics as a whole, and a valid idea of the variety of its problems and the wealth of ideas it contains. Thus a presentation of geometry in large brush-

iii



The most general helical space curve performing a uniform screw motion about a fixed axis. Thus our particular ruled helicoid is obtained when the generating curve is a straight line intersecting the axis at right angles. This surface is called a right helicoid.

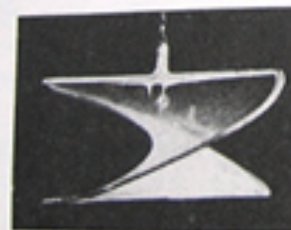


FIG. 220a

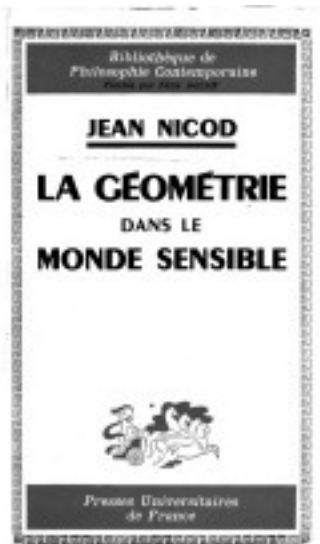


FIG. 220b

Jean Nicod: La géométrie dans le monde sensible

■ La Géométrie des sensations de mouvement (1921)

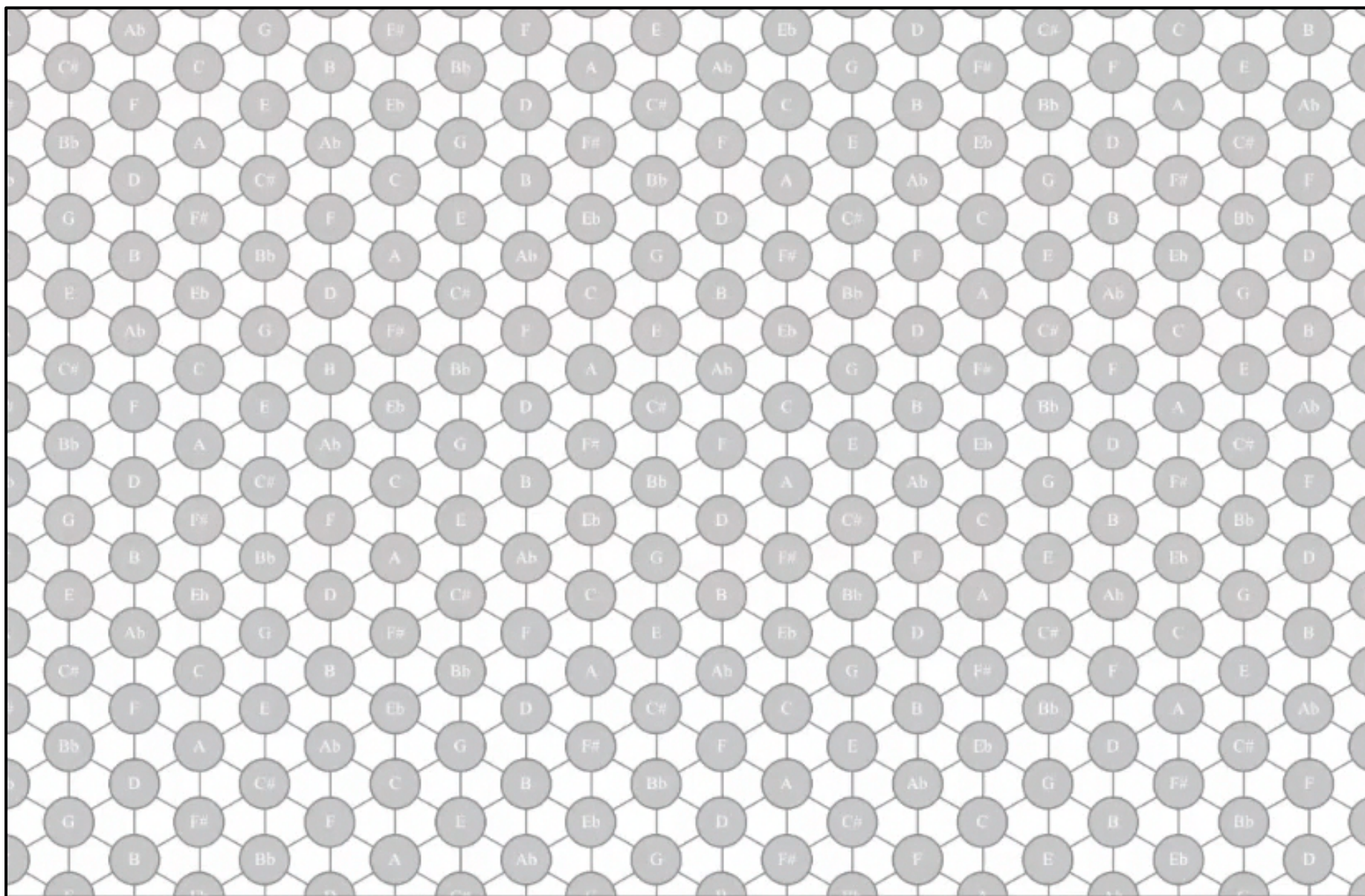
Imaginons un être pouvant se mouvoir librement dans un milieu homogène et immobile, par exemple un poisson au sein d'un océan tranquille. Faisons correspondre à chacun de ses mouvements, compliqué ou simple, prolongé ou bref, rapide ou lent, une sensation totale distinctive. Donnons-le de mémoire et de raison, et demandons- nous s'il pourrait appliquer une géométrie à son expérience.



■ La Géométrie dans le monde sensible (1923)

Imaginons un auditeur transporté sans nulle autre sensation le long d'une ligne divisées en petite sections telles que à chaque passage sur une section quelconque (soit A), un son d'une qualité particulière *a* se fasse entendre. [...] Au sujet des sons produits, qui composent toute sa perception [...], il ne conçoit, supposons nous, que deux questions : *le son y fut-il après le son x ? Le son y fut-il semblable au son x ?* Cherchons si le monde sensible ainsi défini a des lois ; s'il y a pour ce sujet, une physique.

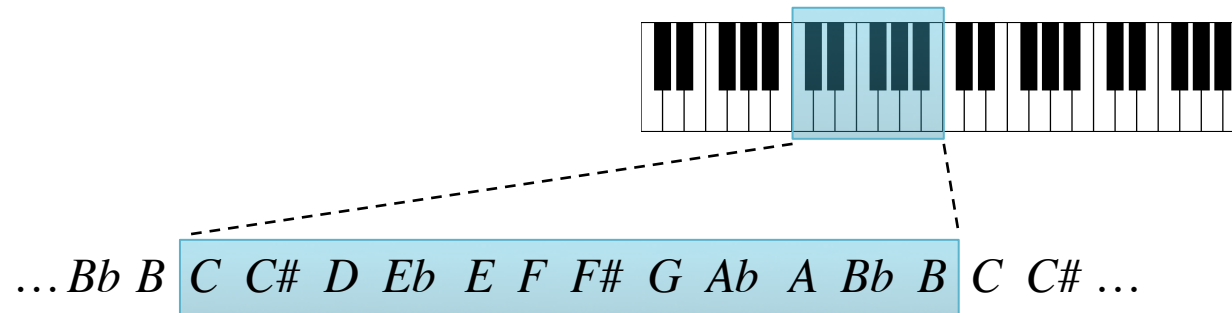
L'espace dans la théorie musicale



Representation algébrique des hauteurs

■ *Set Theory*

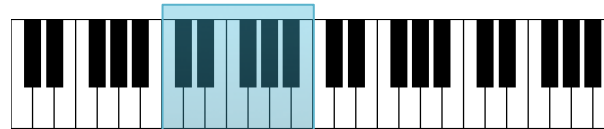
- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme



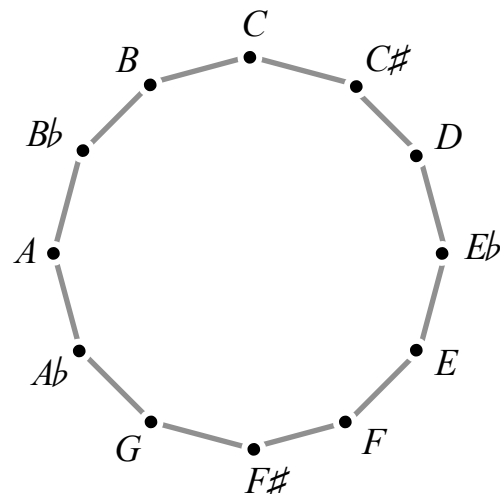
Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme



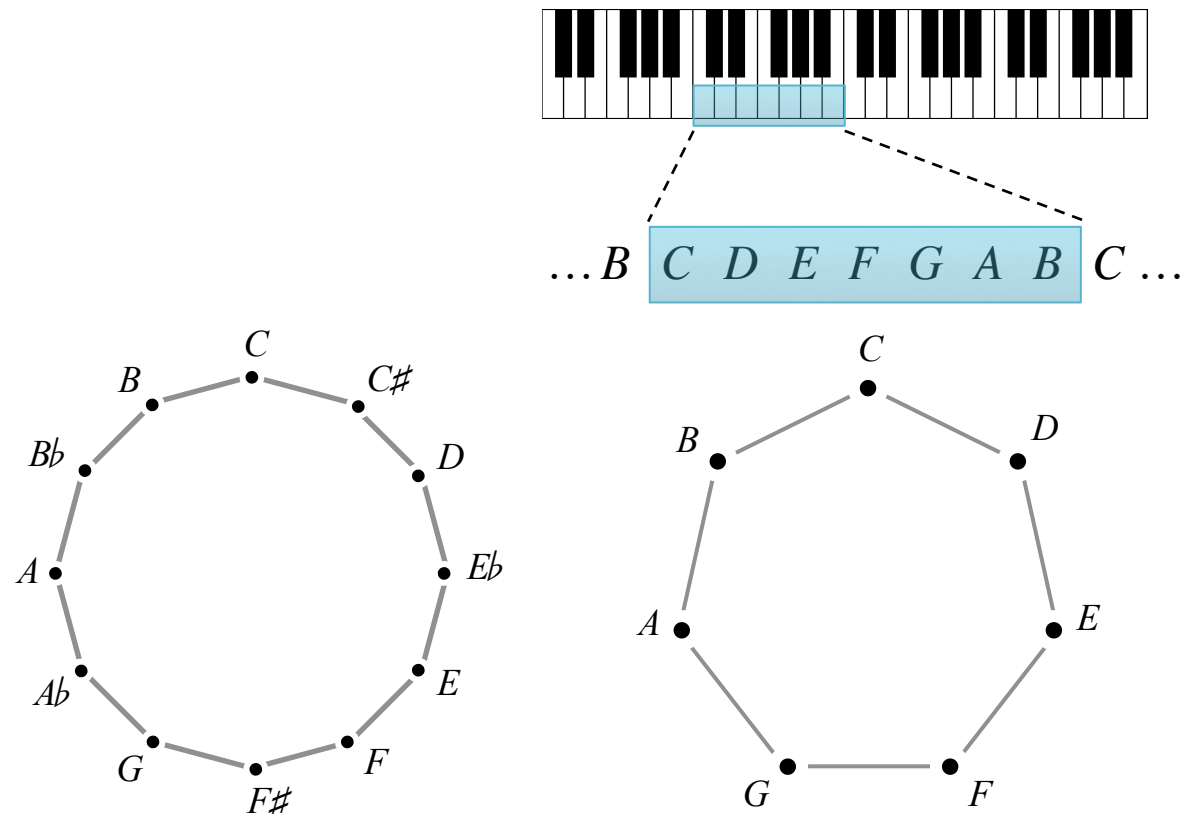
... B $\flat$ B C C $\sharp$ D E $\flat$ E F F $\sharp$ G A $\flat$ A B $\flat$ B C C $\sharp$...



Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

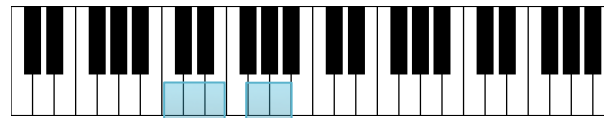
- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme



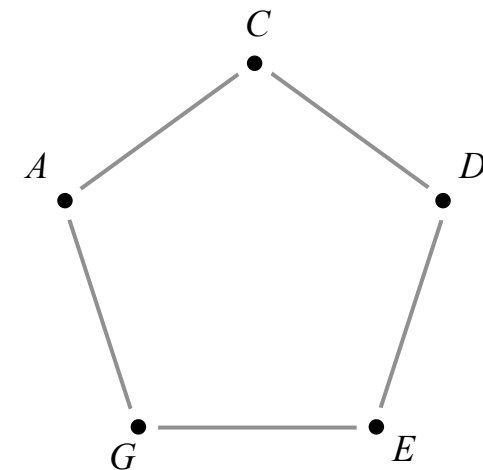
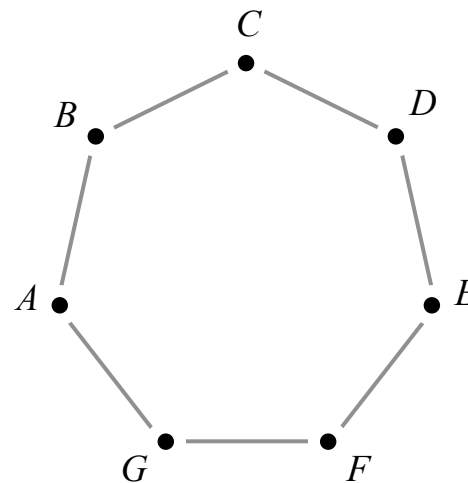
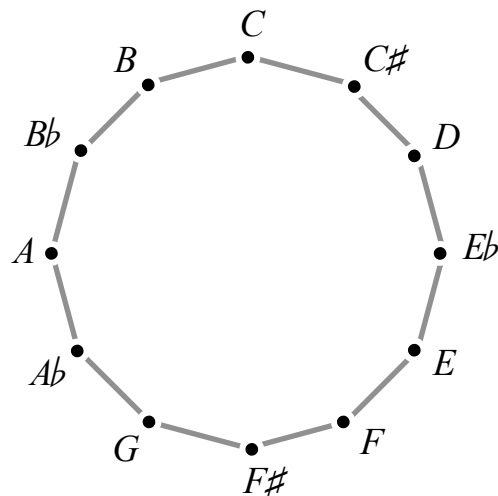
Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme



