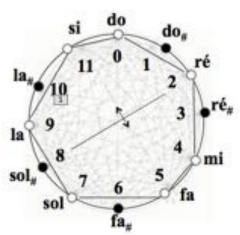
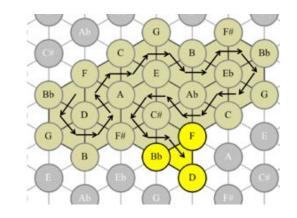
Formalisations algébriques, représentations géométriques et modélisations informatiques en musique savante et en chanson



Ecole Polytechnique Séminaire Arts-Sciences

24 mars 2017



Moreno Andreatta

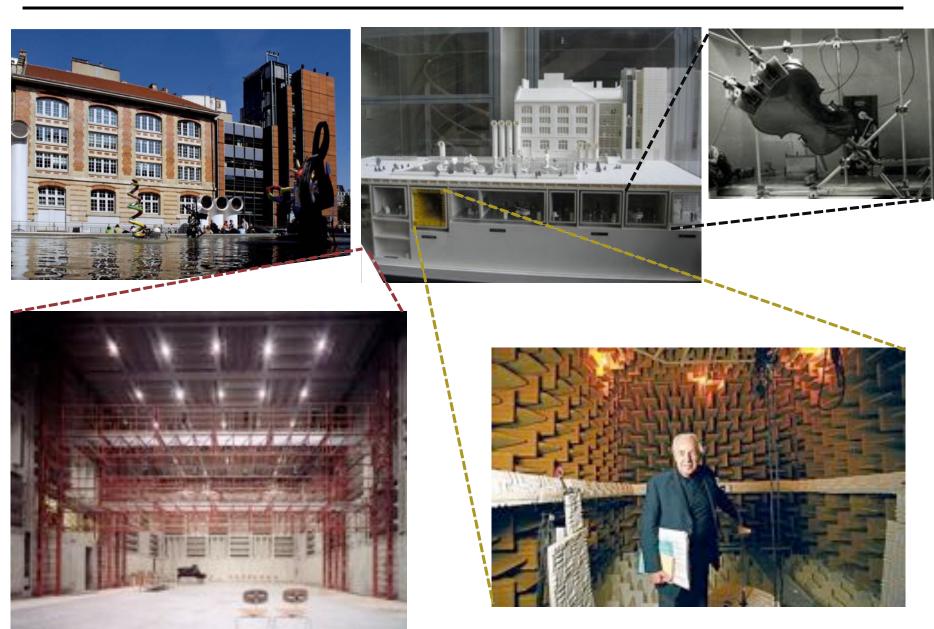
Equipe Représentations Musicales IRCAM / CNRS UMR 9912 / UPMC, Paris IRMA & GREAM, université de Strasbourg







La recherche musicale et scientifique à l'IRCAM...



www.ircam.fr

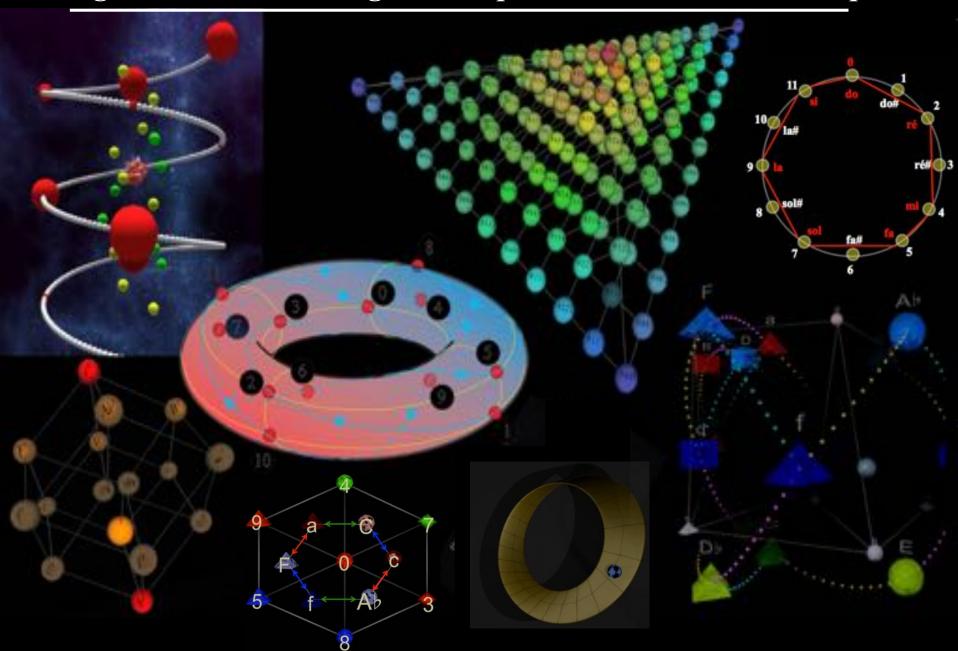
... entre musique savante et popular music

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11





La galaxie des modèles géométriques au service de la musique

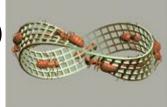


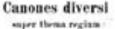
Canons énigmatiques chez Bach et géométrie





Ma fin est mon début (mais renversé!)





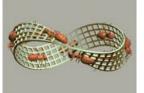




http://www.josleys.com/Canon/Canon.html



[min. 1'14"]

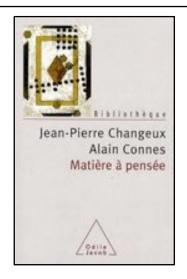


L'algèbre (le temps) et la géométrie (l'espace) en musique



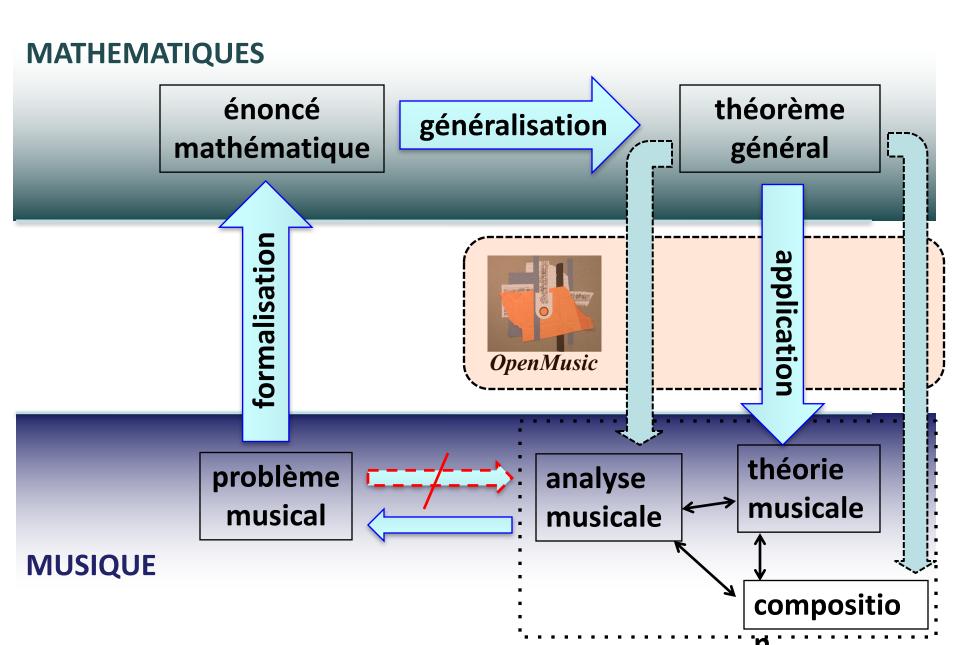
« La **musique** s'inscrit dans le temps exactement comme l'**algèbre** : dans les mathématiques, il y a cette dualité fondamentale entre d'un côté la **géométrie** qui correspond aux arts visuels, aux images mentales ; et de l'autre côté l'**algèbre**, qui inscrit une temporalité. Cela s'inscrit dans le temps, c'est le **calcul**, quelque chose qui est très proche du langage, et qui en a la précision diabolique.. »

(Alain Connes, dans "Créativité en musique et en mathématiques", Ircam, Conférence MCM, juin 2011).



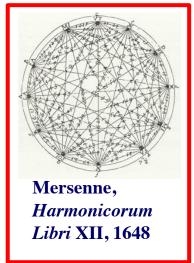


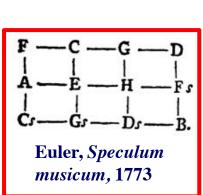
Double mouvement d'une dynamique mathémusicale

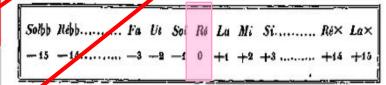


Musique et mathématiques : « prima la musica »!

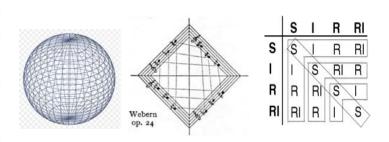
MUSIQUE	MATHS
500 av. J. C. Relation hauteur/longueur corde. La musique est source d'inspiration pour la théorie des nombres et la géométrie.	Nombres naturels et rationnels.
Pas de correspondance musicale.	Nombres irrationnels, théorème de Pythagore.
300 a.J. Invention (théorique) de la gamme chromatique tempérée égale par Aristoxénos de Tarente) et prémonition de la théorie des groupes. Isomorphismes entre les logarithmes (intervalles musicaux) et les exponentiels (longueur d'une corde).	Les mathématiques ne réagissent pas.
1000 ap. J.C. Invention de la représentation bidimensionnelle des hauteurs.	Aucune correspondance.
1500 Aucune reprise des concepts précédents.	Nombres négatifs. Construction des rationnels.
1600 Aucune relation.	Nombres réels et les logarithmes. Invention des repères cartésiens.
1648 Marin Mersenne : invention de la combinatoire musicale (Harmonicorum Libri)	Systématisation du calcul des probabilités par Bernoulli (Ars Conjectondi, 1713)
1700 La fugue comme un automate abstrait. Manipulation inconsciente du groupe de Klein.	Nombres complexes (Euler, Gauss), les quaternions (Hamilton), continuité (Cauchy), structure de groupe (Galois, Abel).
1773 Leonhard Euler : représentation géométrique des hauteurs (Speculum Musicum)	Invention de la théorie des graphes
1855 Camille Durutte : analyse harmonique, rythmique et mélodique	Développement en série d'une fonction (Wronski)
1900 Libération de la prison de la tonalité (Loquin, Hauer, Schoenberg).	Nombres infinis et transfinis (Cantor). Axiomatique de Peano. Théorie de la mesure (Lebesgue, Borel).
1920 Formalisation radicale des macrostructures à travers le système sériel (Schoenberg).	Aucun développement de la théorie des nombres. Logique (contradictions de la théorie des ensembles).
1937-1939 Ernst Krenek : les axiomes en musique	David Hilbert, Les fondements de la géométrie (1899)
1946 Milton Babbitt : théorie des groupes et système dodécaphonique	Rudolf Carnap, The Logical Syntax of Longuage (1937)





