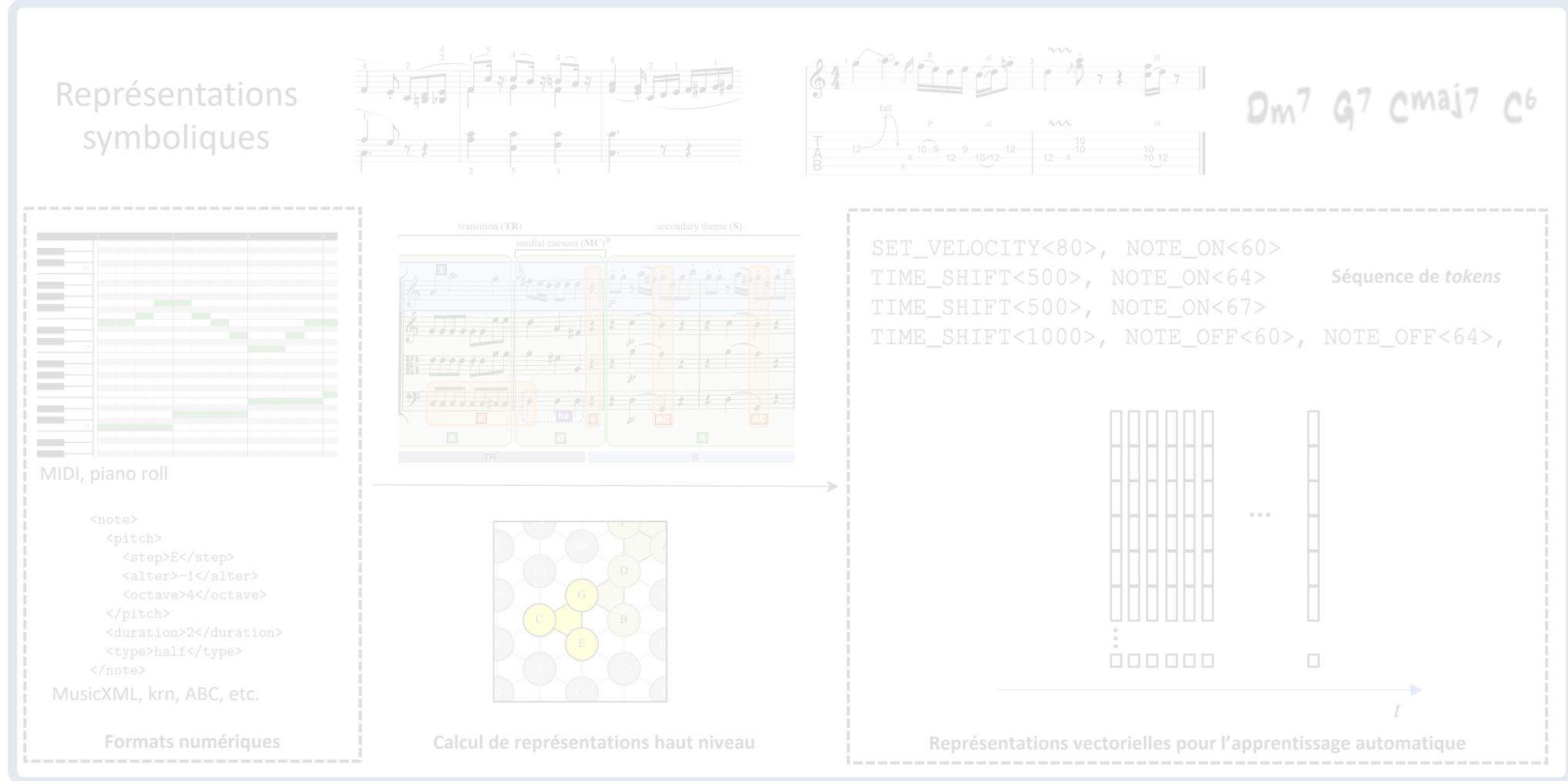
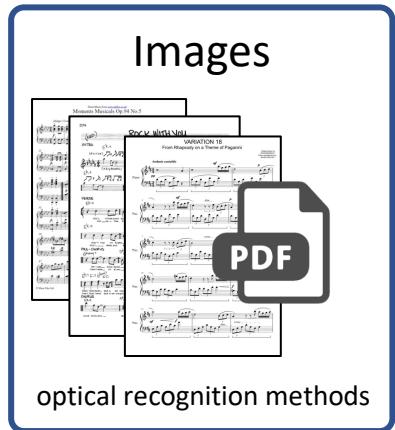
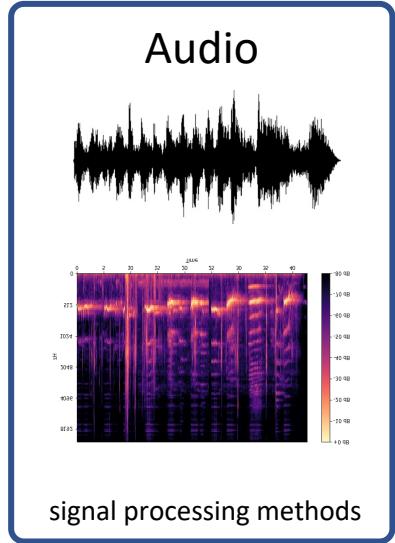


