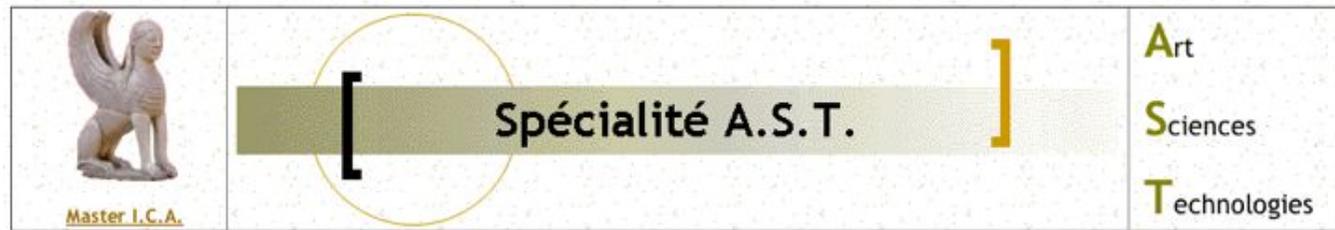


# Master AST - Art, science, technologie



## Méthodes mathématiques pour la création musicale *Algèbre et géométrie en musicologie computationnelle*

Première partie :  
de la représentation circulaire au(x) *Tonnetz(e)*

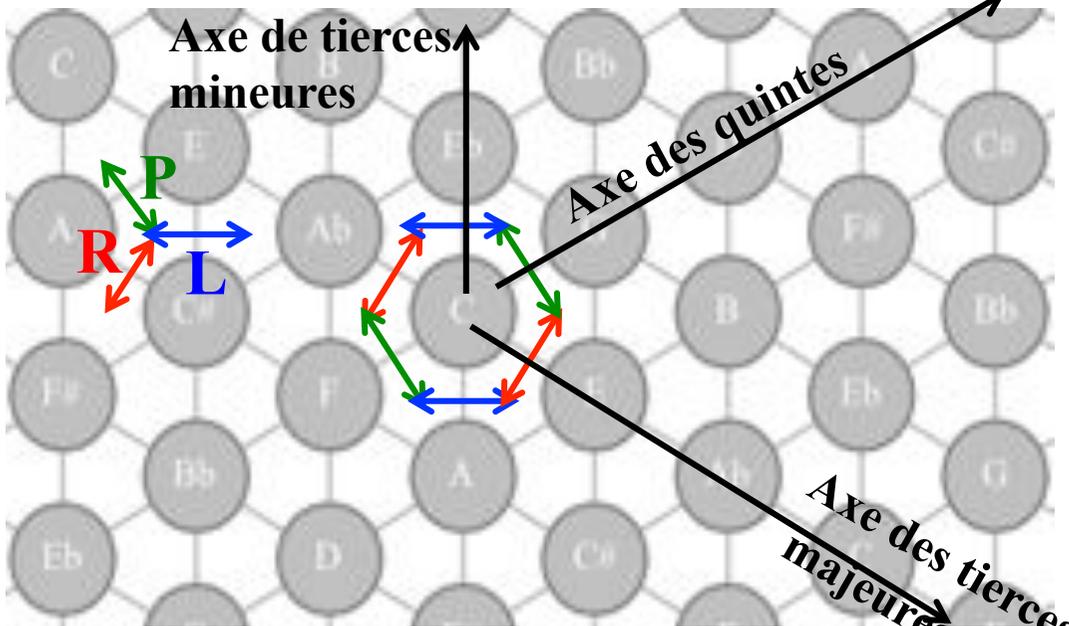
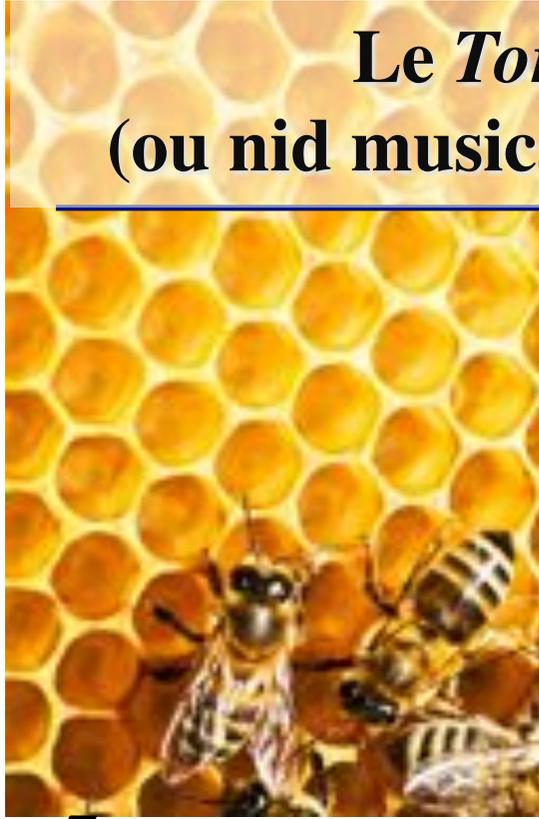
– Moreno Andreatta –

Equipe Représentations Musicales  
IRCAM/CNRS/UPMC UMR 9912

`Moreno.Andreatta@ircam.fr`

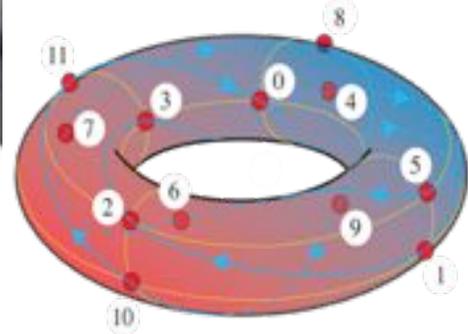


# Le Tonnetz (ou nid musical d'abeilles)



F	—	C	—	G	—	D
A	—	E	—	H	—	F <sub>s</sub>
C <sub>s</sub>	—	G <sub>s</sub>	—	D <sub>s</sub>	—	B.

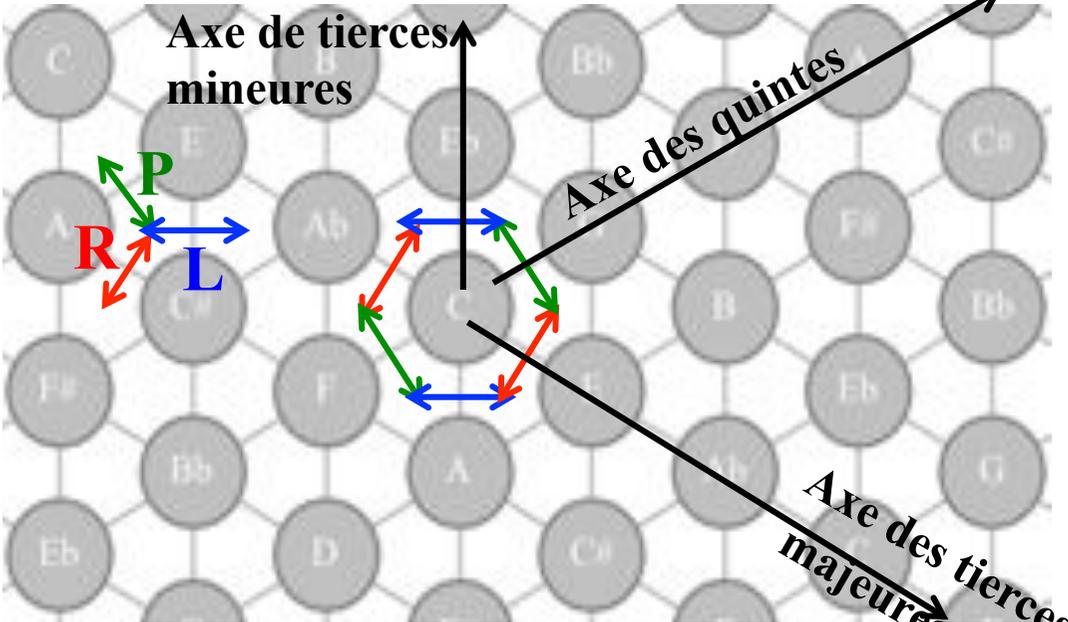
*Speculum Musicum* (Euler, 1773)



Tore des tierces (Mazzola, 1990)



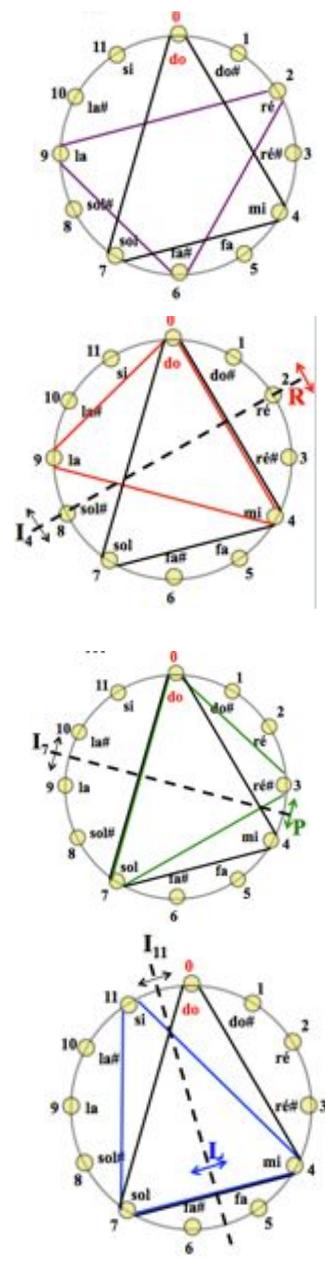
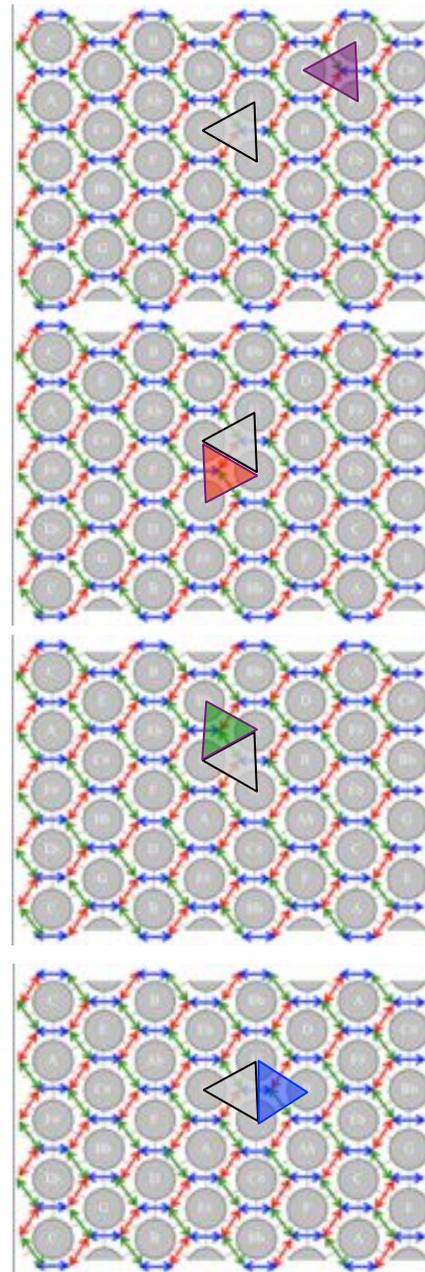
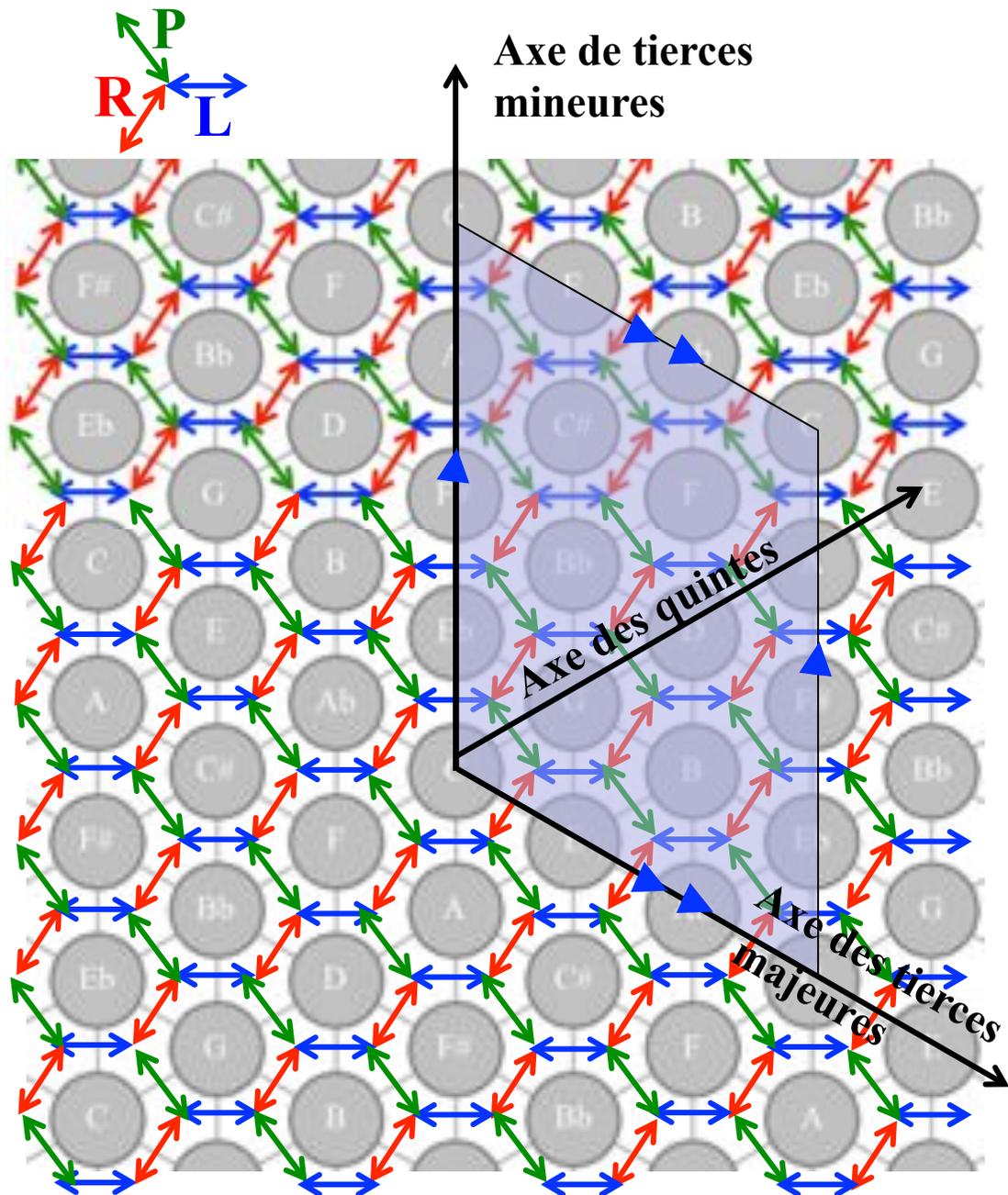
# Le Tonnetz (ou nid musical d'abeilles)



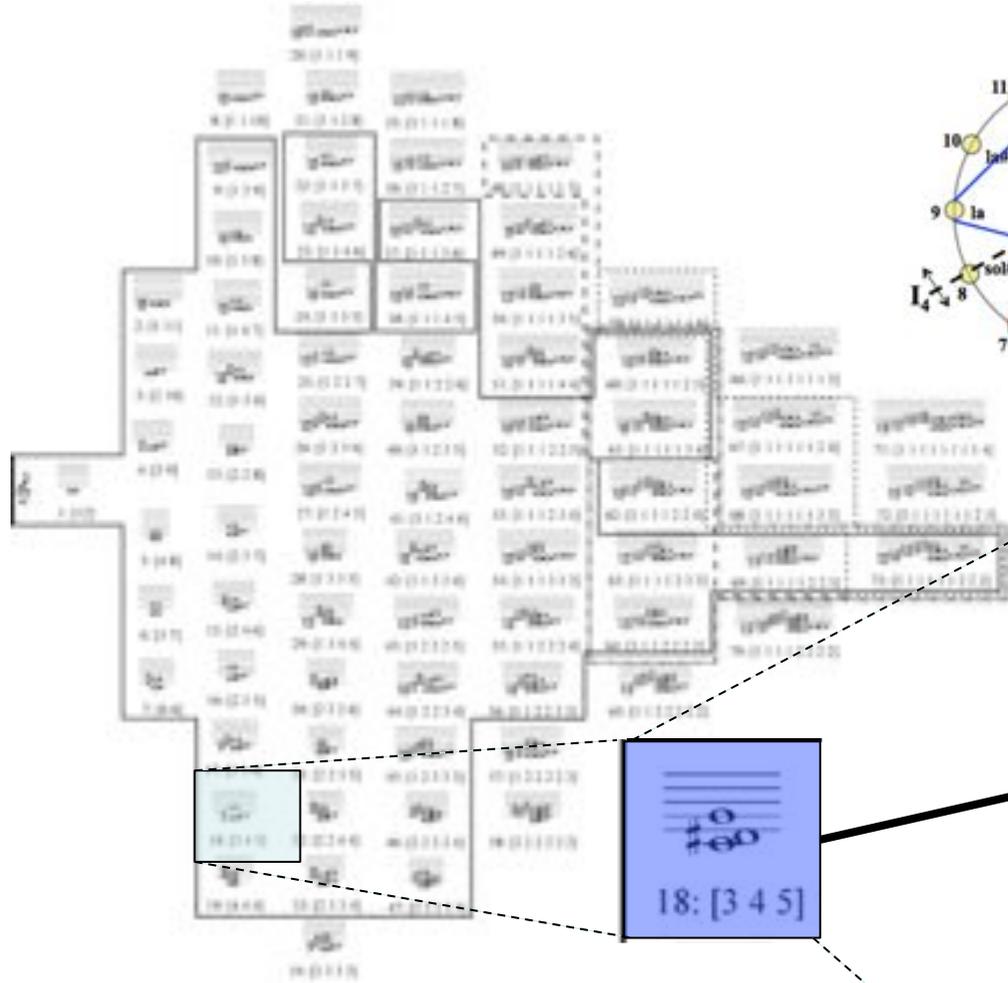
F	—	C	—	G	—	D
A	—	E	—	H	—	F <sub>s</sub>
C <sub>s</sub>	—	G <sub>s</sub>	—	D <sub>s</sub>	—	B.

*Speculum Musicum* (Euler, 1773)

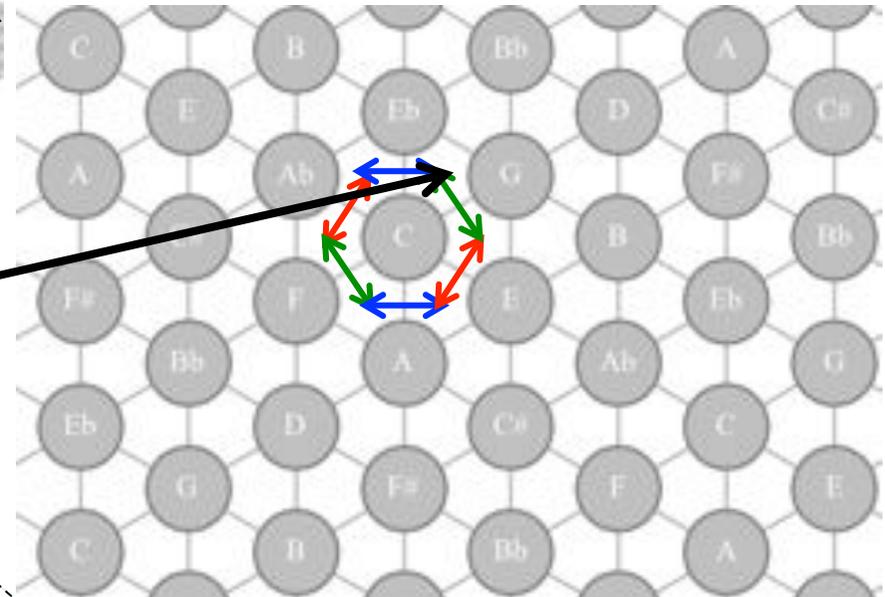
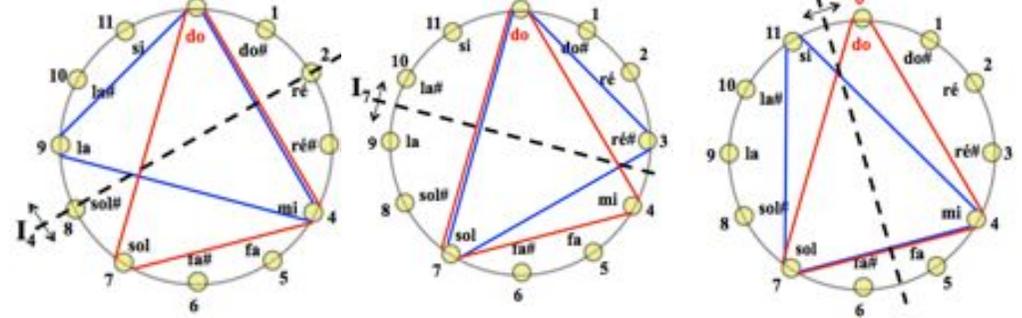
# Le Tonnetz et ses symétries



# Le permutoèdre comme généralisation du *Tonnetz*

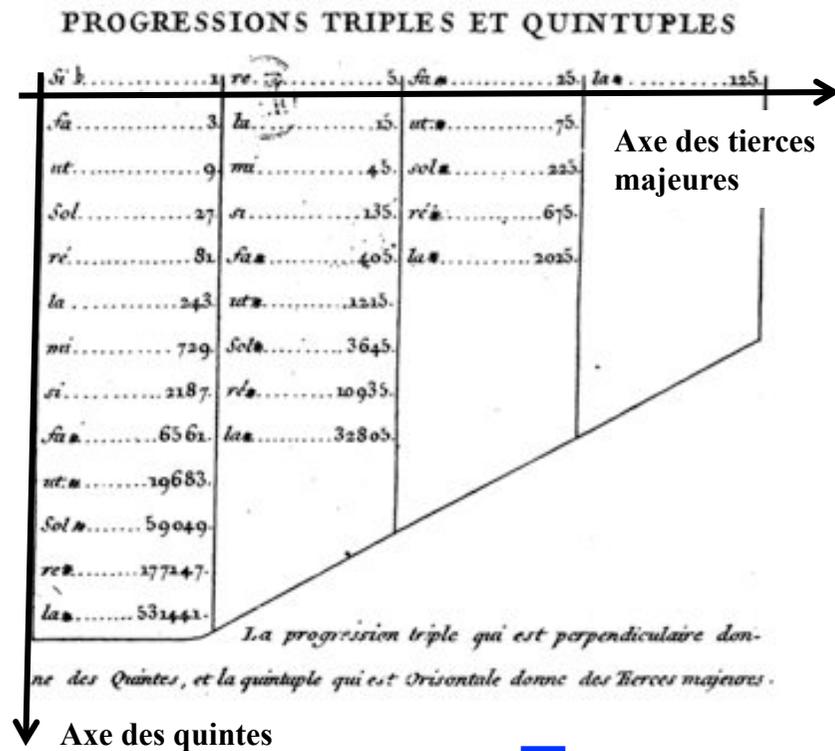


Musical staff with notes and arrows labeled R, P, L, R, P, L. Below the staff are the permutations: [3 5 4], [5 3 4], [5 4 3], [4 5 3], [4 B 5], [3 4 5].