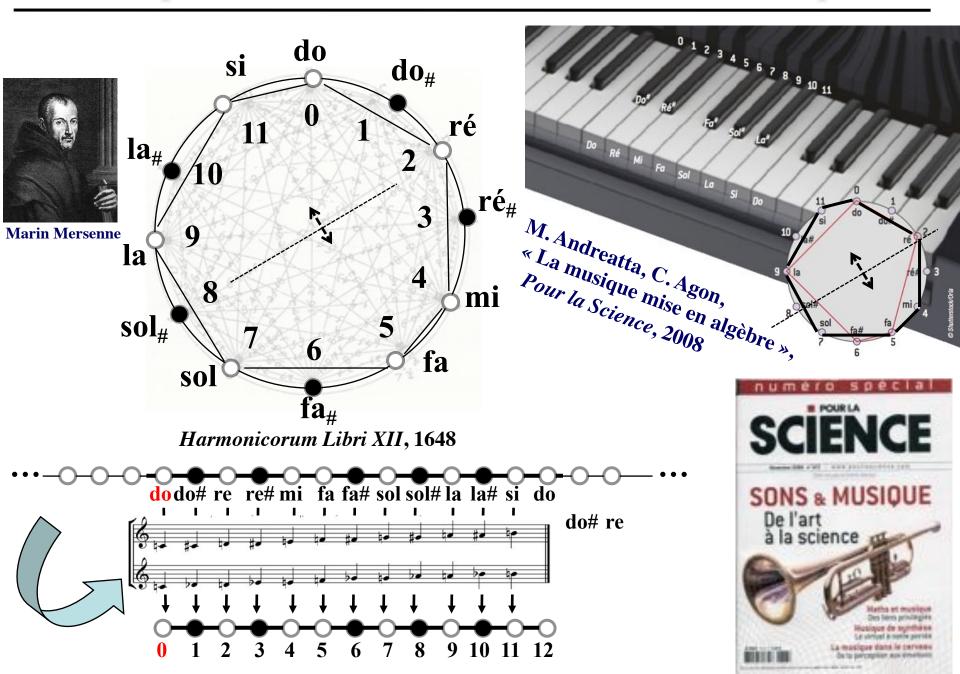


Durutte, Technie, ou lois générales du système harmonique (1855)

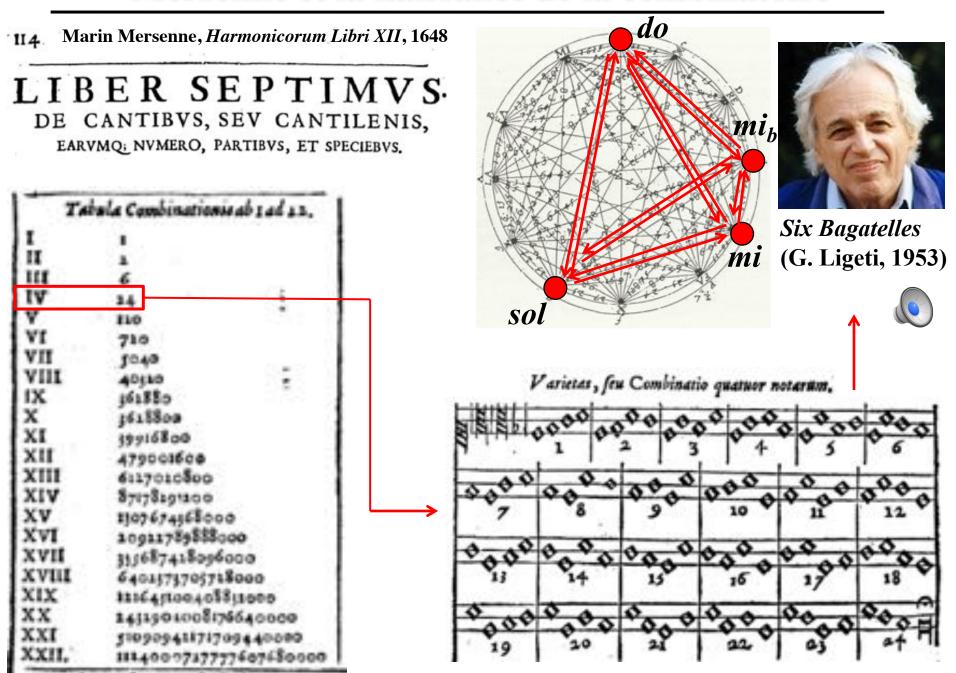


Krenek et Babbitt, technique dodécaphonique, axiomatique et groupe de Klein

La représentation circulaire des notes de musique



Mersenne et la naissance de la combinatoire



Une chanson permutationnelle

Se telefonando, 1966 (Maurizio Costanzo/Ennio Morricone) / Mina





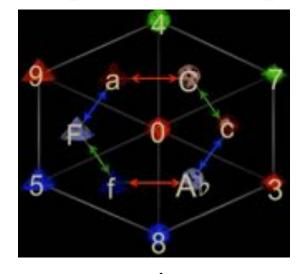
Je changerais d'avis, (Françoise Hardy)





Ennio Morricone

L'espace harmonique



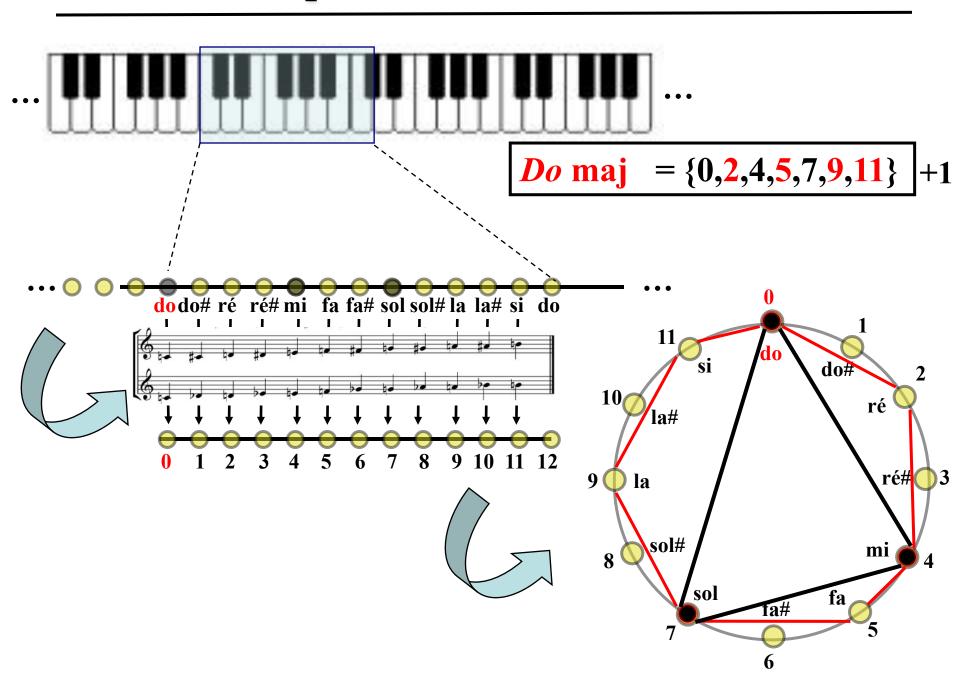


 $\mathbf{B_b} \ \mathbf{b_b}$ **Chord enumeration**

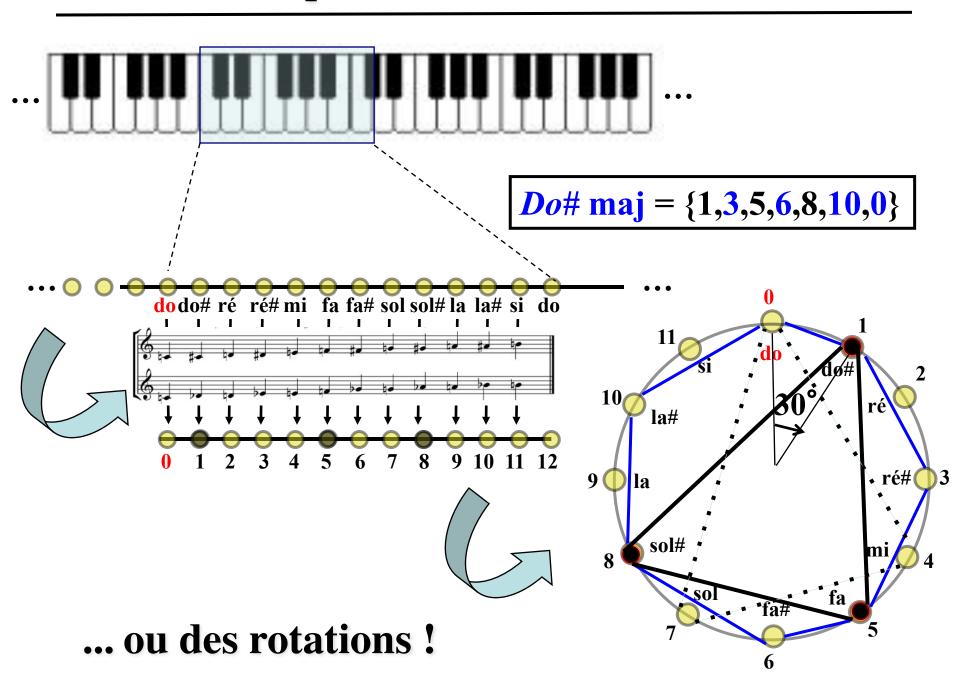


(min. 0'53")

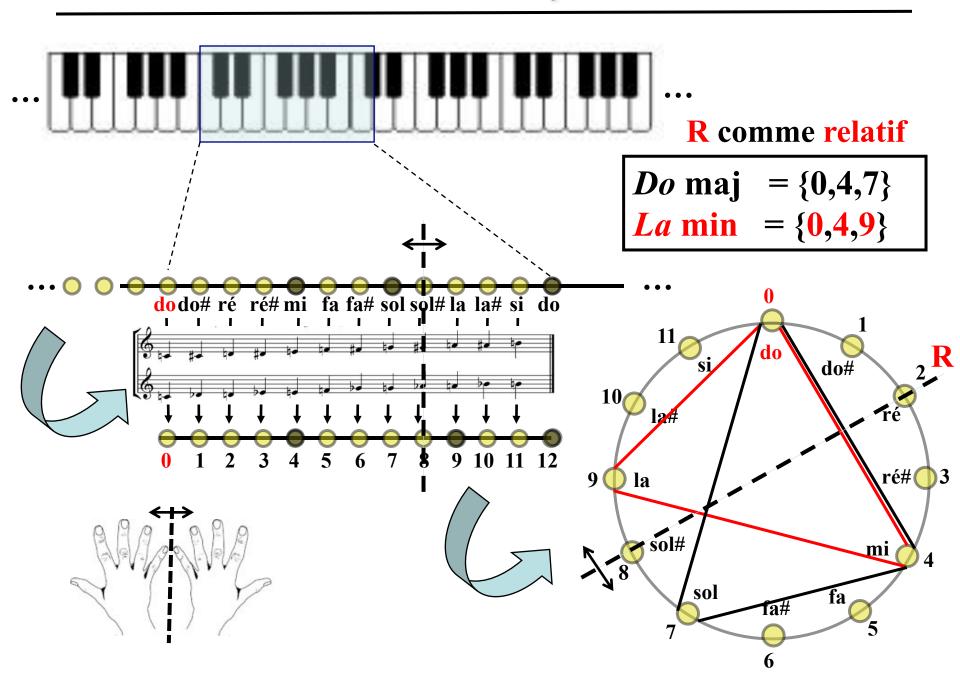
Les transpositions sont des additions...