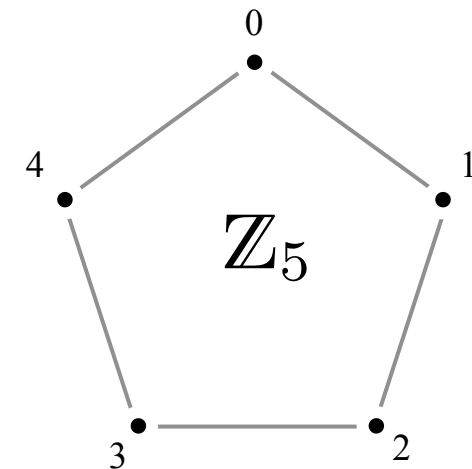
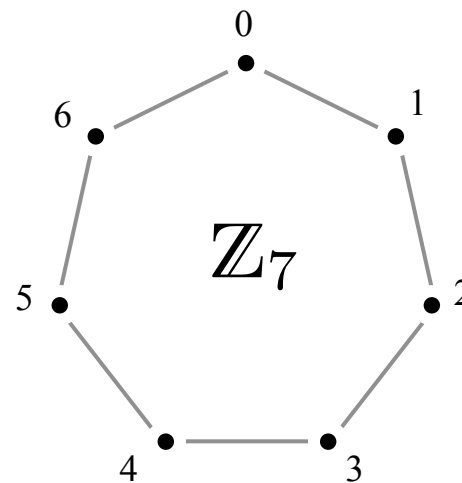
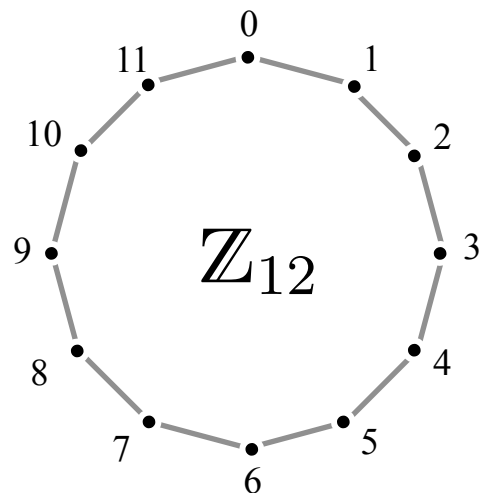
...A **C D E G A** C ...



Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

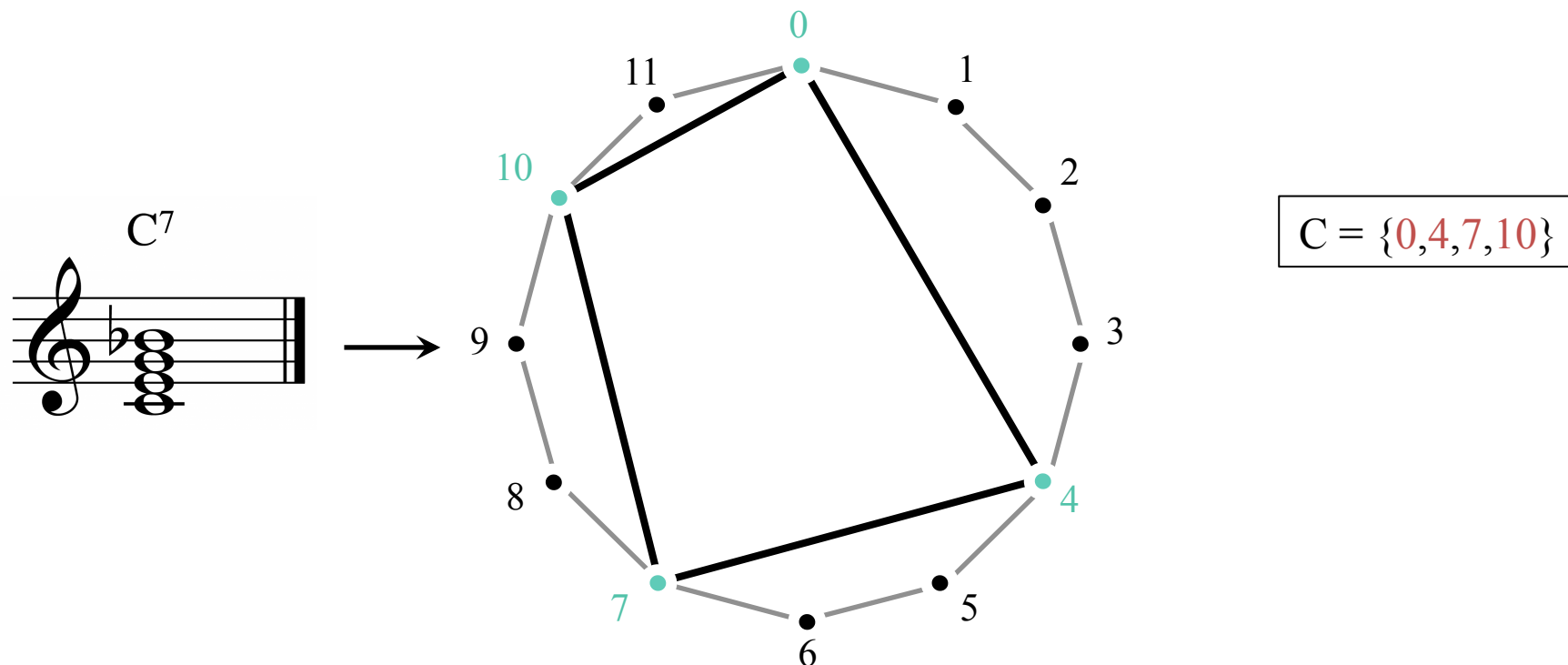
- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme
- structure du groupe cyclique $\mathbb{Z}_N$



Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

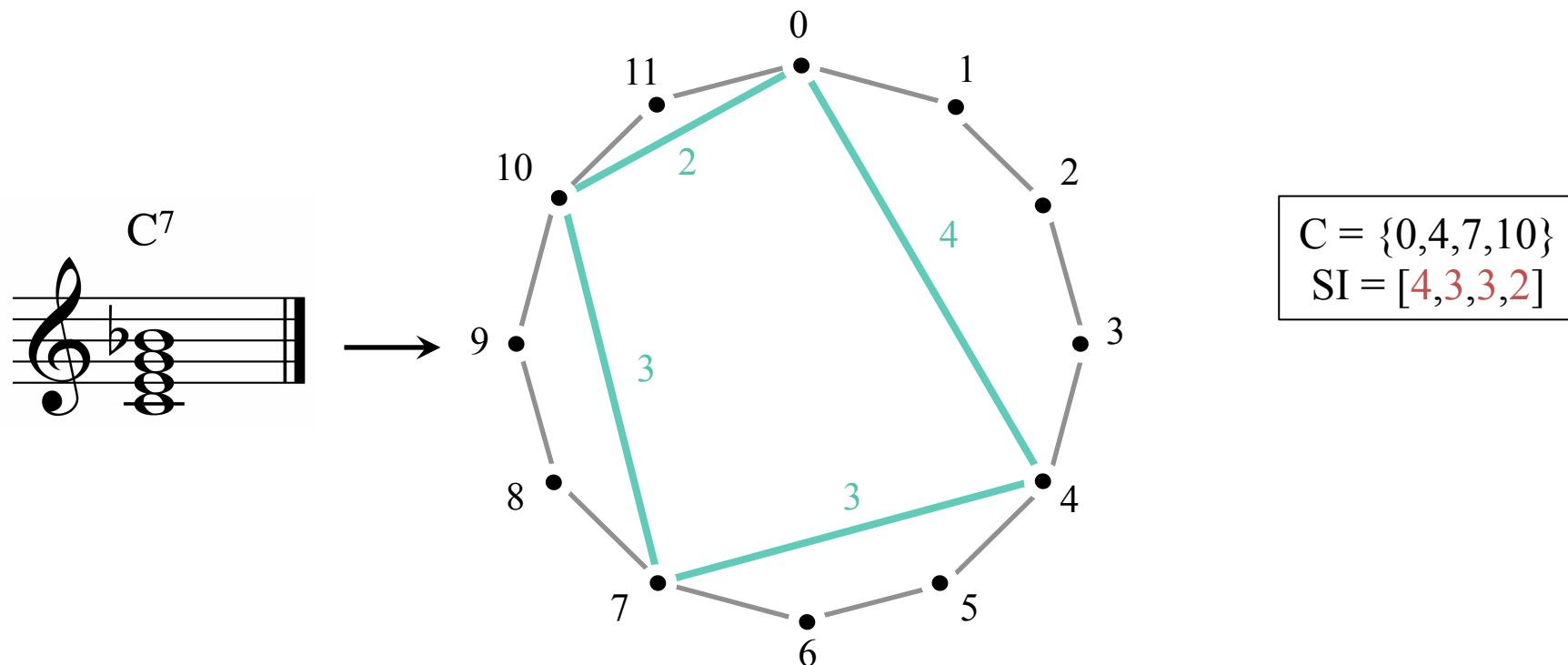
- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme
- structure du groupe cyclique $\mathbb{Z}_N$



Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

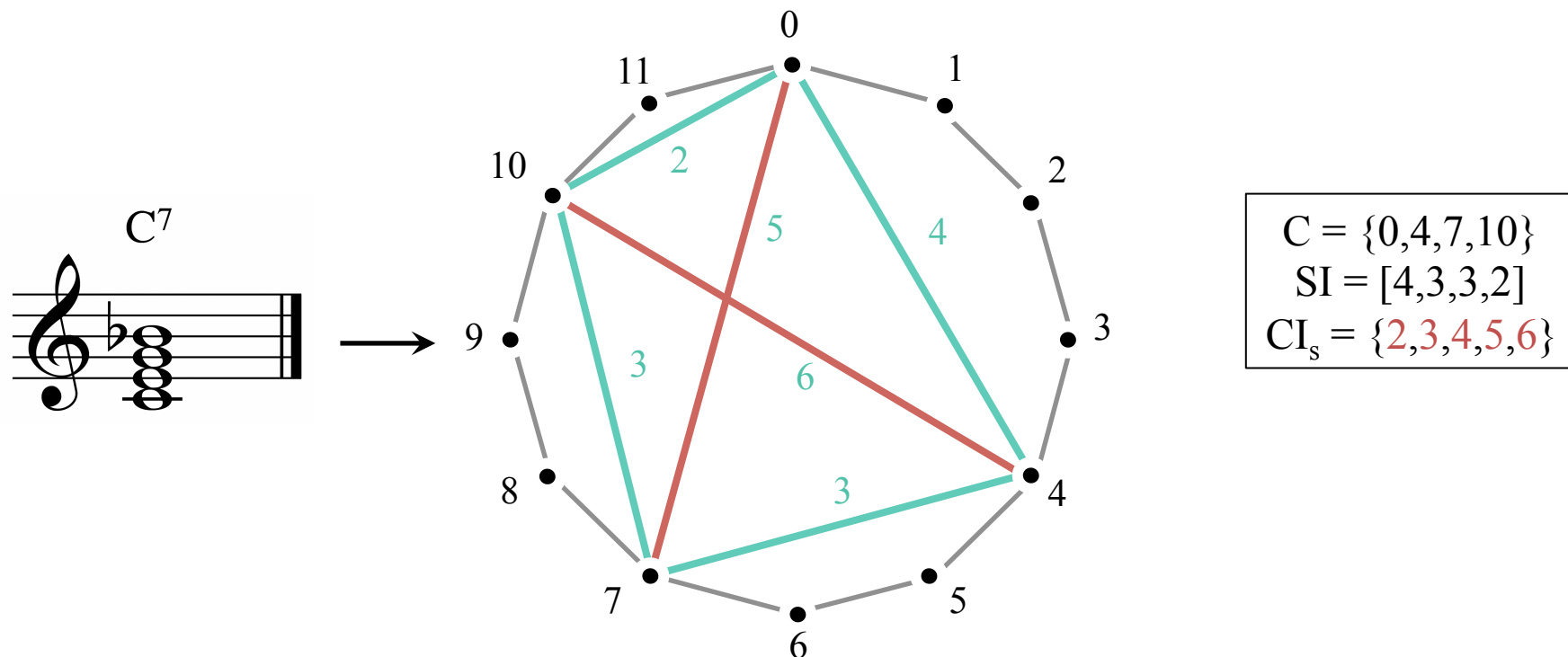
- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme
- structure du groupe cyclique $\mathbb{Z}_N$



Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

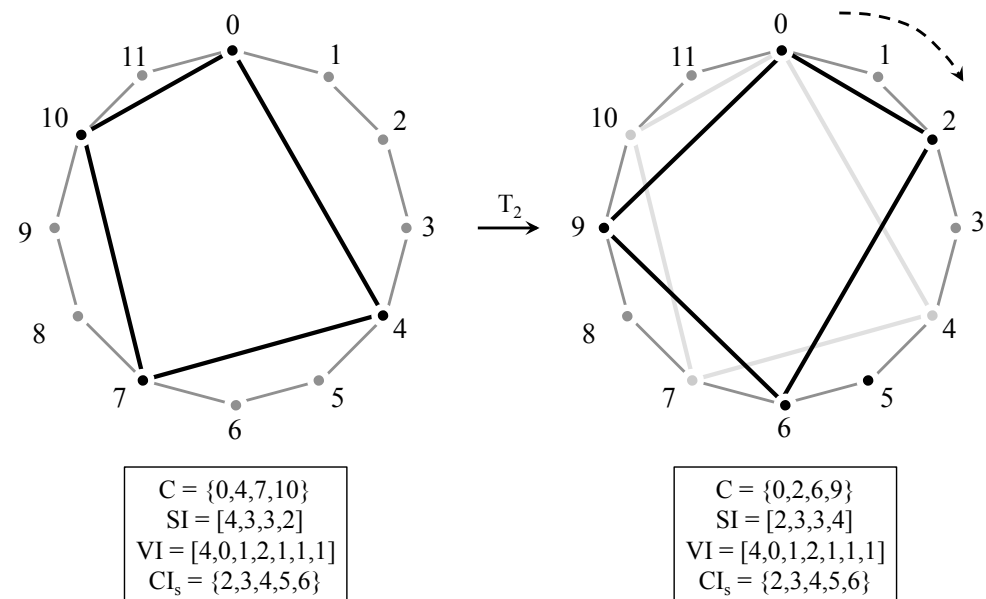
- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme
- structure du groupe cyclique $\mathbb{Z}_N$



Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme
- structure du groupe cyclique $\mathbb{Z}_N$
- Operations
 - Transpositions

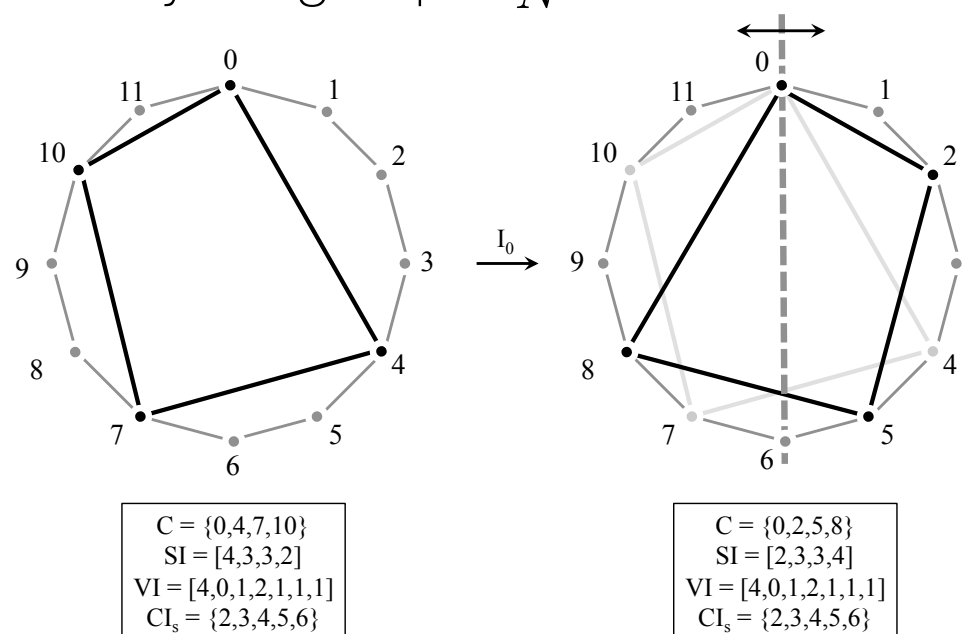


$$T_k : x \rightarrow x + k \bmod 12$$

Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

- Equal temperament
- Octave reduction according to a scale
- Underlying structure of the cyclic group $\mathbb{Z}_N$
- Operations
 - Transpositions
 - Inversions

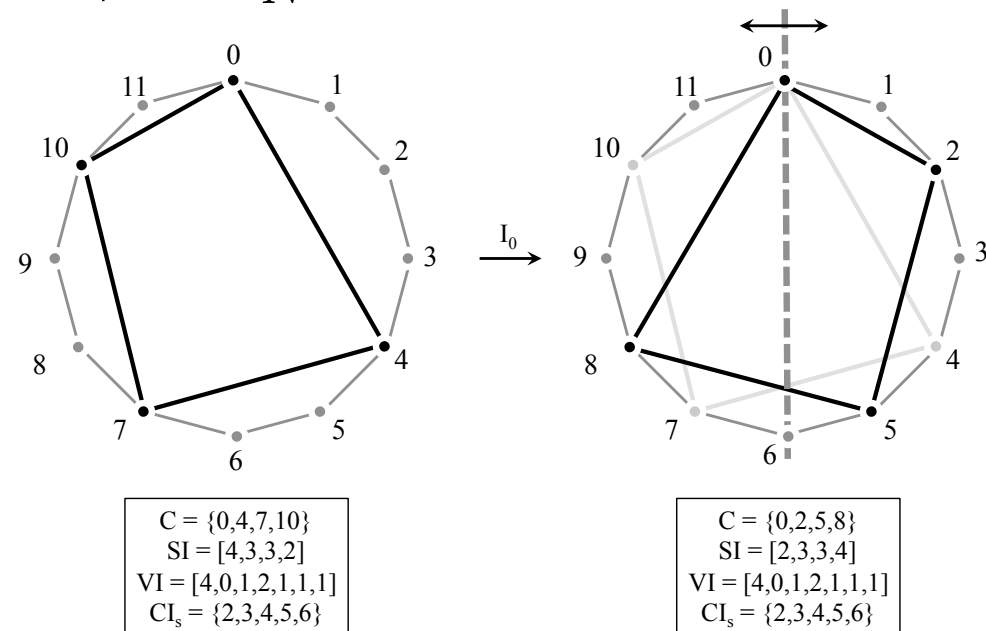


$$I : x \rightarrow -x \text{ mod } 12$$

Representation algébrique des hauteurs

■ Set Theory

- Temperament égal
- Réduction à l'octave suivant une gamme
- structure du groupe cyclique $\mathbb{Z}_N$
- Operations
 - Transpositions
 - Inversions
 - Permutations
 - Affine transformations

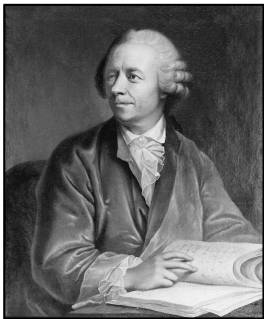
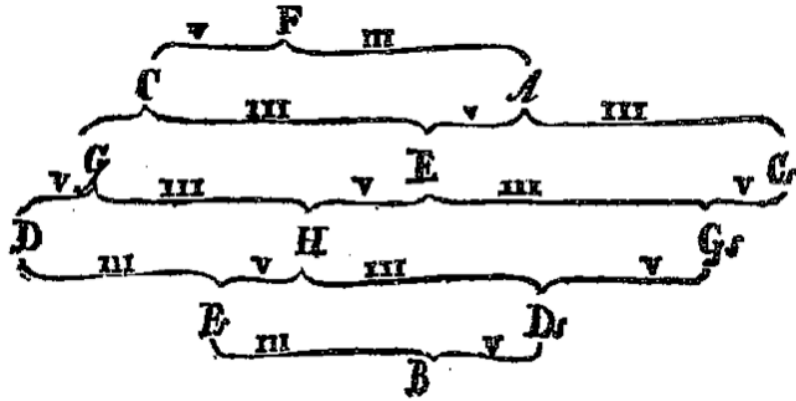


$$I : x \rightarrow -x \bmod 12$$

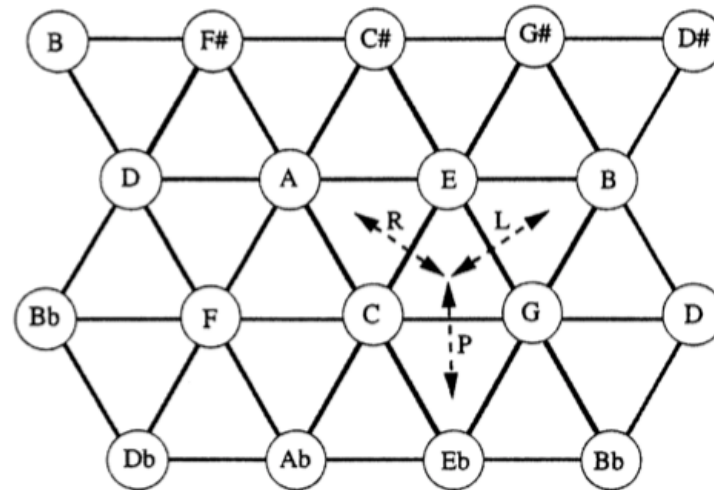
Espace créé par la structure algébrique

■ Motivation

Formalisation/généralisation de la notion de *Tonnetz*



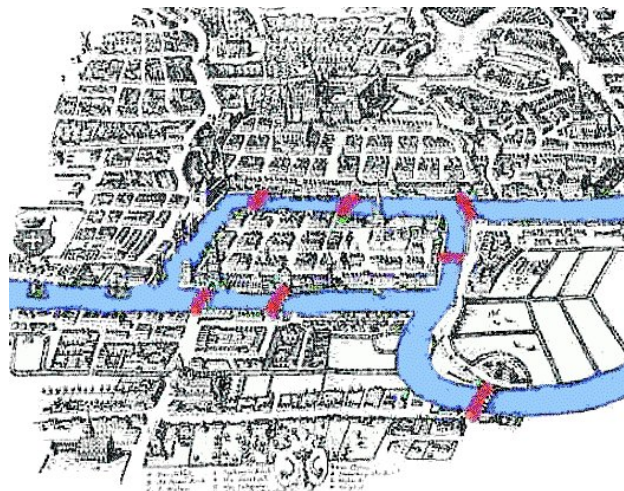
[Euler - 1739]



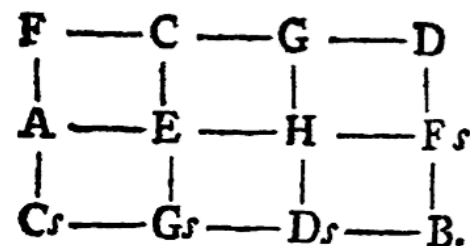
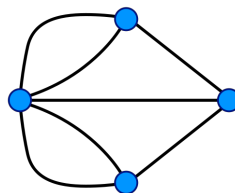
[Cohn - 1997]



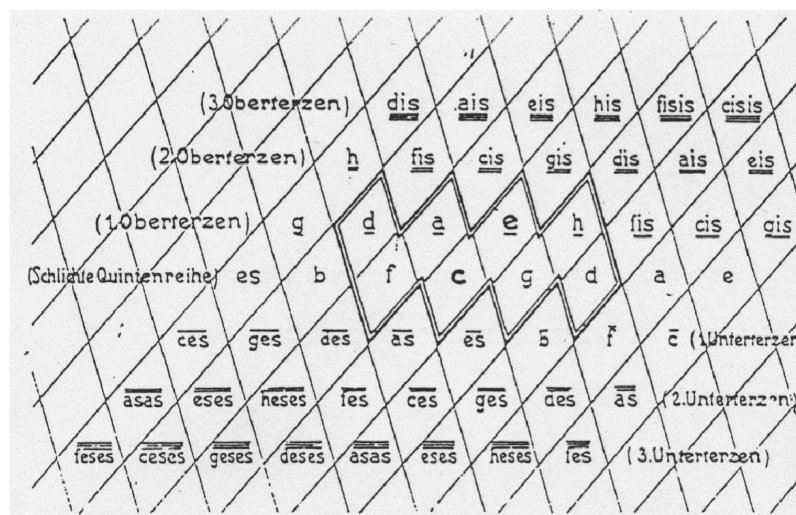
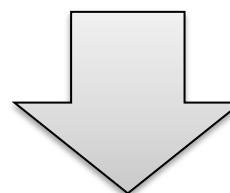
Des graphes pour les hauteurs



Königsberg et ses ponts



Euler, Speculum
musicum, 1773



Le Tonnetz d'Hugo Riemann

Structure de groupe

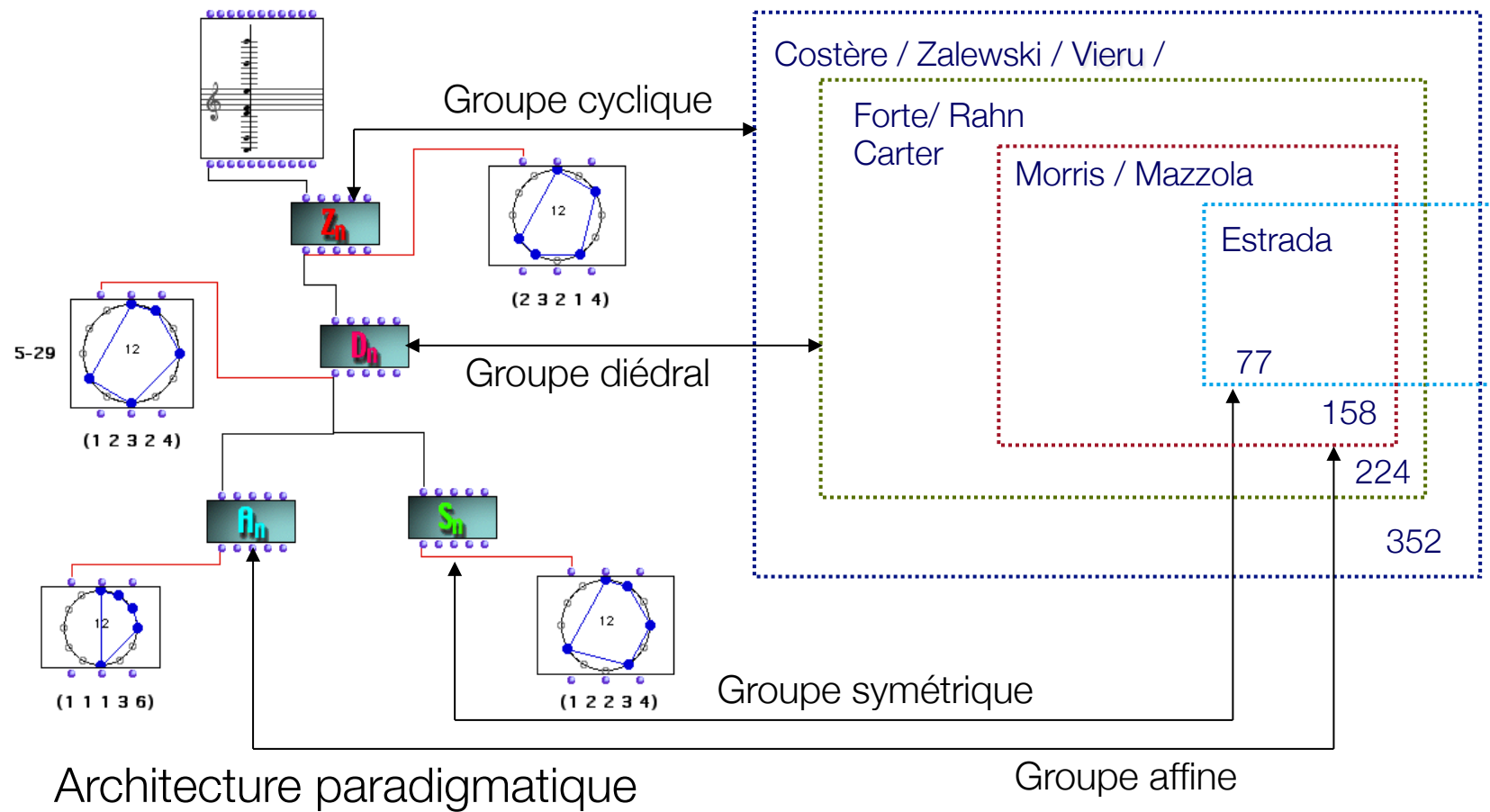
- une opération +
- qui a les propriétés
 - associative : $x + (y+z) = (x+y) + z$
 - un élément neutre 0 : $0+x = x$ et $x+0 = 0$
 - un inverse : pour tout x , il y a un y tel que : $x + y = y + x = 0$
 - commutatif (abélien) si $x+y = y+x$
- comment définir un groupe ?
 - par une table d'addition
 - par un moyen ad-hoc (ex. l'algorithme d'addition des entiers)
 - par une *presentation finie*