Traitement de représentations symboliques musicales

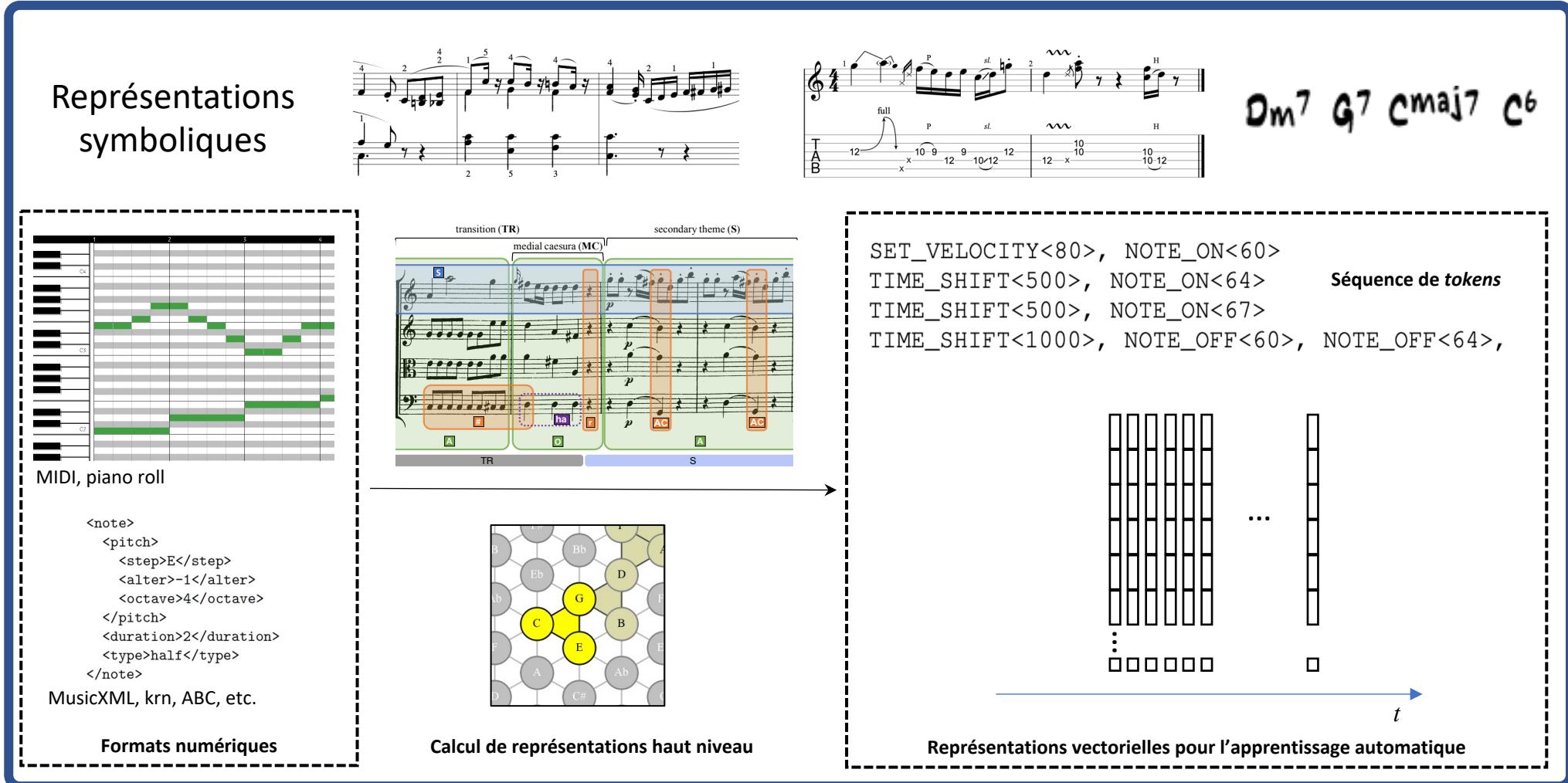
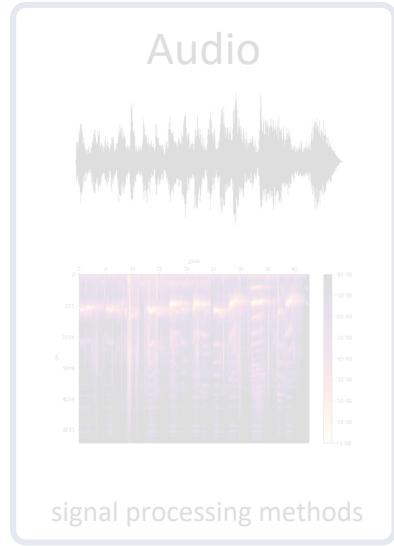
Louis Bigo

Intelligence artificielle musicale - 2024
ENSEIRB-MATMECA, 3A parcours IA

Représentations numériques musicales

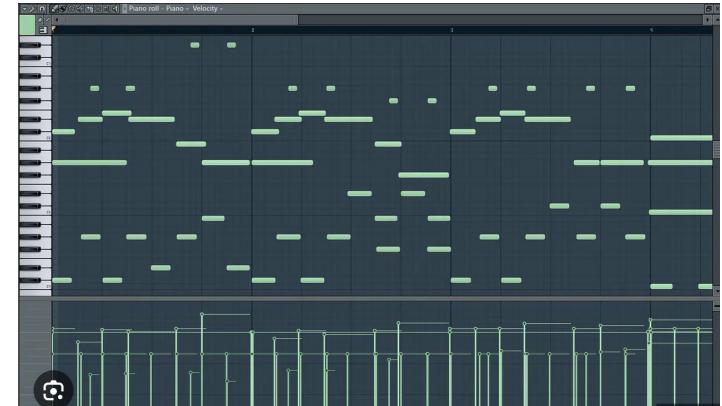


Représentations numériques musicales



Représentations symboliques

- Symboles musicaux au cours du temps
 - la *partition*
 - les représentations *piano-roll*
- Se distinguent des représentations *audio*
 - déclaration explicite d'éléments du contenu musical (hauteurs et durées de notes)
 - capacité limitée pour représenter d'autre informations musicales (timbre, expressivité, ...)