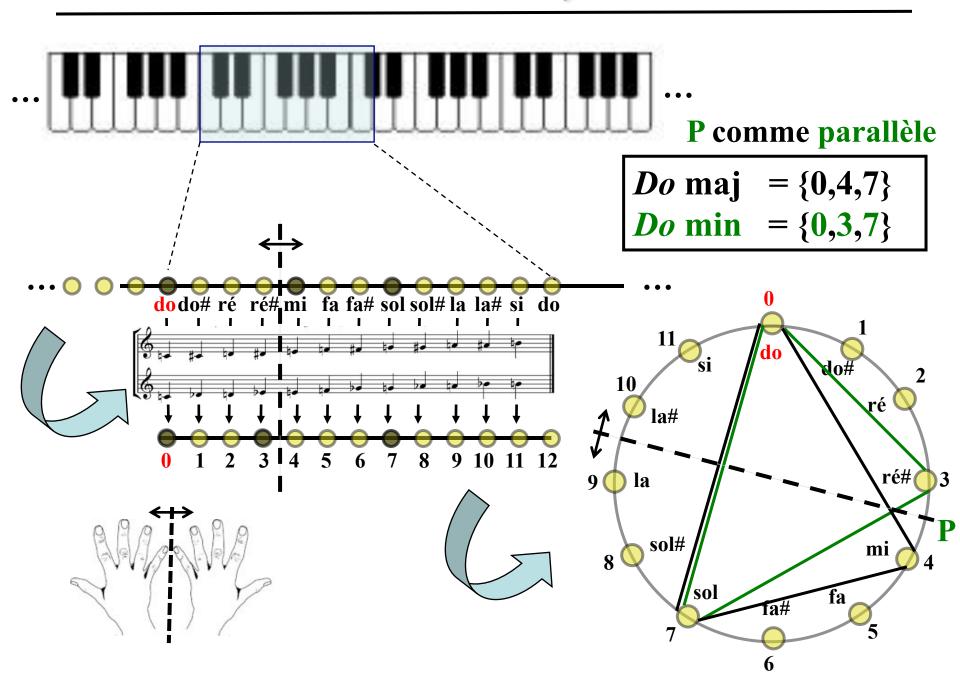
Les transpositions sont des additions...



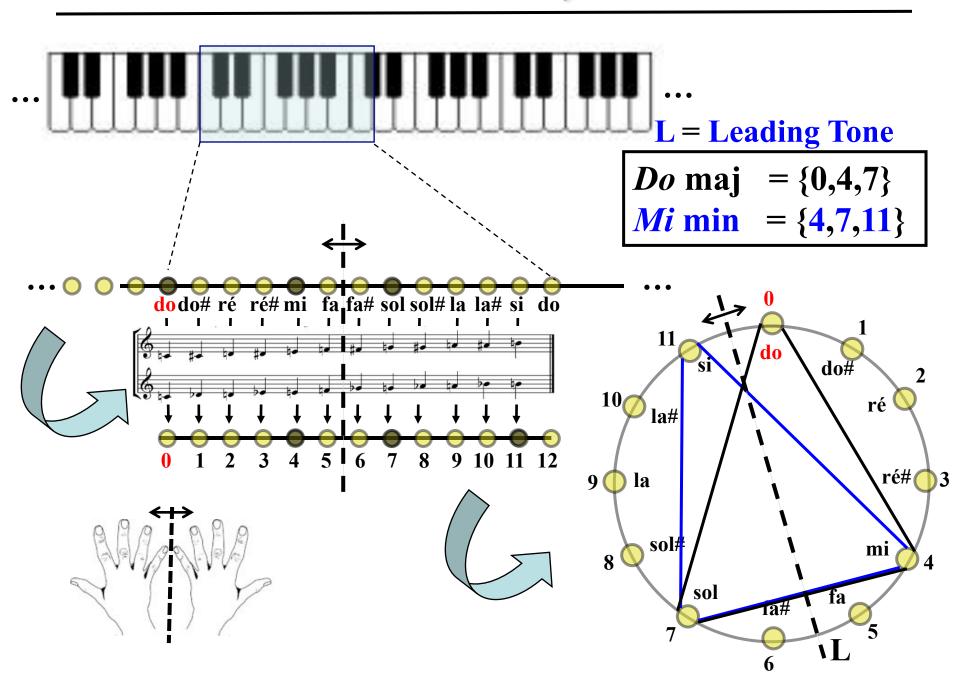
Les inversions sont des symétries axiales

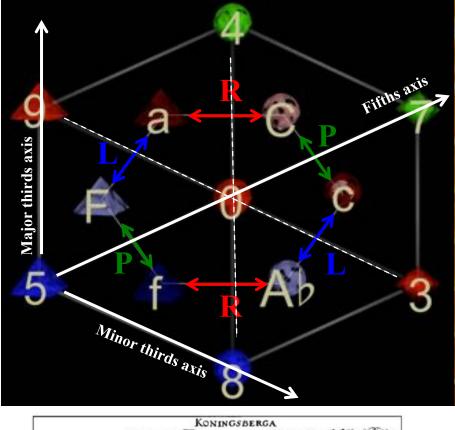


Les inversions sont des symétries axiales



Les inversions sont des symétries axiales

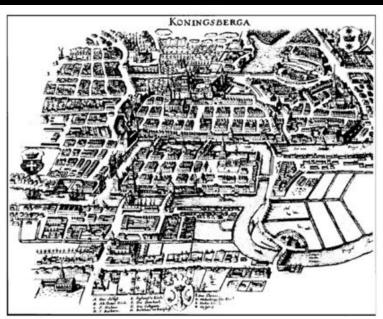


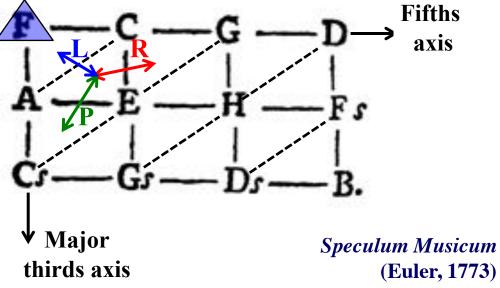


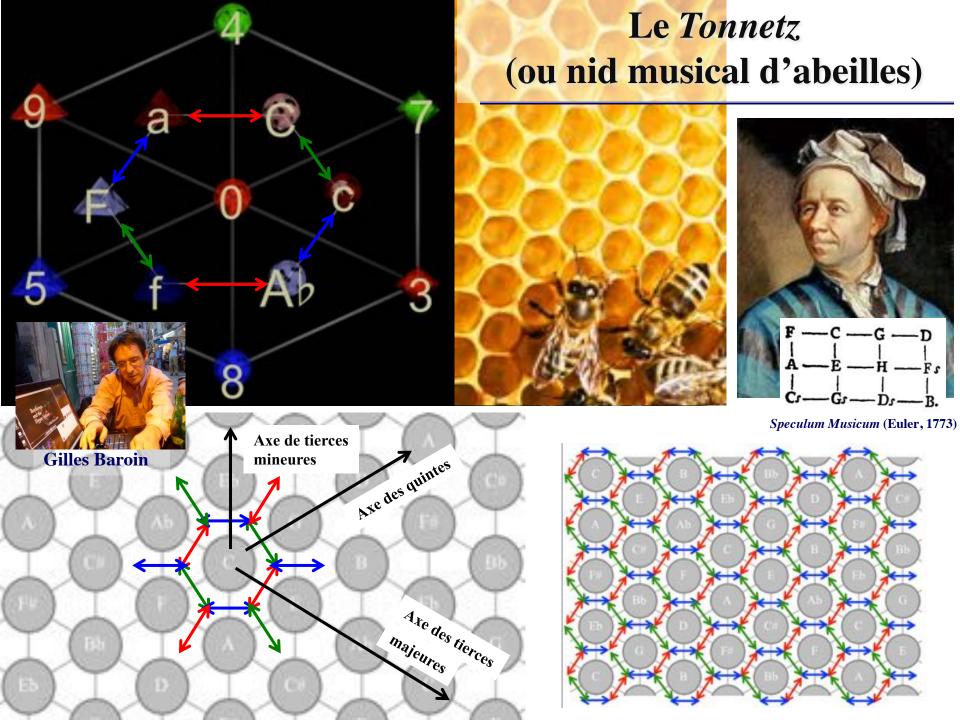
Le Tonnetz (ou nid musical d'abeilles)