Présentation d'un groupe

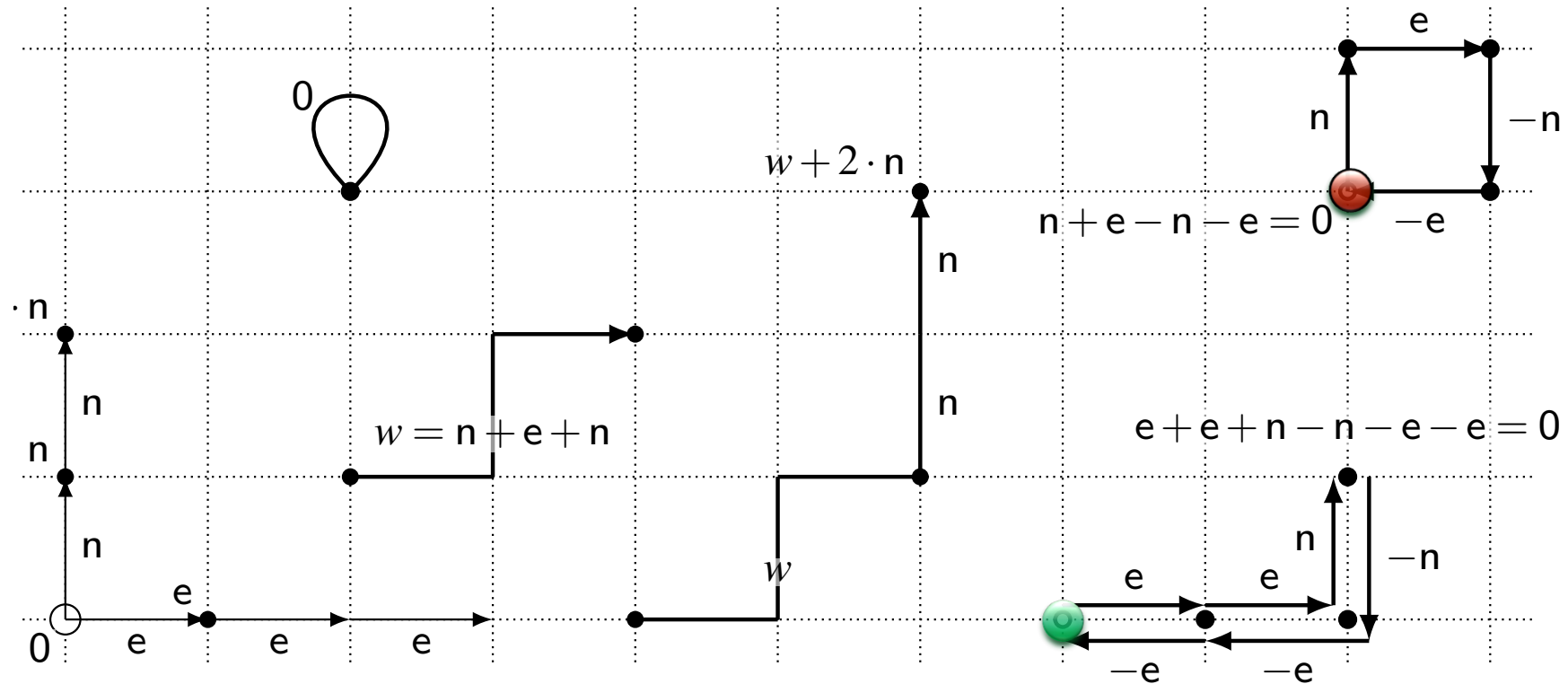
- ses générateurs
- les équation entre générateurs
- les éléments sont tout ce qu'on peut écrire comme expression entre générateurs « modulo » les équations

Groupe cyclique

- générateur: 1
- équation: $n.1 = \underbrace{1 + \dots + 1}_{n \text{ fois}} = 0$



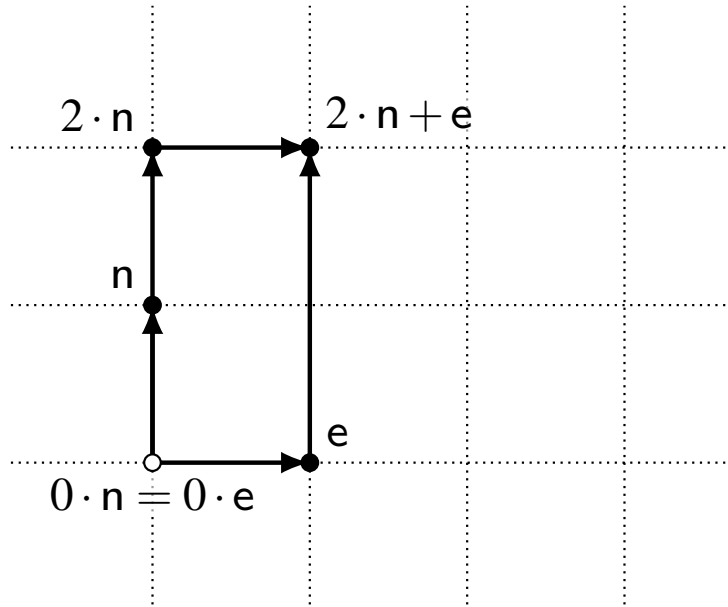
Graphe de Cayley



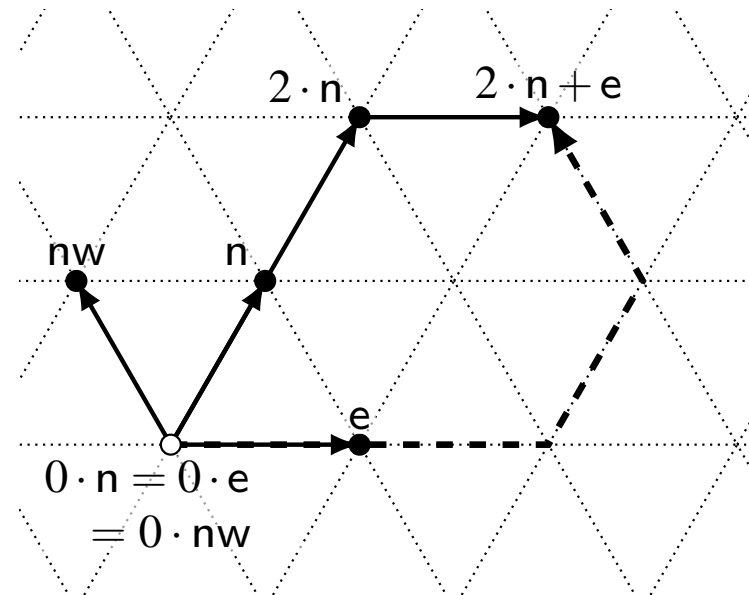
Equations are closed paths (loops):

- backtracking path are closed in any Cayley graph : $e + e + n - n - e - e$
- group equation are specific of the graph topology

Graphe de Cayley



$$\langle n, e; n+e=e+n \rangle$$



$$\langle n, e, nw; n = e+nw \rangle$$

Action d'un groupe

- Un groupe G , des objets p
- Une opération qui applique un g de G à un p : $g \cdot p$ et qui vérifie
 - $0 \cdot p = p$
 - $(g + h) \cdot p = g \cdot (h \cdot p)$
- Exemples :
 - les déplacements à Manhattan
 - les rotations
 - les transformations géométriques
- Exemple musical : les intervalles agissent comme des transpositions sur les notes

Comme M. Jourdain...

■ Instruments conception

$I = \{ m2, P4 \}$ (Guitar)



$I = \{ m2, P5 \}$ (Violin)

$I = \{ m2, M2, m3 \}$ (Accordion)

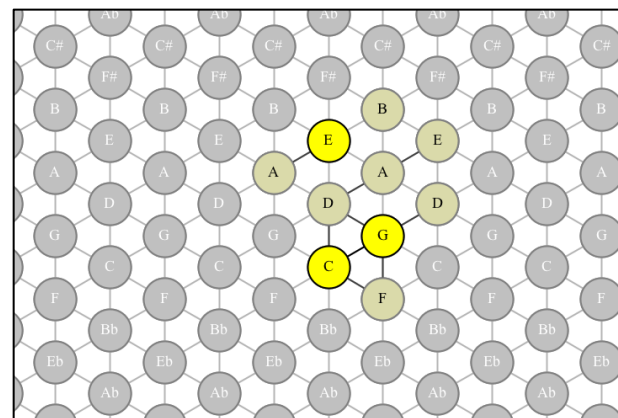


Visualisation des trajectoires

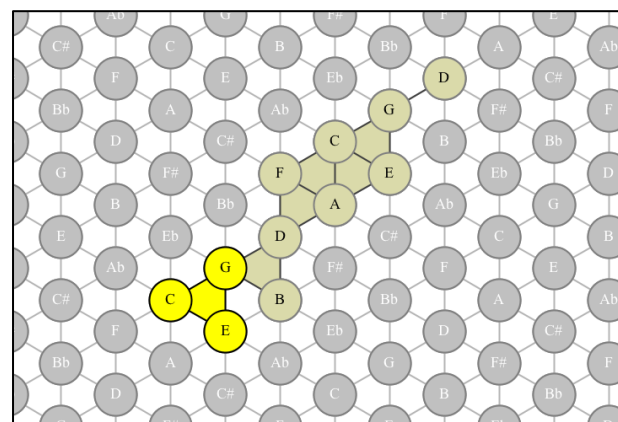
- HexaChord (Java)
- Intégration prochaine dans OpenMusic



J.-S.Bach - Choral BWV 256



$C(2,5,5)$



$C(3,4,5)$

Supporting Music Composition with Interactive Paper

INRIA, IRCAM, LACL



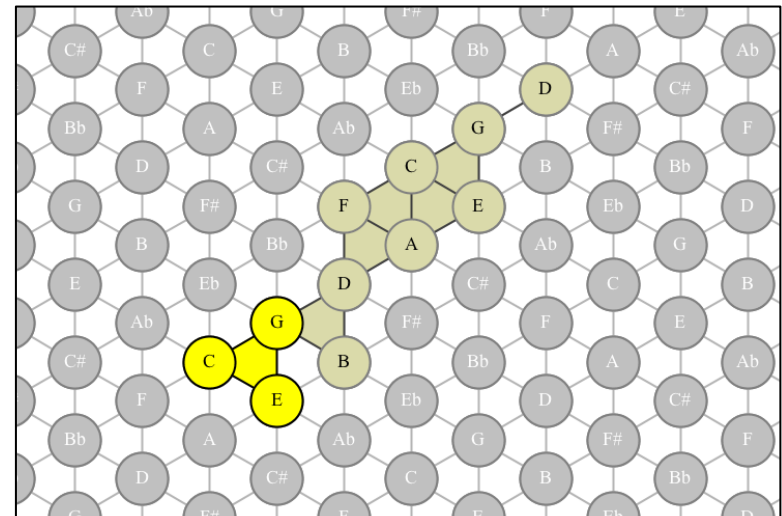
PaperTonnetz

Louis Bigo, Jérémie Garcia, Antoine Spicher and Wendy E. Mackay

IRCAM, LACL, INRIA

Trajectoires dans les graphes de Cayley

- L'espace est “déplié” pour faciliter la visualisation
- une séquence musicale devient une trajectoire
- (la construction de la trajectoire pose un problème technique qu'on va ignorer ici)
- Peux t'on analyser la trajectoire ? (géométrie discrète)
- Est-ce que l'analyse spatiale a une interprétation musicale ?
- Idem pour les transformations spatiales

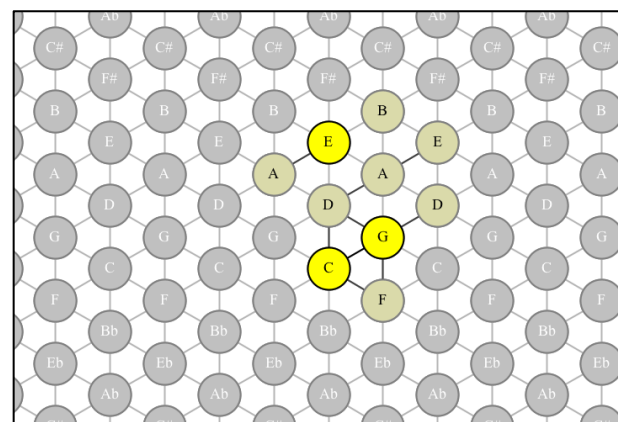


Trajectory Analysis

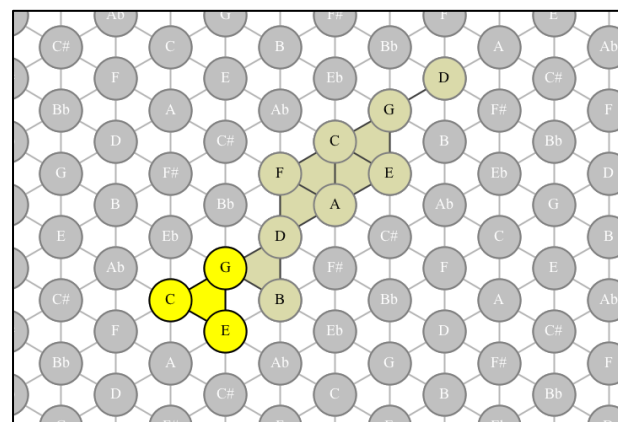
- The “look” of a trajectory depends on the support space