# Tonnetz et théorie des réseaux chez Henri Pousseur



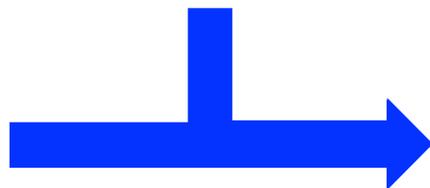
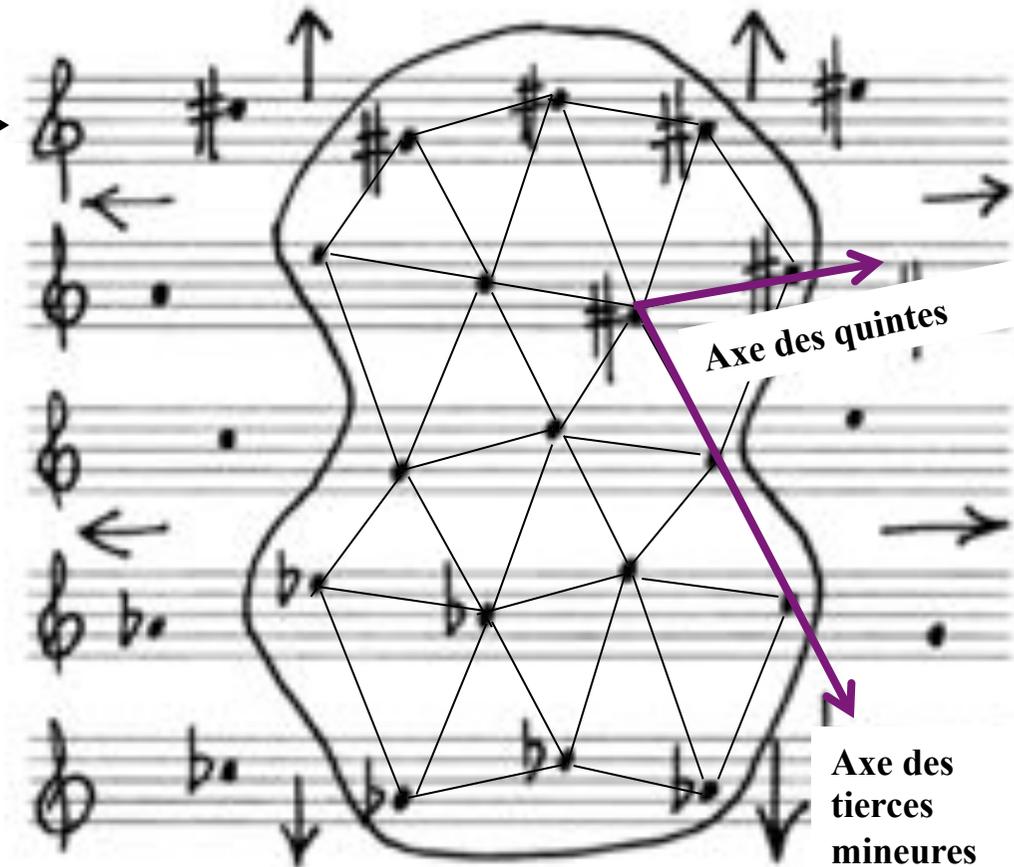
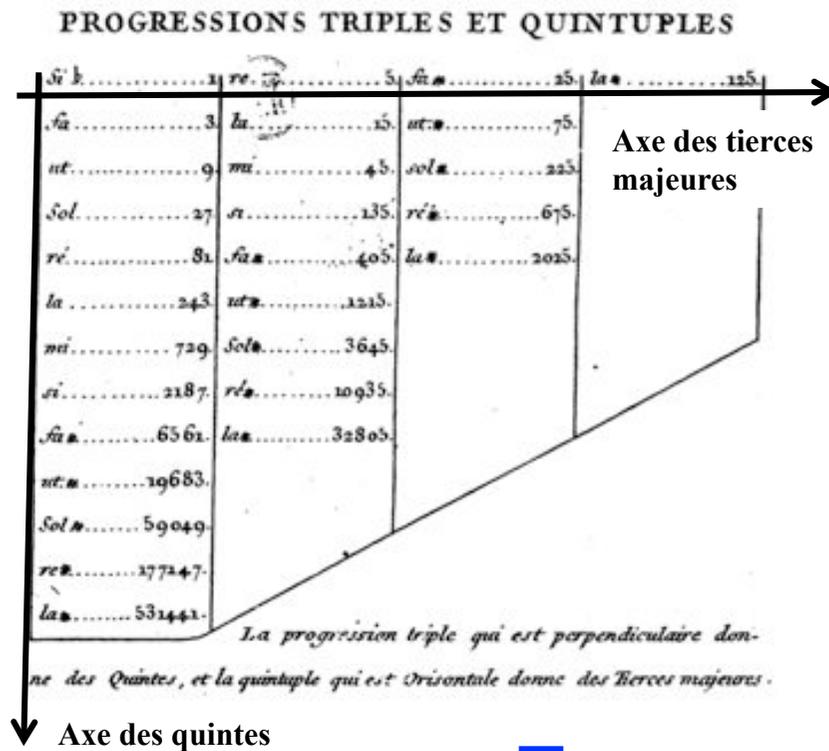

« Un réseau, au sens entendu ici, est une distribution de note [...] selon plusieurs (pour commencer deux) axes qui se caractérisent chacun comme une chaîne d'un seul et même intervalle »

« Applications Analytiques de la 'technique des réseaux' », *Revue belge de Musicologie*, Vol. 52, pp. 247-298, 1998



- J.-Ph. Rameau, *Démonstration du principe de l'harmonie*, 1750

# Tonnetz et théorie des réseaux chez Henri Pousseur



- « L'apothéose de Rameau. Essai sur la question harmonique, *Musiques Nouvelles. Revue d'esthétique*, 21, 105-172, 1968
- « Applications Analytiques de la 'technique des réseaux' », *Revue belge de Musicologie*, Vol. 52, pp. 247-298, 1998

• J.-Ph. Rameau, *Démonstration du principe de l'harmonie*, 1750

# Tonnetz et théorie des réseaux chez Henri Pousseur

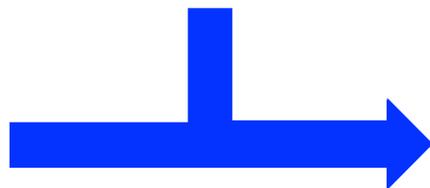
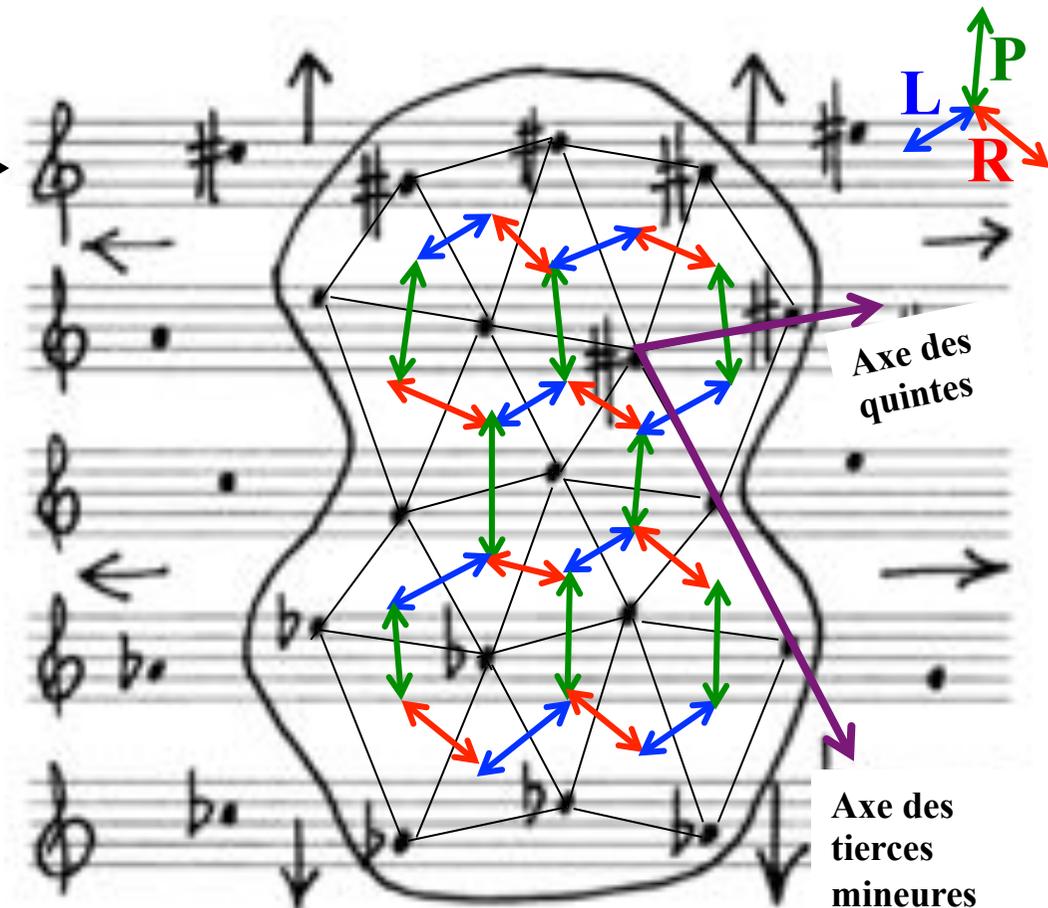
PROGRESSIONS TRIPLES ET QUINTUPLES

Si ♭.....1	re.....5	fa.....25	la.....125
fa.....3	la.....15	ut.....75	
ut.....9	mi.....45	sol.....225	
Sol.....27	si.....135	ré.....675	
ré.....81	fa.....405	la.....2025	
la.....243	ut.....1215		
mi.....729	Sol.....3645		
si.....2187	ré.....10935		
fa.....6561	la.....32805		
ut.....19683			
Sol.....59049			
re.....177147			
la.....531441			

Axe des tierces majeures

La progression triple qui est perpendiculaire donne des Quintes, et la quintuple qui est horizontale donne des Tierces majeures.

Axe des quintes

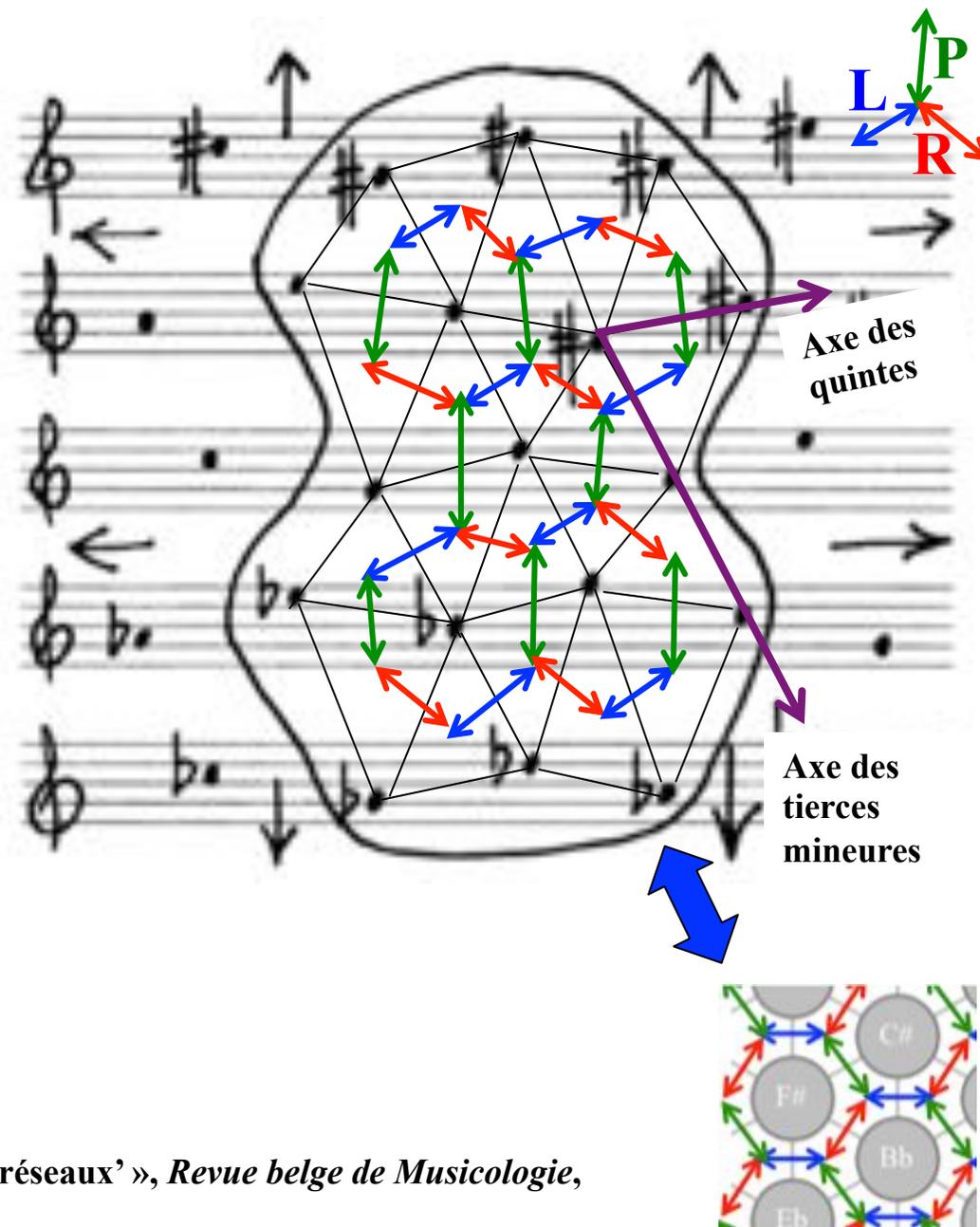


- « L'apothéose de Rameau. Essai sur la question harmonique, *Musiques Nouvelles. Revue d'esthétique*, 21, 105-172, 1968
- « Applications Analytiques de la 'technique des réseaux' », *Revue belge de Musicologie*, Vol. 52, pp. 247-298, 1998

- J.-Ph. Rameau, *Démonstration du principe de l'harmonie*, 1750

# La théorie des réseaux et son caractère computationnel

« Il ne faut toutefois pas oublier que le principe même de la méthode réside dans la volonté de construire le lacs de telle sorte que les relations musicales élémentaires effectives, donc ‘en-temps’, (analysées ou composées, mélodiques ou accordiques) soient les plus **serrées** possibles, s’expriment principalement entre notes **voisines** du réseau, dans un sens ou dans l’autre. Ajoutons encore que l’on peut passer de certains réseaux à certains autres en faisant simplement ‘basculer’ les axes [...] ce qui modifie les rapports de proximité structurelle entre les notes et donc la hiérarchie de leurs intervalles ».



- « Applications Analytiques de la 'technique des réseaux' », *Revue belge de Musicologie*, Vol. 52, pp. 247-298, 1998

# Quelques applications analytiques

---



Yann Tiersen

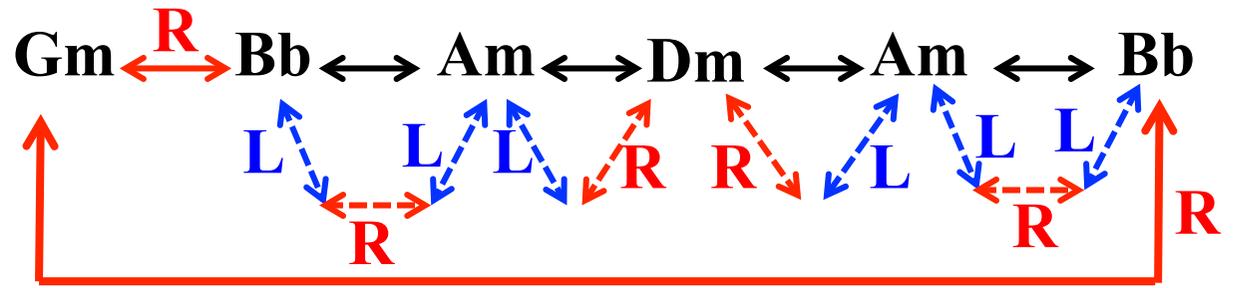
## Comptine d'un autre été

Amelie - Large Version

**Em**    **?**    **G**    **?**    **Bm**    **?**    **D**    **?**    **Em**

The image shows a musical score for the piano accompaniment of 'Comptine d'un autre été'. It consists of two systems of music. The first system shows the first four measures, with the right hand (treble clef) mostly silent and the left hand (bass clef) playing a steady eighth-note accompaniment. Above the first system, a chord progression is indicated: Em, G, Bm, D, Em, with arrows and question marks between them. The second system shows measures 5 through 8, where the right hand enters with a melodic line of eighth notes and quarter notes, while the left hand continues its accompaniment. The key signature is one sharp (F#) and the time signature is 4/4.



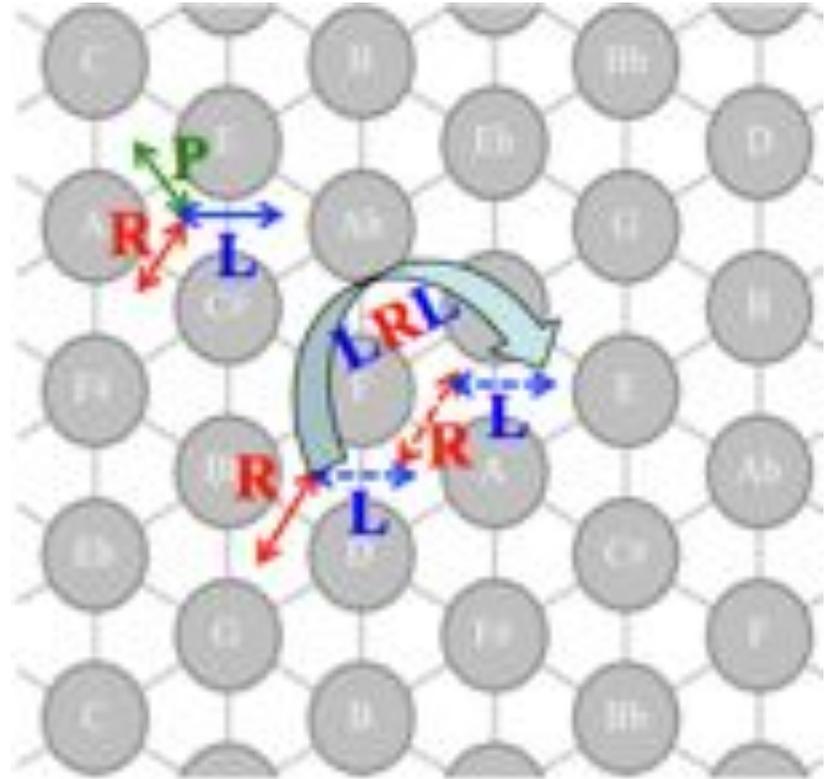


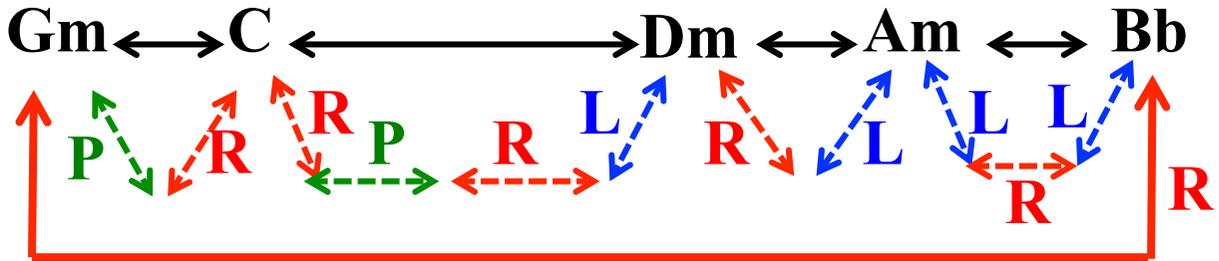
### MON APACHE

(Arman Nélie)

Cette promesse, c'est de l'or que tu caches en attendant les apaches et leurs centaures	D'où vient la soie de ton ventre et d'où vient l'ardeur de ces beaux élans que tu défends	les vaisseaux logés au creux de ta peau couleur d'encre	Ô mon inouï amazone ta nous quittes et l'été se fait automne black light, white heat
Ô mon inouï antlope dans tes flancs et leurs reflets roux d'enfance dort un cyclope	Qu'ont les fots noirs de cendre	Une flèche en plein cœur un ciel à la dérive et je meurs de nous survivre	Une flèche en plein cœur un ciel à la dérive et je meurs de nous survivre
		Un alican sur la grève de nouveau enfin libre et je crève de nous survivre	Un alican sur la grève de nouveau enfin libre et je crève de nous survivre
		Cette lueur plus encore tu la caches en attendant les apaches et leurs trésors	Cette promesse c'est de l'or que tu caches en attendant les apaches
			Cette promesse c'est de l'or que tu caches moi je t'attends

Mon apache





### MON APACHE

(Arman Méliès)

Cette promesse, c'est de l'or  
que tu caches  
en attendant les apaches  
et leurs centaures

Ô mon inouï antilope  
dans tes flancs  
et leurs reflets roux d'enfance  
doit un cyclope

D'où vient la soie de ton ventre  
et d'où vient  
l'ardeur de ces beaux élans  
que tu défends

Qu'ils vont les flots noirs  
de cendre

les vaisseaux  
logés au creux de ta peau  
couleur d'encre

Une flèche en plein cœur  
un ciel à la dérive  
et je meurs  
de nous survivre

Un aïézan sur la grève  
de nouveau enfin libre  
et je crève  
de nous survivre

Cette lueur plus encore  
tu la caches  
en attendant les apaches  
et leurs trésors

Ô mon inouï amazone  
tu nous quittes  
et l'été se fait automne  
black light, white heat

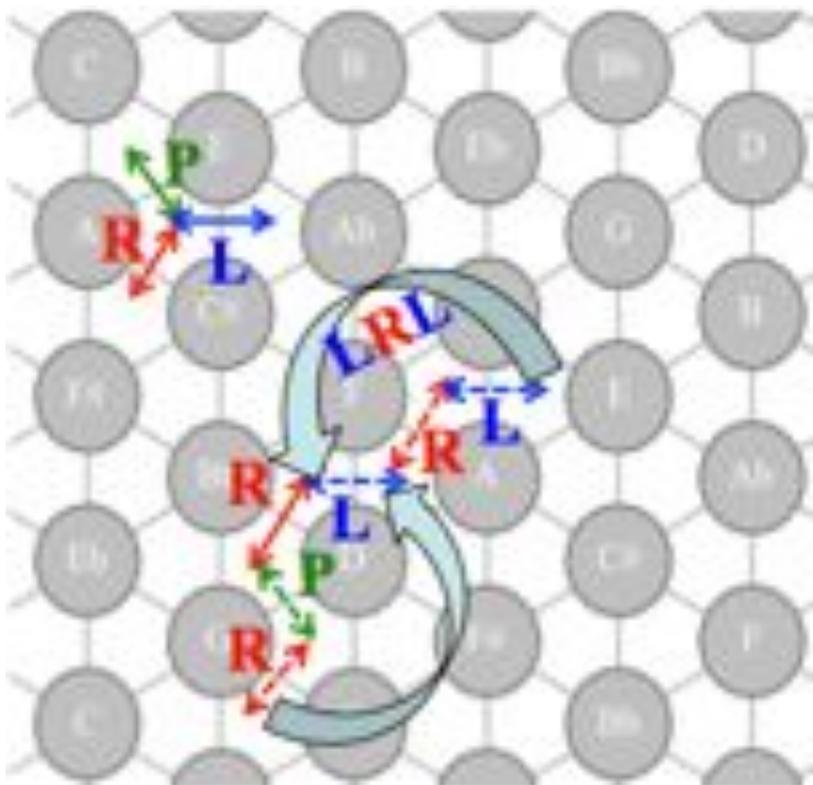
Une flèche en plein cœur  
un ciel à la dérive  
et je meurs  
de nous survivre

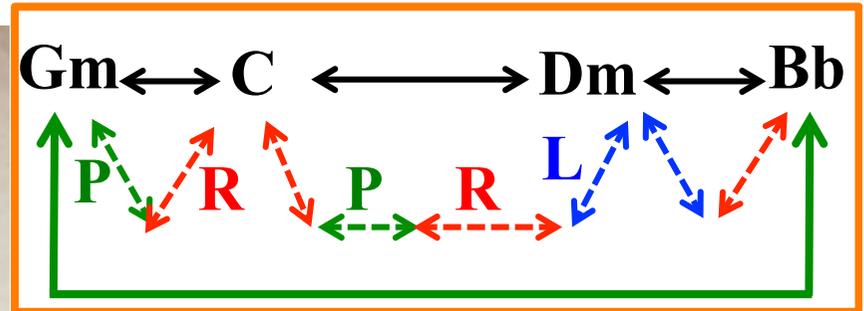
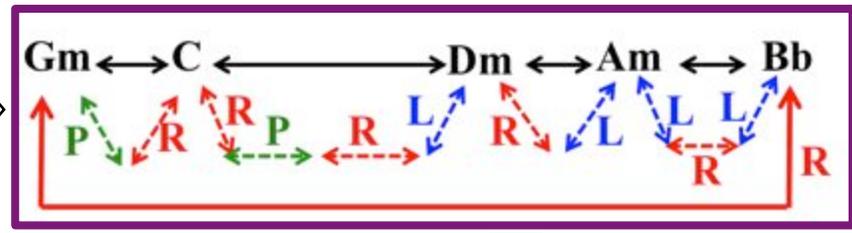
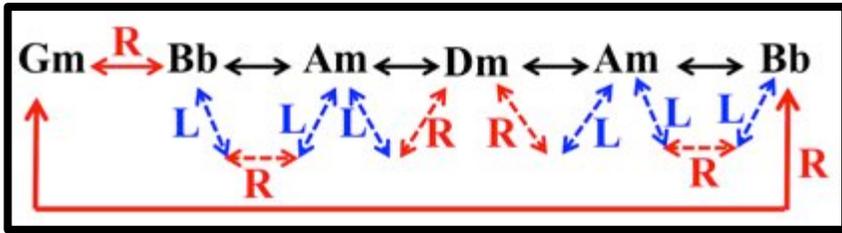
Un aïézan sur la grève  
de nouveau enfin libre  
et je crève  
de nous survivre