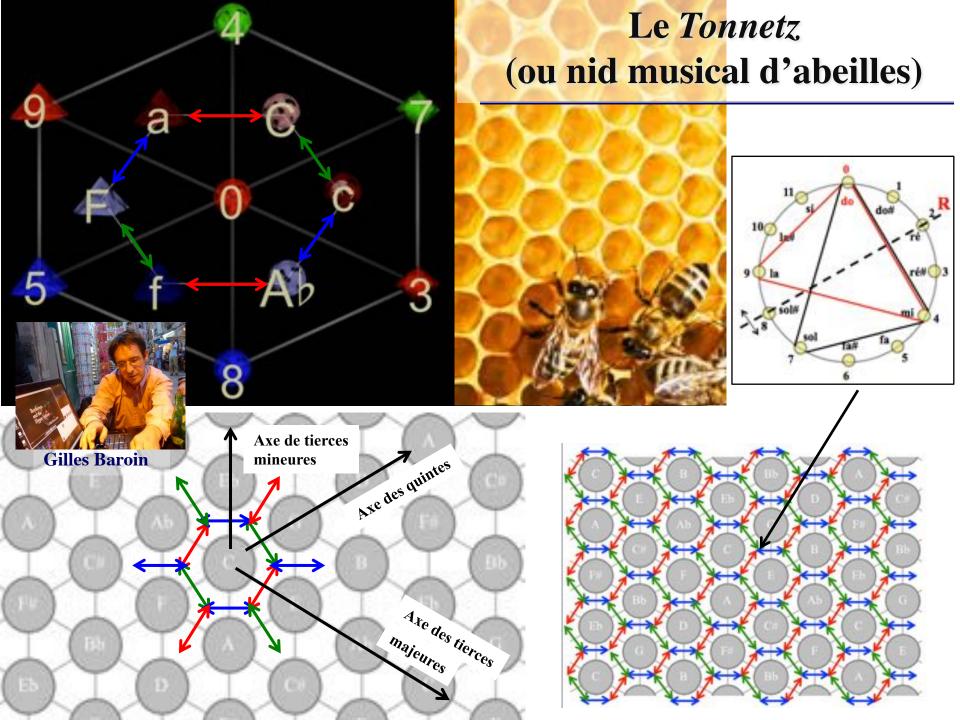


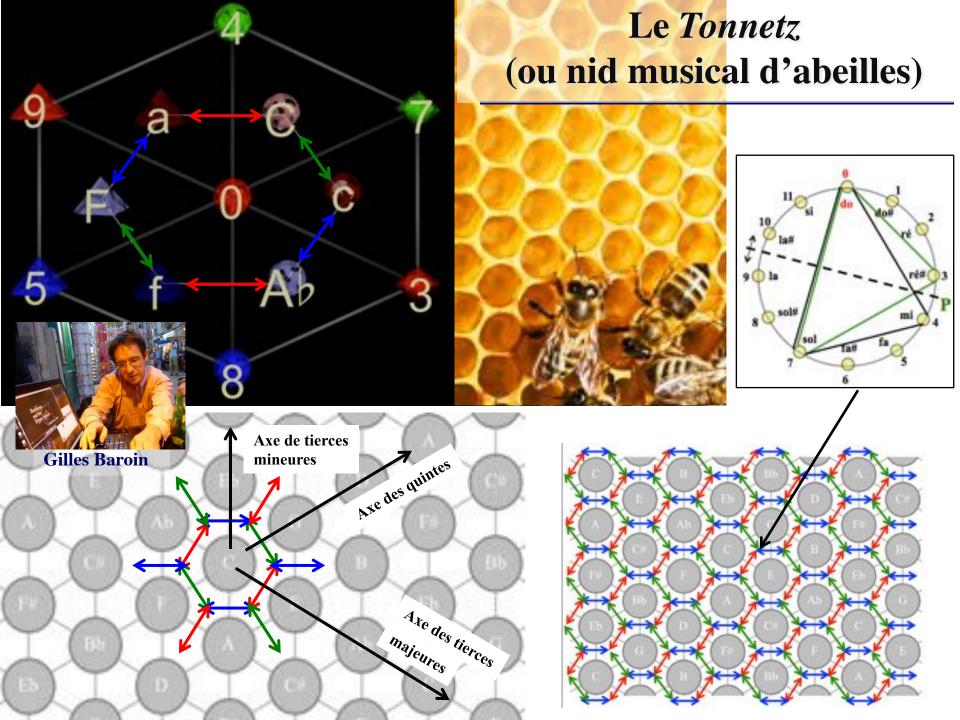


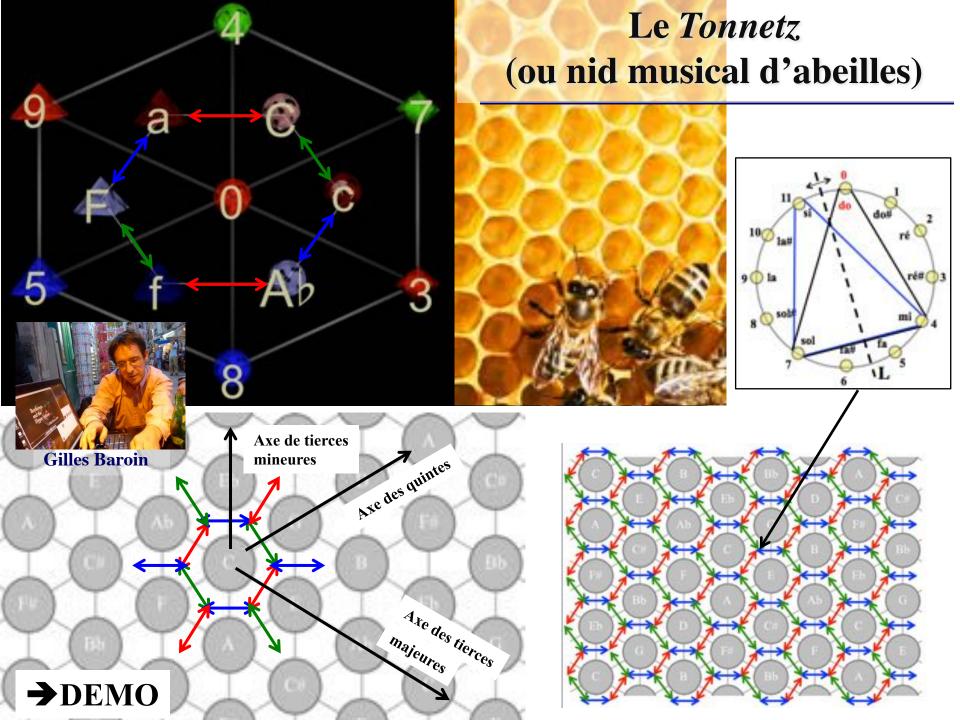




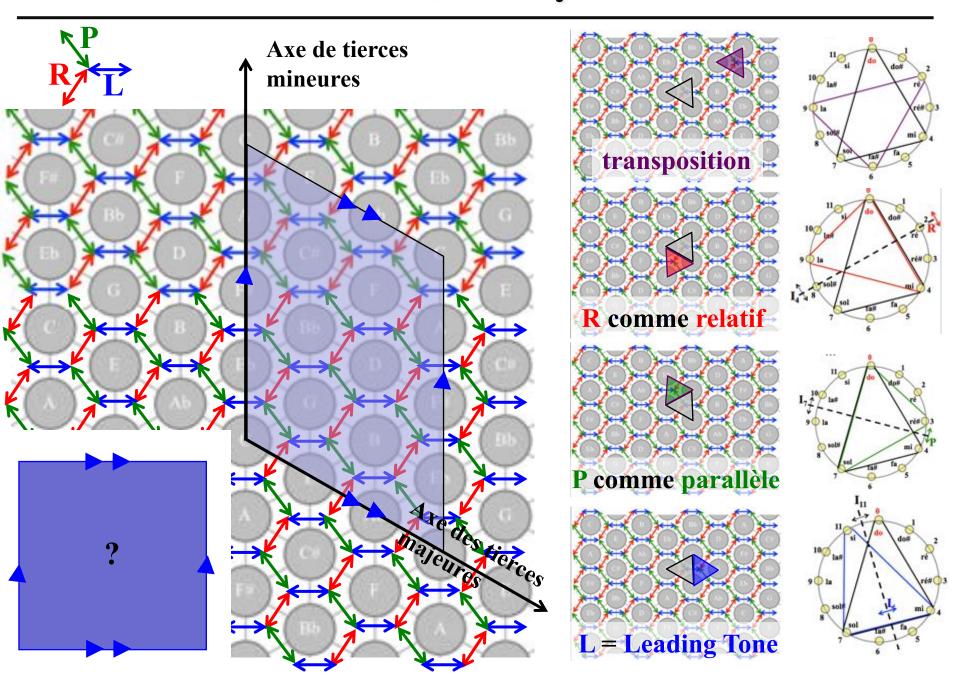




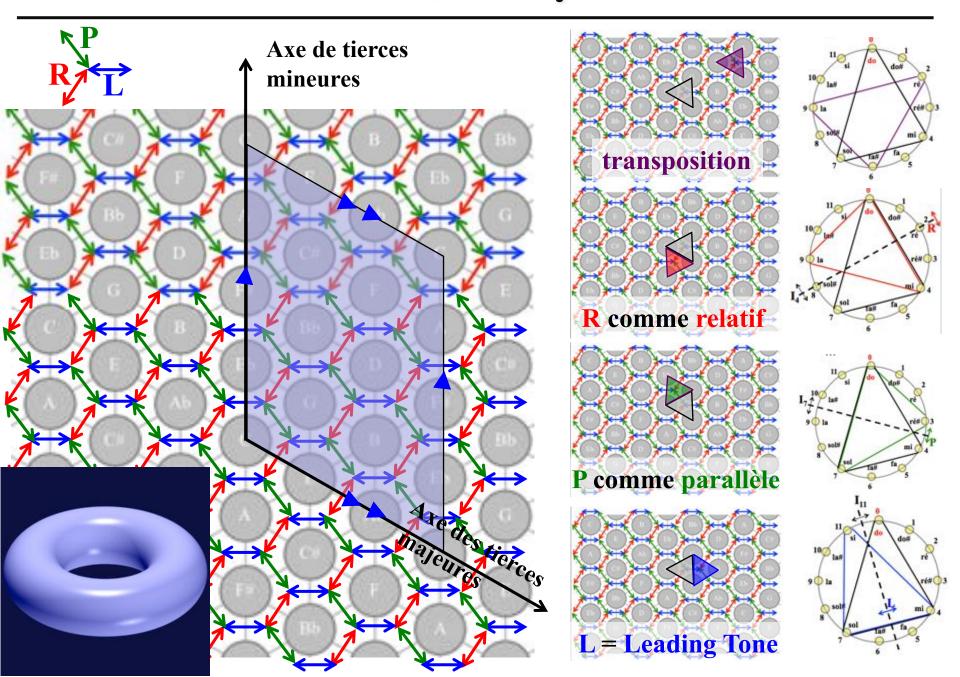




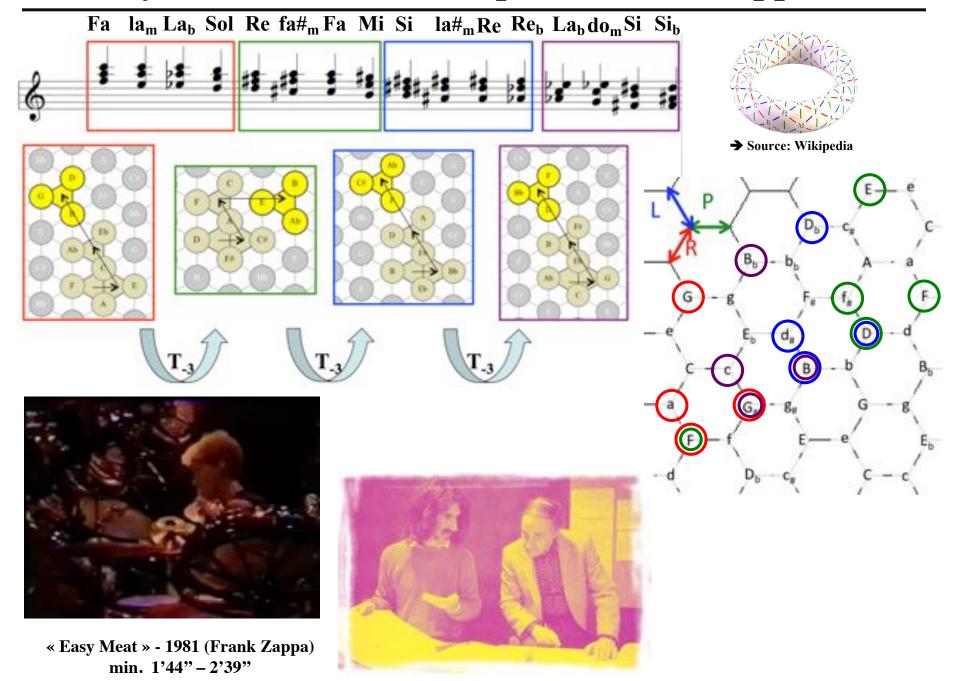
Le Tonnetz et ses symétries

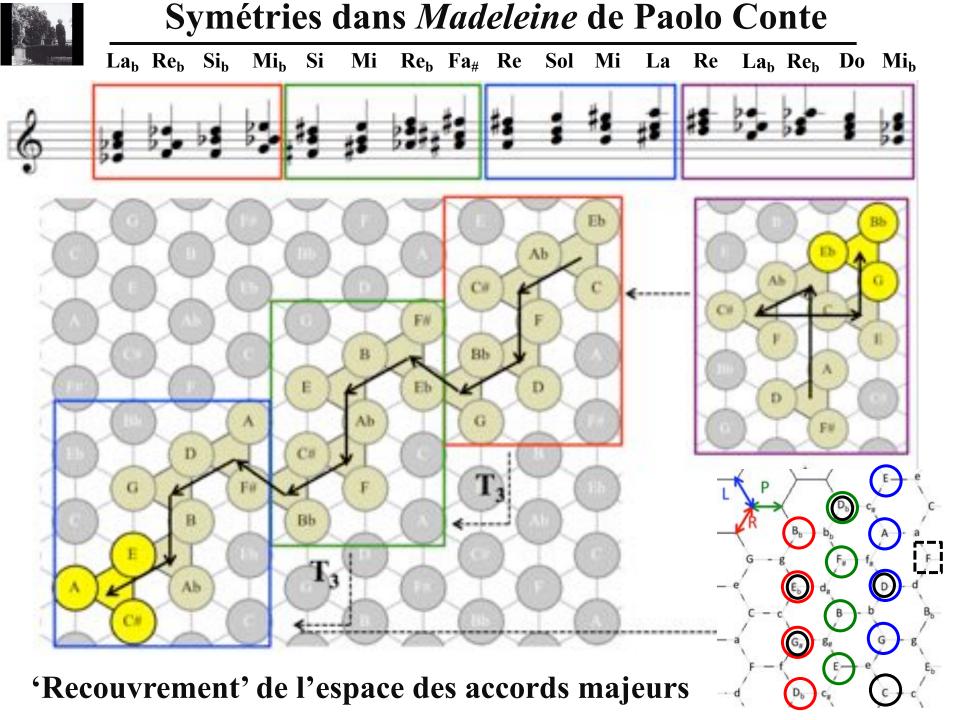


Le Tonnetz et ses symétries

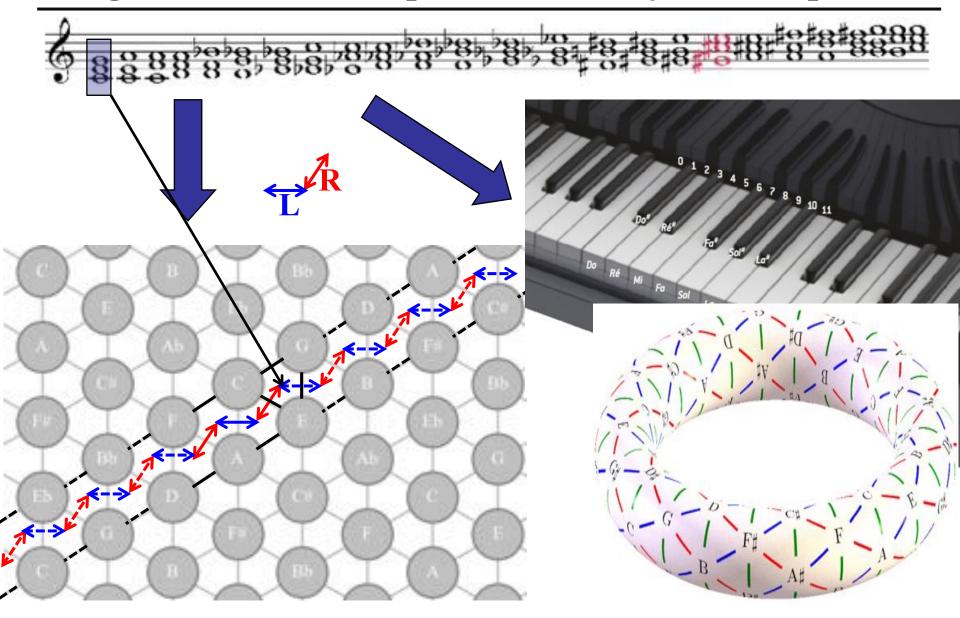


Symétries dans la musique de Frank Zappa

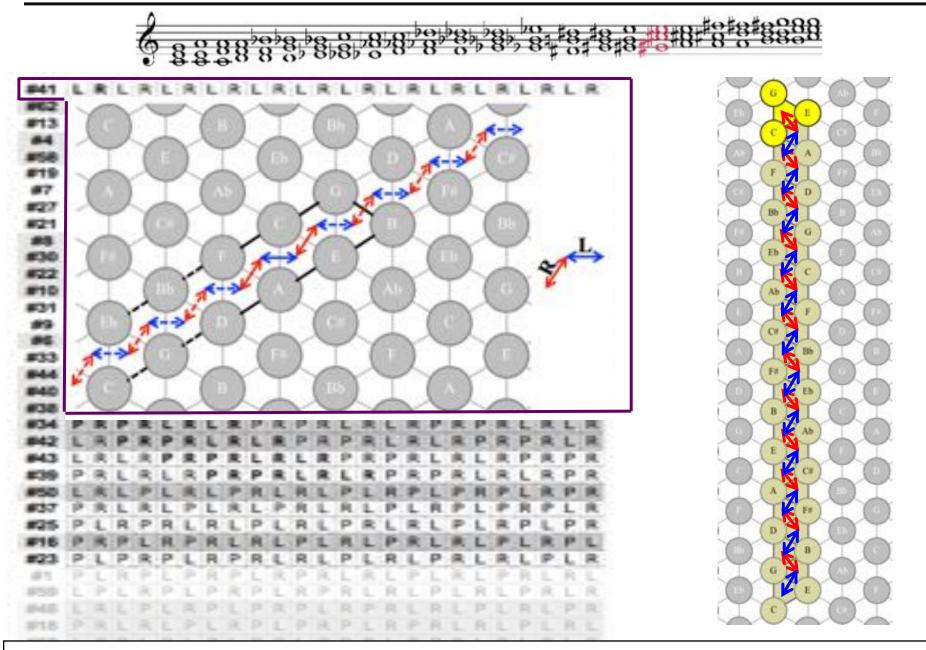




Progressions harmoniques comme trajectoires spatiales



A la recherche exhaustive des cycles hamiltoniens



G. Albini et S. Antonini, « Hamiltonian Cycles in the Topological Dual of the Tonnetz », MCM 2009, LNCS Springer

https://www.youtube.com/user/MatheMusic4D

Supervision Moreno Andreatta

(and the Tonnetz)

Gilles Baroin 2016 www.MatheMusic.net

(Polo/Moreno/Dieu)

Plonger comme un enfant, cheveux au vent

Sous l'océan du blé en herbe

Marée d'épis couleur d'amande

Qui tendent à caresser le ciel

Algues tendres de mille plages

Frôlant le ventre des nuages