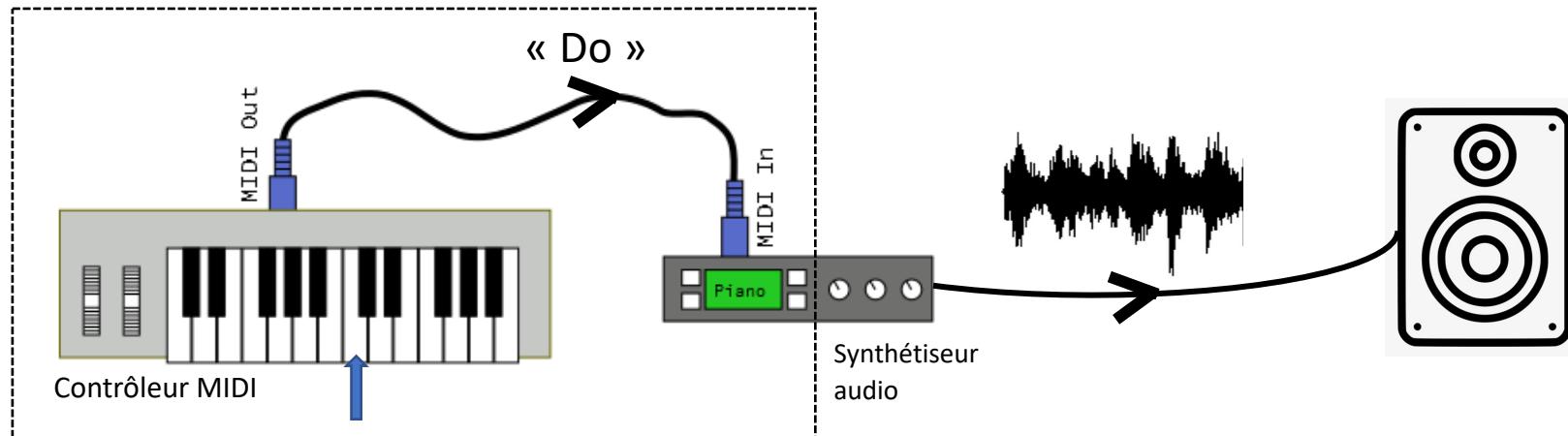


Représentations numériques : audio Vs. symbolique

- **Audio** : numérisation d'une forme d'onde
 - Un unique type de donnée (la pression de l'air) ... en très grand quantité
un morceau de musique de 3mn : ~ 8 millions de valeurs
 - Formats .wav , .aiff , .mp3 , etc.
- **Symbolique** : numérisation des symboles d'une partition
 - De multiples types de données (« do4 », « croche », « silence », « dièse », etc.) ... mais en plus petite quantité
une partition : ~ quelques centaines/milliers de symboles
 - Format : .mid, .musicXML, .mscz, .krn, ...

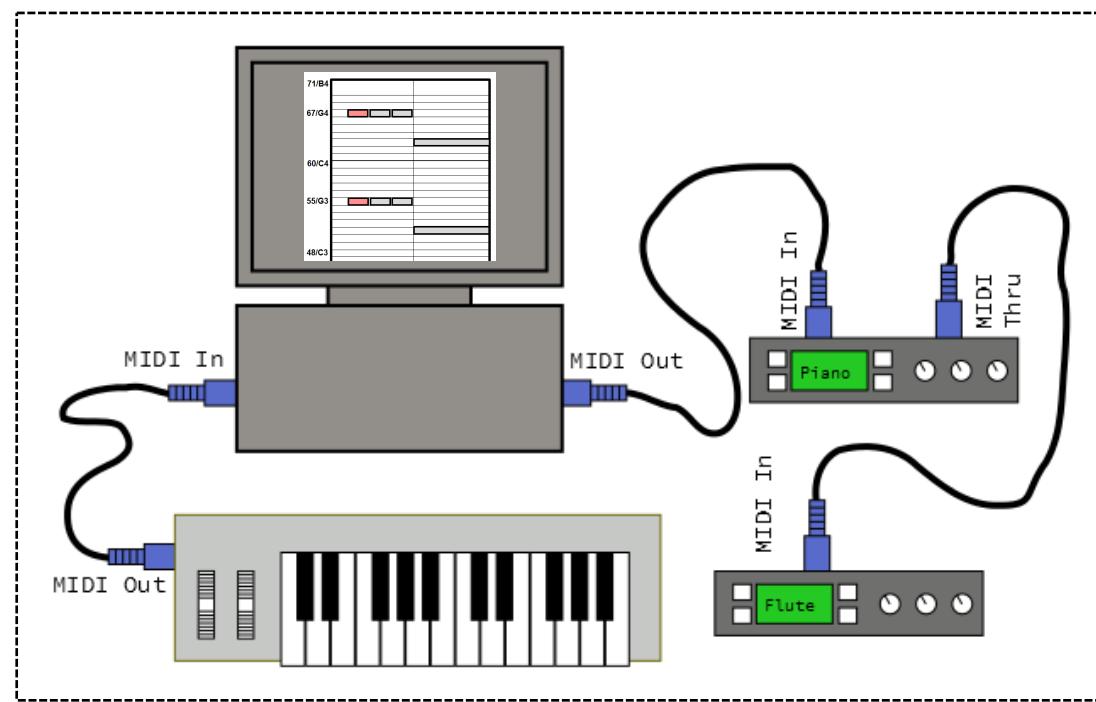
Le format MIDI

- *Musical Instrument Digital Interface*
- À l'origine : un protocole de communication entre instruments/ordinateurs