Cette promesse c'est de l'or  
que tu caches  
en attendant  
les apaches

Cette promesse c'est de l'or  
que tu caches  
moi je t'attends

Mon apache



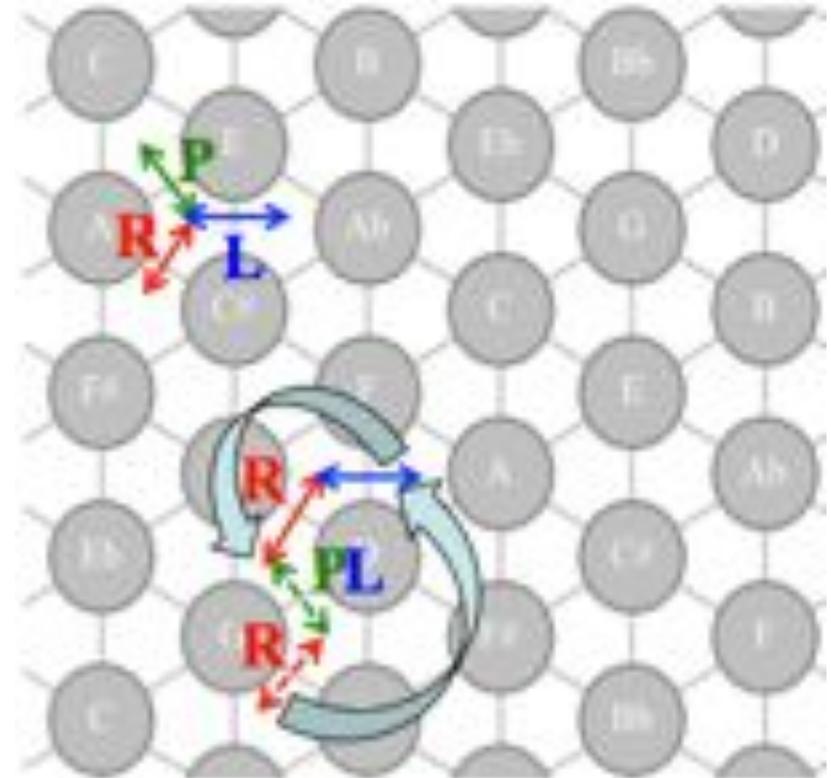


### MON APACHE

(Arman Nélie)

Cette promesse, c'est de l'or que tu caches en attendant les apaches et leurs certitudes	D'où vient la soie de ton ventre et d'où vient l'ardeur de ces beaux élan que tu défends	les vaisseaux logés au creux de ta peau couleur d'encre	Ô mon inouï amazone ta nous quittes et l'été se fait automne black light, white heat
Ô mon inouï antlope dans tes flancs et leurs reflets roux d'enfance dort un cyclope	Qu'ont les fots noirs de cendre	Une flèche en plein cœur un ciel à la dérive et je meurs de nous survivre	Une flèche en plein cœur un ciel à la dérive et je meurs de nous survivre
		Un aiezan sur la grève de nouveau enfin libre et je crève de nous survivre	Un aiezan sur la grève de nouveau enfin libre et je crève de nous survivre
		Cette fleur plus encore tu la caches en attendant les apaches et leurs trésors	Cette promesse c'est de l'or que tu caches en attendant les apaches
			Cette promesse c'est de l'or que tu caches moi je t'attends Mon apache

**LOVE**  
Julien Doré



# Progressions harmoniques chez Zappa: où sont les symétries ?

Synthesizer

G+ A+

F+ A- A#+ G+

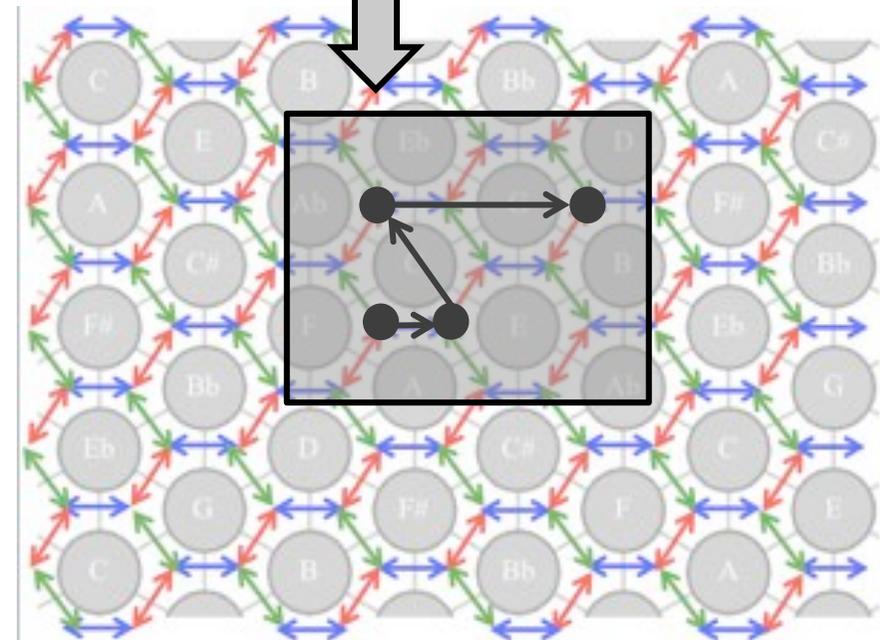
D+ F#- F+ E+

B+ D#- D+ C#+ A#+ C- B+ B#+

E+ B+ F#- C#+ F#+ A+ E+ E-

*Fine* *D.C. al Fine*

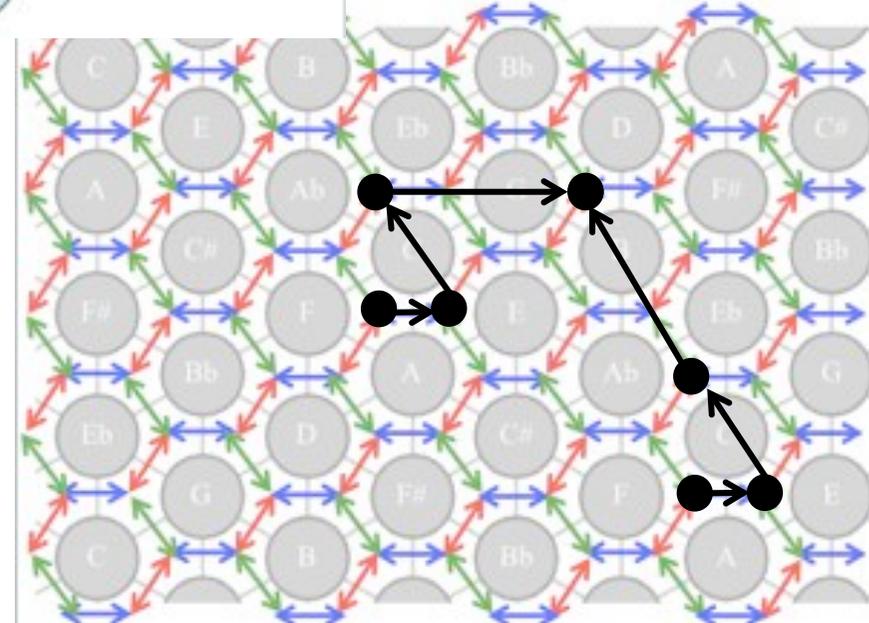
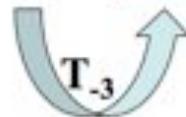
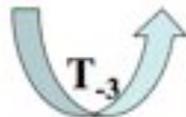
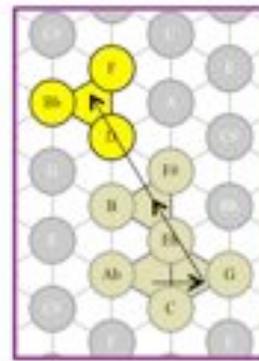
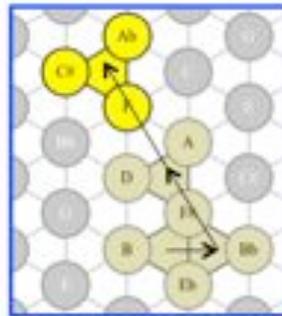
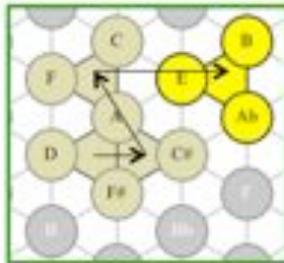
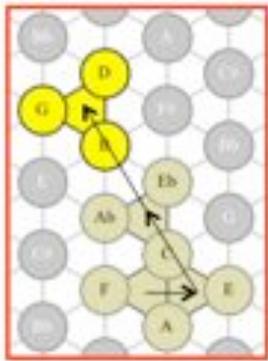
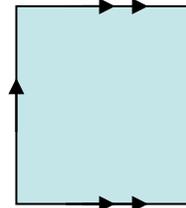
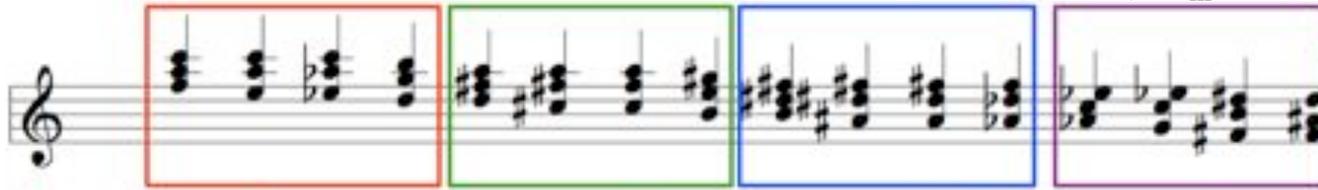
[Guy Capuzzo, *Music Theory Spectrum*, 2004]



« Easy Meat » - 1981 (Frank Zappa)  
min. 1'44" – 2'39"

# La trajectoire de la progression harmonique

Fa la<sub>m</sub> La<sub>r</sub> Sol Ré fa<sub>#m</sub> Fa Mi Si la<sub>#m</sub> Ré Ré<sub>b</sub> La<sub>b</sub> do<sub>m</sub> Si Si<sub>b</sub>







# Progressions harmoniques dans « Madeleine » (Paolo Conte)



**Lab**→**Réb/Fa**→**Sib<sup>7</sup>**→**Mib<sup>7</sup>/Réb**



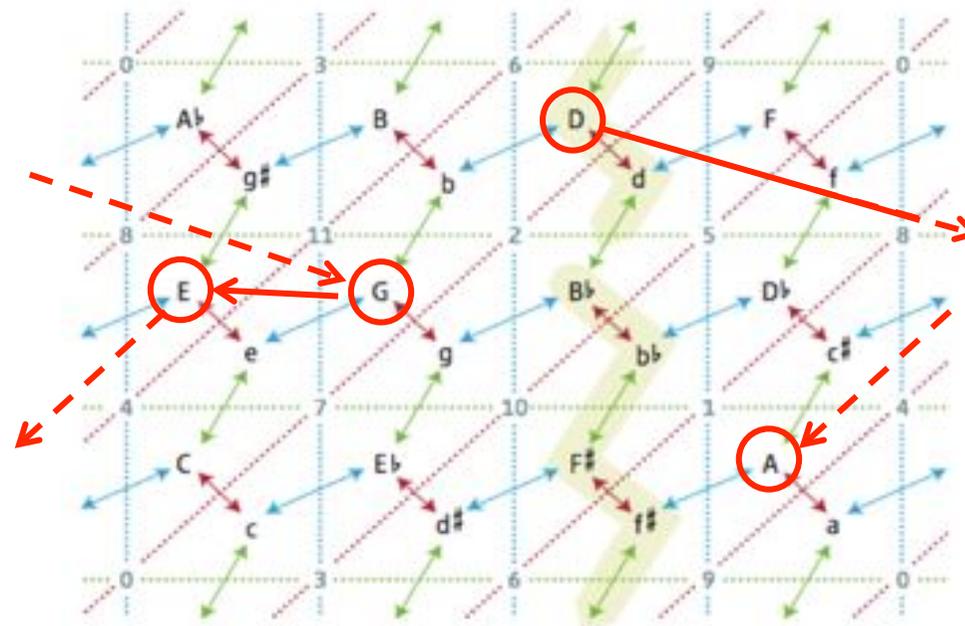
*S. La Via, Poesia per musica e musica per poesia.  
 Dai trovatori a Paolo Conte, Carocci, 2006*

**Lab**→**Réb/Fa**→**Sib<sup>7</sup>**→**Mib<sup>7</sup>/Réb**

**Si/Ré#**→**Mi**→**Do#**→**Fa#**

**Ré/La**→**Sol**→**Mi<sup>7</sup>**→**La<sup>7</sup>**

**Ré**→**Lab<sup>7</sup>**→**Réb**→**Do<sup>7</sup>**→**Mib**

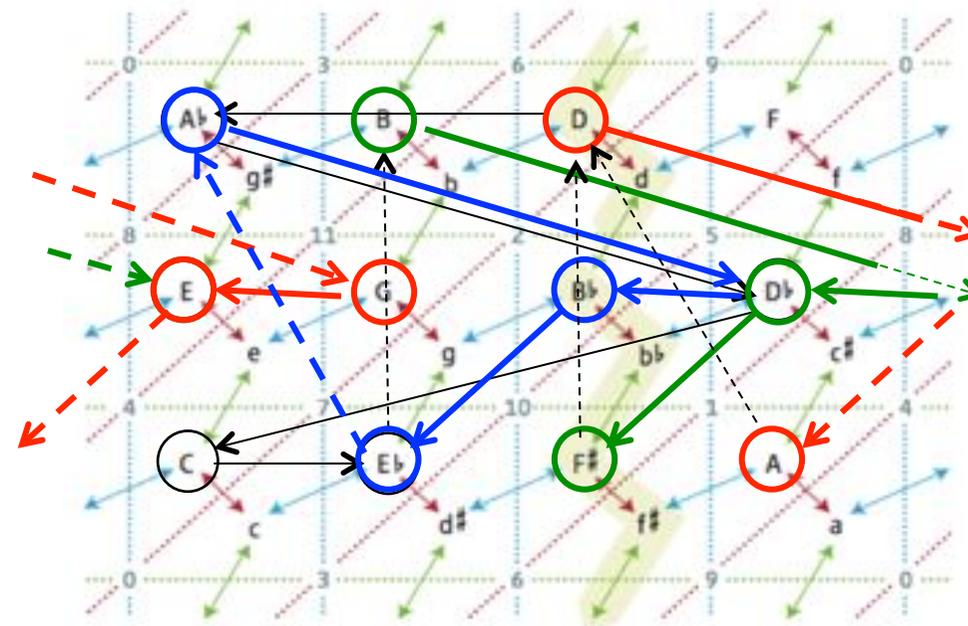
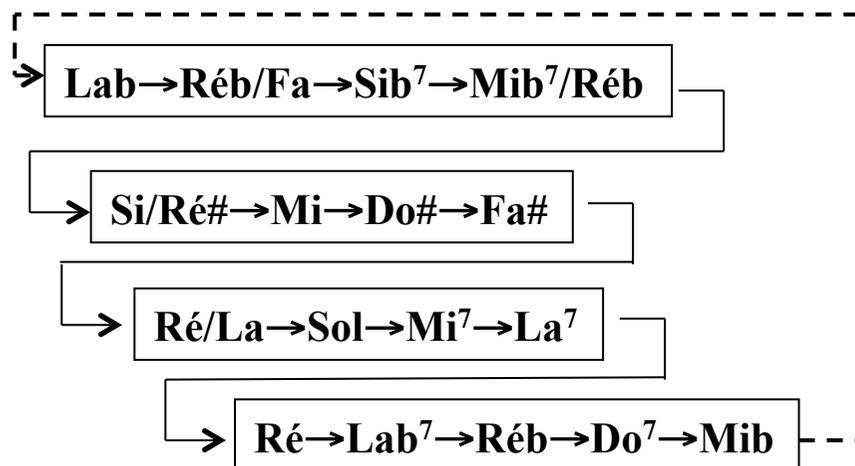


# Progressions harmoniques dans « Madeleine » (Paolo Conte)

**Lab**→**Réb/Fa**→**Sib<sup>7</sup>**→**Mib<sup>7</sup>/Réb**

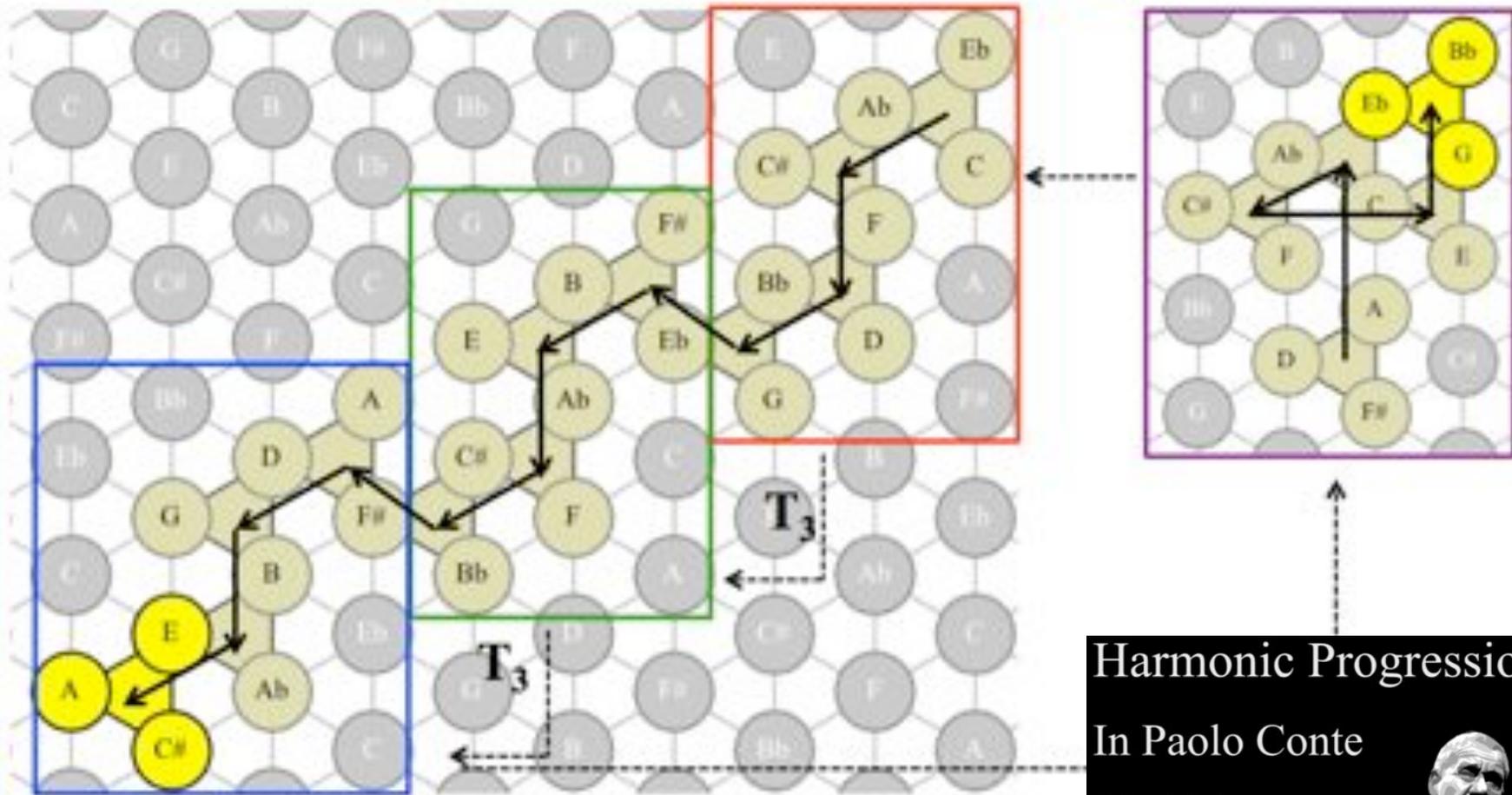


*S. La Via, Poesia per musica e musica per poesia.  
 Dai trovatori a Paolo Conte, Carocci, 2006*



# Progressions harmoniques dans « Madeleine » (Paolo Conte)

La<sub>b</sub> Ré<sub>b</sub> Si<sub>b</sub> Mi<sub>b</sub> Si Mi Ré<sub>b</sub> Fa<sub>♯</sub> Ré Sol Mi La Ré La<sub>b</sub> Ré<sub>b</sub> Do Mi<sub>b</sub>



Harmonic Progressions  
In Paolo Conte  
*Madeleine*



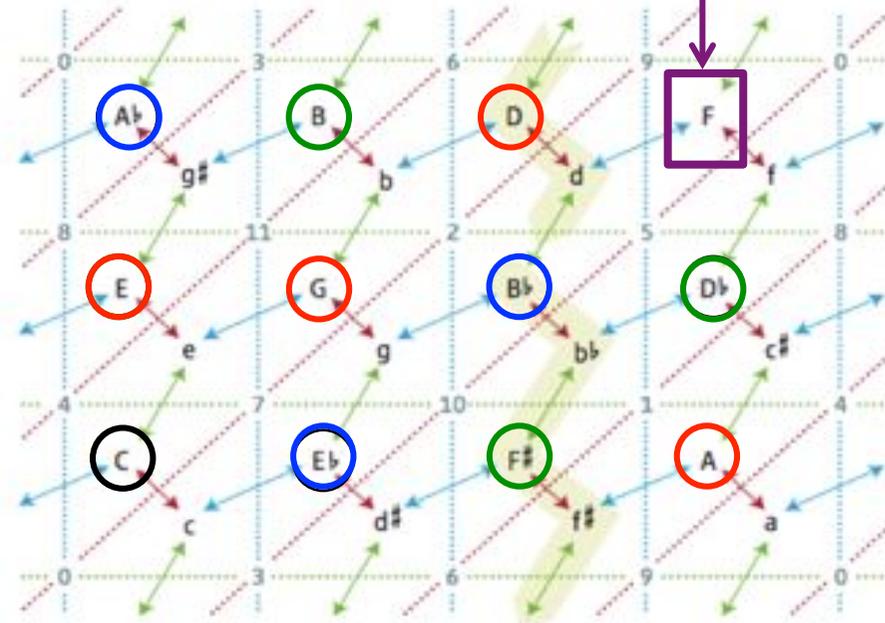
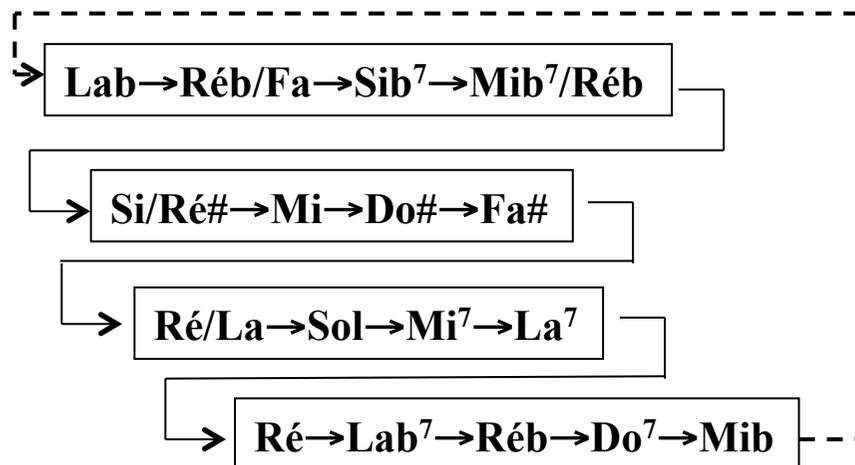
# Recouvrement partiel du *Tonnetz*