Cheveux de pluie, dos de poissons

Qui frissonnent à l'unisson

Suivre le bord des continents

Dans l'océan du blé en herbe

Pécher le corail du pavot

Dans le sang des coquelicots

Croiser matin dans l'herbe folle

Deux tourterelles qui s'envolent

Suivre les jeux des hirondelles

Sur le paysage éternel

Nager comme un enfant, cheveux au vent

Sous l'océan

Du blé en herbe

Marée de fruits au goût amer

Acide et salée comme la mer

Vers l'ilôt d'un petit village

Vers un château d'eau sur la plage

Quand tout s'éteint avant l'orage

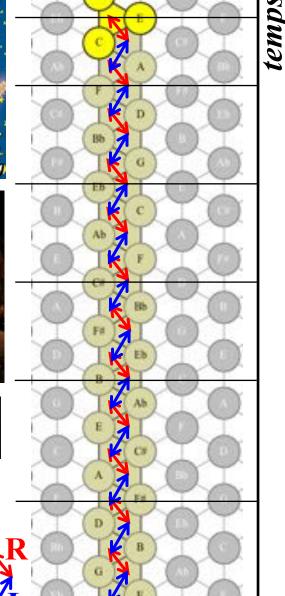
Quand se lève le vent du large

Sur le blé vert







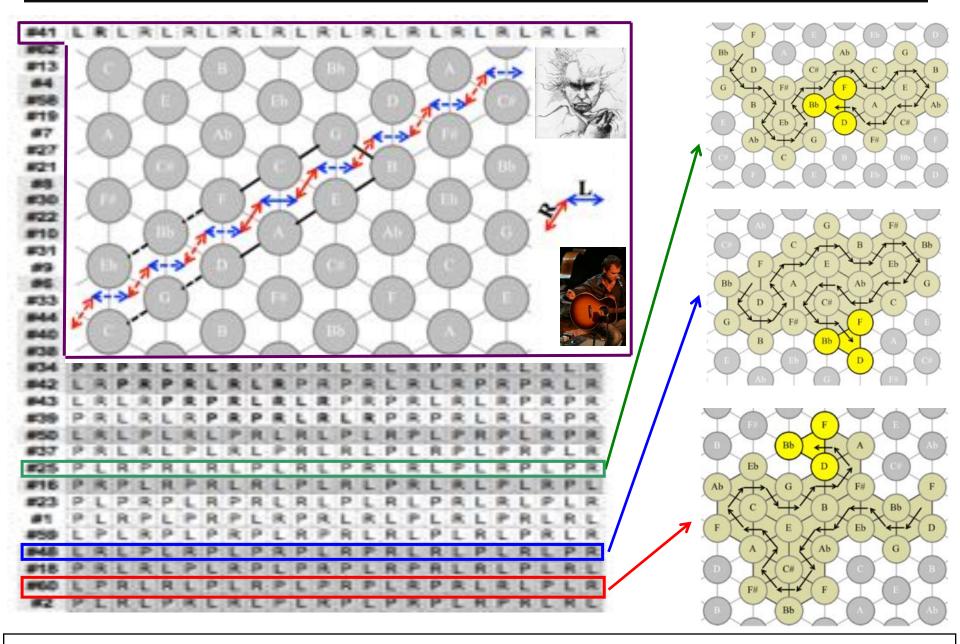








Cycles hamiltoniens sans périodicité interne



G. Albini et S. Antonini, « Hamiltonian Cycles in the Topological Dual of the Tonnetz », MCM 2009, LNCS Springer

Aprile (d'après Gabriele D'Annunzio)





La fenêtre est entr'ouverte, sur le jardin.
Une heure passe, lente, somnolente.
Et elle, d'abord attentive, finit par s'endormir.
À cette voix qui là-bas se lamente,
Qui se lamente au fond de ce jardin.