Le format MIDI

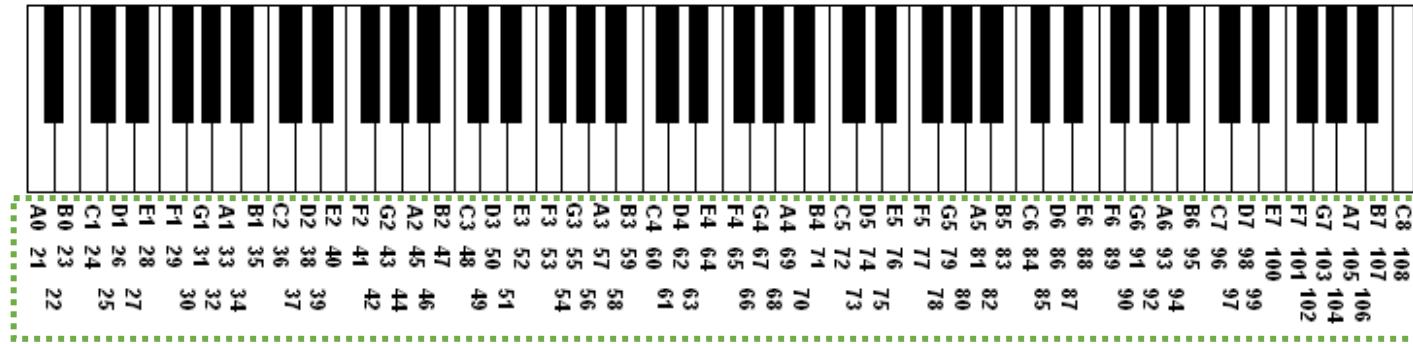
- *Musical Instrument Digital Interface*
- À l'origine : un protocole de communication entre instruments/ordinateurs



Le format MIDI

- Communication basée sur l'échange d'un ensemble de *messages*
- Chaque message comprend un certain nombre de **valeurs**
 - **hauteur** : nombre entier dans { 0 , ... 60 (C5), 61 (C#5), ... 127 (G10) } - **tempérament égal**
 - **vélocité** : nombre entier dans { 0 (muet), ... 96 (fortissimo), ..., 127 (maximum) }

hauteur



pppp

ppp

pp

p

mp

mf

f

ff

fff

ffff

= 8

= 20

= 31

= 42

= 53

= 64

= 80

= 96

= 112

= 127

vélocité

Les fichiers MIDI

- Un flux de messages MIDI peut être sauvegardé
 - À chaque message est associé une date « relative »
 - date = le temps écoulé depuis le message précédent
 - date notée en « midi Ticks »



Les fichiers MIDI

- Un flux de messages MIDI peut être sauvegardé
 - À chaque message est associé une date « relative »
 - date = le temps écoulé depuis le message précédent
 - date notée en « midi Ticks »



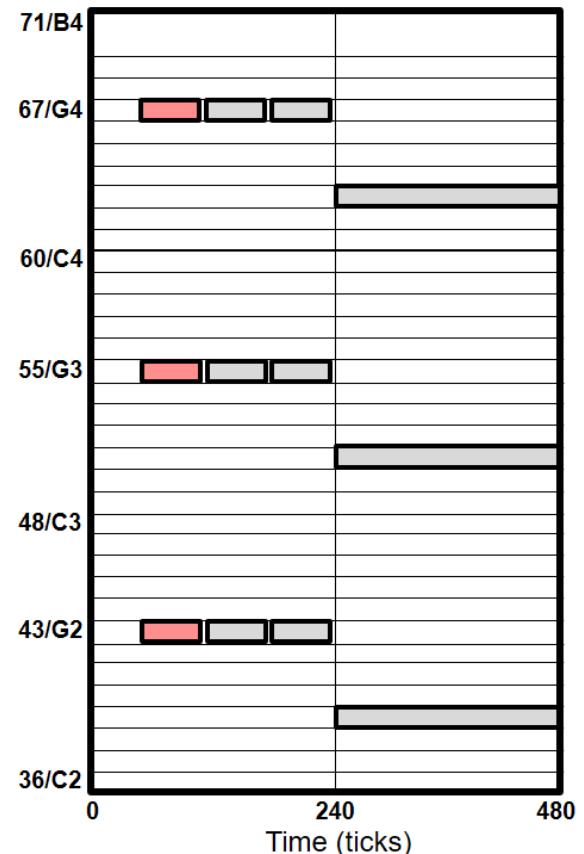
Time (Ticks)	Message	Channel	Note Number	Velocity
60	NOTE ON	1	67	100
0	NOTE ON	1	55	100
0	NOTE ON	2	43	100
55	NOTE OFF	1	67	0
0	NOTE OFF	1	55	0
0	NOTE OFF	2	43	0
5	NOTE ON	1	67	100
0	NOTE ON	1	55	100
0	NOTE ON	2	43	100
55	NOTE OFF	1	67	0
0	NOTE OFF	1	55	0
0	NOTE OFF	2	43	0
5	NOTE ON	1	67	100
0	NOTE ON	1	55	100
0	NOTE ON	2	43	100
55	NOTE OFF	1	67	0
0	NOTE OFF	1	55	0
0	NOTE OFF	2	43	0
5	NOTE ON	1	63	100
0	NOTE ON	2	51	100
0	NOTE ON	2	39	100
240	NOTE OFF	1	63	0
0	NOTE OFF	2	51	0
0	NOTE OFF	2	39	0

Les fichiers MIDI

- Un flux de messages MIDI peut être sauvegardé
 - À chaque message est associé une date « relative »
 - date = le temps écoulé depuis le message précédent
 - date notée en « midi Ticks »