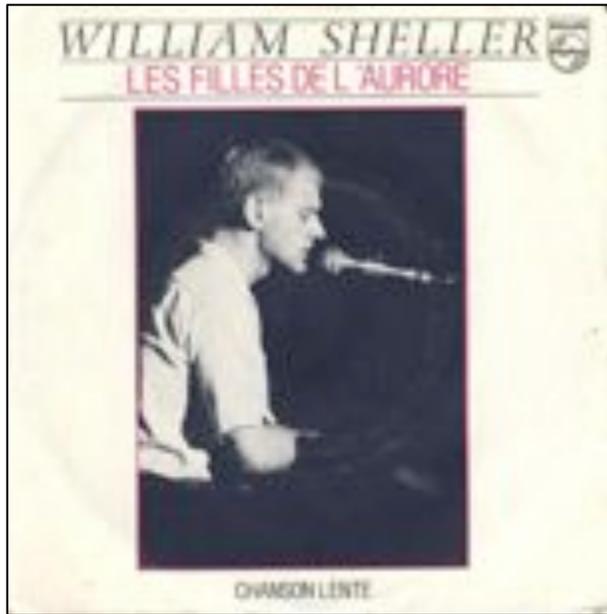


**Lab** → **Réb/Fa** → **Sib<sup>7</sup>** → **Mib<sup>7</sup>/Réb**

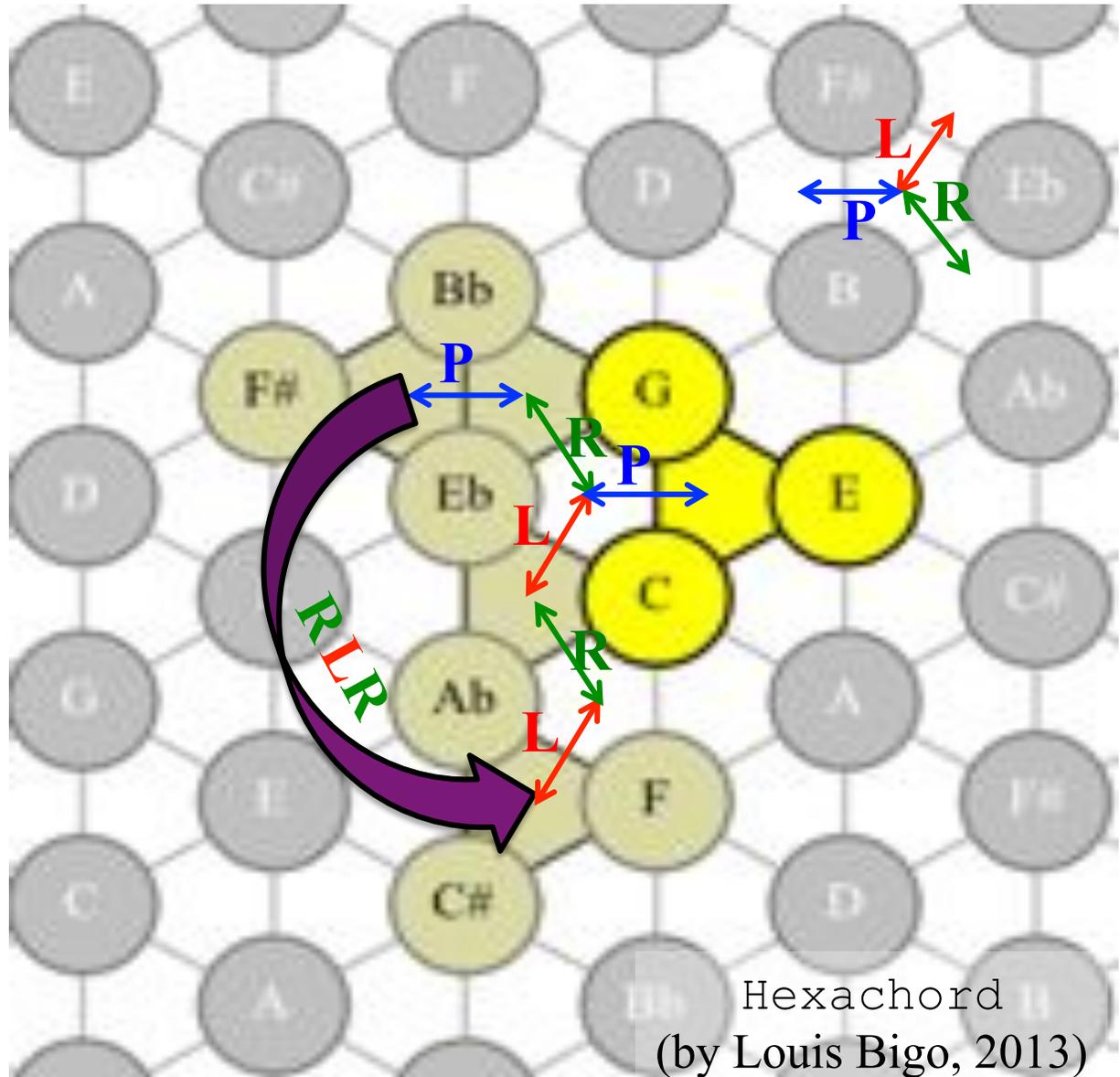
Accord  
majeur  
manquant

S. La Via, *Poesia per musica e musica per poesia.*  
 Dai trovatori a Paolo Conte, Carocci, 2006

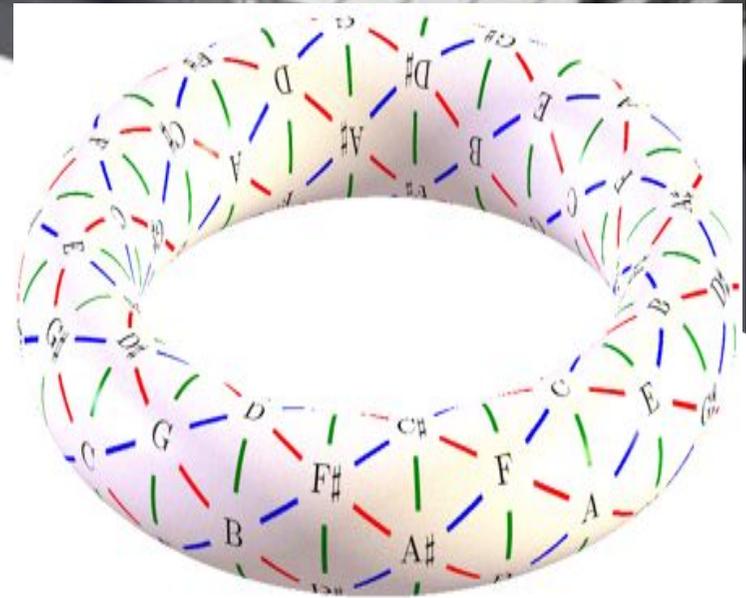
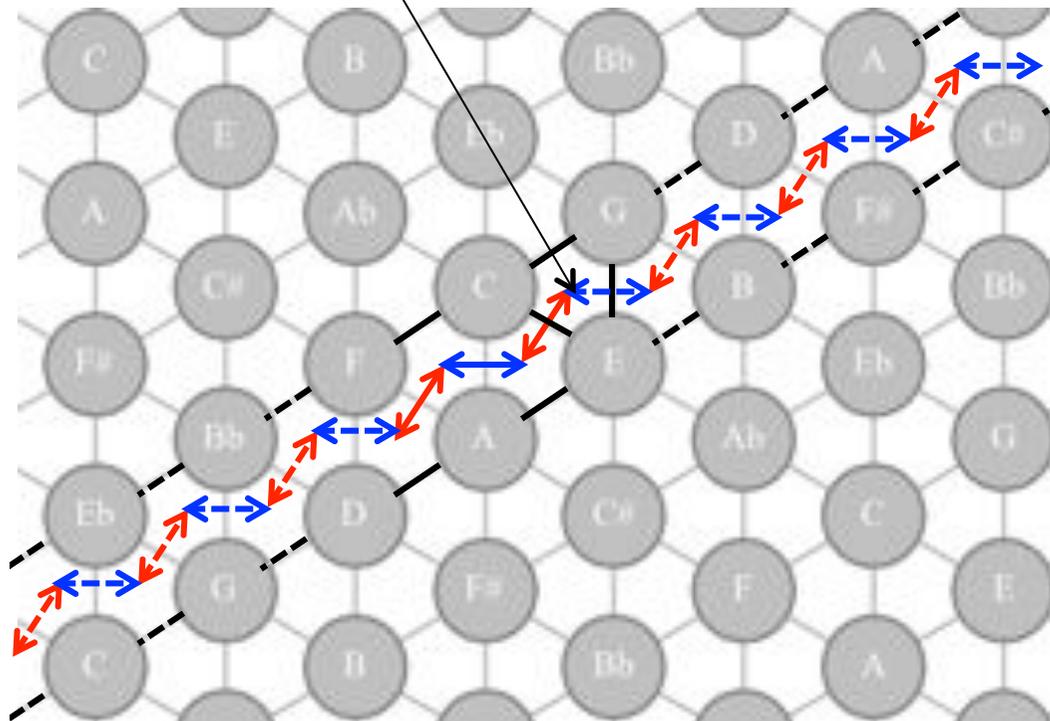
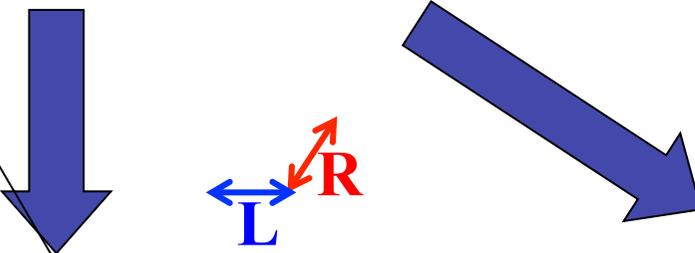
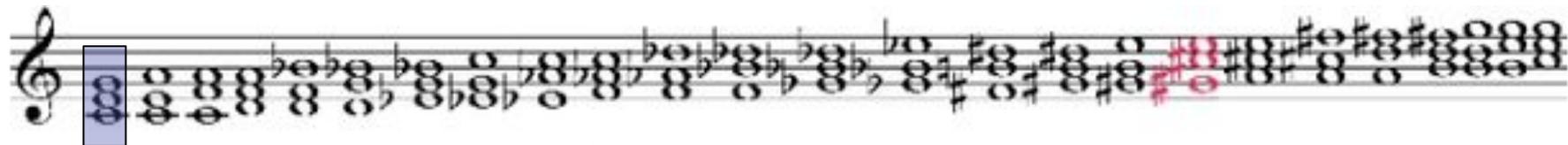




min. 0'33"



# Progressions harmoniques « hamiltoniennes »



# Aprile, chanson hamiltonienne « décadente »

Do ← do<sub>m</sub> ← Sol# ← fa<sub>m</sub> ← Fa ← la<sub>m</sub> ← La ← fa#<sub>m</sub> ← Fa# ← sib<sub>m</sub> ← Do# ← do#<sub>m</sub>

mi<sub>m</sub> → Sol → si<sub>m</sub> → Ré → ré<sub>m</sub> → Sib → sol<sub>m</sub> → Mib → mib<sub>m</sub> → Si → sol#<sub>m</sub> → Mi

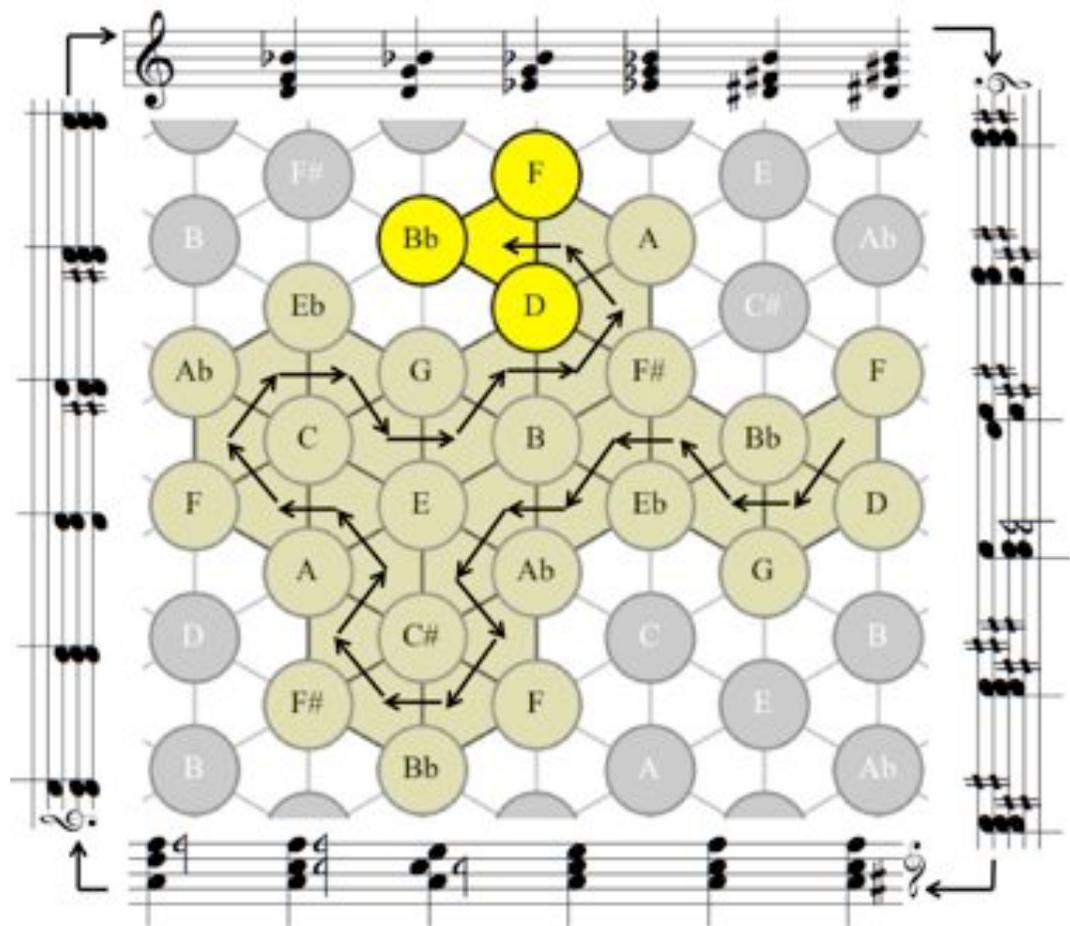
La fenêtre est entr'ouverte, sur le jardin.  
 Une heure passe, lente, somnolente.  
 Et elle, d'abord attentive, finit par s'endormir.  
 À cette voix qui là-bas se lamente,  
 Qui se lamente au fond de ce jardin.

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'abîment dans cette vie  
 Comme s'abîment 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.



G. D'Annunzio (1863-1938)









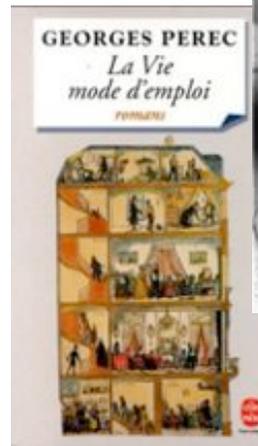




# Les contraintes dans l'art : l'OuLiPo (Ouvroir de Littérature Potentielle)



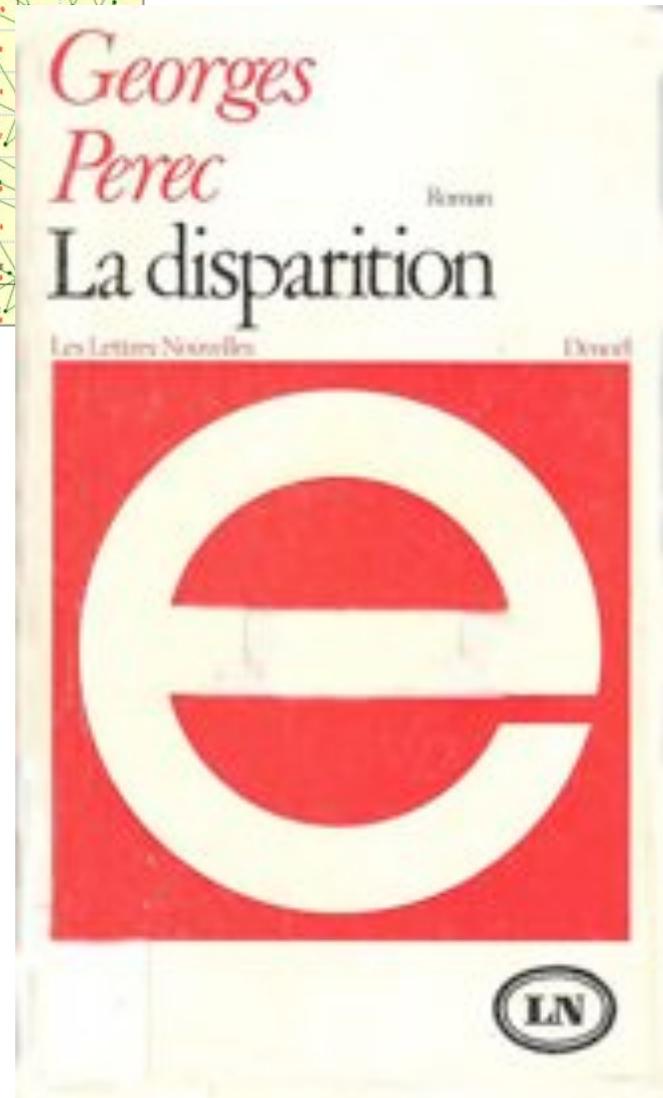
*Cent mille milliards de poèmes, 1961*



*La vie mode d'emploi,*



**Georges Perrec**



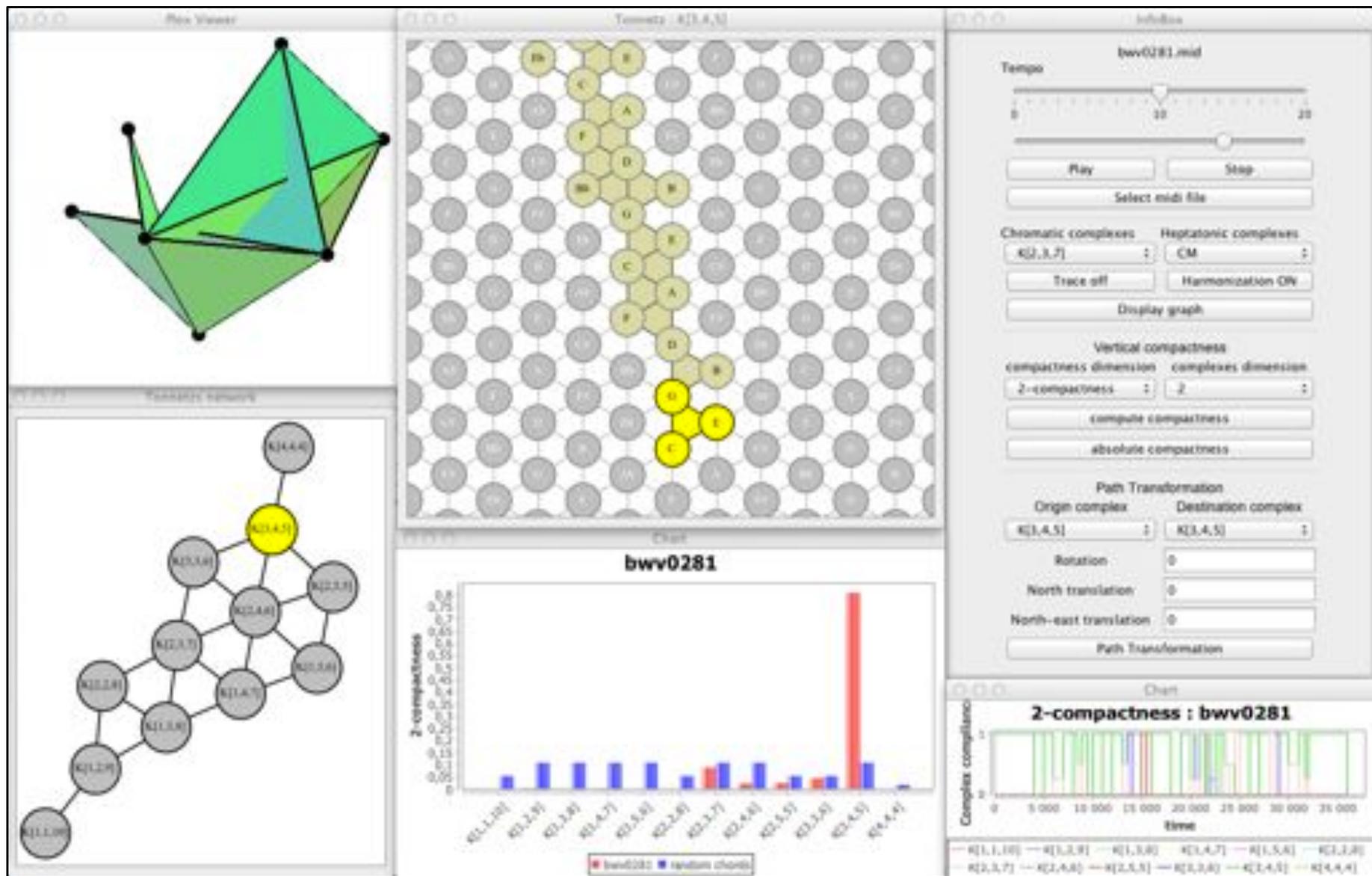
**Raymond Queneau**



**Italo Calvino**  
*Le Château des destins croisés, 1969*

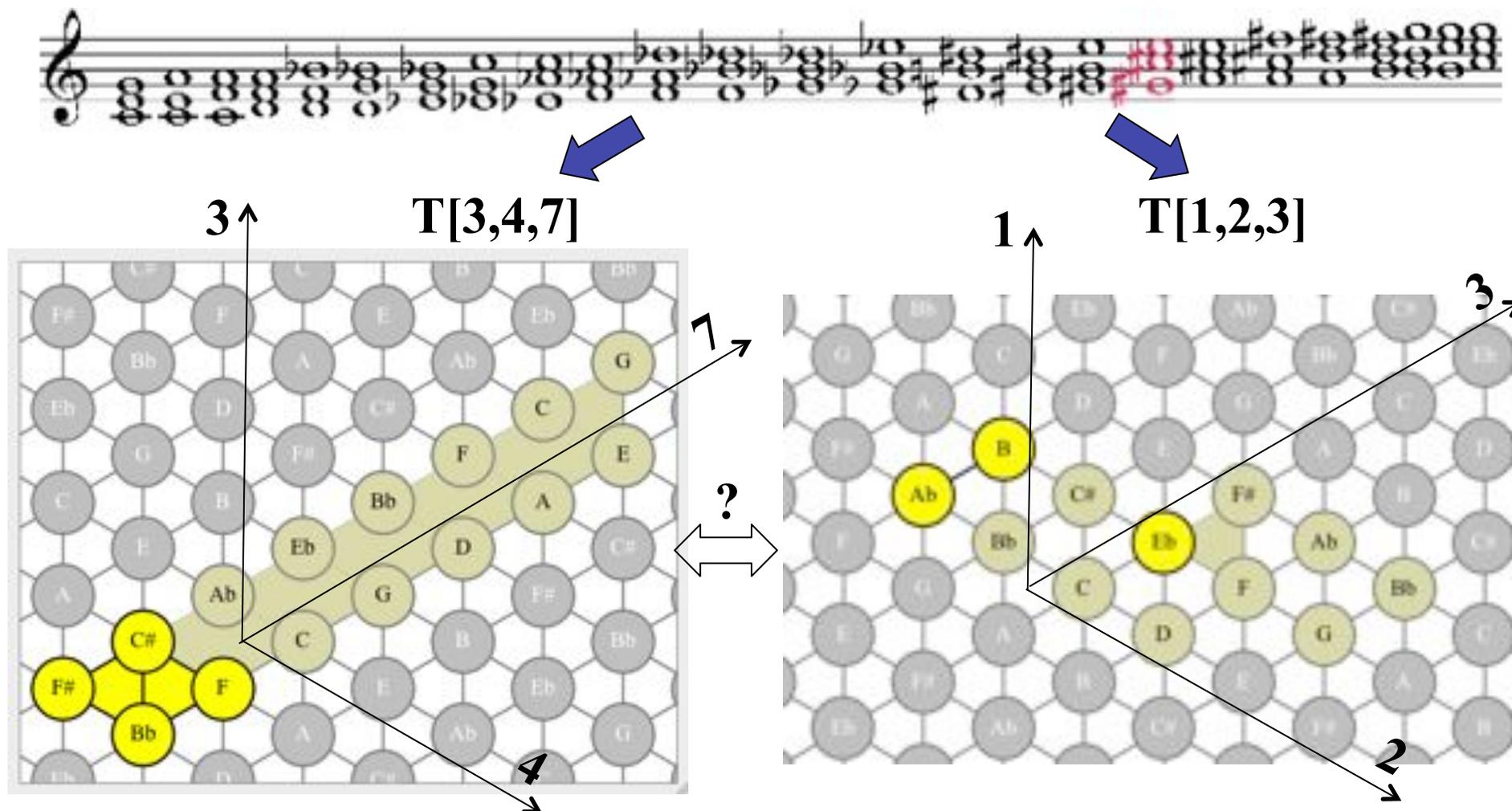


# Hexachord et le problème de la classification stylistique



→ <http://www.lacl.fr/~lbiggo/hexachord>

# Le caractère spatial de la « logique musicale »



L. Bigo, M. Andreatta, J.-L. Giavitto, O. Michel, et A. Spicher, « Computation and Visualization of Musical Structures in Chord-based Simplicial Complexes », Proceedings Mathematics and Computation in Music Conference 2013 – Montreal, Springer