J.-S.Bach - Choral BWV 256



$K_{TI}[2,5,5]$



$K_{TI}[3,4,5]$

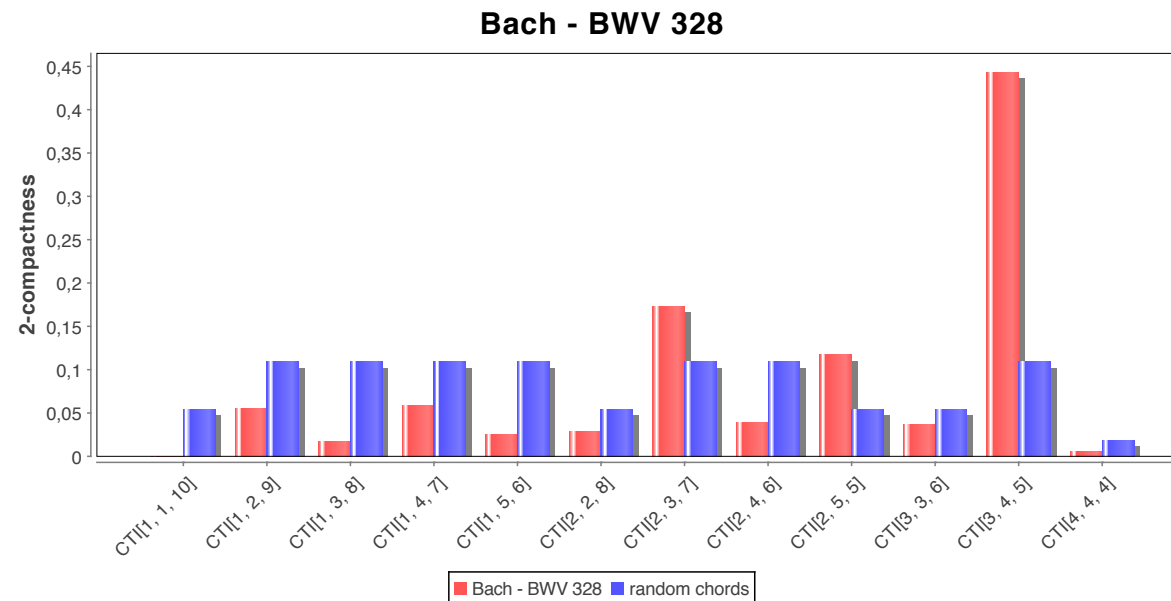
Adéquation spatiale

- Motivation: comment évaluer l'adéquation d'un espace à représenter une séquence musicale ?
- Regarder les singularité d'une trajectoire et leur interprétation musicale
 - trajectoire régulière (ligne, cercle, ...)
 - connexité
- Calcul de l'adéquation (compactness)
 - Les notes jouées sont un sous-espace A
 - compacité d'un sous-espace A à la dimension m :

$$m\text{-compactness}(A) = \frac{f_{m+1}(A)}{\binom{f_1(A)}{m+1}}$$

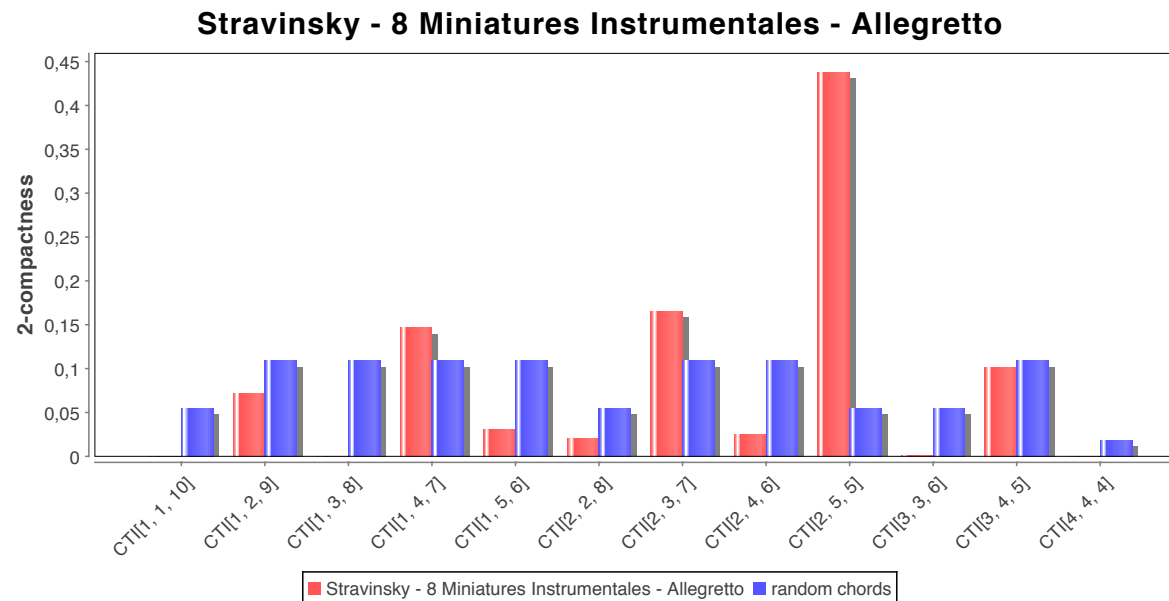
Analyse de trajectoires

■ Complex compliance: some examples



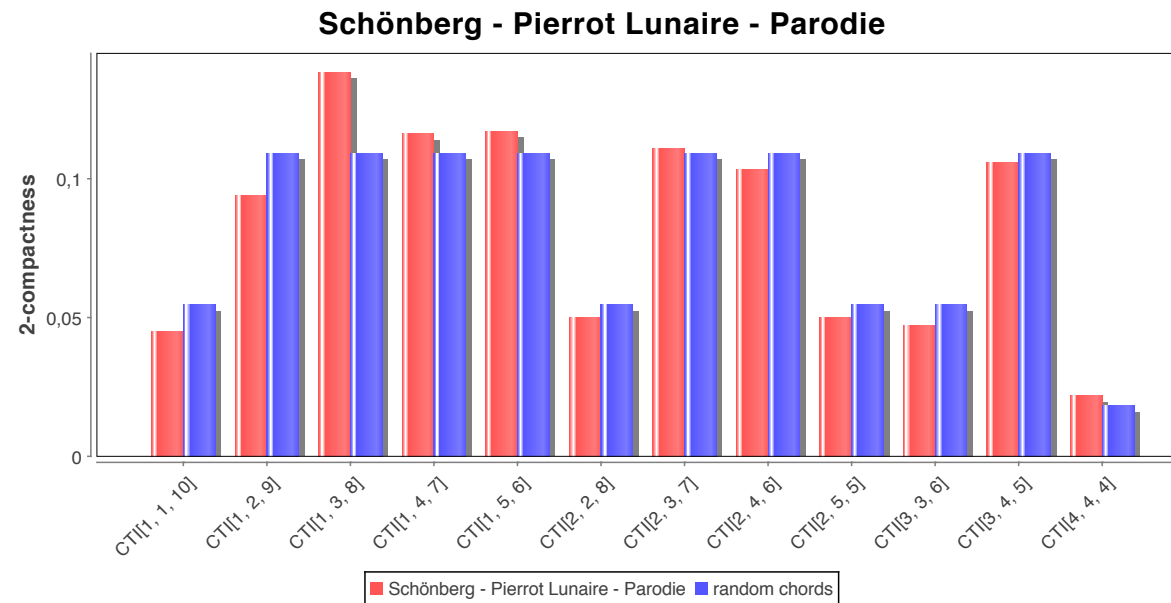
Analyse de trajectoires

■ Complex compliance: some examples



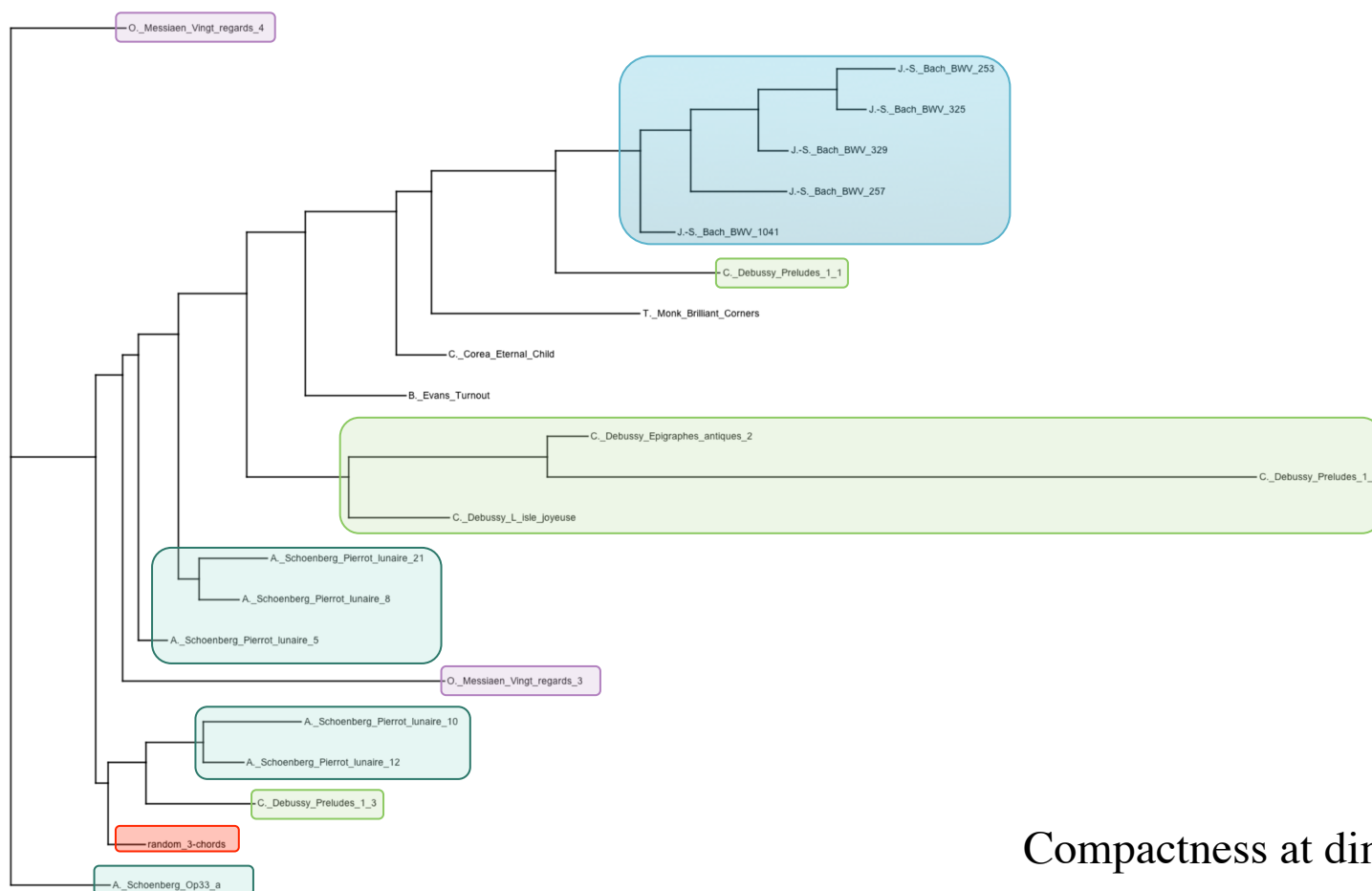
Analyse de trajectoires

■ Complex compliance: some examples



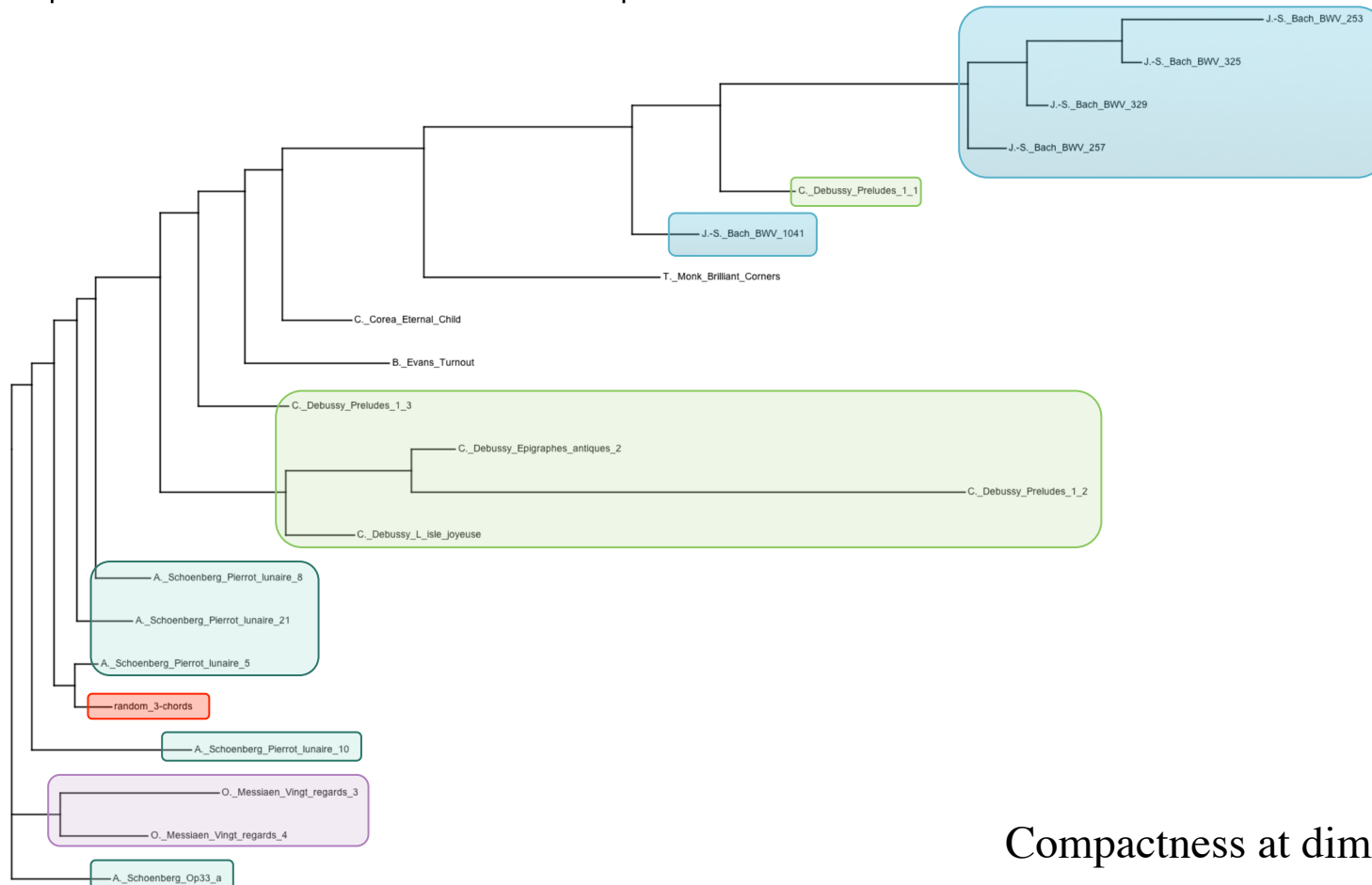
Trajectory Analysis

- Complex compliance: some examples
- Compliance of a set of spaces for music classification