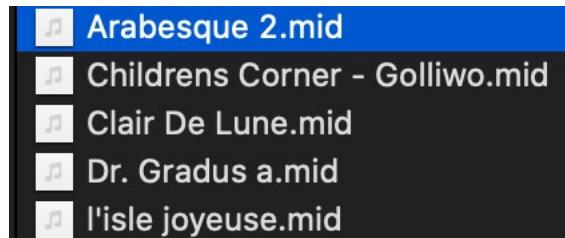
Time (Ticks)	Message	Channel	Note Number	Velocity
60	NOTE ON	1	67	100
0	NOTE ON	1	55	100
0	NOTE ON	2	43	100
55	NOTE OFF	1	67	0
0	NOTE OFF	1	55	0
0	NOTE OFF	2	43	0
5	NOTE ON	1	67	100
0	NOTE ON	1	55	100
0	NOTE ON	2	43	100
55	NOTE OFF	1	67	0
0	NOTE OFF	1	55	0
0	NOTE OFF	2	43	0
5	NOTE ON	1	67	100
0	NOTE ON	1	55	100
0	NOTE ON	2	43	100
55	NOTE OFF	1	67	0
0	NOTE OFF	1	55	0
0	NOTE OFF	2	43	0
5	NOTE ON	1	63	100
0	NOTE ON	2	51	100
0	NOTE ON	2	39	100
240	NOTE OFF	1	63	0
0	NOTE OFF	2	51	0
0	NOTE OFF	2	39	0



Représentation Piano-roll

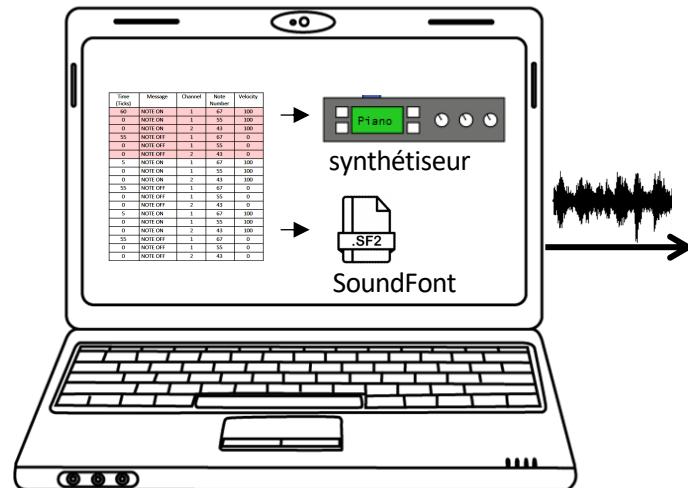
Les fichiers MIDI

- Un flux de messages MIDI peut être sauvegardé
 - À chaque message est associé une date « relative »
 - date = le temps écoulé depuis le message précédent
 - date notée en « midi Ticks »
- La liste de messages est écrite dans un **fichier MIDI** (extension .mid parfois .midi)



Les fichiers MIDI - logiciels

- De nombreux logiciels permettent d'ouvrir, éditer et sauvegarder des fichiers MIDI
- Certains peuvent « jouer » les fichiers MIDI
→ le logiciel doit alors transformer les messages MIDI en *formes d'onde*.
 - La forme d'onde peut parfois chercher à imiter le timbre d'un instrument existant
 - utilisation d'un synthétiseur : création d'une forme d'onde artificielle
 - utilisation d'une *SoundFont* : un fichier regroupant des « notes » pré-enregistrées



Fichiers MIDI - limitations

- Un fichier MIDI contient moins d'informations qu'une partition
 - Pas d'information d'enharmonie (C#4 = Db4 = 61)
 - Pas d'informations de structure (mesures, répétitions, etc.)
 - Alternative : formats textuels détaillés (MusicXML, MEI, krn)
- Un fichier MIDI ne peut pas donner d'informations relatives au son
 - Contrainte du tempérament égal
 - Pas de contrôle d'enveloppes sonores, de timbre, etc.
- Résolution et paramètres limités
 - Alternative : *Open Sound Control* (OSC)

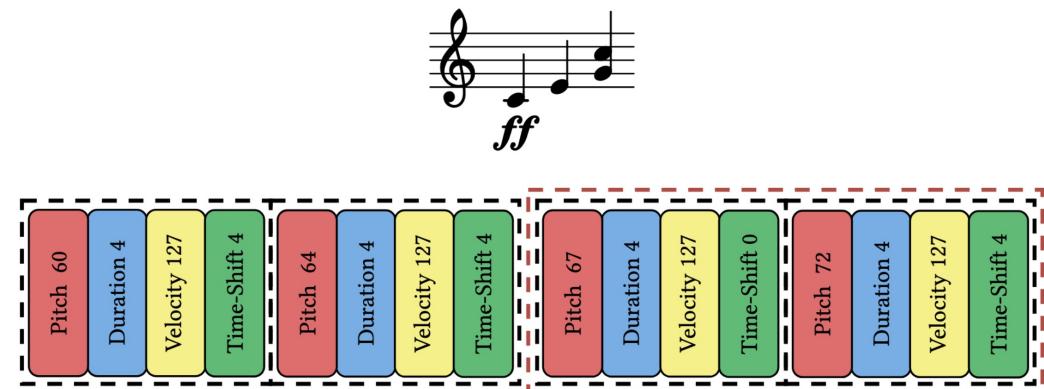
MusicXML

```
<note>
  <pitch>
    <step>E</step>
    <alter>-1</alter>
    <octave>4</octave>
  </pitch>
  <duration>2</duration>
  <type>half</type>
</note>
```



Représentations séquentielles pour l'IA

- Représentation du contenu musical sous la forme d'une séquence de valeurs
= *séquence de tokens*
- Motivation : bénéficier des algorithmes traitant des séquences d'éléments, en particulier issus du *Natural Language Processing*
- Problème : nature *non séquentielle* de la musique
 - simultanéité
 - temporalité→ une variété de *stratégies de tokenization*
- Une bibliothèque dédiée : MidiTok