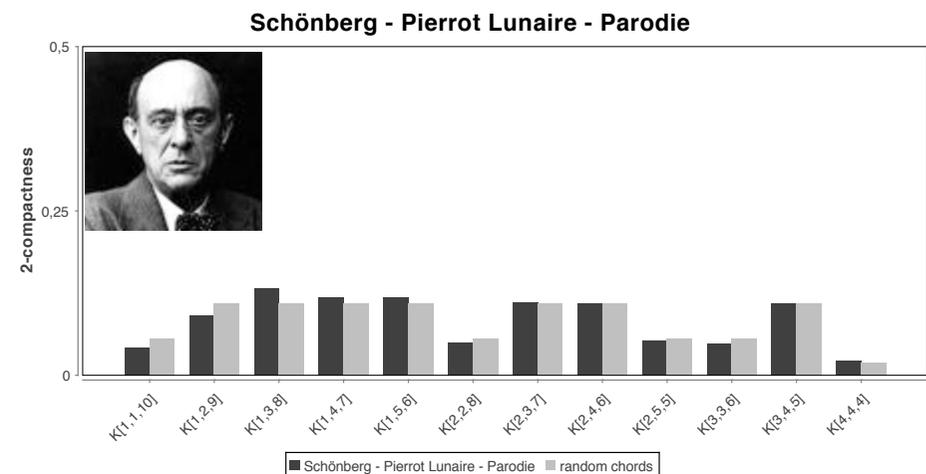
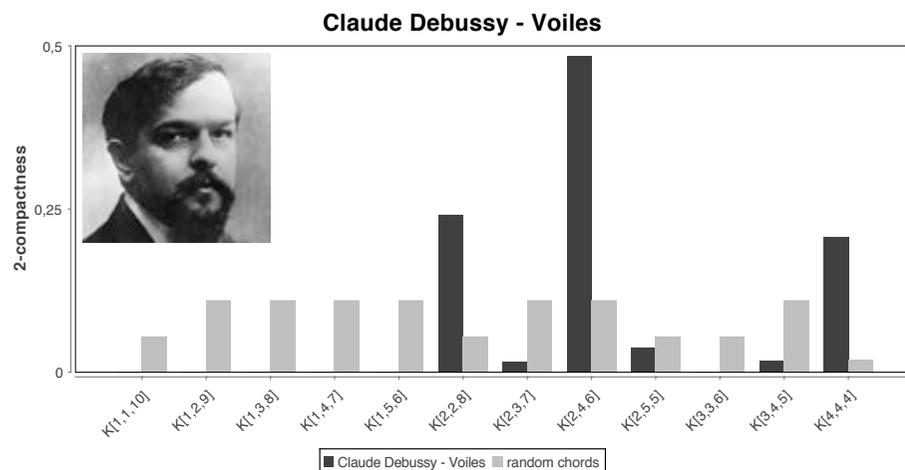
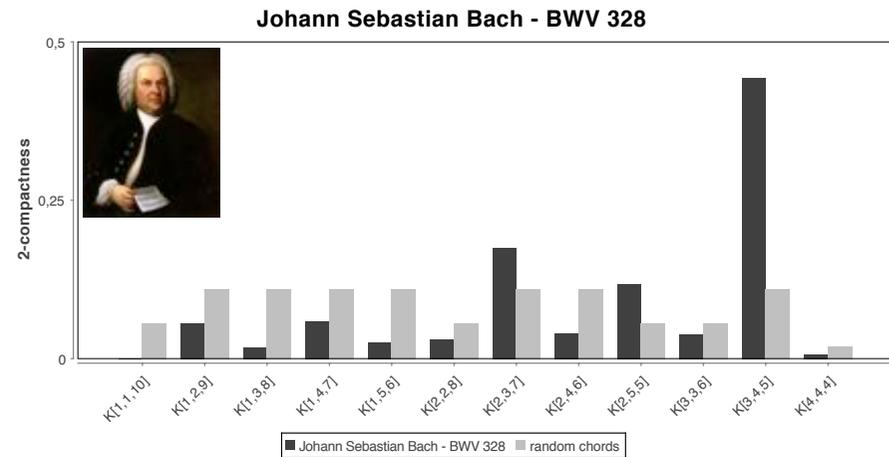
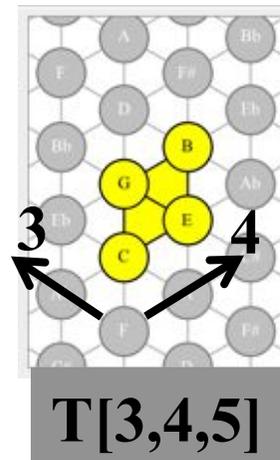
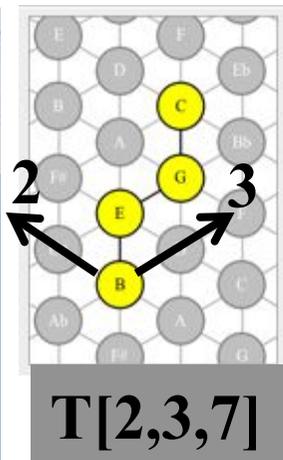
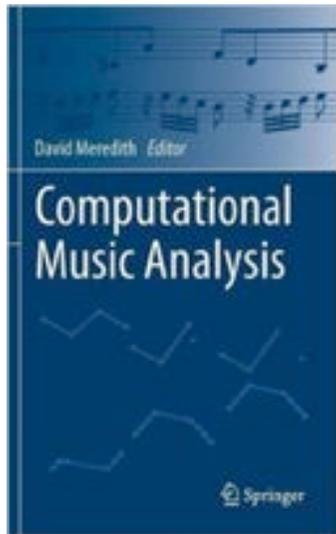


# Le caractère spatial de la « logique musicale »

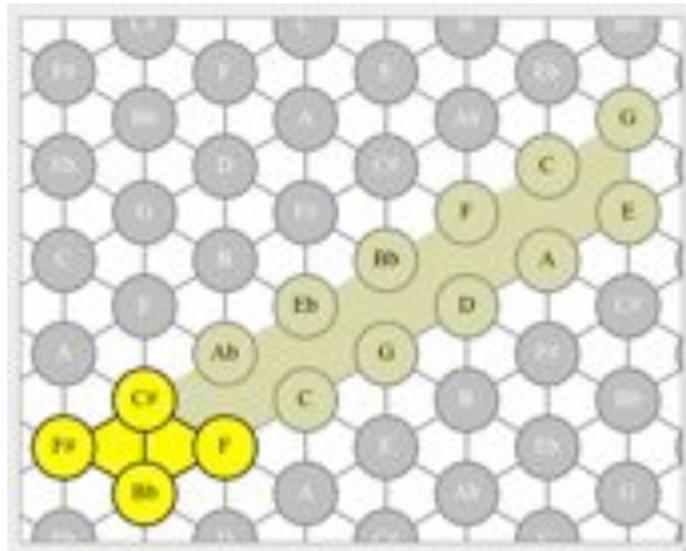
Bigo L., M. Andreatta, « Musical analysis with simplicial chord spaces », in D. Meredith (ed.), *Computational Music Analysis*, Springer, 2015



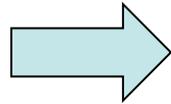
Louis Bigo



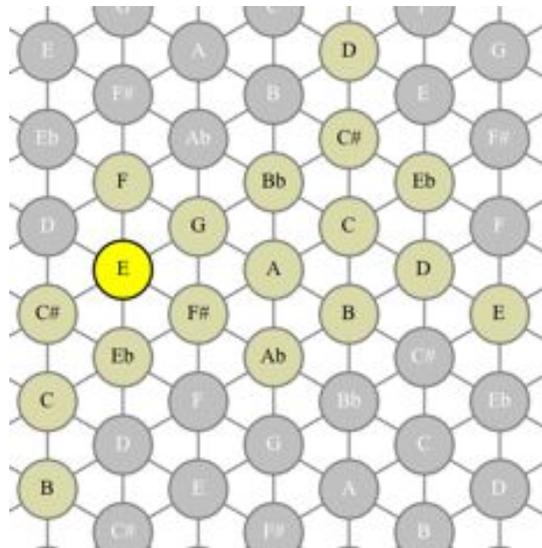
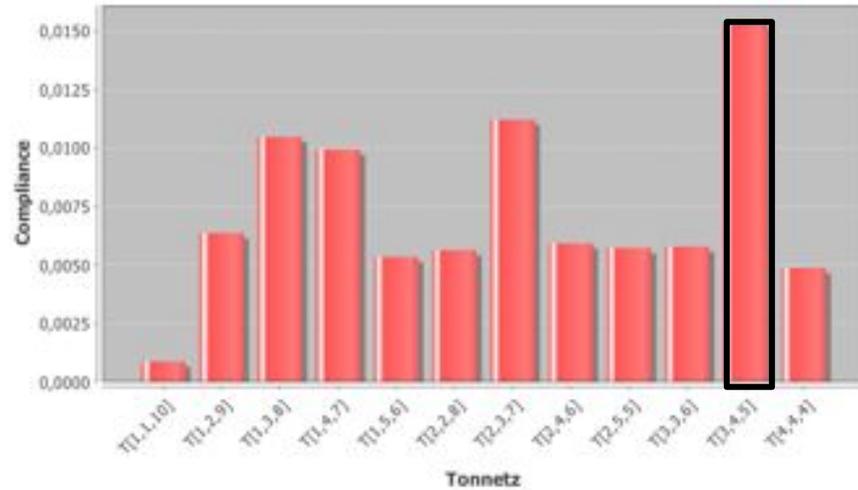
# Le caractère spatial du « style musical »



T[3,4,7]



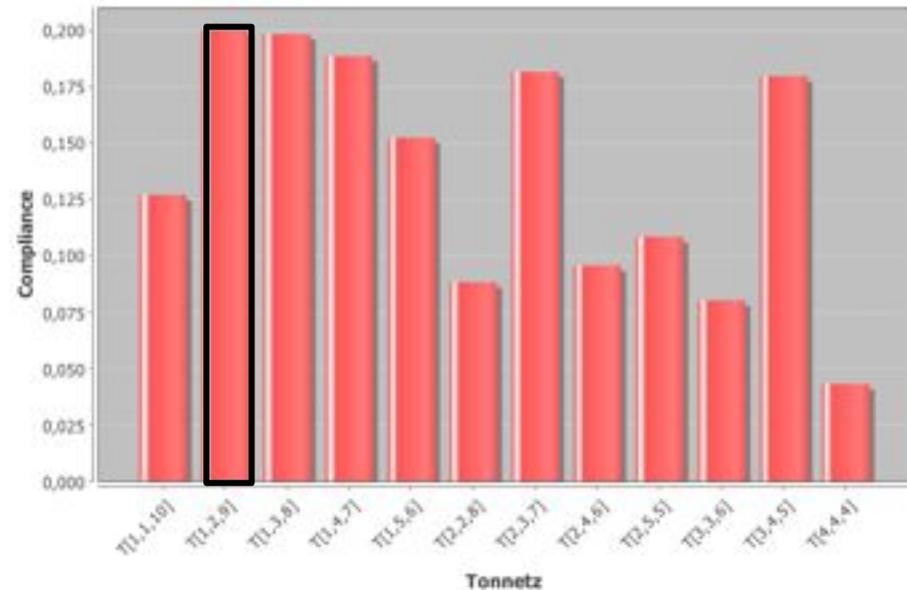
Beethoven, 2<sup>e</sup> mouvement de la 9<sup>e</sup> Symphonie



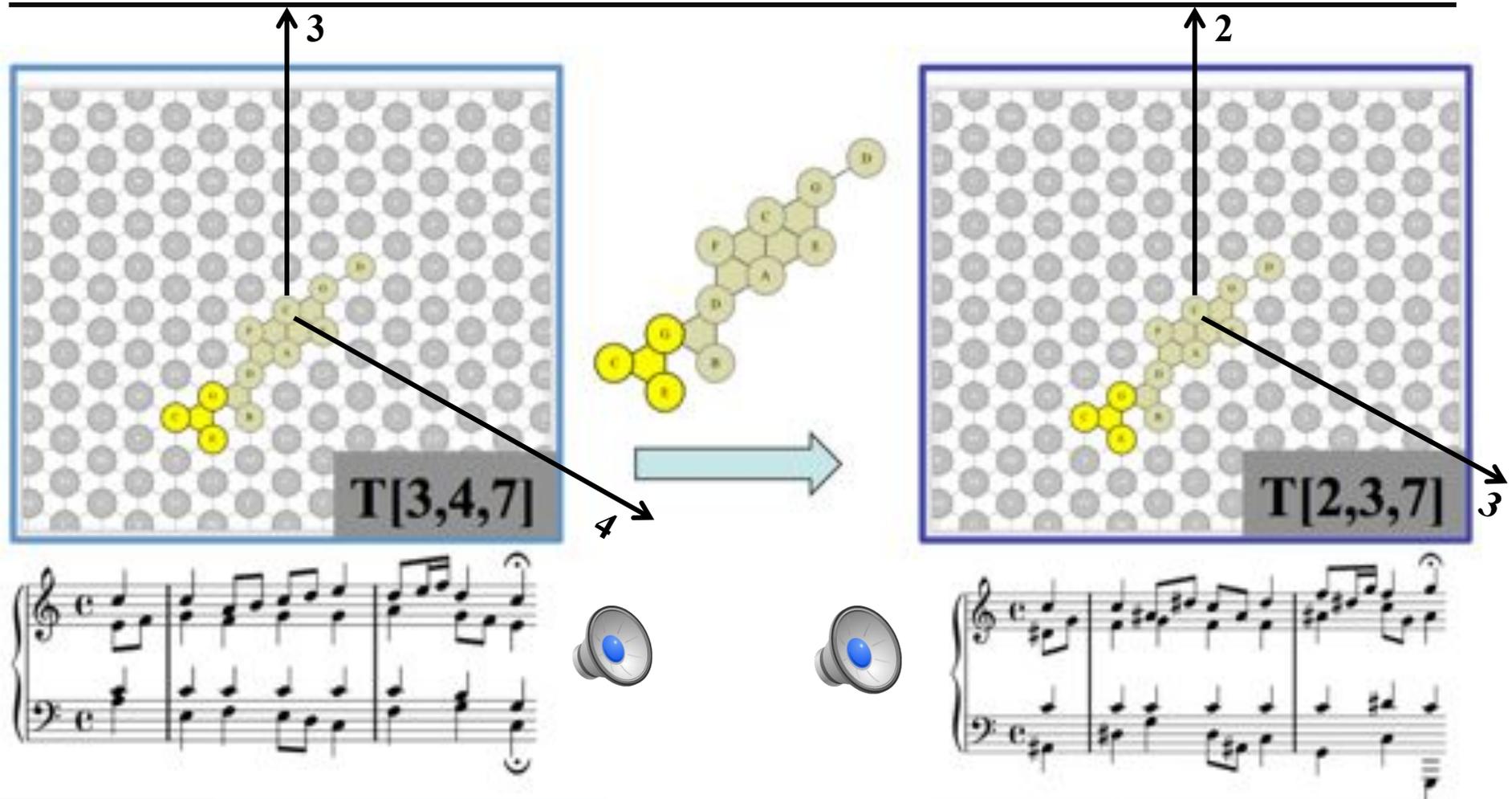
T[1,2,9]



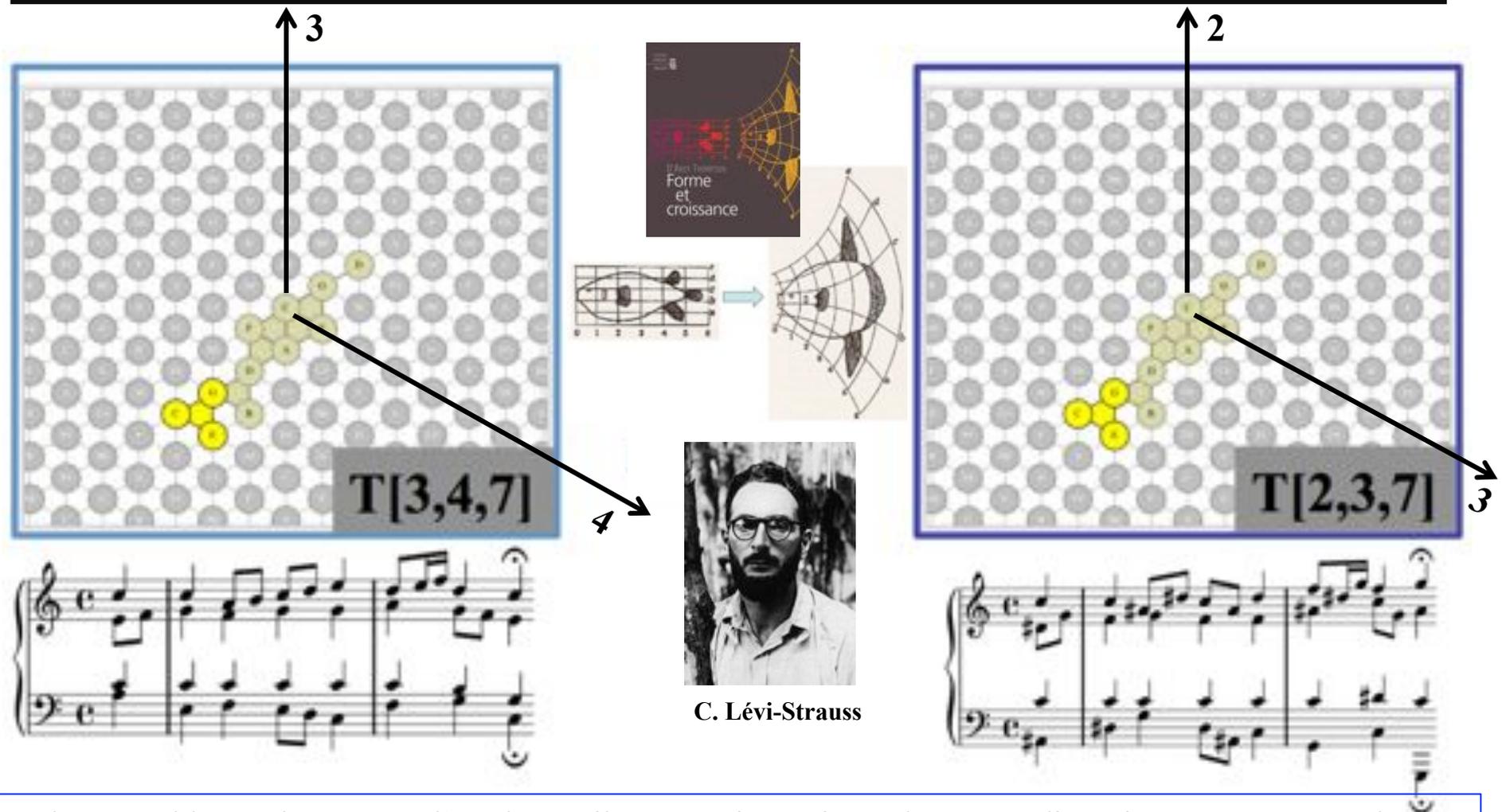
Babbitt, *Semi-Simple Variations*



# Transformations géométriques de l'espace



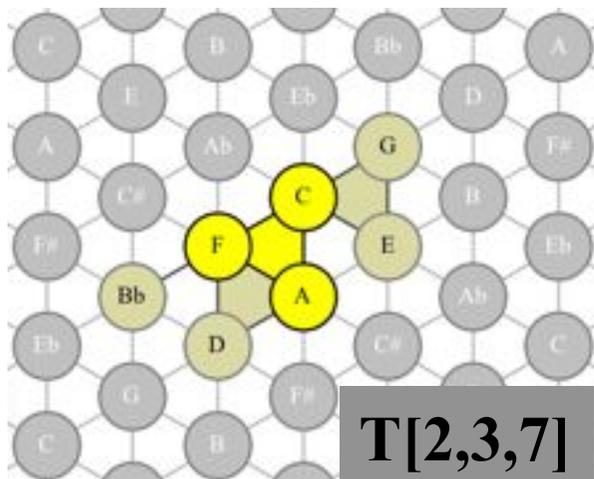
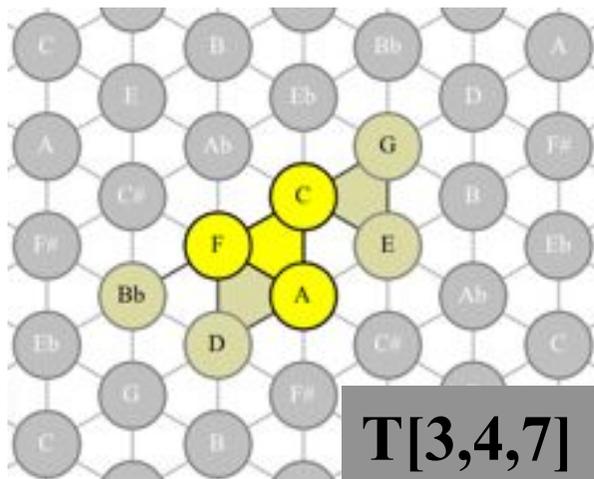
# Généalogie morphologique du structuralisme (selon J. Petitot)



« Il me semble que le **style** est l'un des outils opératoire majeurs dont nous disposons pour essayer de comprendre la corrélation entre la nature et la culture... Dans le domaine de la musique [...] il ne fait aucun doute, dans mon esprit, qu'il est possible de passer d'une mélodie classique à une mélodie moderne par une **transformation purement mathématique** dont les compositeurs sont, bien entendu, totalement ignorants. Mais le fait saillant à propos du style, c'est que l'esprit humain travaille inconsciemment dans une direction comparable à celle de la nature » (Lévi-Strauss, 1953 / tr. J.-J. Nattiez 1973).

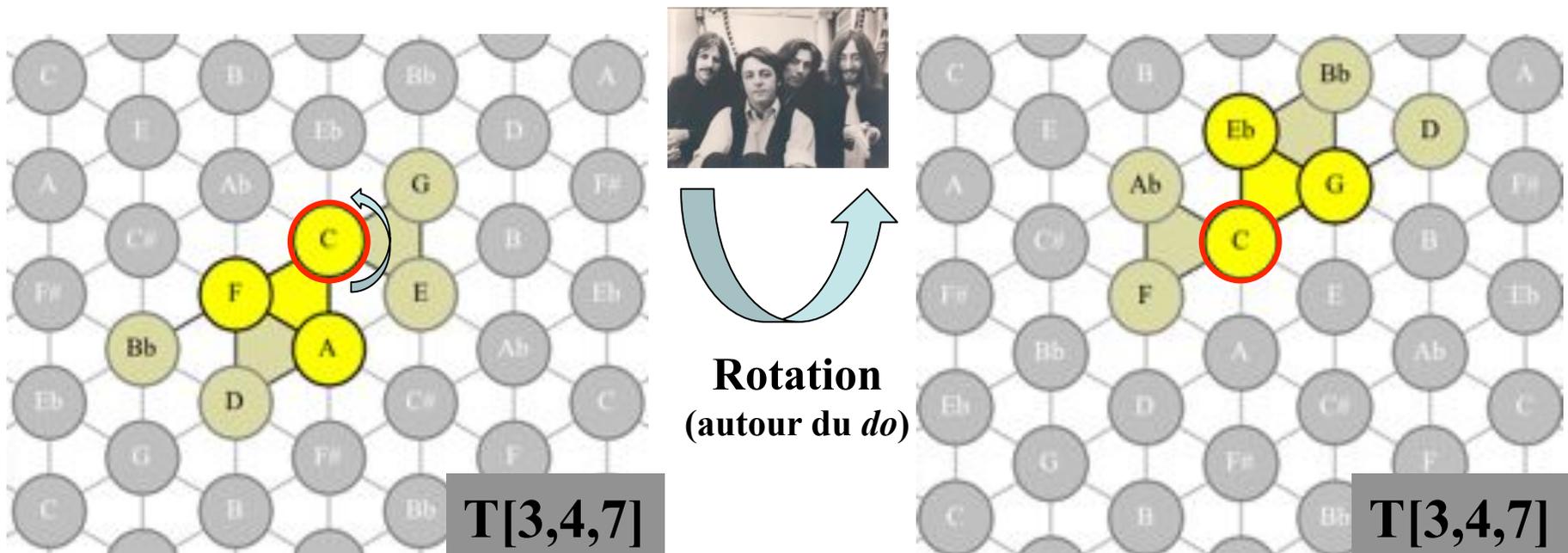
# Transformations des trajectoires

## Isomorphisme d'un espace support vers un autre espace

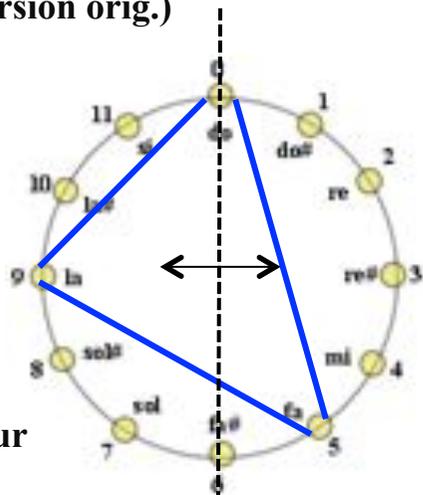


Transformation sur l'espace	Transformation sur la trajectoire	Transformation musicale
$\mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{chrom}}]} \rightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{chrom}}]}$	Translation	Transposition chromatique
	Symétrie centrale	Inversion chromatique
	Rotation d'angle $\omega\pi$ Symétrie axiale	?
	Homothétie ( $\Leftrightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{chrom}}]} \rightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X'_{\text{chrom}}]}$ )	?
$\mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{sep}}]} \rightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{sep}}]}$	Translation	Transposition modale
	Symétrie centrale	Inversion modale
	Rotation d'angle $\omega\pi$ Symétrie axiale	?
	Homothétie ( $\Leftrightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{sep}}]} \rightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X'_{\text{sep}}]}$ )	?
$\mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{chrom}}]} \rightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X'_{\text{chrom}}]}$	Piongement	?
$\mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{sep}}]} \rightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X'_{\text{sep}}]}$	Piongement	?
$\mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{sep}}]} \rightarrow \mathcal{K}^s_{\mathbb{Z}[X_{\text{sep}}]}$	Piongement	Transposition chromatique (+ transposition modale)
Trace $\rightarrow$ Trace	Isométrie	Permutation dans le temps des ensembles de notes
$\mathcal{K} \rightarrow \mathcal{K}$	Isométrie	?
$\mathcal{K} \rightarrow \mathcal{K}'$	Piongement	?