Ce n'est qu'une voix d'eau sur la pierre, Et combien de fois, combien de fois entendue! Cet amour et cette heure s'abiment dans cette vie Comme s'abiment dans l'onde sans fin Le cadavre et la pierre liés ensemble.

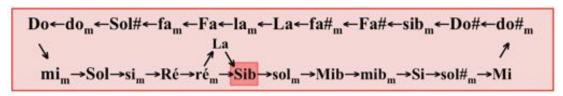
Elle détend son angoisse dans le sommeil.

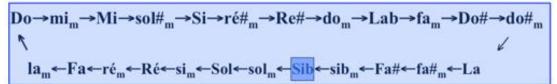
Mais l'angoisse est forte, et le sommeil est si léger !

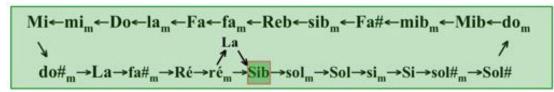
(La lumière d'avril ressemble presque à une neige
qui serait tiède.)

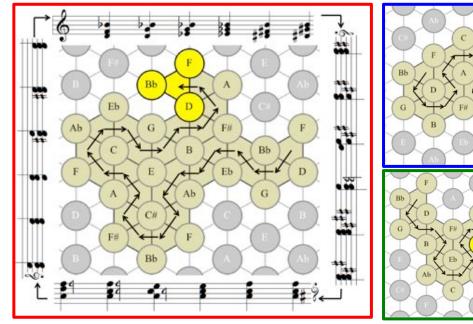
Et certes elle doit souffrir,

Vaguement souffrir, aussi dans le sommeil.

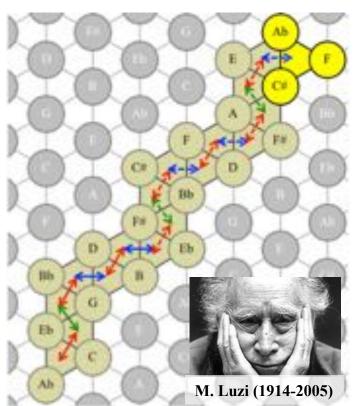








La sera non è più la tua canzone : chanson hamiltonienne 'redondante'



Luzu

Hamiltonian Song

on

Spinnenn Tonnetz

2014

Lyrics by Mario Luzi

Music and Vocals by Moreno Andreatta

Graphics and Animation by Gilles Baroin

Spinnen Tonnetz by Gilles Baroin, Hugò Seress

Original "Chicken Wire" graph by J.Douthett, P.Steinbach

La sera non è più la tua canzone, è questa roccia d'ombra traforata dai lumi e dalle voci senza fine, la quiete d'una cosa già pensata.

Ah questa luce viva e chiara viene solo da te, sei tu così vicina al vero d'una cosa conosciuta, per nome hai una parola ch'è passata nell'intimo del cuore e s'è perduta.

Caduto è più che un segno della vita, riposi, dal viaggio sei tornata dentro di te, sei scesa in questa pura sostanza così tua, così romita nel silenzio dell'essere, (compiuta).

L'aria tace ed il tempo dietro a te si leva come un'arida montagna dove vaga il tuo spirito e si perde, un vento raro scivola e ristagna. Le soir n'est plus ta chanson, c'est ce rochet d'ombre transpercé par les lumières et les voix sans fin, la paix d'une chose déjà pensée.

Ah, cette lumière vive et claire vient uniquement de toi, tu es si proche du vrai d'une chose connue, tu as pour nom une parole qui est passée dans l'intimité du cœur où elle s'est perdue.

Tombé est plus qu'un signe de la vie, tu te reposes, du voyage tu es revenue à l'intérieur de toi même, tu es descendue dans cette pure substance qui est si tienne, si éloignée dans le silence de l'être, achevée.

L'air se tait et le temps derrière toi se lève tel une montagne aride où plane ton esprit et se perd, un vent rare glisse et stagne.

(tr. Antonia Soulez, philosophe et poète)

Musique: M. Andreatta

Arrangements et mixage: M. Bergomi &

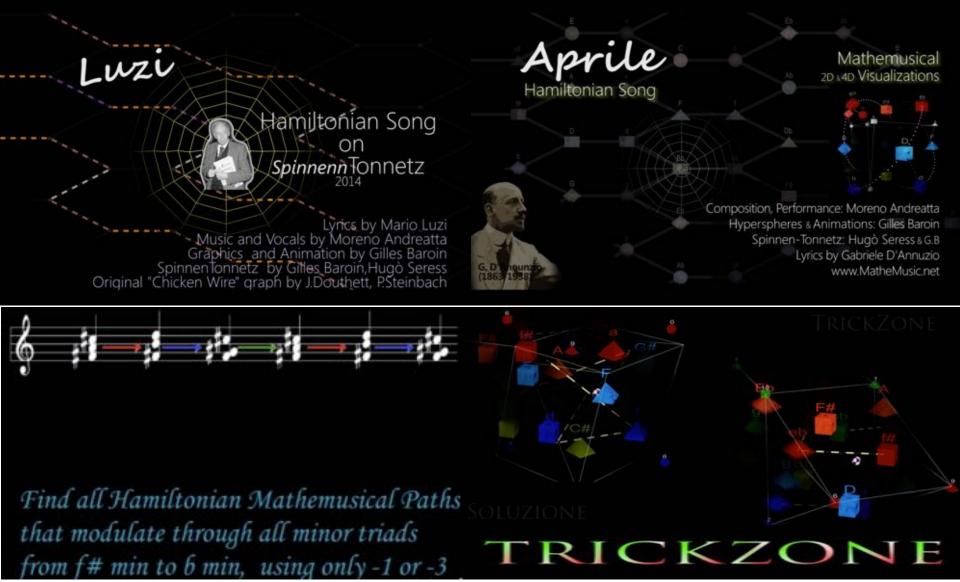
S. Geravini

(Perfect Music Production)

Mastering: A. Cutolo (Massive Arts

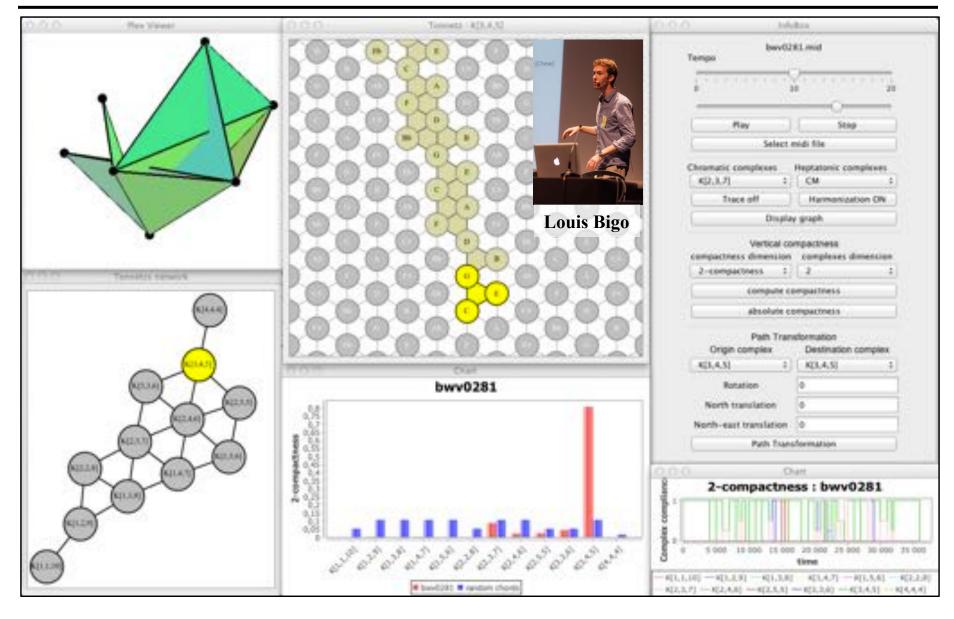
Studio, Milan)





https://www.youtube.com/user/MatheMusic4D

Hexachord et la classification stylistique : DEMO



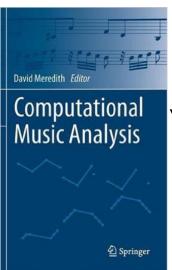
→http://www.lacl.fr/~lbigo/hexachord

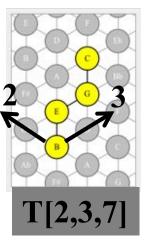
Le caractère spatial de la « logique musicale »

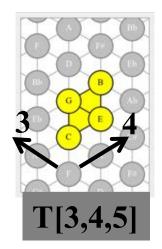
Bigo L., M. Andreatta, « Musical analysis with simplicial chord spaces », in D. Meredith (ed.), *Computational Music Analysis*, Springer, 2015