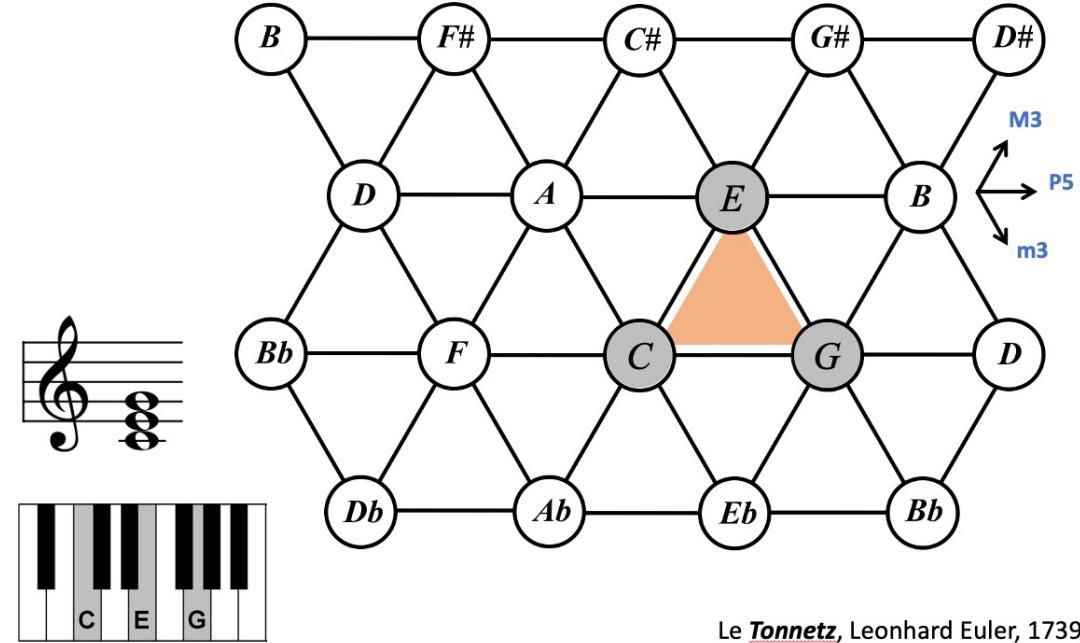
Représentations haut niveau

transition (TR)

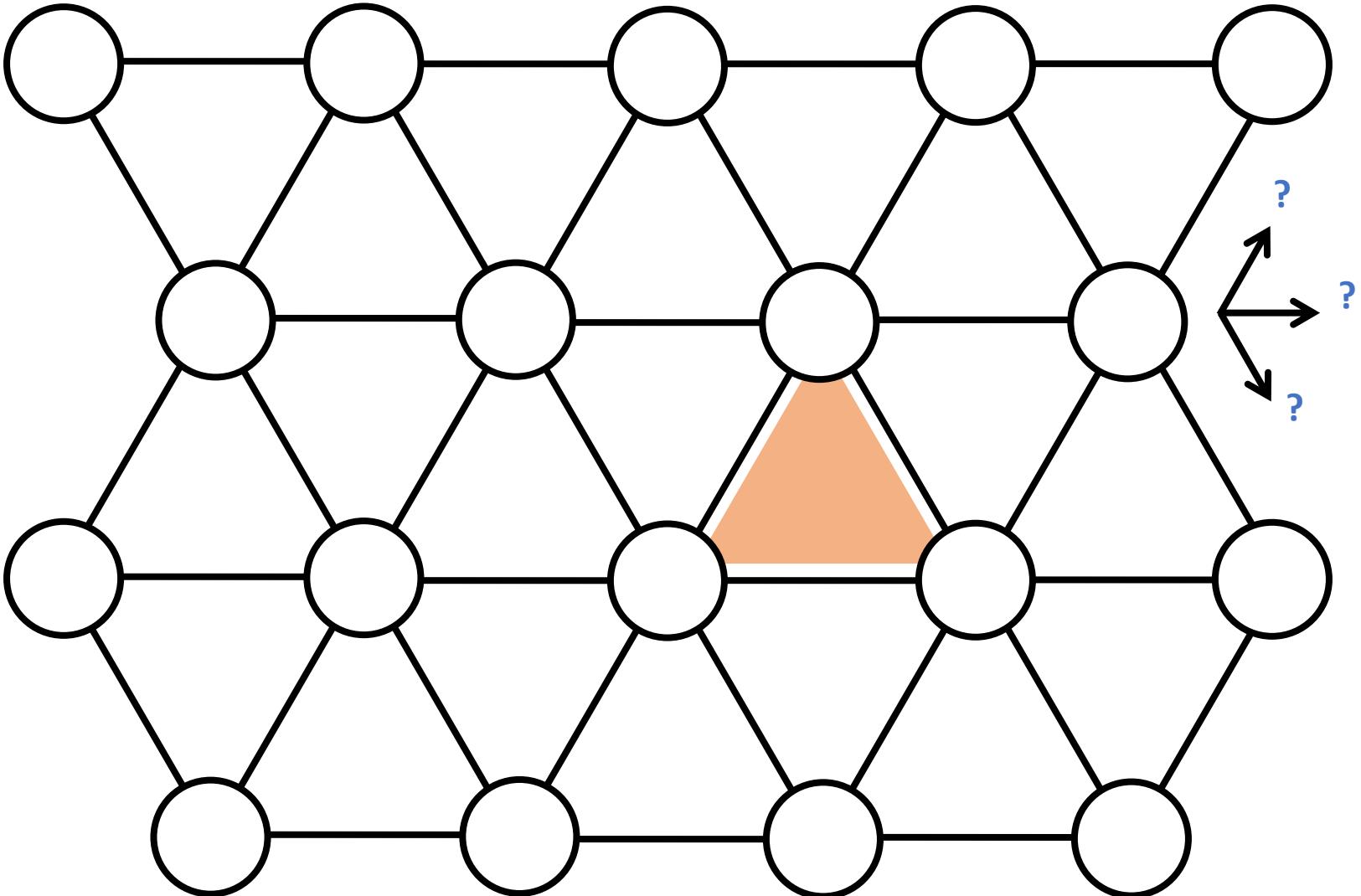
medial caesura (MC)