# Transformations géométriques *dans l'espace*

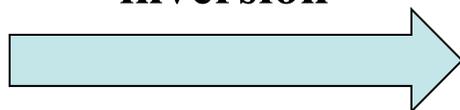


Beatles, Hey Jude  
(version orig.)

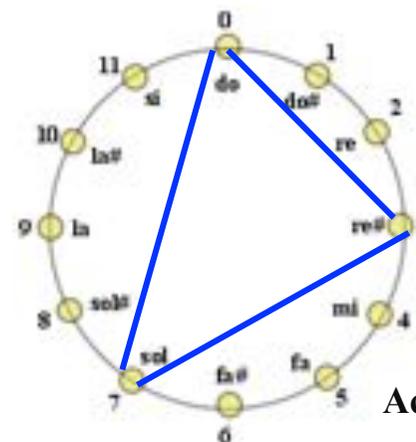


Accord majeur

inversion



Beatles, Hey Jude  
(version transformée)



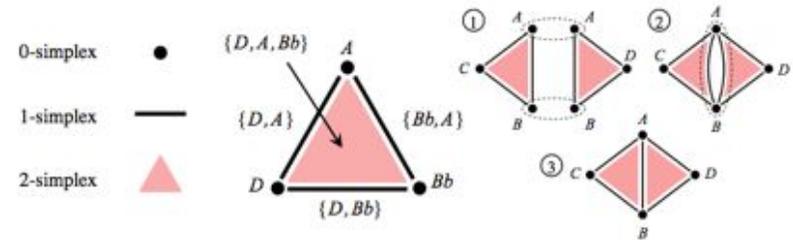
Accord mineur



# Vers une signature topologique d'une pièce de musique

## Une approche structurale au *Music Information Retrieval*

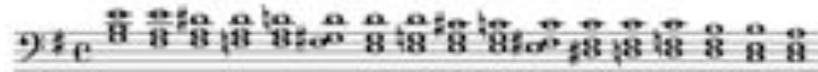
Les simplexes et leur auto-assemblage



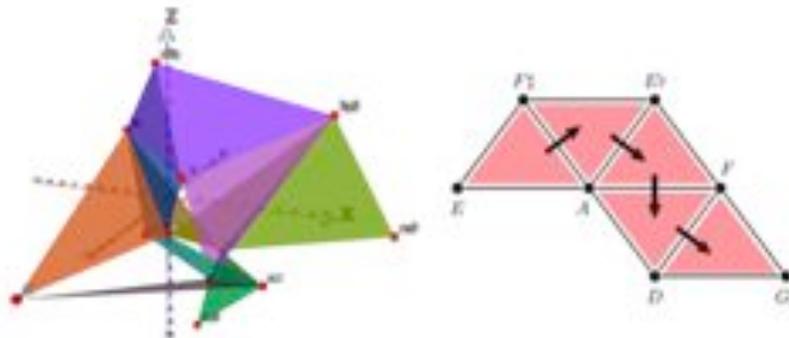
La partition



Partition réduite



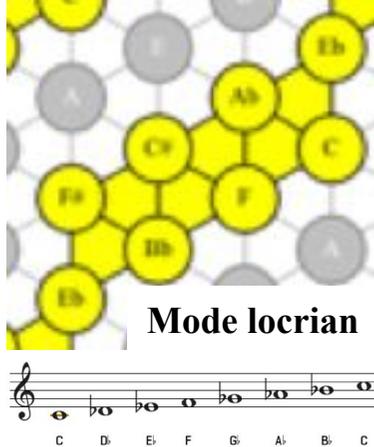
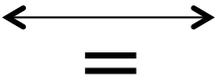
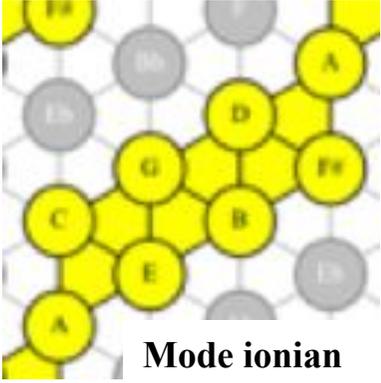
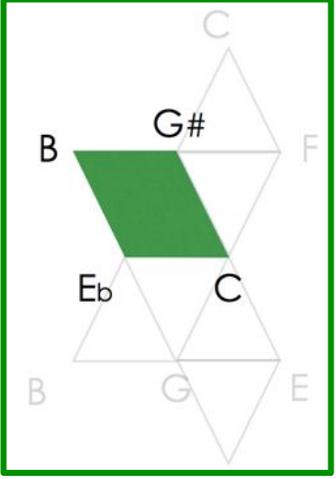
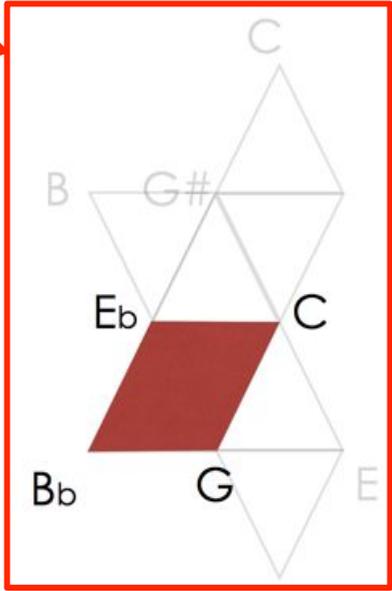
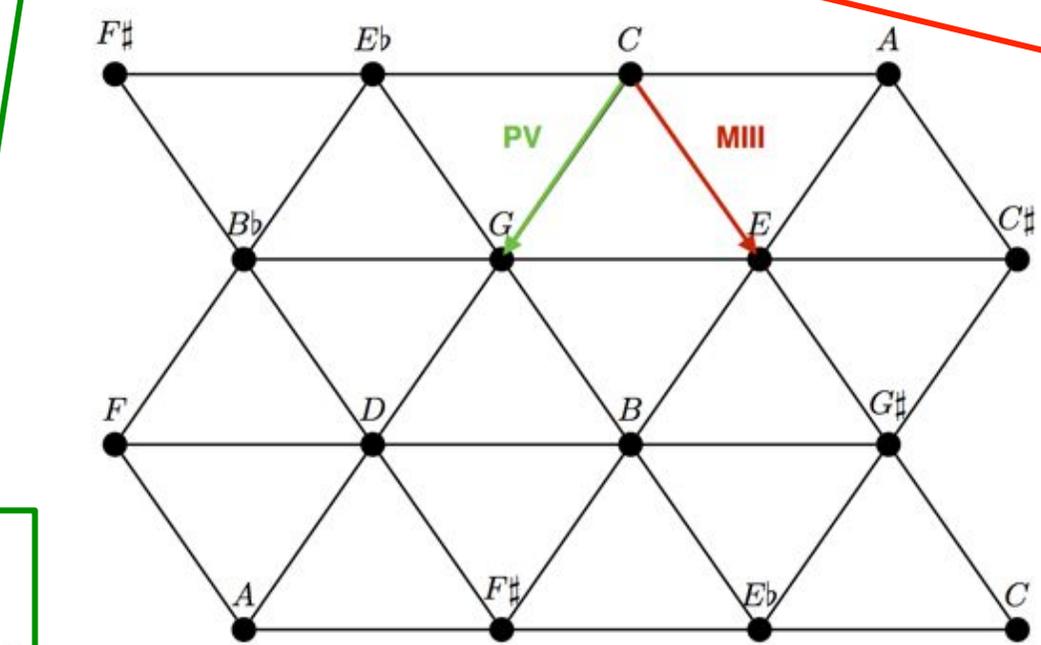
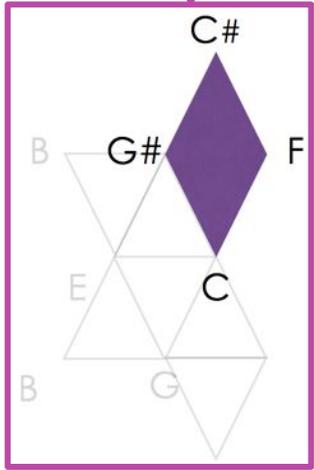
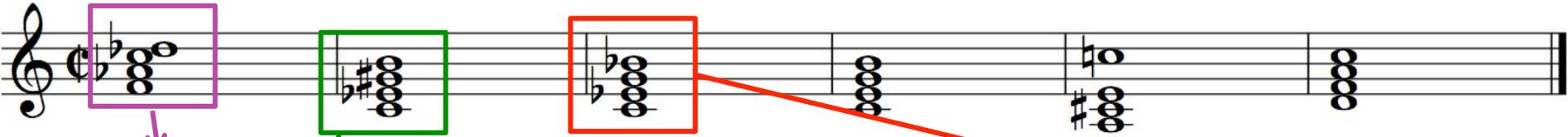
Le complexe simplicial engendré par la pièce



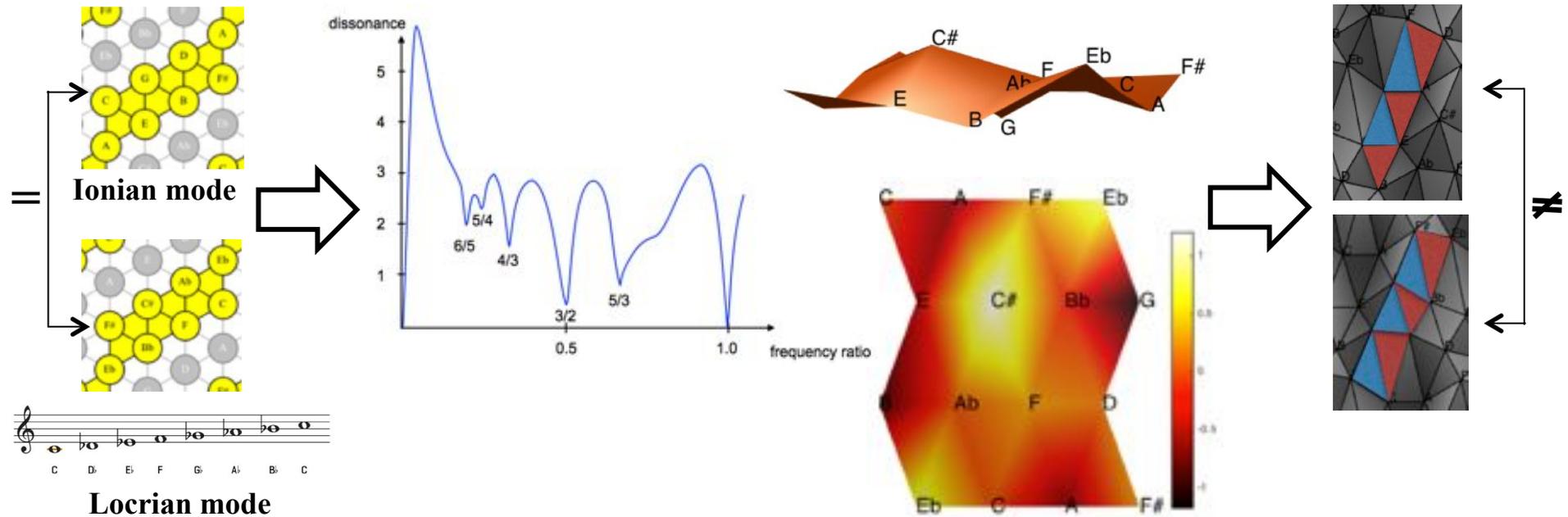
**Signature topologique**

Une trajectoire spécifique dans le complexe

# Limitations du *Tonnetz* isotrope



# Articulations signe/signal dans le MIR



M. Bergomi, *Dynamics and Algebraic Topology Tools for Music in the Symbolic/Signal interaction domain*, ongoing PhD

→ Vers une modélisation géométrique dynamique d'une pièce ?

ESPACE  $\rightleftarrows$  MUSIQUE  
?

→ Vers une signature topologique d'une pièce de musique ?

# Le modèle S&C et l'alignement des séquences



Ph. Esling



M. Bergomi

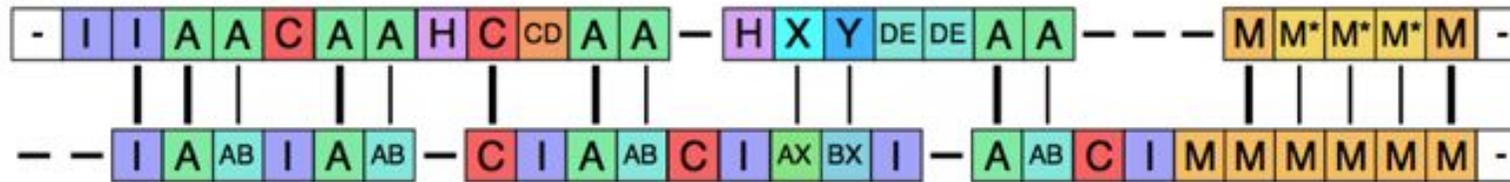
- Ph. Esling, M. Bergomi, « Rock Around the Molecular Clock » (paper in preparation, preliminary results of the « Math'n Pop » Workshop, ICM-SMC Conference, Athens, 14-20 septembre 2014)

The Beatles - *Come together*    I A AB I A AB C I A AB C AX BX I A AB C I M M M M M M -

The Cure - *The figurehead*    - I I A A C A A H C CD A A H X Y DE DE A A M M\* M\* M\* M -



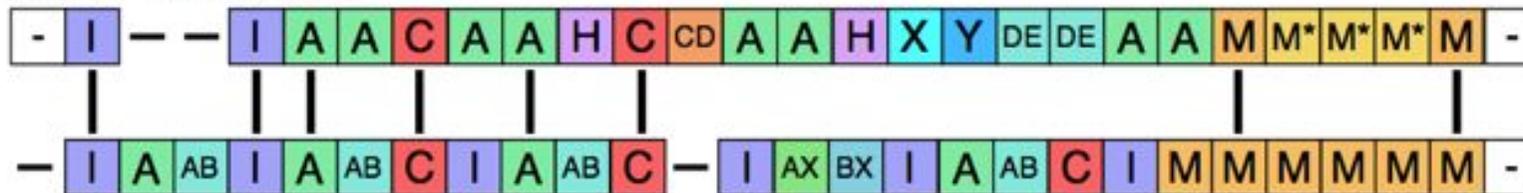
The Cure - *The figurehead*



The Beatles - *Come together*



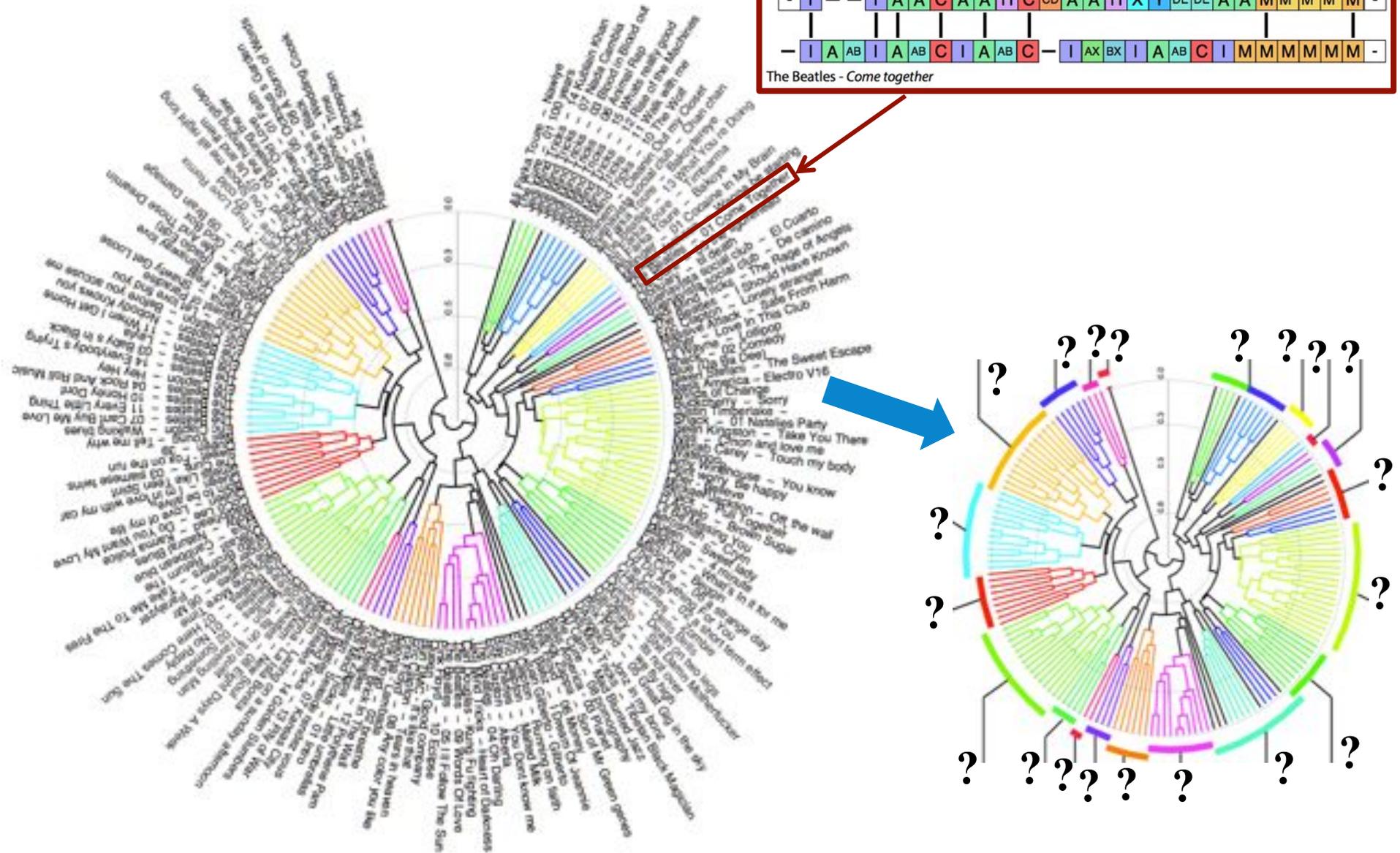
The Cure - *The figurehead*



The Beatles - *Come together*

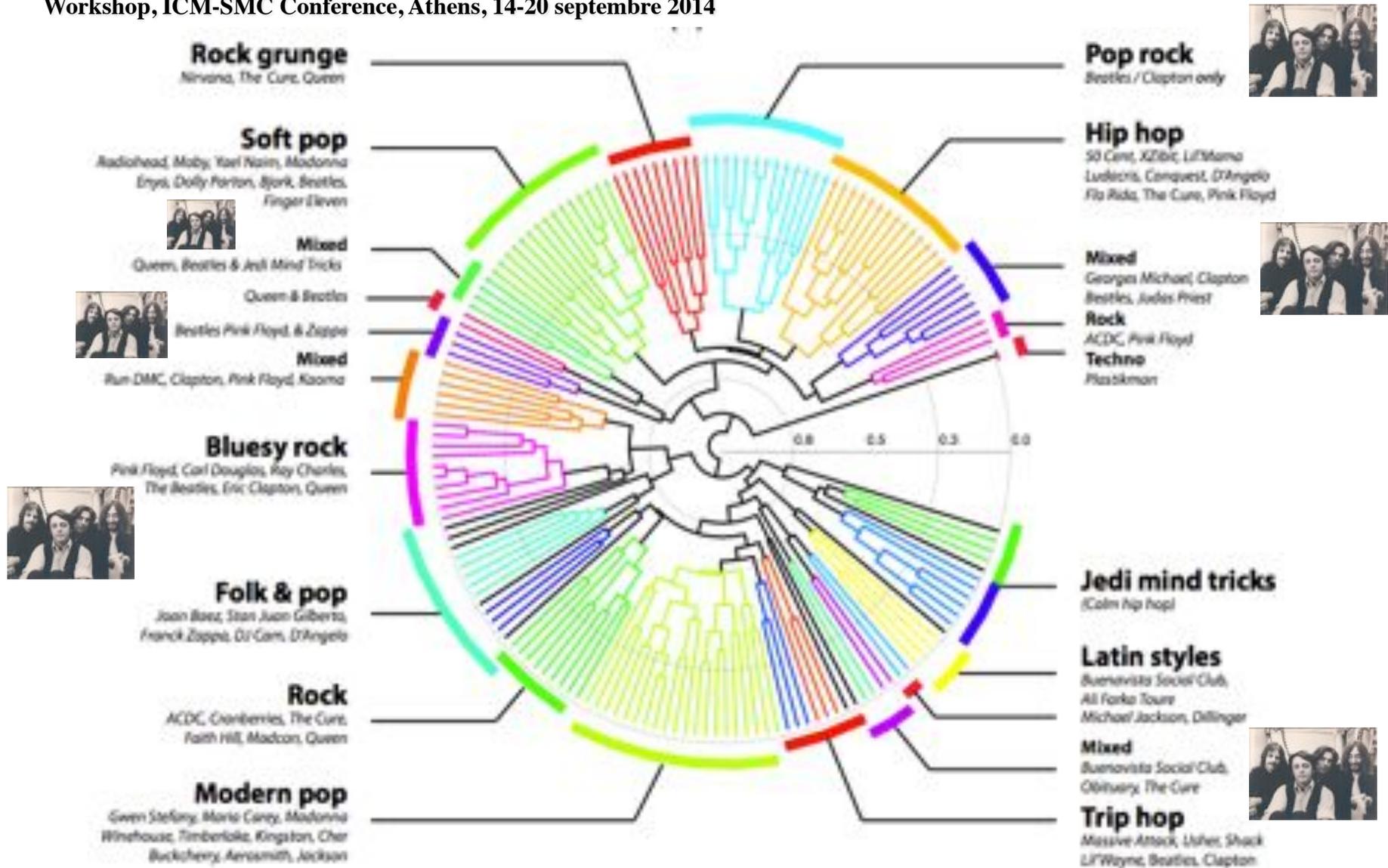
# Le Molecular Clock de la pop (base *Quaero* : ~ 159 morceaux)

- Ph. Esling, M. Bergomi, « Rock Around the Molecular Clock » (paper in preparation, preliminary results of the « Math'n Pop » Workshop, ICM-SMC Conference, Athens, 14-20 septembre 2014)