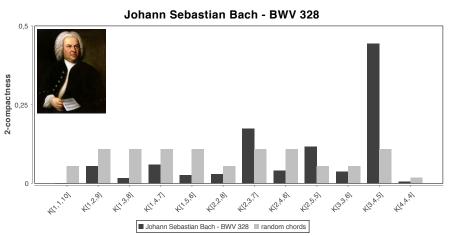


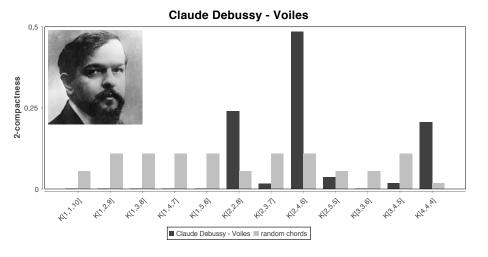
Louis Bigo

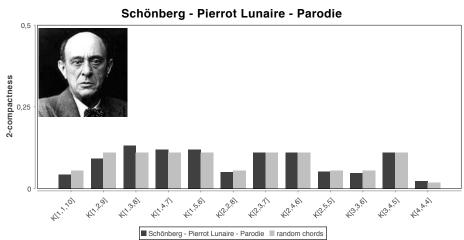




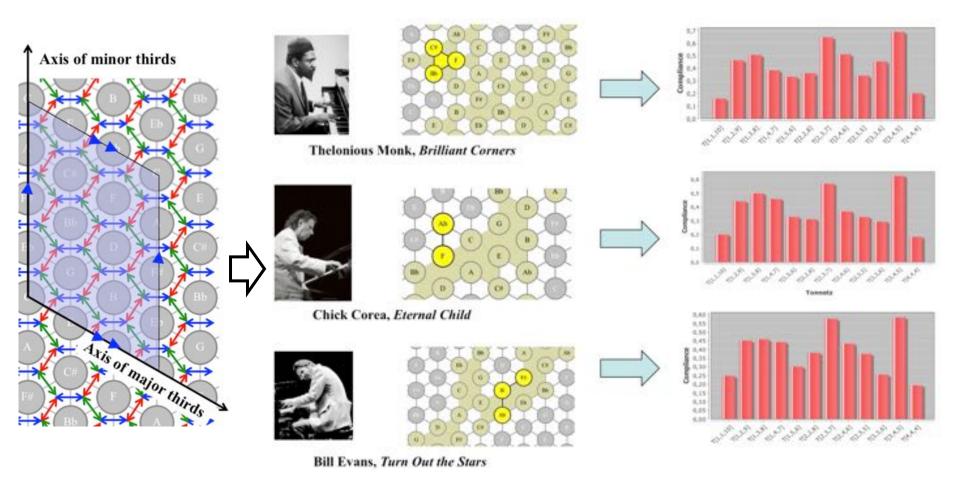






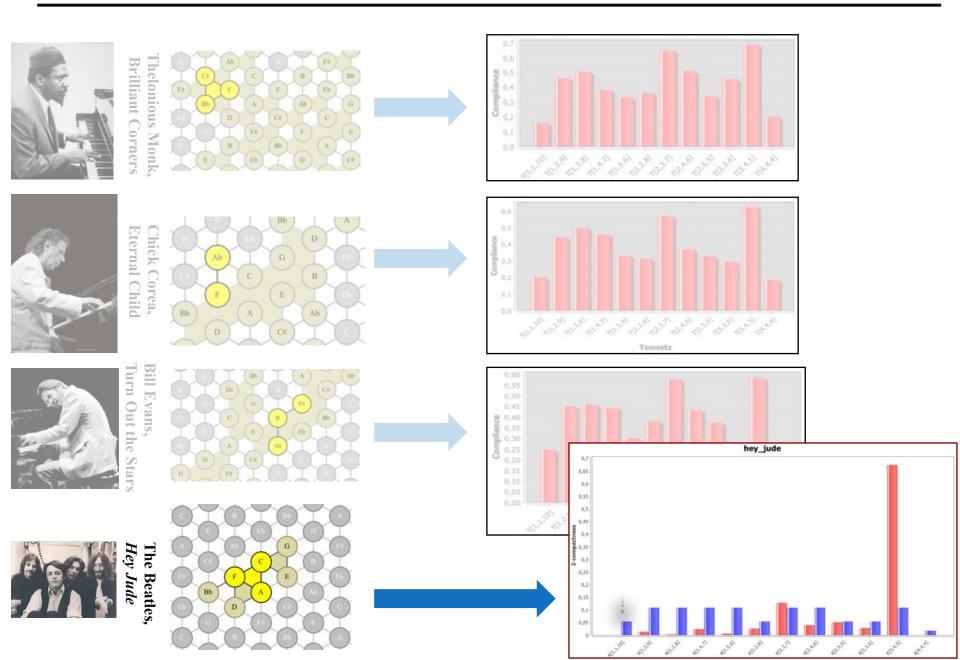


L'espace comme paramètre de style

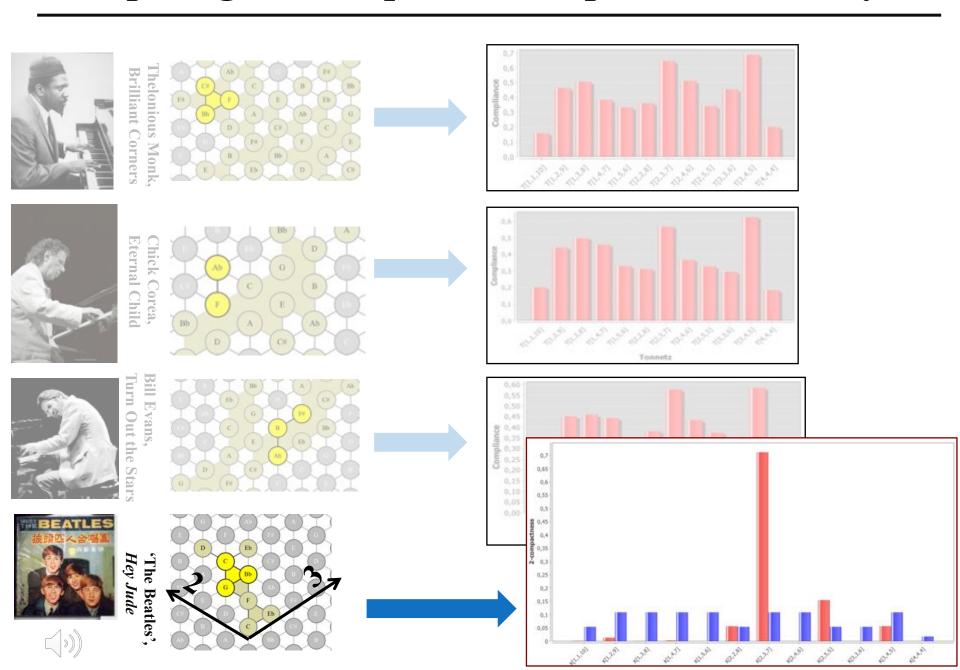


→ Vers une classification automatique géométrique des genres musicaux?

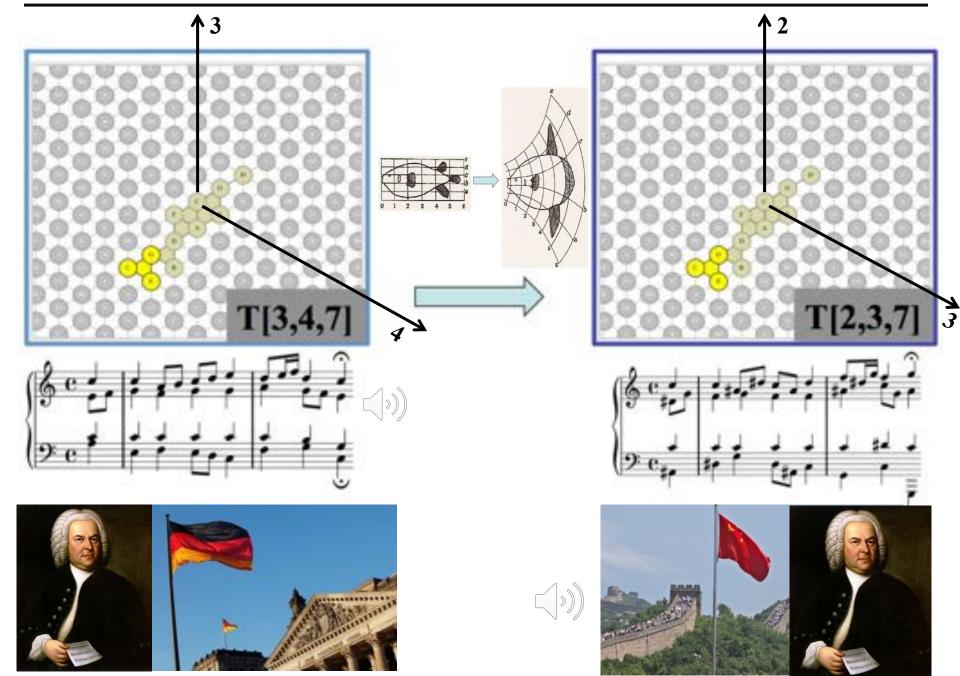
L'espace géométrique comme paramètre de style



L'espace géométrique comme paramètre de style



Le style...c'est l'espace!



Les contraintes dans l'art : l'OuLiPo (Ouvroir de Littérature Potentielle)



Cent mille milliards de poèmes, 1961

aviens encor de cette heure exemanio has la phine apitaient leurs drapeaux

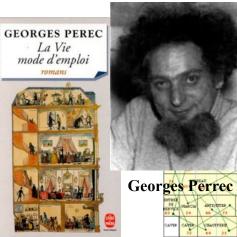
e pour nous distraire y plantions nos tréteaux

assibilik que nus sur la banquise

e à Bosario fait une belle trotte

res on cut qui s'y pique s'y frotte

ion boit du maté l'on devient argentin



La vie mode d'emploi,



Italo Calvino Le Château des destins croisés, 1969



Denoël

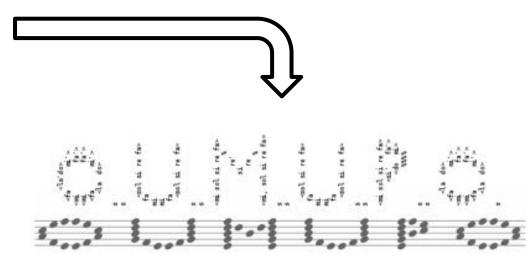
La disparition

Les Lettres Nouvelles

Raymond Queneau

De l'OuLiPo à l'OuMuPo (ouvroir de musique potentielle)





http://oumupo.org/



Valentin Villenave



Mike Solomon



Jean-François Piette



Martin Granger



Joseph Boisseau

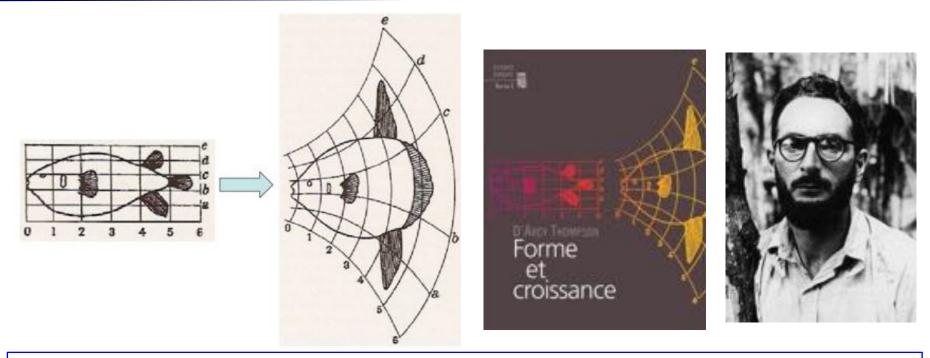


Moreno Andreatta



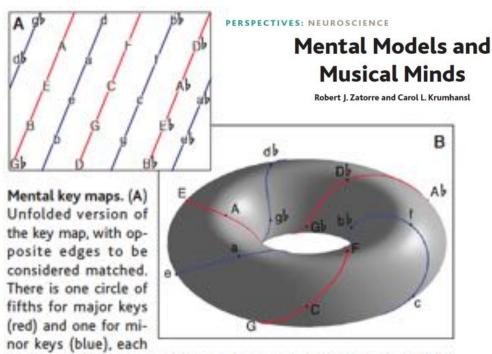
Tom Johnson

Généalogie morphologique vs algébrico-géométrique du structuralisme



« [La notion de **transformation**] me vient d'un ouvrage qui a joué pour moi un rôle décisif et que j'ai lu pendant la guerre aux États Unis: *On Growth and Form*, en deux volumes, de D'Arcy Wentworth Thompson, paru pour la première fois en 1917. L'auteur, naturaliste écossais, (...) interprétait comme des transformations les différences visibles entre les espèces ou organes animaux ou végétaux au sein d'un même genre. Ce fut une illumination, d'autant que j'allais vite m'apercevoir que cette façon de voir s'inscrivait dans une longue tradition: derrière Thompson, il y avait la botanique de Goethe, et derrière Goethe, Albert Dürer avec son Traité de la proportion du corps humain » (Lévi-Strauss et Eribon, 1988).