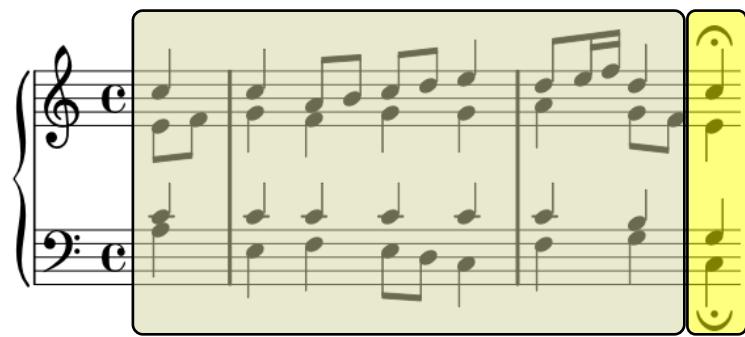
secondary theme (S)

A musical score snippet from Beethoven's 5th Symphony. It shows three main sections: 'transition (TR)', 'medial caesura (MC)', and 'secondary theme (S)'. The score consists of four staves (treble, alto, bass, and tenor). The TR section (shaded green) includes a melodic line and a bass line. The MC section (shaded orange) features a rhythmic pattern. The S section (shaded light green) includes a melodic line and a bass line. Various musical elements are annotated with labels: 'S' (above the treble staff), 'A' (below the bass staff), 'O' (below the bass staff), 'ha' (below the bass staff), 'r' (below the bass staff), 'AC' (below the bass staff), and 'AC' (below the bass staff). Dynamics like 'p' (piano) are also indicated.

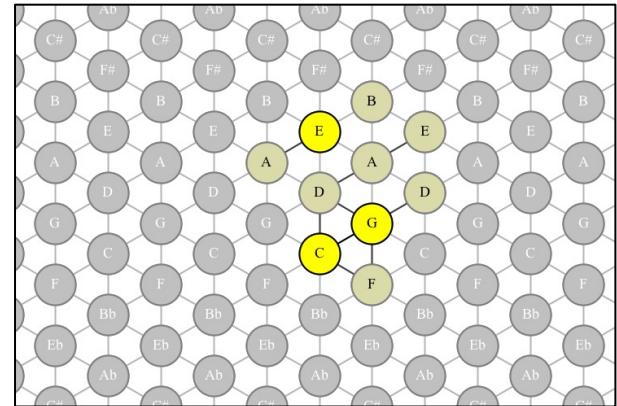
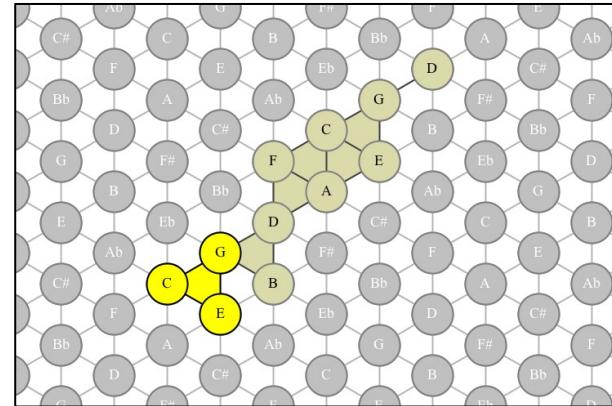


Take A Bow (MUSE) – Tonnetz visualisation





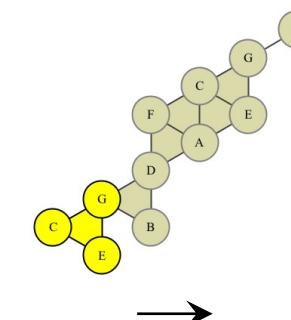
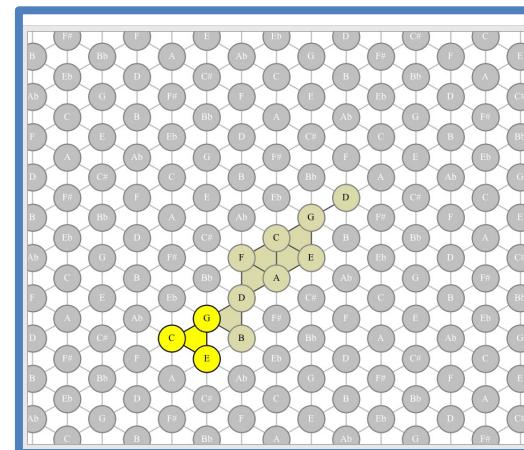
J.-S.Bach - Choral BWV 256