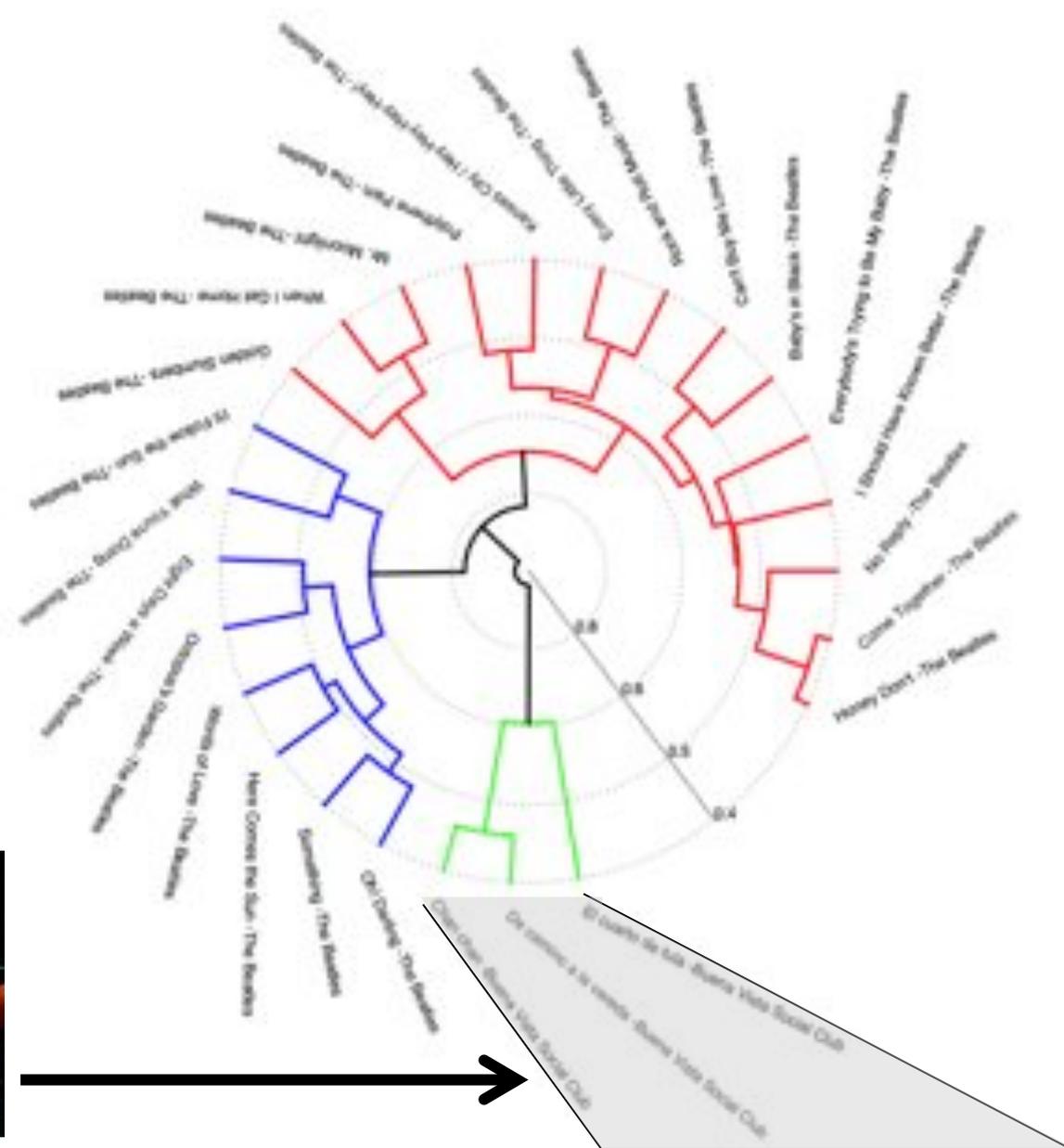
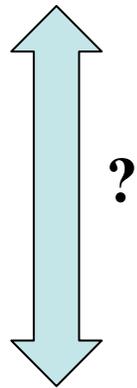


# Les chansons des Beatles dans le molecular clock

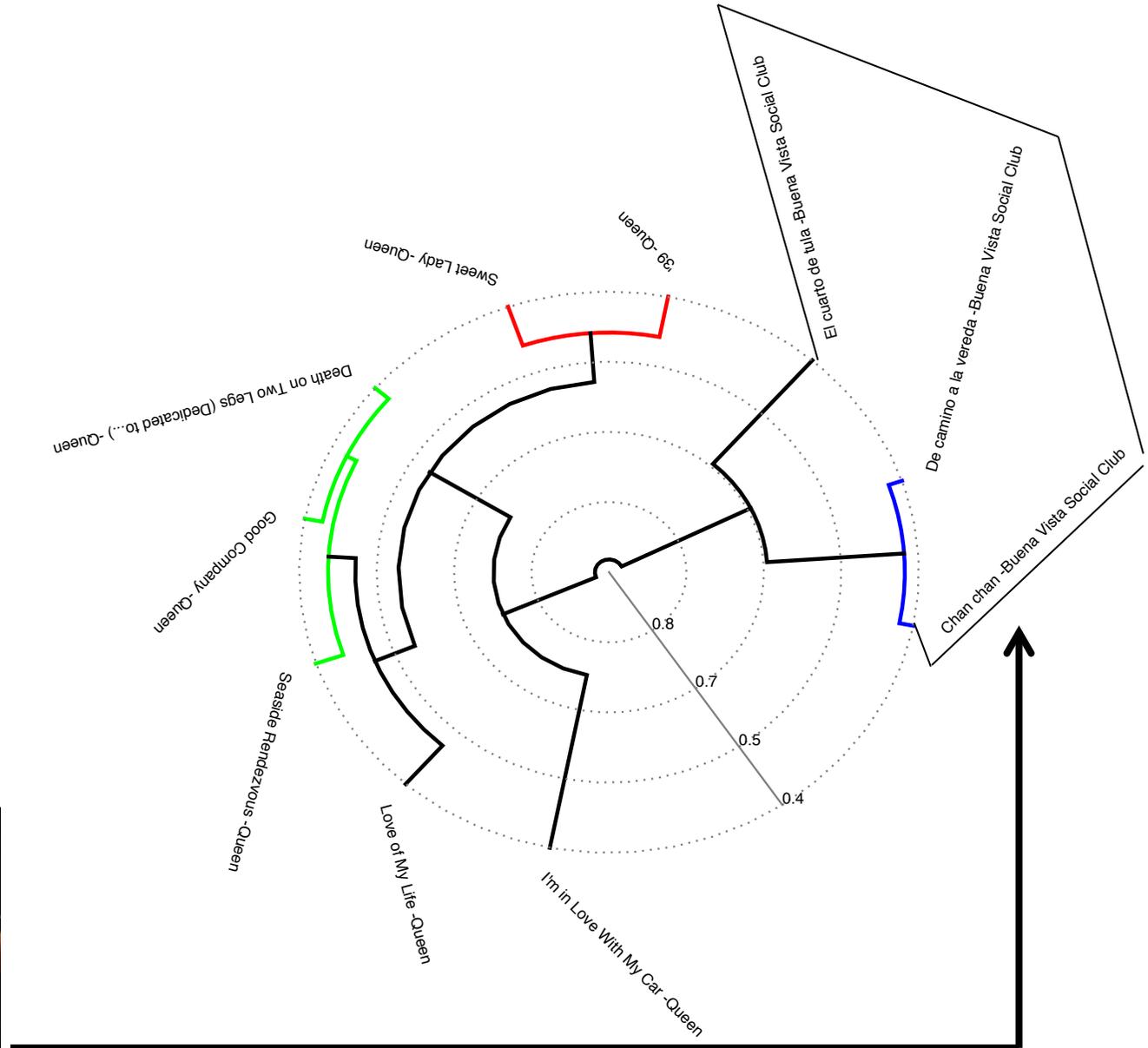
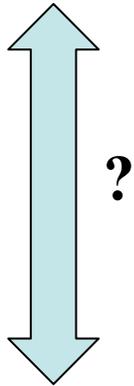
- Ph. Esling, M. Bergomi, « Rock Around the Molecular Clock » (paper in preparation, preliminary results of the « Math'n Pop » Workshop, ICM-SMC Conference, Athens, 14-20 septembre 2014)



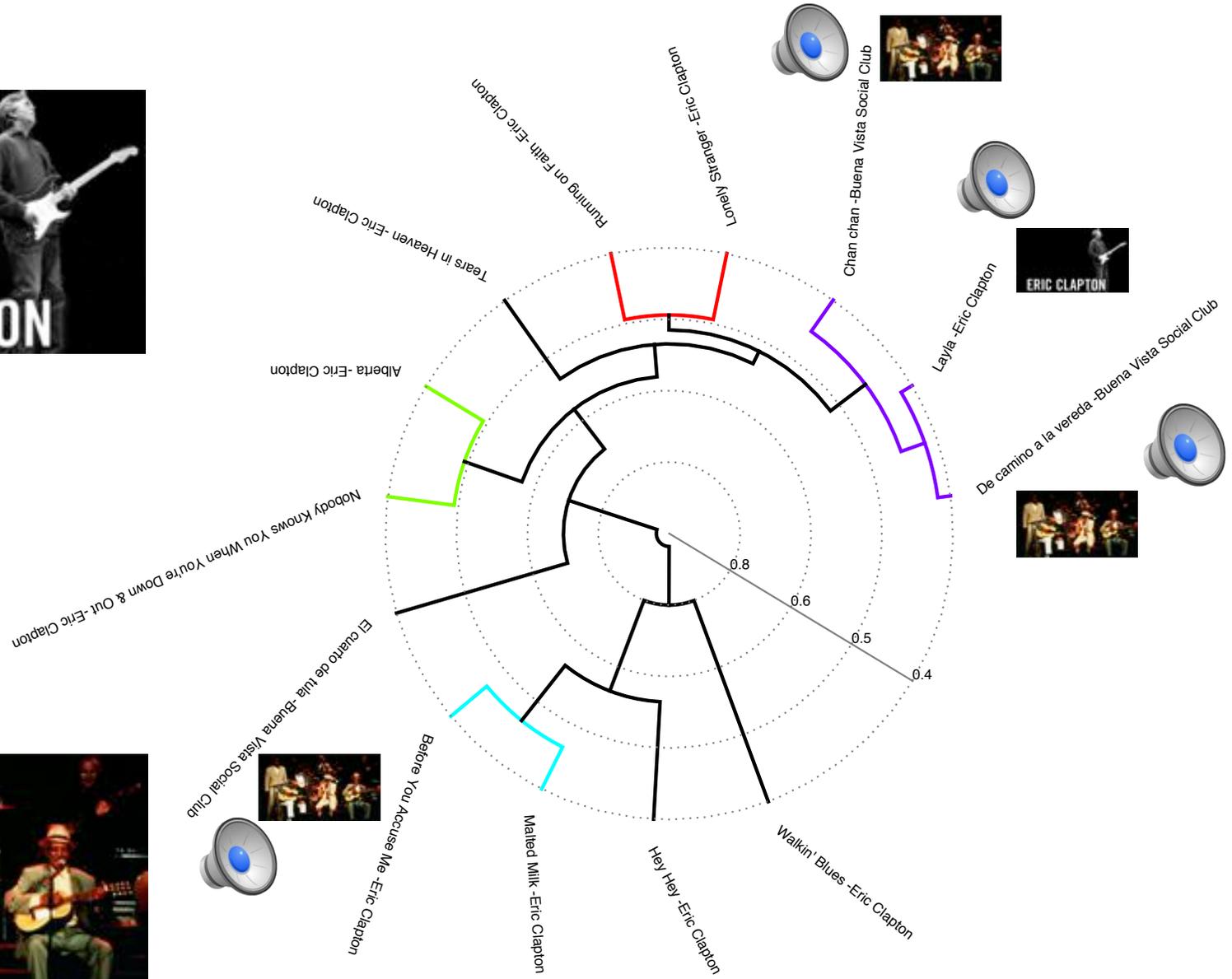
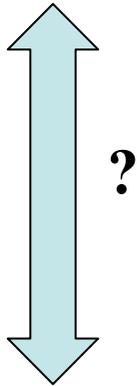
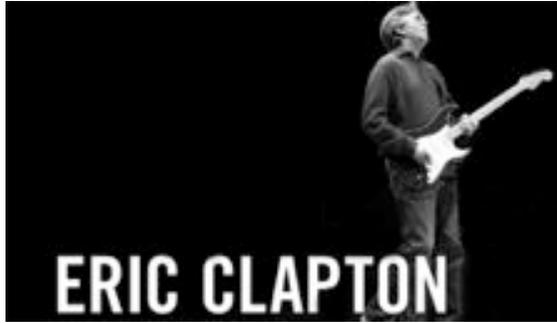
# Math'n Pop vs Math'n Folk: résultats préliminaires



# Math'n Pop vs Math'n Folk: résultats préliminaires

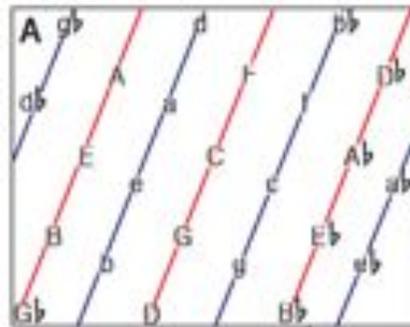


# Math'n Pop vs Math'n Folk: resultados preliminares





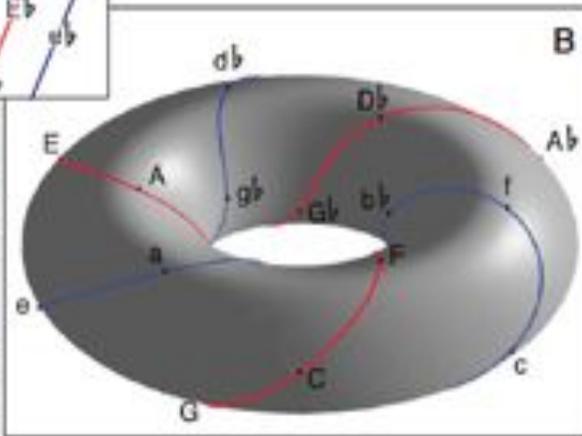
# Tonnetz et neurosciences cognitives



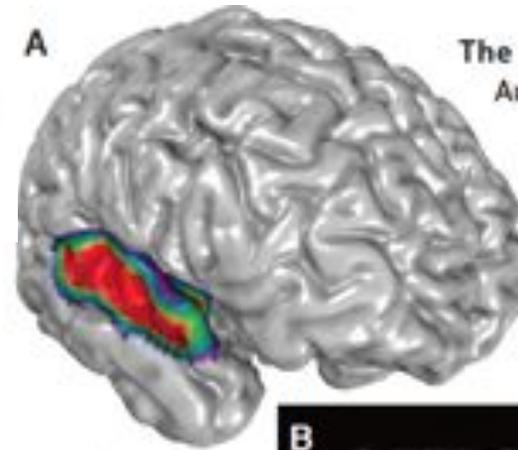
PERSPECTIVES: NEUROSCIENCE

## Mental Models and Musical Minds

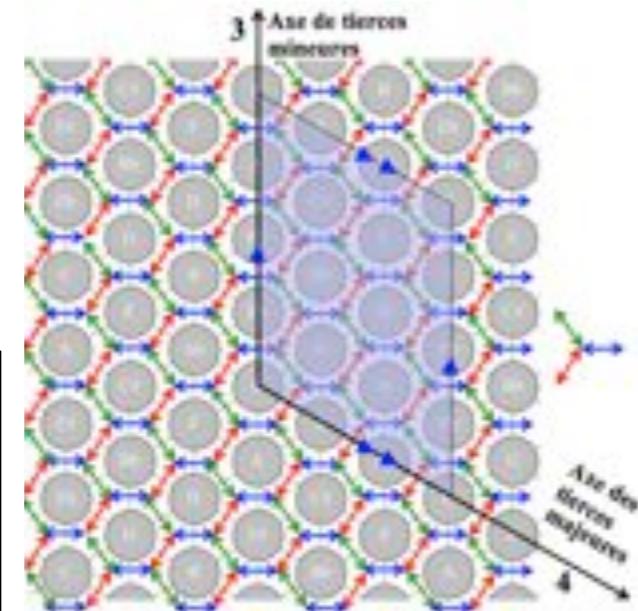
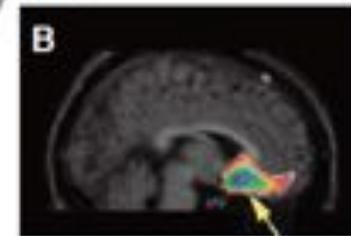
Robert J. Zatorre and Carol L. Krumhansl



**Mental key maps.** (A) Unfolded version of the key map, with opposite edges to be considered matched. There is one circle of fifths for major keys (red) and one for minor keys (blue), each 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.



**The sensation of music.** (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.

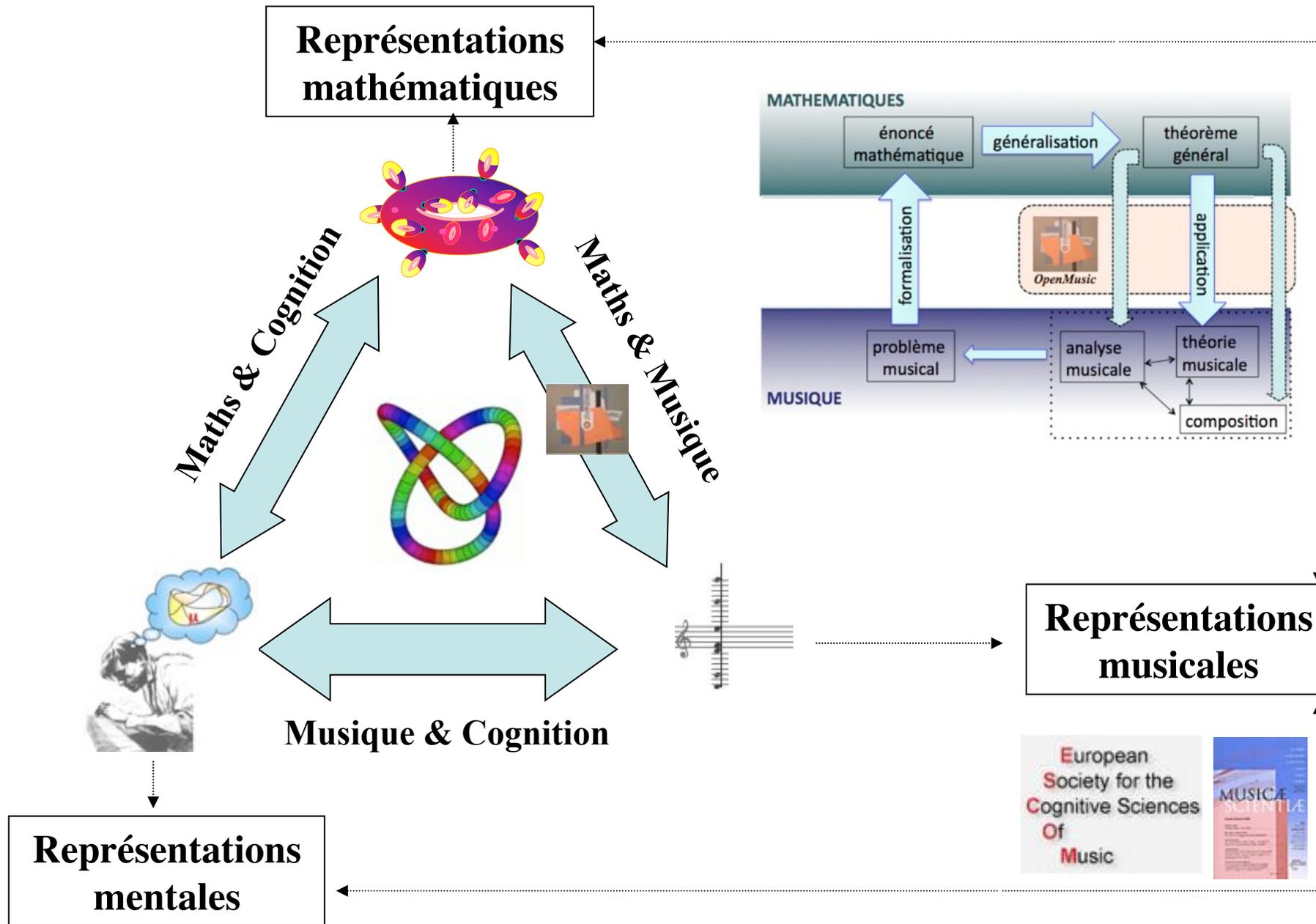


Acotto E. et M. Andreatta (2012),  
 « Between Mind and Mathematics.  
 Different Kinds of Computational  
 Representations of Music »,  
*Mathematics and Social Sciences*, n° 199,  
 2012(3), p. 9-26.



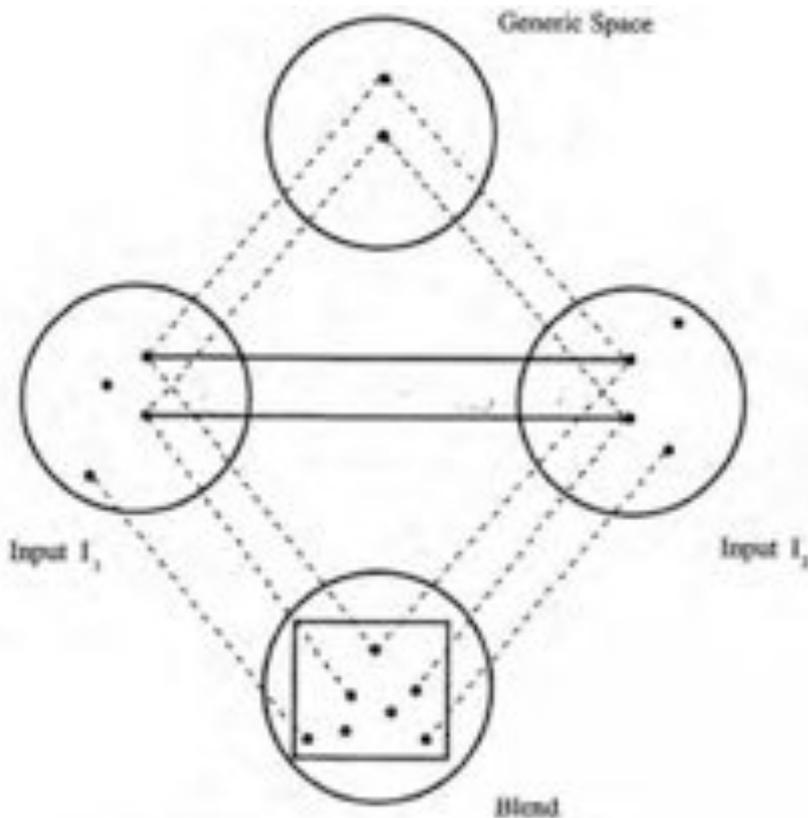
# Quelle est la place de la cognition ?

<http://recherche.ircam.fr/equipes/repmus/mamux/Cognition.html>

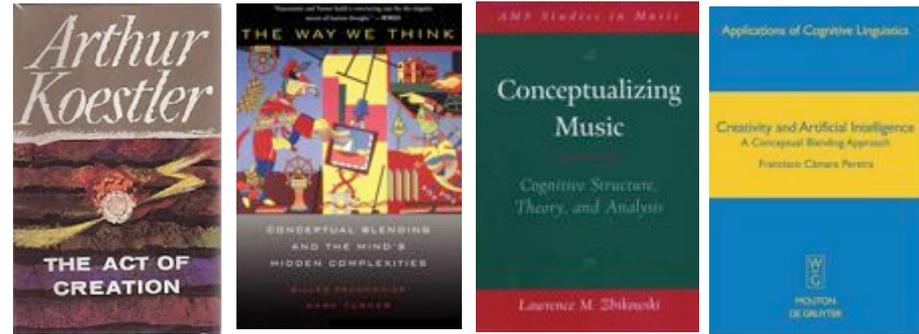


# Processus créatif et *conceptual blending*

- A. Koestler, *The act of creation*, 1964
- L. Zbikowski, « Seeger's Unitary Field Theory Reconsidered ». In: Yung, Bell & Helen Rees (eds). *Understanding Charles Seeger, Pioneer in American Musicology*. Illinois: University of Illinois Press. 1999: 130-149.
- G. Fauconnier & M. Turner, *The Way We Think*, 2002
- L. Zbikowski, *Conceptualizing Music: Cognitive Structure, Theory, and Analysis*, 2002
- F. C. Pereira, *Creativity and Artificial Intelligence - A Conceptual Blending Approach*, 2007



**Minimal network for the *conceptual blending*  
[Fauconnier & Turner, 2002]**

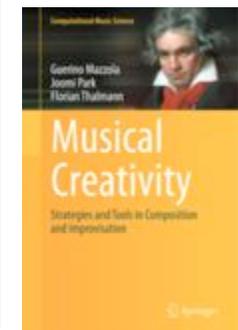
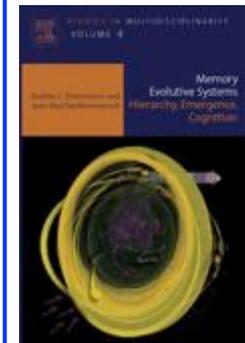
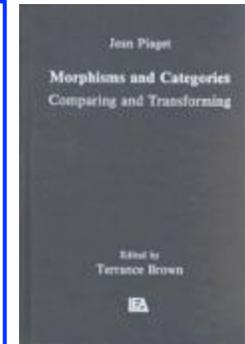


[...] **Conceptual Blending** is as an elaboration of other works related to creativity, namely Bisociation, Metaphor and Conceptual Combination. As such, it attracts the attention of computational creativity modelers and, regardless of how Fauconnier and Turner describe its processes and principles, it is unquestionable that there is some kind of blending happening in the creative mind.