Analyse de trajectoires

- Complex compliance: some examples
- Compliance of a set of spaces for music classification



Compactness at dimension 2

homothétie

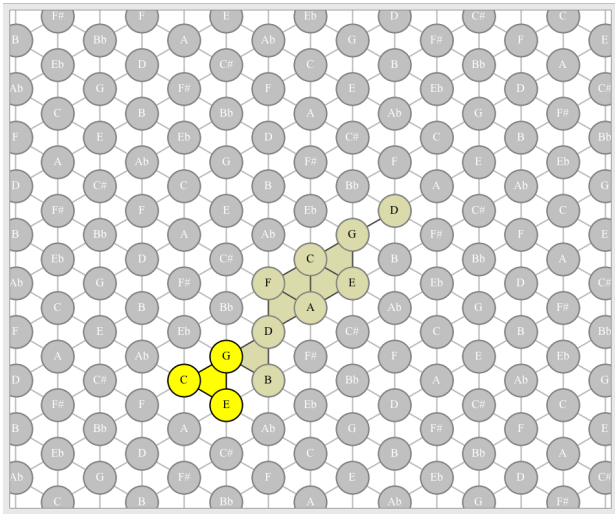
Hexagonal grid
generator intervals : 1 2

70

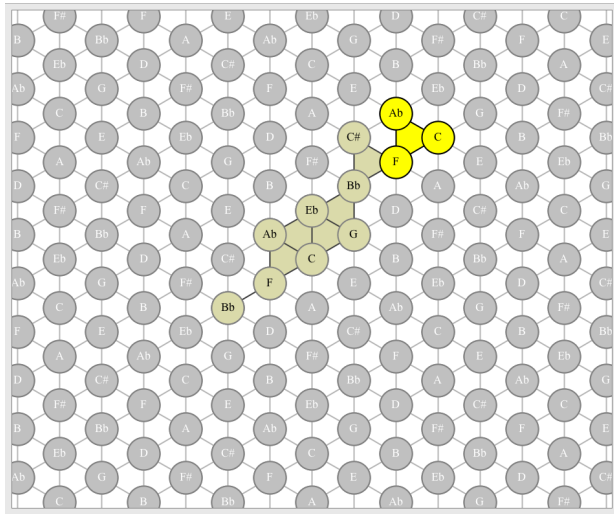
Transformation géométrique

- Trajectory transformations
Application of geometrical transformations

J.-S.Bach - Choral BWV 256



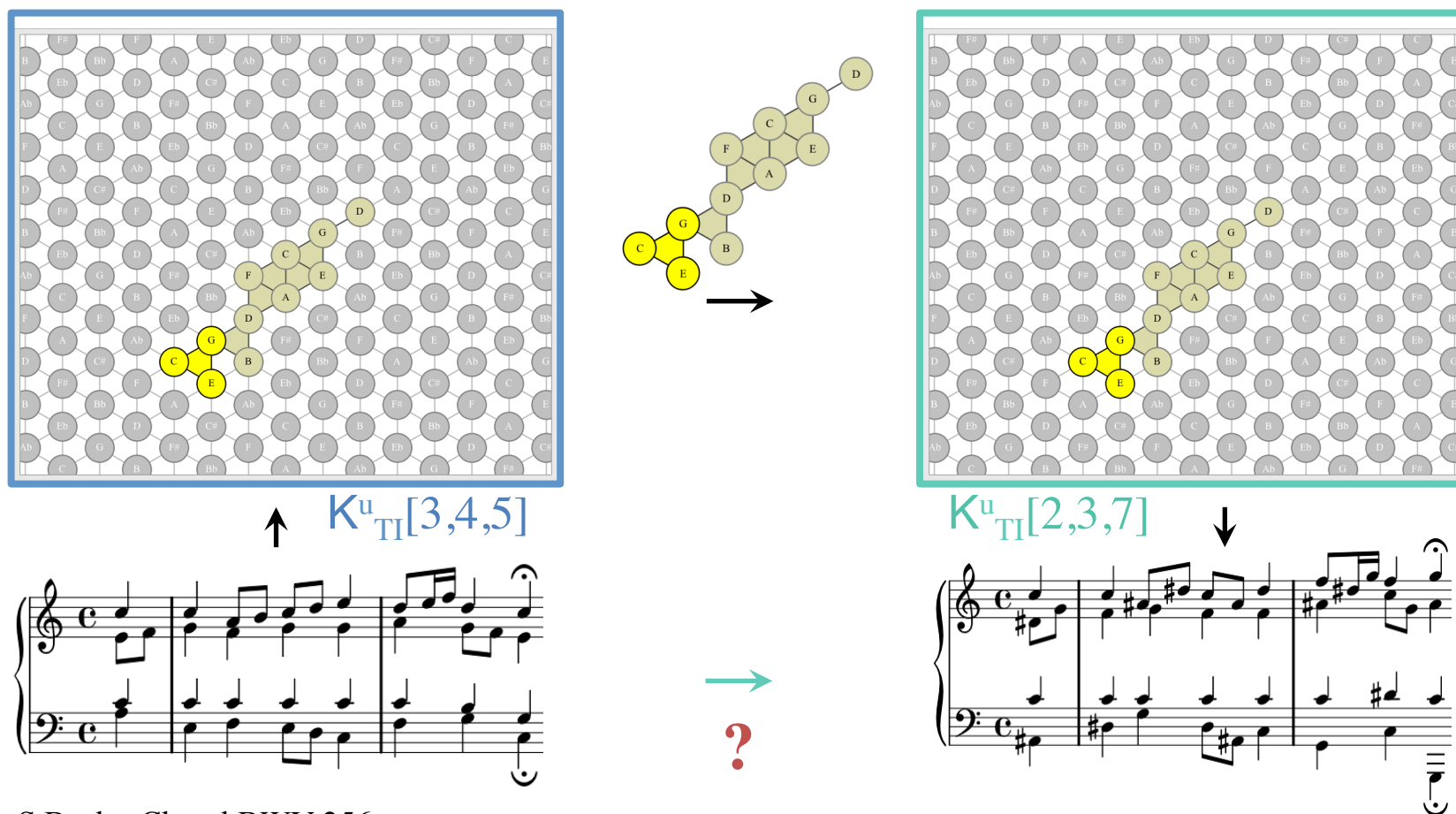
$R(\pi)$

Trajectory Transformations

- Isomorphism from a support space to another

Transformation of the initial space of the trajectory



J.-S. Bach - Choral BWV 256

Trajectory Transformations

■ Some audio results

<i>original</i>	
$R(\pi)$ in $C(3,4,5)$	
$T(1,-2)$ in $C(1,2,4)$	
$R(\pi)$ in $C(1,2,4)$	

W.A. Mozart
Piano Sonata No. 16 - Allegro

<i>original</i>	
$R(\pi)$ in $C(3,4,5)$	
$R(2\pi/3)$ in $C(3,4,5)$	
$C(2,3,7)$ ↓ $C(1,2,4)$	

C. Corea
Eternal Child

<i>original</i>	
$R(\pi)$ in $C(3,4,5)$	
$T(1,-2)$ in $C(1,2,4)$	
$C(1,2,9)$ ↓ $C(1,2,4)$	

The Beatles
Hey Jude

Interpretation musicale de transformation spatiale

Transformation sur l'espace	Transformation sur la trajectoire	Transformation musicale	Régularité
$\mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{chro}}] \rightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{chro}}]$	Translation	Transposition chromatique	Régulier
	Symétrie centrale	Inversion chromatique	Régulier
	Rotation d'angle $\neq \pi$ Symétrie axiale	?	Semi-régulier
	Homothétie ($\Leftrightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{chro}}] \rightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X'_{\text{chro}}]$)	?	Semi-régulier
$\mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{hep}}]_{\text{T}} \rightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{hep}}]_{\text{T}}$	Translation	Transposition modale	Régulier
	Symétrie centrale	Inversion modale	Régulier
	Rotation d'angle $\neq \pi$ Symétrie axiale	?	Semi-régulier
	Homothétie ($\Leftrightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{hep}}]_{\text{T}} \rightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X'_{\text{hep}}]_{\text{T}}$)	?	Semi-régulier
$\mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{chro}}] \rightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X'_{\text{chro}}]$	Plongement	?	Semi-régulier
$\mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{hep}}]_{\text{T}} \rightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X'_{\text{hep}}]_{\text{T}}$	Plongement	?	Semi-régulier
$\mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{hep}}]_{\text{T}} \rightarrow \mathcal{K}^u_{\mathcal{TZ}}[X_{\text{hep}}]_{\text{T}^*}$	Plongement	Transposition chromatique (+ transposition modale)	Régulier
Trace $\rightarrow$ Trace	Isométrie	Permutation dans le temps des ensembles de notes	Irrégulier
$\mathcal{K} \rightarrow \mathcal{K}$	Isométrie	?	Irrégulier
$\mathcal{K} \rightarrow \mathcal{K}'$	Plongement	?	Irrégulier



Aller au-delà des graphes

- Intuition:
si un sommet représente une note,
que représente un arc ?
- un arc représente un accord de 2 notes : les notes
reliées
- Peux-t'on aller plus loin ?
OUI : topologie algébrique

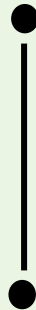
Aller au-delà des graphes

Toolbox: *complexe simplicial*

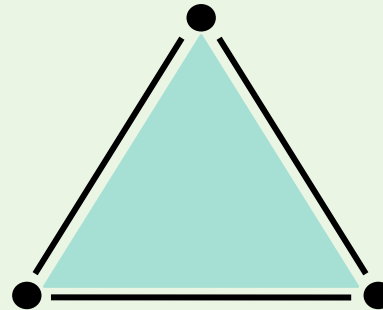
- n -Simplex: cellule (de dim n) correspondant à $n+1$ sommets



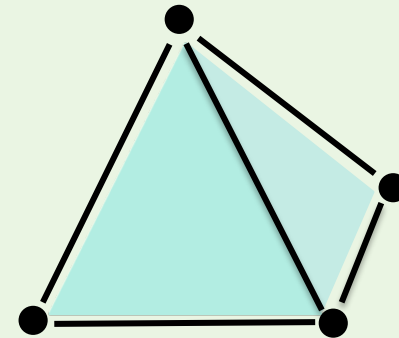
0-simplex



1-simplex



2-simplex

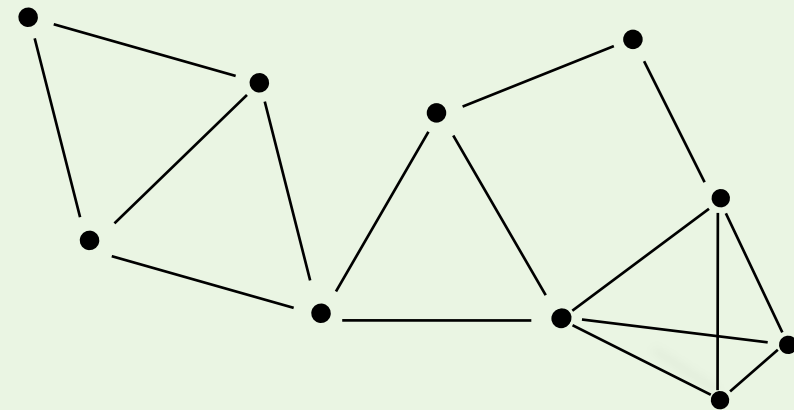
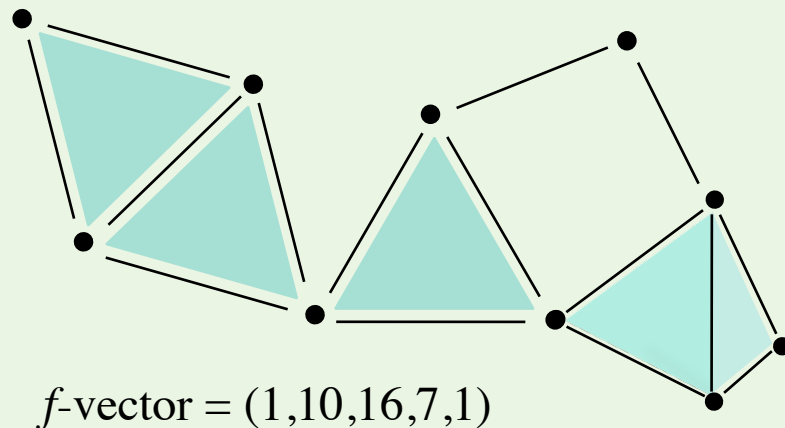