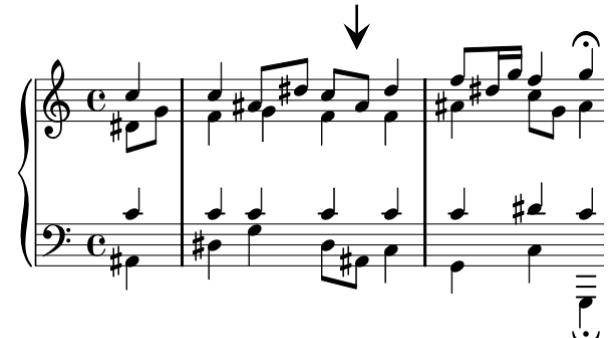
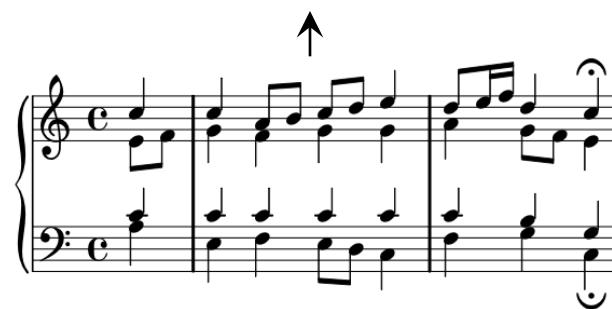
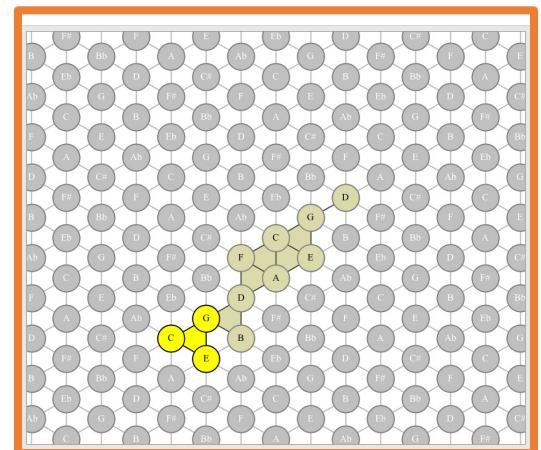
La pièce musicale vue comme
une **trajectoire** dans un **espace**

- description géométrique
 - analyse musicale
 - classification stylistique
- transformations géométriques
 - composition
 - *musification*

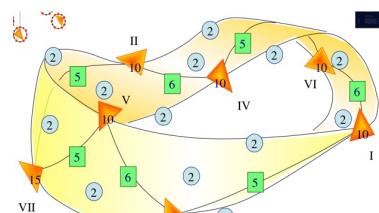
{m3, M3, P5}



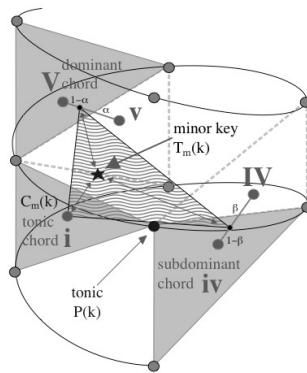
{M2, m3, P4}



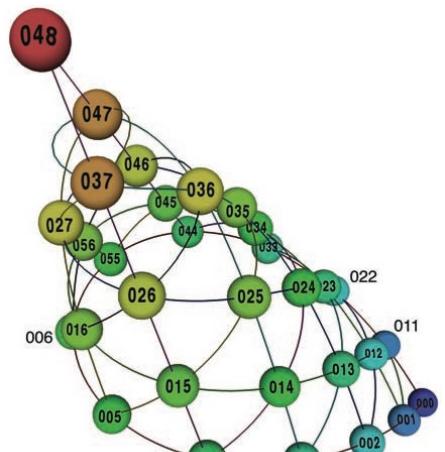
Représentations symboliques haut niveau



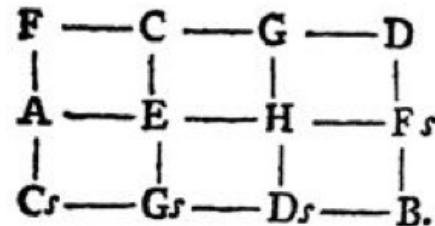
Tonality strip [Mazzola, 2002]



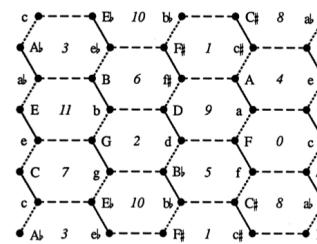
Spiral Array [Chew, 2000]



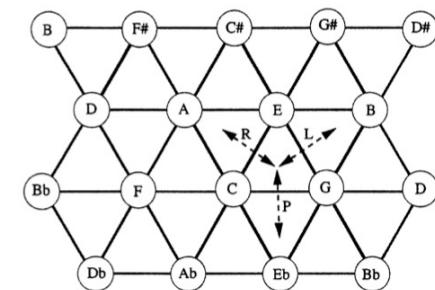
Voice-leading spaces [Tymoczko, 2008]



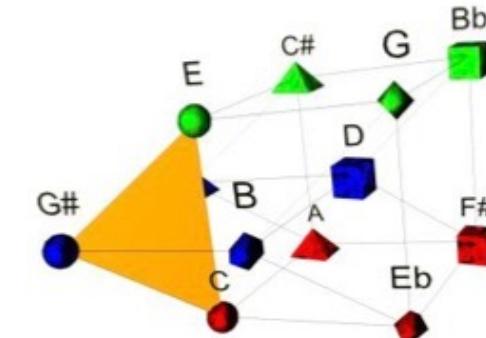
Speculum Musicum [Euler, 1739]



Chicken Wire Torus [Douthett and Steinbach, 1998]



Tonnetz [Oettingen, 1866, Riemann, 1914]



Model Planet [Barouin, 2011]

Des corpus de référence pour la recherche

- Corpus de pièces musicales
 - formats audio (.wav, .mp3) : question des droits ?
 - formats symboliques (.midi, .MusicXML, ...) : nécessité d'un travail de transcription
- Corpus d'annotations
 - annotations *alignées* avec des pièces dans des formats audio ou symbolique
 - tonalités, accords
 - structure (formes classiques, musique populaire)
- Corpus d'étiquettes
 - style musical (détection stylistique)
 - difficulté d'apprentissage (pédagogie)