F. C. Pereira, *Creativity and Artificial Intelligence - A Conceptual Blending Approach*, 2007

# Théorie des catégories et cognition

- G. S. Halford & W. H. Wilson, “A Category Theory Approach to Cognitive Development”, *Cognitive Psychology*, 12, 1980
- **J. Piaget, Gil Henriques et Edgar Ascher, *Morphisms and Categories: Comparing and Transforming* (orig. French, 1990)**
- J. Macnamara & G. E. Reyes, *The Logical Foundation of Cognition*, OUP, 1994
- A. Ehresmann, J.-P Vanbremerch, *Memory Evolutive Systems, Hierarchy, Emergence, Cognition*, 2007
- **A. Ehresmann, J.-P. Vanbremerch, “MENS, a mathematical model for cognitive systems”, *Journal of Mind Theory*, 2009**
- S. Phillips, W. H. Wilson, “Categorial Compositionality: A Category Theory Explanation for the Systematicity of Human Cognition”, *PLoS Comp. Biology*, 6(7), July 2010
- S. Phillips, W. H. Wilson, “Categorial Compositionality II: Universal Constructions and a General Theory of (Quasi-)Systematicity in Human Cognition, *PLoS Comp. Biology*, 7(8), August 2011
- A. Ehresmann, “MENS, an Info-Computational Model for (Neuro-)cognitive Systems Capable of Creativity”, *Entropy*, 2012
- **G. Mazzola, *Musical Creativity*, Springer, 2012**
- M. Andreatta, Andreatta M., A. Ehresmann, R. Guitart, G. Mazzola, “Towards a categorial theory of creativity”, Fourth International Conference, MCM 2013, McGill University, Montreal, June 12-14, 2013, Springer, 2013.



**Category theory** offers a re-conceptualization for cognitive science, analogous to the one that Copernicus provided for astronomy, where representational states are no longer the center of the cognitive universe —replaced by the relationships between the maps that transform them [S. Phillips, W. H. Wilson, 2010].

# De Piaget aux Systèmes évolutifs à mémoire

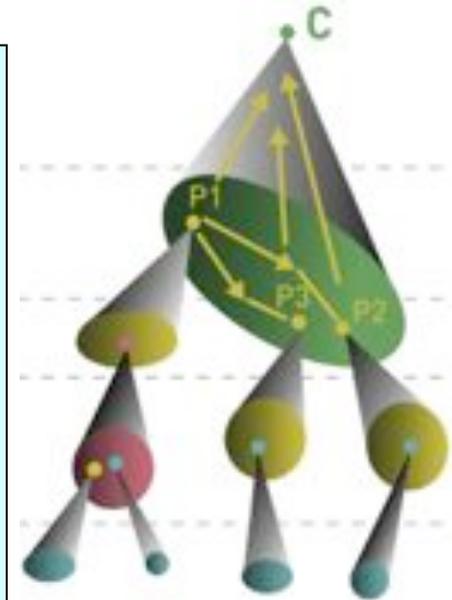
*« La théorie des catégories est une théorie des constructions mathématiques, qui est macroscopique, et procède d'étage en étage. Elle est un bel exemple d'abstraction réfléchissante, cette dernière reprenant elle-même un principe constructeur présent dès le stade sensori-moteur. Le style catégoriel 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

Jean Piaget, Gil Henriques et Edgar Ascher, *Morphismes et Catégories. Comparer et transformer*, 1990

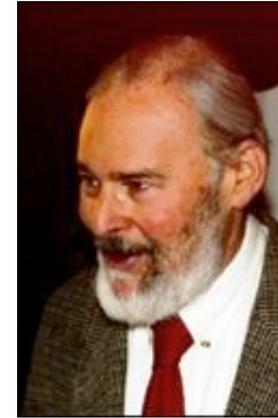
*« [...]L'émergence d'une œuvre d'art est l'expression d'une dynamique se développant dans un système hiérarchique de complexité croissante à multiples temporalités. Notamment, dans le cadre de notre modèle mathématique « les systèmes évolutifs à mémoire » (SEM), nous analysons l'existence d'objets multiformes émergeant dans le système sociétal d'un « monde artistique »; il pourrait s'agir de courants artistiques, issus de mouvements de pensée, de mouvements sociaux, culturels, scientifiques, technologiques. » (Colloque « Complexité dans les sciences et dans les arts », Ircam, 8-19 juin 2009)*



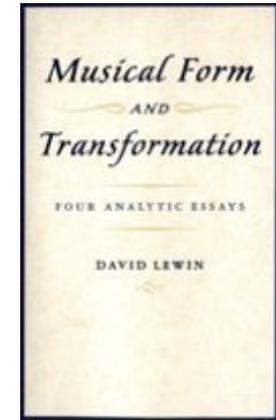
A. Ehresmann et J.-P. Vanbremeersch, « Petite mathématique de la création », *L'étincelle*, n° 6, novembre 2009



# Extensions transformationnelles de la *Set Theory*



David Lewin



« Making and Using a Pcset Network for Stockhausen's *Klavierstück III* »



Trois interprétations :



Henck



Kontarsky

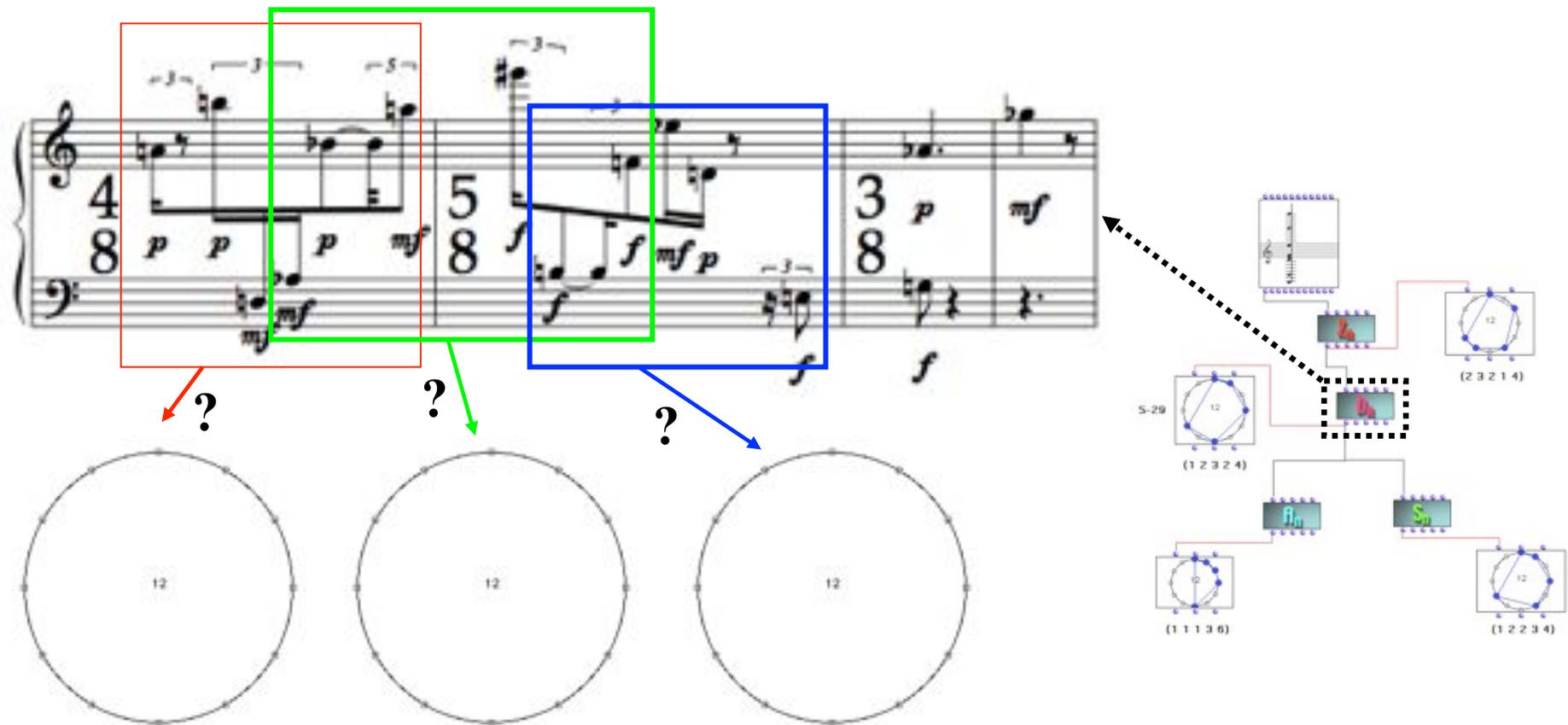


Tudor



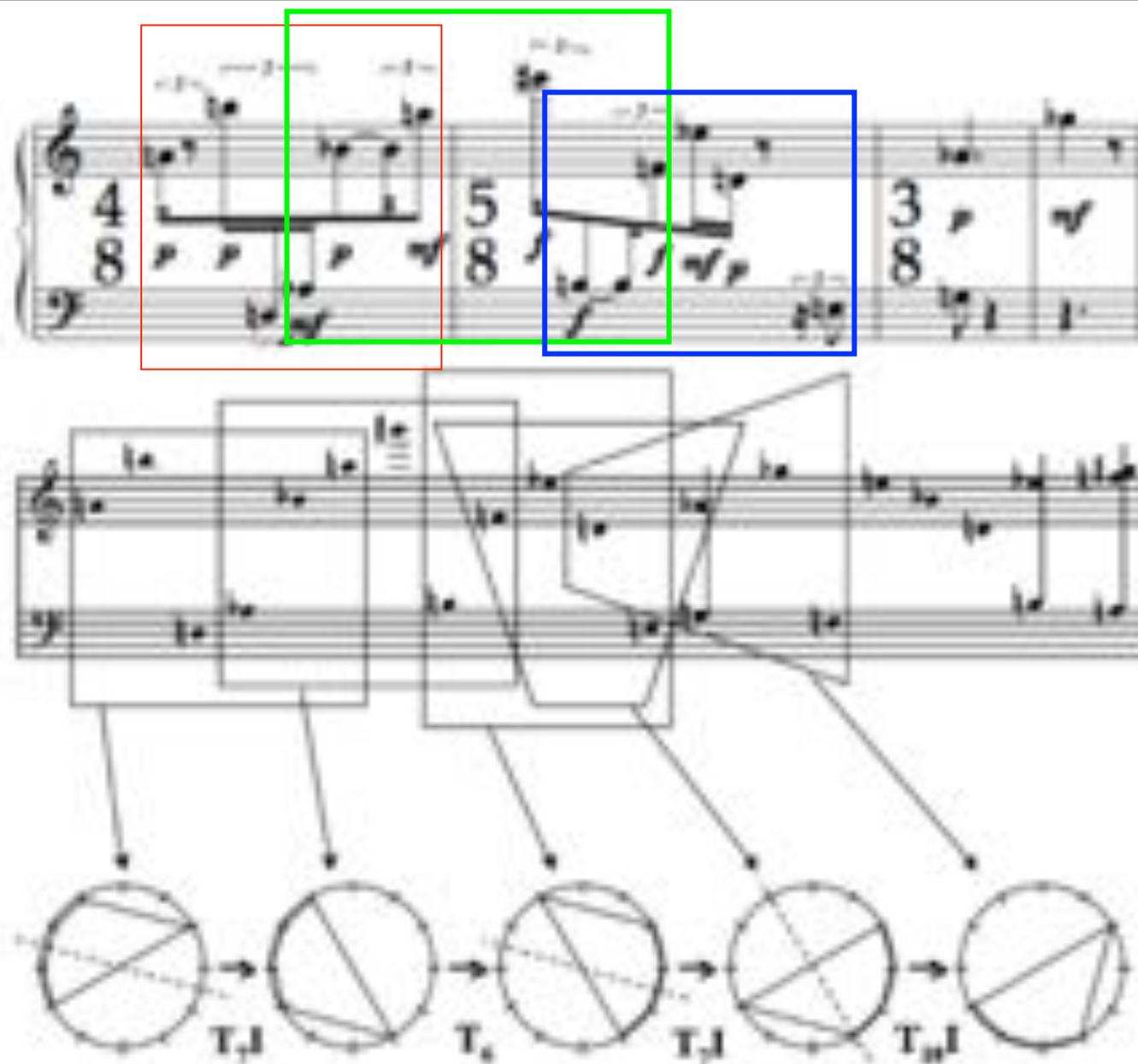
K. Stockhausen

## « Making and Using a Pcset Network for Stockhausen's Klavierstück III »

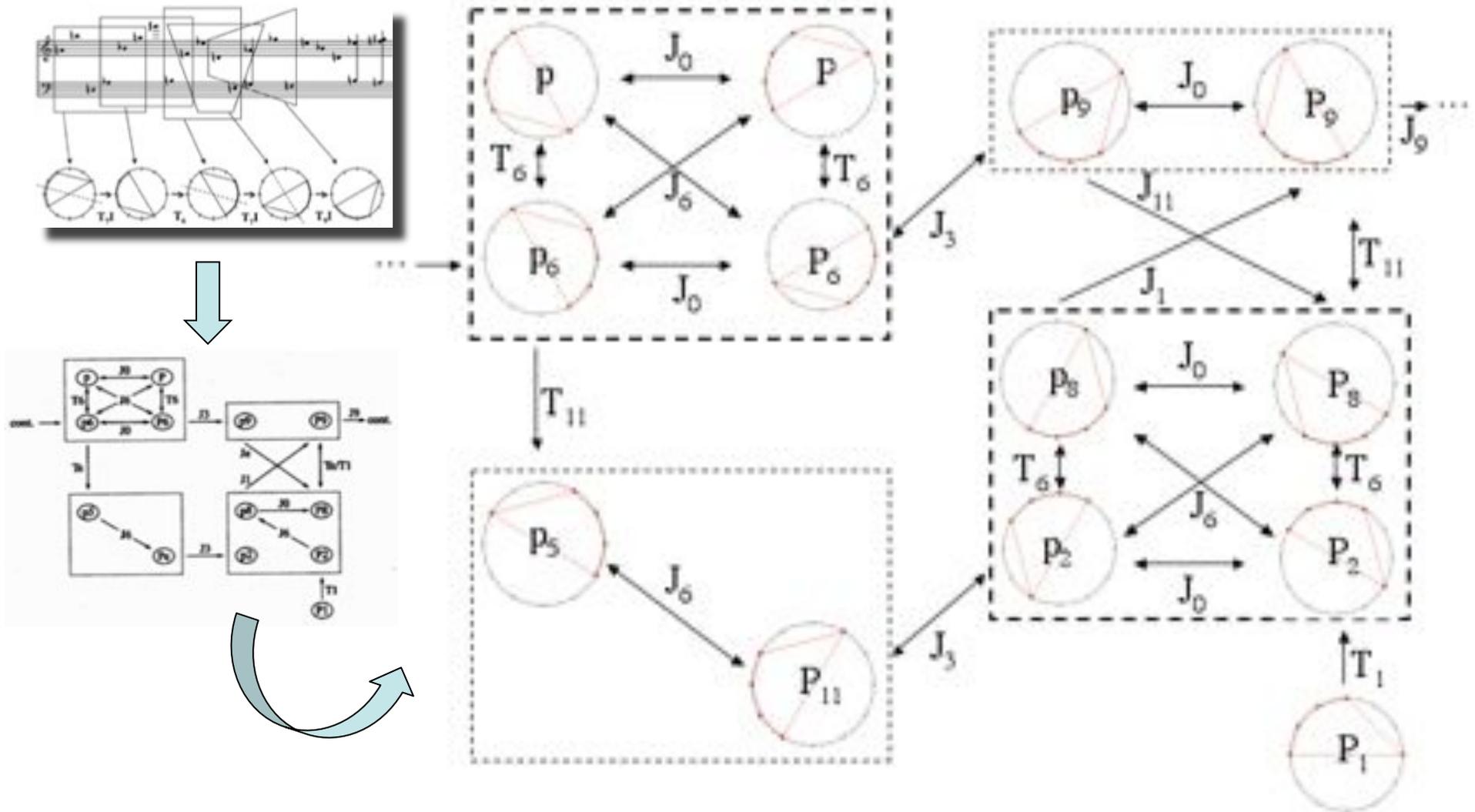


« The most 'theoretical' of the four essays, it focuses on the forms of one pentachord reasonably ubiquitous in the piece. A special group of transformations is developed, one suggested by the musical interrelations of the pentachord forms. Using that group, the essay arranges all pentachord forms of the music into a spatial configuration that illustrates network structure, for this particular phenomenon, over the entire piece. »

# Segmentation par imbrication et progression « chrono-logique »



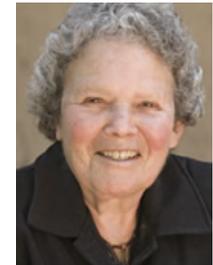
# Réseau transformationnel comme 'espace conceptuel' de la pièce



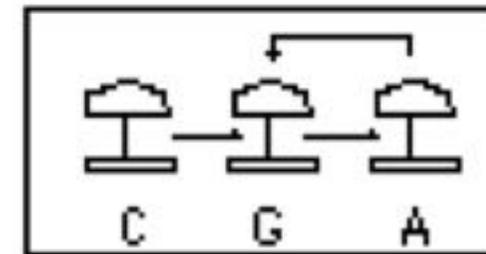
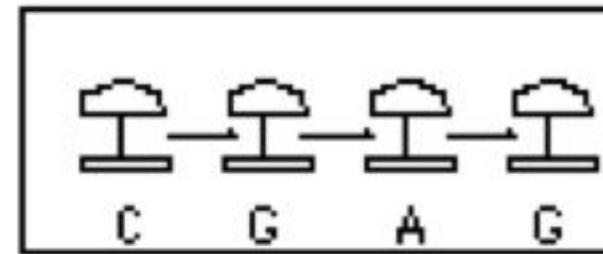
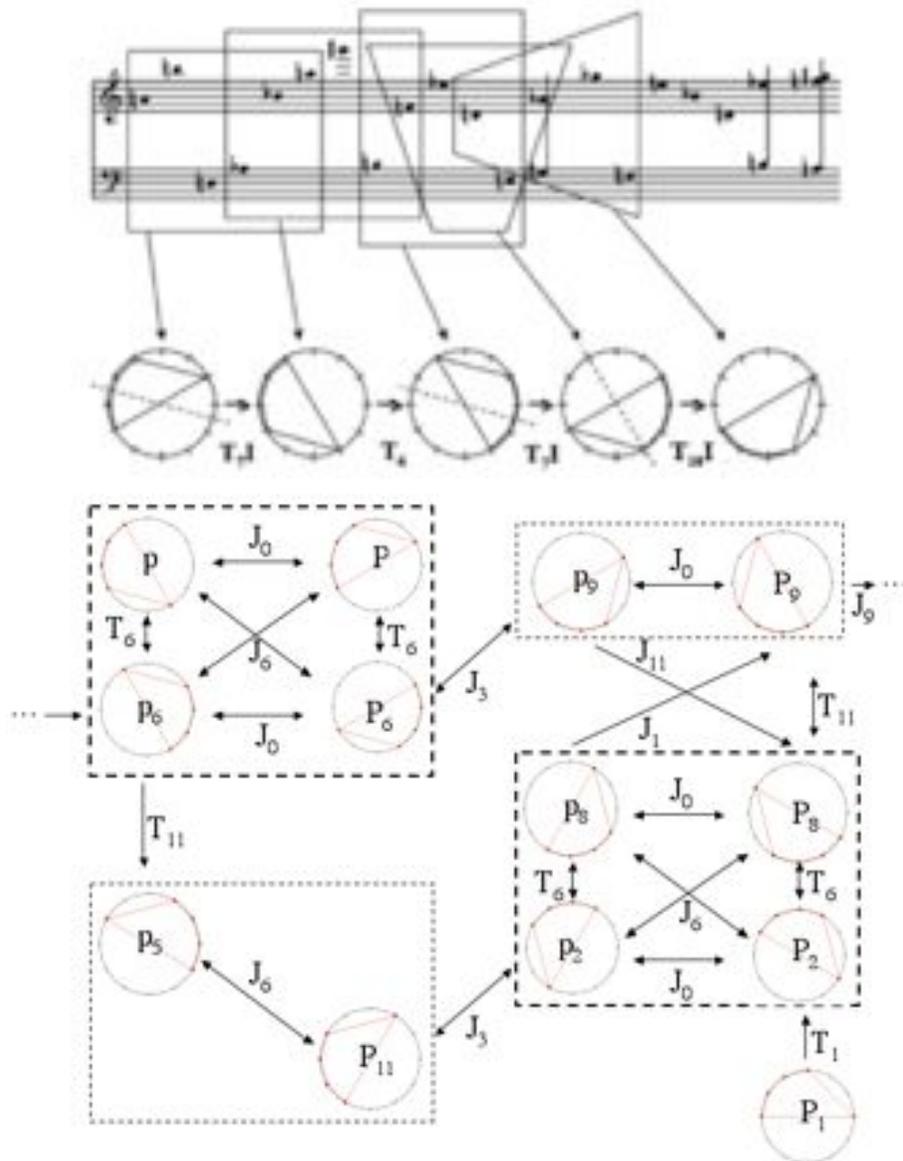
« Rather than asserting a network that follows pentachord relations one at a time, according to the chronology of the piece, I shall assert instead a network that displays all the pentachord forms used and all their potentially functional interrelationships, in a very compactly organized little spatial configuration. »

David Lewin, *Musical Form and Transformation*, YUP 1993

# « Do you hear it? » vs « can you hear it? »



Bamberger, J. (1986). Cognitive issues in the development of musically gifted children. In *Conceptions of giftedness* (eds., R. J. Sternberg, & J. E. Davidson), pp. 388-413. Cambridge University Press, Cambridge



Bamberger, J. (2006). "What develops in musical development?" In G. MacPherson (ed.) *The child as musician: Musical development from conception to adolescence*. Oxford, U.K. Oxford University Press.

# « Do you hear it? » vs « can you hear it? »

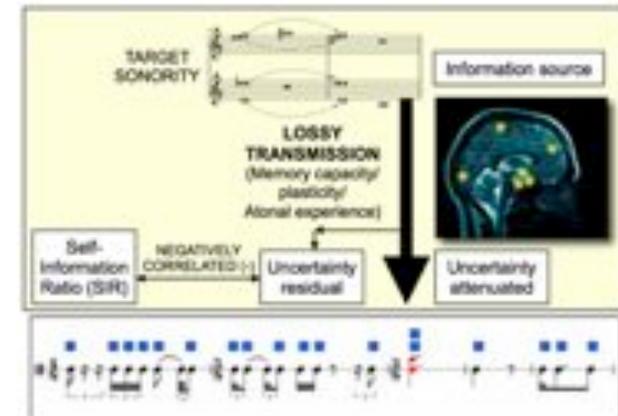
The image shows three systems of musical notation, each with two staves (treble and bass clef). The notes are represented by small circles with stems. Below each staff, specific pitch forms are labeled. The first system (measures 1-6) has labels P0, p0, p6, P6, p9, P8. The second system (measures 7-10) has labels P6, p6, P0, p0, p8, P8, P9. The third system (measures 11-15) has labels P1, P2, p8, P9, p6, p5, Pc, p2. Above the first staff, measure numbers are indicated: m. 1, 1-2, 2, 2-3, 2-5, 2-5. Above the second staff: m. 5-7, 5-7, 5-7, 5-7, 8-10, 8-10, 8-10. Above the third staff: m. 9-11, 10-11, 11-12, 11-12, 11-13, 12-13, 13-14, 13-15.

Example 2.7. An ear-training aid for listening to P/p forms and their interrelations.

« I take the question ‘Can you hear it » to mean something like this: After studying the analysis in examples 2.5 and 2.6, do you find it possible to focus your aural attention upon aspects of the acoustic signal that seem to engage the signifiers of that analysis? [...] It is important to ask those questions about any systematic analysis of any musical composition ».

# « Yes, we can! »

The figure displays two examples of musical tasks. Each example consists of three target sonorities (circled in dashed-line boxes) and a corresponding melodic excerpt. The top example, labeled 'I', shows three single pentachords (Ps) and a melodic excerpt with fingerings like 'c 2 3 1' and '5 3 2 4'. The bottom example, labeled 'V', shows three single pentachords and a melodic excerpt with fingerings like '(7) 8 5 6 c' and '4 3 2 (1)'. The sonorities are labeled with 'Ps' and numerical sequences.



« A cognitive model is derived to show that singleton-tetrachord interaction is salient in facilitating the mental formation of common-tone-preserving percepts, and it serves as perceptual information that determines the acquisition of implicit pitch pattern knowledge for pitch-detection tasks, but only for atonally well-trained musicians. »

FIGURE 5. Six target sonorities used for Phase I pitch-detection tasks (circled in dashed-line boxes): Single Pentachords appeared in form of either 'st' or 'ts' according to Lewin's ear-training aid (*MFT*, Example 2.7, p. 42). Their corresponding melodies are either Excerpt I or V.

Y. Cao, J. Wild, B. Smith, S. McAdams, « The Perception and Learning of Contextually-defined Inversion Operators in Transformational Pitch Patterns », 5th International Conference of Students of Systematic Musicology (SysMus12), Montreal, 2012.



**MERCI DE VOTRE ATTENTION !**

Moreno Andreatta

Equipe Représentations Musicales

IRCAM/CNRS UMR 9912