3-simplex

Building Chord Complexes

Toolbox: *complexe simplicial*

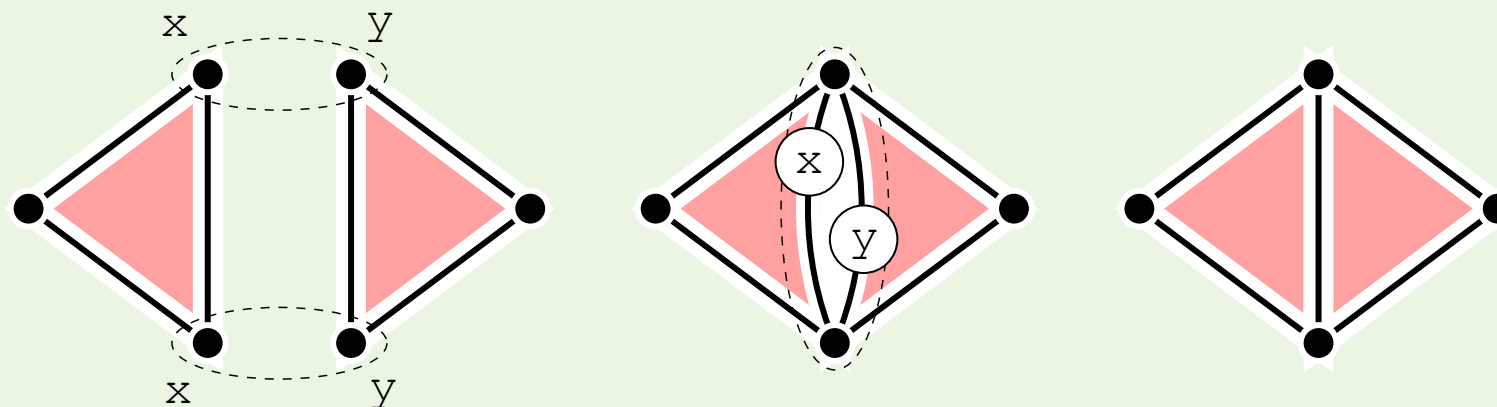
- n -Simplex: cellule (de dim n) correspondant à $n+1$ sommets
- n -complexe simplicial
 - union de p -simplexes ($p \leq n$)
 - f -vector ($f_0 = 1, f_1, \dots, f_{n+1}$)
 f_{p+1} est le nombre de p -cellules
 - p -squelette: simplexes de dimension $\leq p$



Building Chord Complexes

Toolbox: *auto-assemblage*

- Metaphore de la réaction chimique
- Construire un complexe à partir de ses simplexes

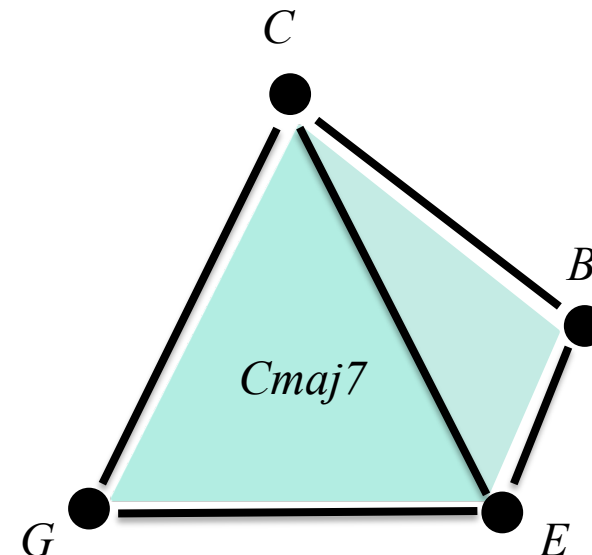
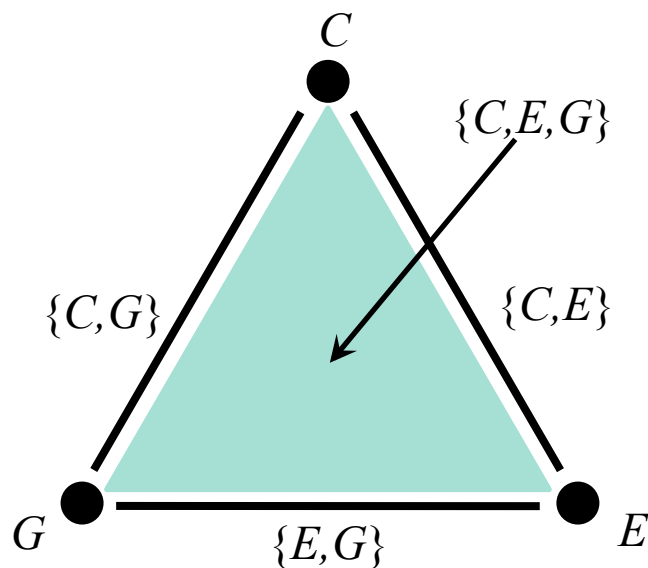


Transformation *Self-Assembly* =

```
x y / (x == y) and (faces x = faces y) => let c = new_cell (dim x) (faces x)
                                             (union (cofaces x)
                                             (cofaces y))
                                             in x * c
```

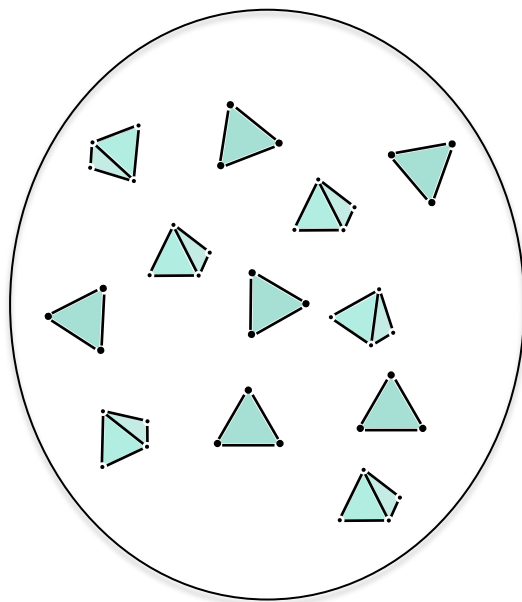
Le simplexe correspondant à un accord

- Spatialization of chord sets
 - Simplicial representation of chords
 - 1-note chord: 0-simplex (vertex)
 - 2-note chord: 1-simplex (edge)
 - 3-note chord: 2-simplex (triangle)
 - 4-note chord: 3-simplex (tetrahedron)

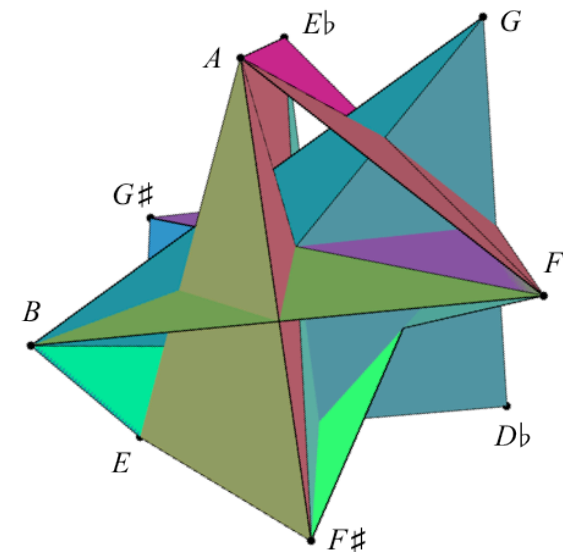
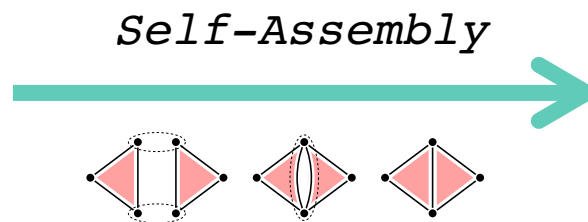


Le complexe d'un ensemble d'accords

- Spatialization of chord sets
 - Simplicial representation of chords
 - Self-assembly of a set of chords



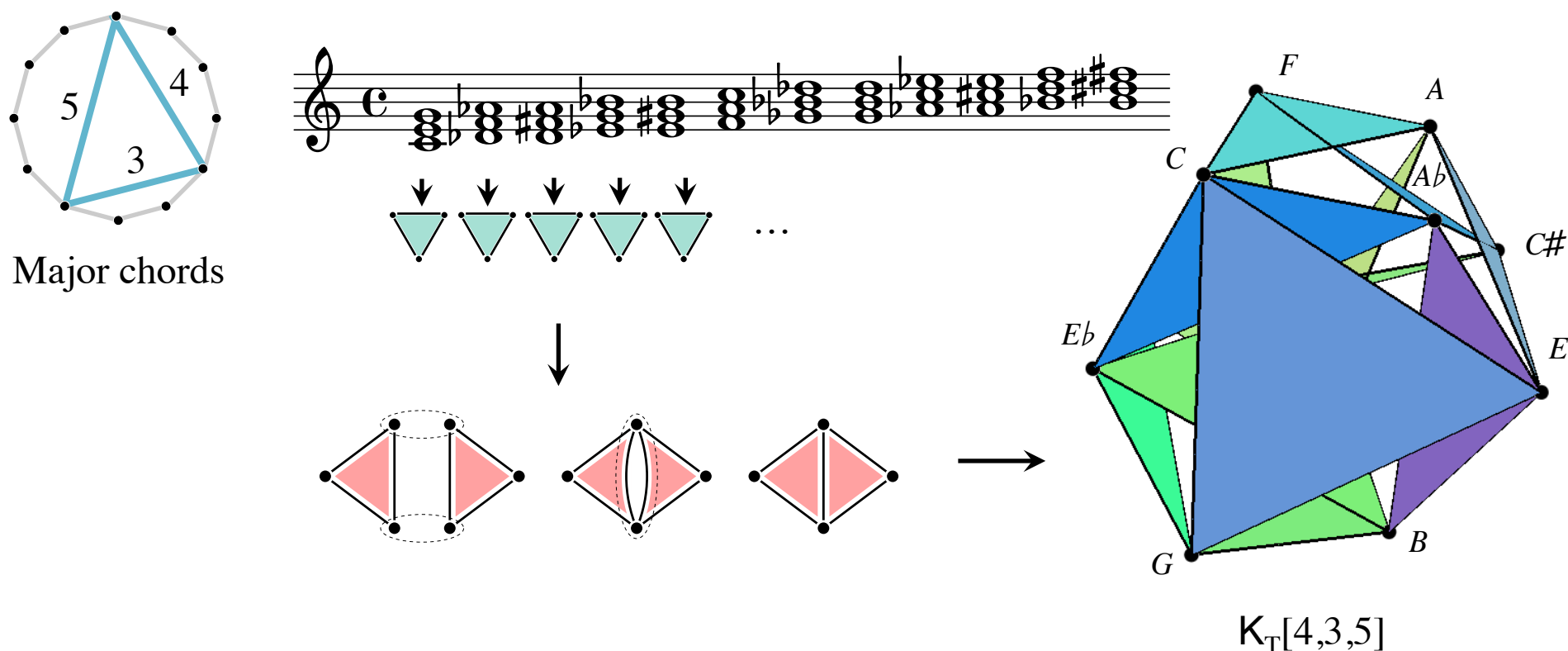
Initial population



Chord complex

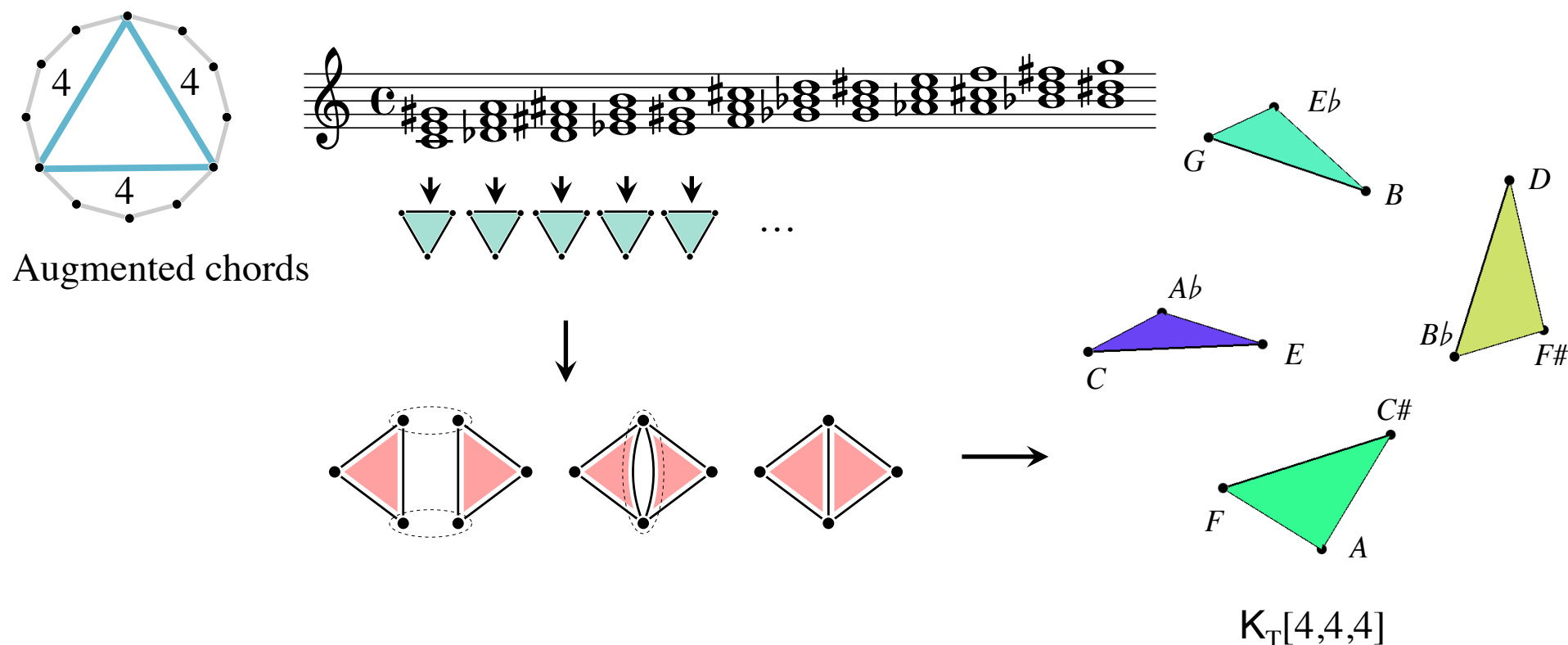
Algebraic-based Chord Complexes

- Assembling chords related by some equivalence relation
 - Transposition (Cyclic group action $\mathbb{Z}_n \rightarrow \mathbb{Z}_n$)