Tonnetz et neurosciences cognitives

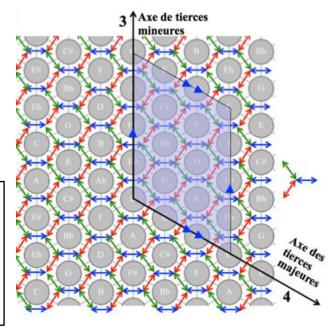


wrapping the torus three times. In this way, every major key is flanked by its relative minor on one side (for example, C major and a minor) and its parallel minor on the other (for example, C major and c minor). (B) Musical keys as points on the surface of a torus.

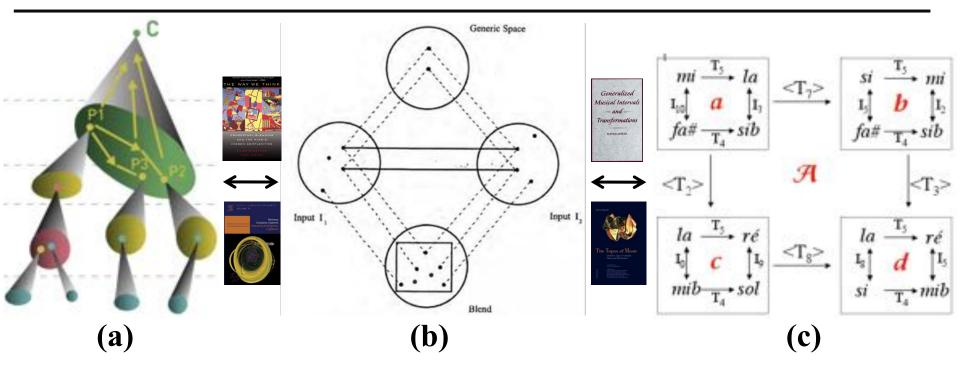
Acotto E. et M. Andreatta (2012), « Between Mind and Mathematics. Different Kinds of Computational Representations of Music », *Mathematics and Social Sciences*, n° 199, 2012(3), p. 9-26.



A Auditory cortical areas in the superior temporal gyrus that respond to musical stimuli, Regions that are most strongly activated are shown in red. (B) Metabolic activity in the ventromedial region of the frontal lobe increases as a tonal stimulus becomes more consonant.



Vers une explication catégorielle de la perception musicale ?



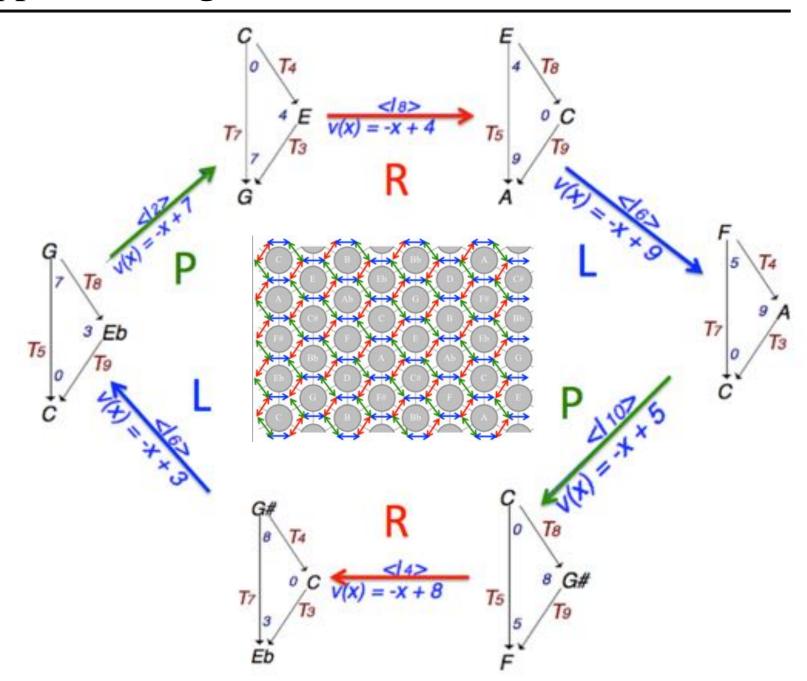
(a) Processus de « colimite » à la base des systèmes évolutifs à mémoire (Ehresmann et Vanbremeersch, 2007) ; (b) réseau minimal pour le « blending conceptuel » (Fauconnier & Turner, 2002) et exemple de Klumpenhouwer Network (ou *K-net*).

« La **théorie des catégories** est une théorie des constructions mathématiques, qui est macroscopique, et procède d'étage en étage. Elle est un bel exemple d'**abstraction réfléchissante**, cette dernière reprenant ellemême un principe constructeur présent dès le stade sensori-moteur. Le **style catégoriel** qui est ainsi à l'image d'un aspect important de la **genèse des facultés cognitives**, est un style adéquat à la description de cette genèse »

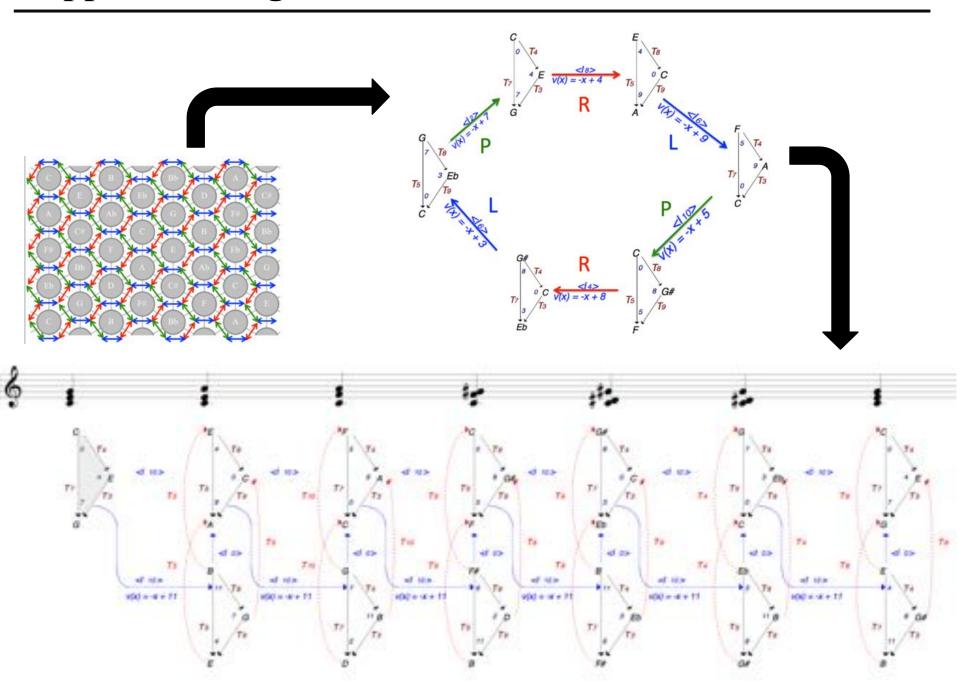


J. Piaget

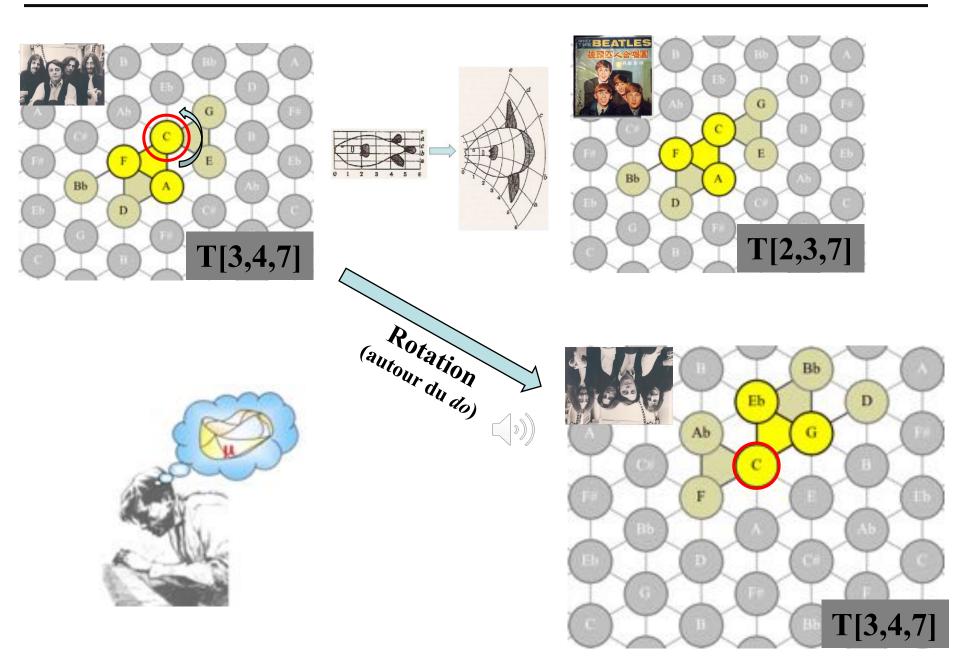
Approche catégorielle au Tonnetz via les K-nets



Approche catégorielle au Tonnetz via les K-nets



Transformations géométriques et perception/cognition





Moreno Andreatta

Equipe Représentations Musicales IRCAM / CNRS UMR 9912 / UPMC, Paris IRMA & GREAM, université de Strasbourg