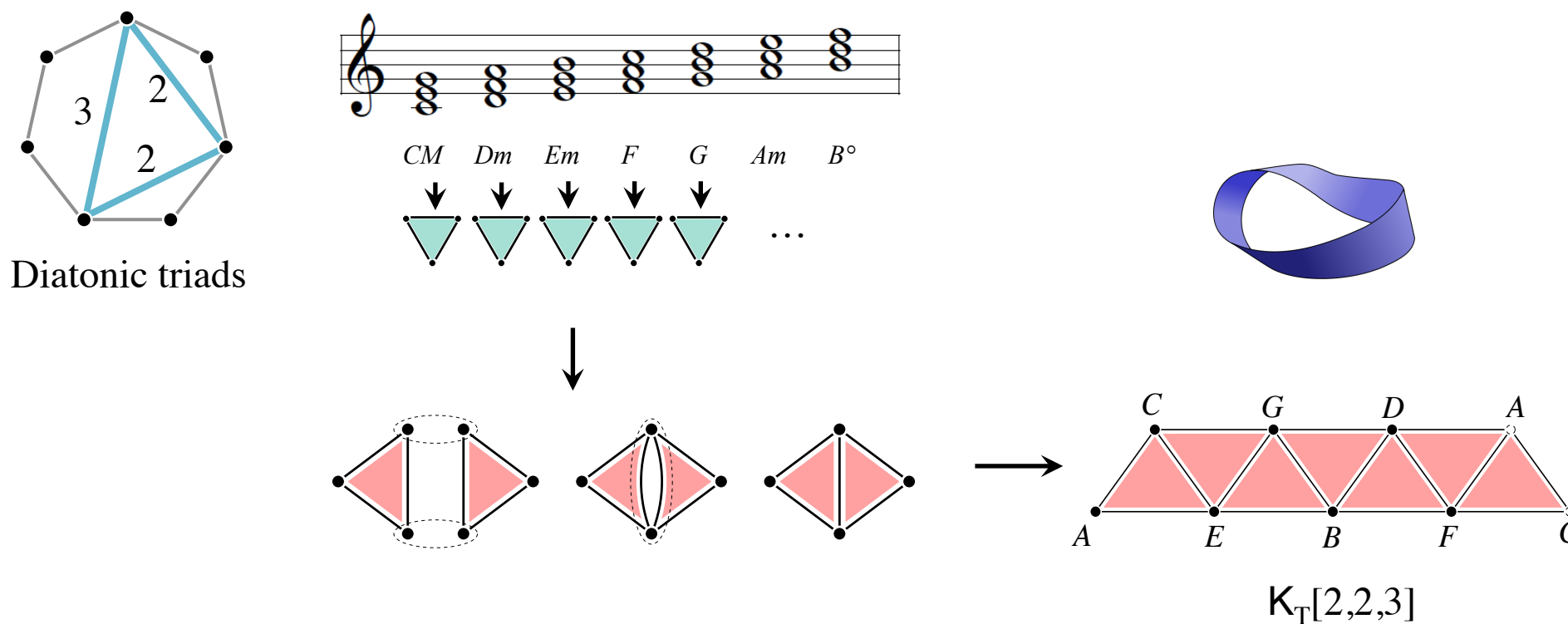
Algebraic-based Chord Complexes

- Assembling chords related by some equivalence relation
 - Transposition (Cyclic group action $\mathbb{Z}_n \rightarrow \mathbb{Z}_n$)



Algebraic-based Chord Complexes

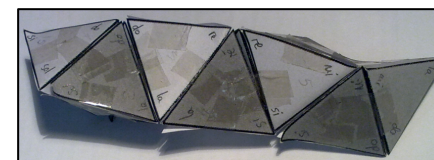
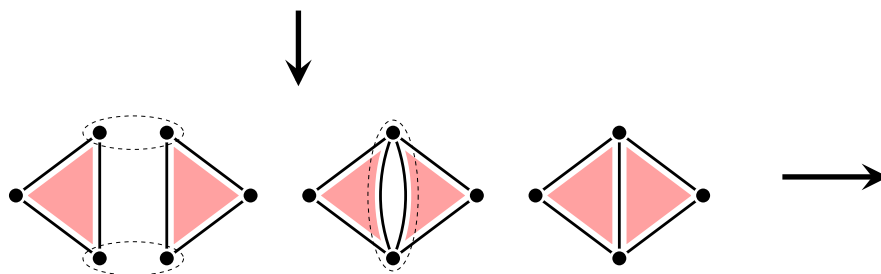
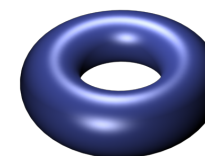
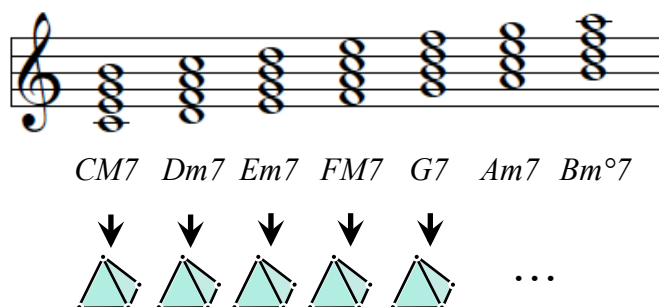
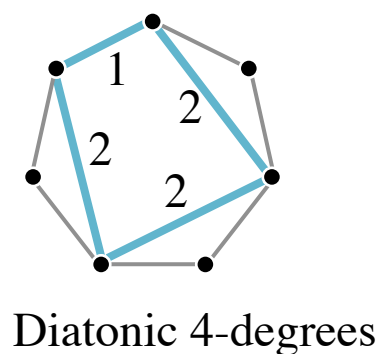
- Assembling chords related by some equivalence relation
 - Transposition (Cyclic group action $\mathbb{Z}_n \rightarrow \mathbb{Z}_n$)



Mazzola, G. (2002). *The topos of music: geometric logic of concepts, theory, and performance*

Algebraic-based Chord Complexes

- Assembling chords related by some equivalence relation
 - Transposition (Cyclic group action $\mathbb{Z}_n \rightarrow \mathbb{Z}_n$)

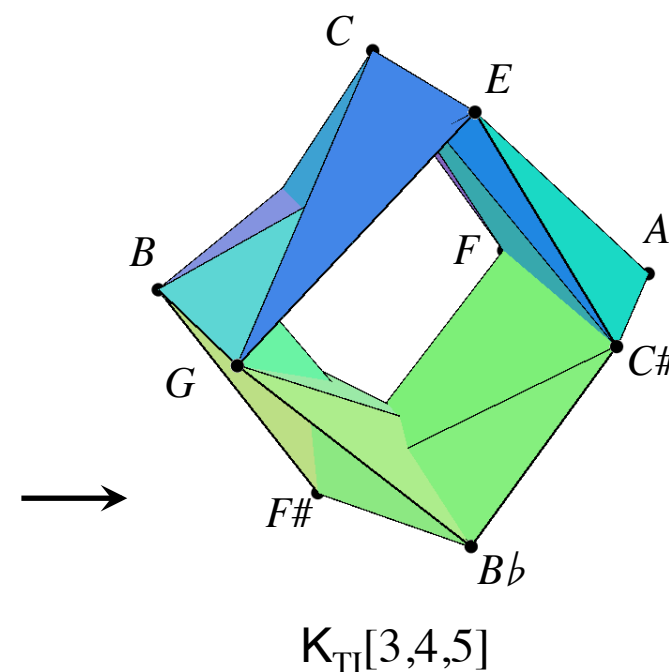
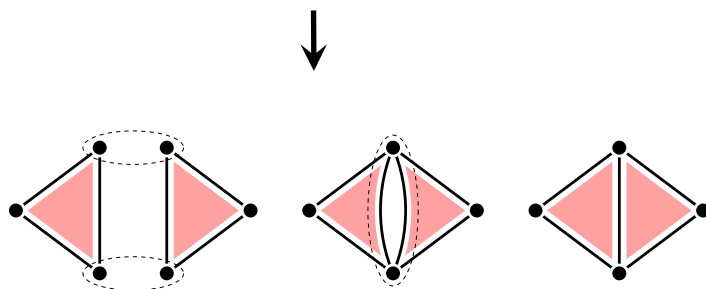
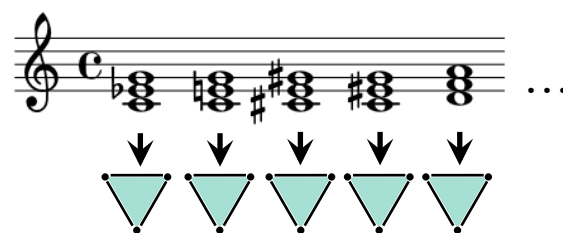
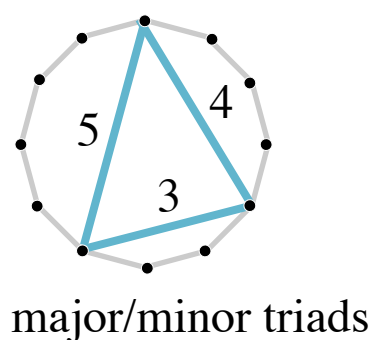


$K_T[2,2,2,1]$

Bigo et al. (2011) – Building topological spaces for musical objects

Algebraic-based Chord Complexes

- Assembling chords related by some equivalence relation
 - Transposition (Cyclic group action $\mathbb{Z}_n \rightarrow \mathbb{Z}_n$)
 - Transposition and inversion (Dihedral group action $\mathbb{D}_n \rightarrow \mathbb{Z}_n$)



Algebraic-based Chord Complexes

- Complexes enumeration in heptatonic/chromatic systems

Equivalence relation	Chromatic system (Z_{12})	Heptatonic system (Z_7)
Transposition	352 complexes	20 complexes
Transposition / inversion	224 complexes	18 complexes
Permutations	77 complexes	16 complexes
Application affine	157 complexes	16 complexes

Algebraic-based Chord Complexes

■ Complexes enumeration in heptatonic/chromatic systems

$S_1(K_{TI}[3,4,5])$
[Cohn – 1997]

$S_1(K_{TI}[2,3,3,4])$
[Gollin - 1998]

$K_T[3,4], K_T[2,2,3], K_T[1,2,2,2]$
[Mazzola – 2002]

$K_{TI}[1,1,10] \rightarrow K_{TI}[4,4,4]$
[Catanzaro - 2011]

$S_1(K_{TI}[1,2,4])$
[Hook – 2013]

d	complexe	taille	b_n	p-v	χ
-	$K_\emptyset$	0	0		0
0	$K_{TI}[0]$	0	[0]		0
1	$K_{TI}[1, 11]$	12	[1, 1]	x	0
	$K_{TI}[2, 10]$	12	[2, 2]		0
	$K_{TI}[3, 9]$	12	[3, 3]		0
	$K_{TI}[4, 8]$	12	[4, 4]		0
	$K_{TI}[5, 7]$	12	[1, 1]	x	0
	$K_{TI}[6, 6]$	6	[6, 0]		6
2	$K_{TI}[1, 1, 10]$	12	[1, 1, 0]	x	0
	$K_{TI}[1, 2, 9]$	24	[1, 2, 1]	x	0
	$K_{TI}[1, 3, 8]$	24	[1, 2, 1]	x	0
	$K_{TI}[1, 4, 7]$	24	[1, 2, 1]	x	0
	$K_{TI}[1, 5, 6]$	24	[1, 1, 6]		6
	$K_{TI}[2, 2, 8]$	12	[2, 2, 0]		0
	$K_{TI}[2, 3, 7]$	24	[1, 2, 1]	x	0
	$K_{TI}[2, 4, 6]$	24	[2, 2, 6]		6
	$K_{TI}[2, 5, 5]$	12	[1, 1, 0]	x	0
	$K_{TI}[3, 3, 6]$	12	[3, 0, 3]		6
	$K_{TI}[3, 4, 5]$	24	[1, 2, 1]	x	0
	$K_{TI}[4, 4, 4]$	4	[4, 0, 0]		4
	$K_{TI}[1, 1, 1, 9]$	12	[1, 1, 0, 0]	x	0
	$K_{TI}[1, 1, 2, 8]$	24	[1, 1, 12, 0]		12
	$K_{TI}[1, 1, 3, 7]$	24	[1, 2, 13, 0]		12
	$K_{TI}[1, 1, 4, 6]$	24	[1, 1, 18, 0]		18
	$K_{TI}[1, 1, 5, 5]$	12	[1, 1, 6, 0]		6

Building Chord Complexes

- Spatialization of chord sets

- Algebraic-based chord complexes

Chord population from chord transformation orbits

Transposition, inversion, permutation, etc.

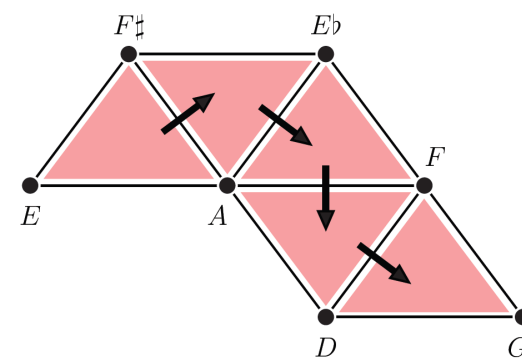
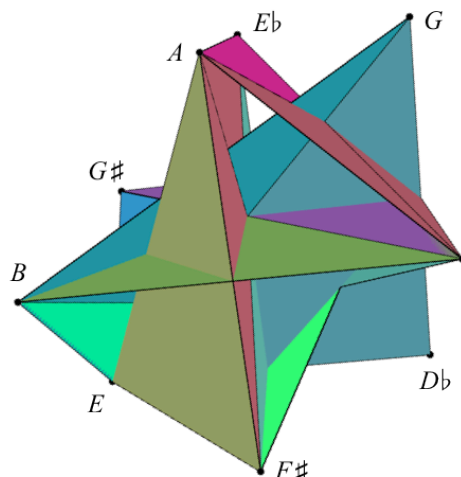
- Piece-based chord complexes

Chord population from a piece segmentation

Analysis of Bach, Chopin, Schoenberg, Webern, Glass, etc.

Piece-based Chord Complexes

- Chord complex built from a piece



120 (2,1)-Hamiltonian paths

Prelude No. 4 Op. 28 of F. Chopin

Pourquoi une représentation spatiale ?

- Parler de la musique d'un point de vue spatial
(est-ce que la géométrie capture quelque chose de musical)
- Pédagogique
 - l'espace comme expérience fondamentale
- Technique
 - les outils topologiques et géométriques s'appliquent à la musique
- Heuristique
 - Un point de vue différent inspire de nouvelles approches:
 - formalisation de la music formalization
 - analyse musicale
 - processus génératif

