

Vendredi 03 juillet 2020

# L'algorithmique cognitive et ses applications musicales

Joséphine Calandra





# L'algorithmique cognitive et ses applications musicales

- Systématisation de l'analyse paradigmatique
- Création automatique de diagrammes formels
- Application de l'algorithme cognitif



# L'algorithmique cognitive et ses applications musicales

Cognitif = simulation hypothétique d'une machine d'écoute != système réel d'écoute

diagramme formel = représentation des matériaux constitutifs de l'oeuvre musicale par ordre d'apparition, en fonction du temps



# **Une analyse musicologique pour la compréhension des phénomènes cognitifs**



# La musique comme trace

la musique comme trace (partitions)

restitution du phénomène dans le temps en tant que processus cognitif

pour une meilleure représentation de l'intentionnalité temporelle



# La musique comme trace

Théorie de l'information (Shannon)

Sémiologie (Nattiez)

F. Delalande montrent l'importance du sujet dans la compréhension du musical

Difficultés à définir la musique et puissant vecteur d'émotion (voir slide suivante)



# De la musique à la cognition

- Définitions de la musique, *Luciano Berio, John Cage*
- musique existe par la temporalité et la mémoire
- “affinement de l’âme”, *Kandinsky*
- génératrice d’émotion, *Gisèle Brelet, John Sloboda*
- nécessité de comprendre la musique pour l’apprécier

musique est le reflet du phénomène cognitif

- analyser la musique pour comprendre celle-ci et la cognition, *Molino, Nattiez*
- Analyse pure de la musique

- ❖ *Jean-Marc Chauvel, Analyse Musicale : Sémiologie et cognition des formes temporelles, L’Harmattan, 2006*
- ❖ *Nicolas Meeùs, Épistémologie d’une musicologie analytique, ESKA Musirgia, 2015*
- ❖ *John A. Sloboda. Music Structure and Emotional Response : Some Empirical Findings. Department of Psychology, University of Keele, Newcastle, Staffordshire, UK, ST’ RC*



# Une machine à écouter

Otto Laske

Sonogramme existe déjà mais quid d'un "morphoscope" pour visualiser l'évolution temporelle de l'oeuvre en fonction des impératifs cognitifs



# La musicologie cognitive

La Musicologie cognitive par Otto Laske :

*“ Cognitive musicologie is the name I gave to the discipline of my invention whose purpose it was to understand in depth the relationship between mental processes called “musical” -such as “composing”, ‘analysing music”, “conducting music”, “performing music” ect. - and the “musical” result they produce “ -Otto Laske*



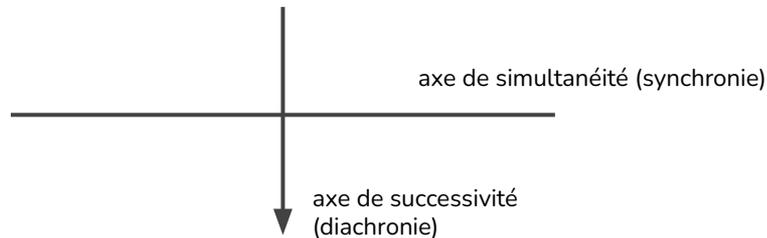
# Musicologie cognitive et sémiologie

Les héritages de Ferdinand de Saussure.

Le structuralisme

L'analyse cognitive :

- Rend compte de manière dynamique des œuvres
- Rend compte des mécanismes de constitution de la pensée
- Comprend intimement les œuvres de l'esprit
- Doit décrire l'ensemble des relations impliquées dans l'œuvre
- Doit permettre une conservation optimisée de l'intégralité de l'information





# Musicologie cognitive et sémiologie

Mais la musique est différente de la parole car pas de mots et infinité de styles différents

-> critères plus généraux de segmentation et de similarité sont nécessaires

# Outils informatiques de l'Analyse musicale





# Outils informatiques de l'analyse musicale

Approche audio ou symbolique

estimation des structures :

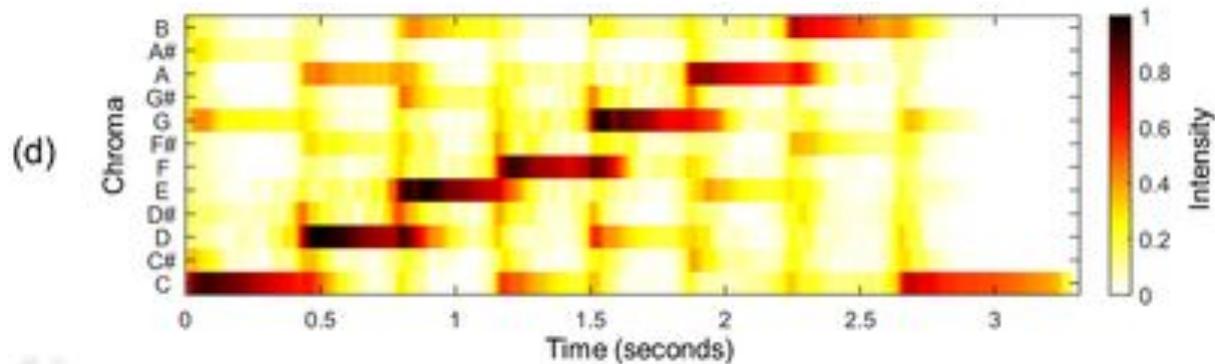
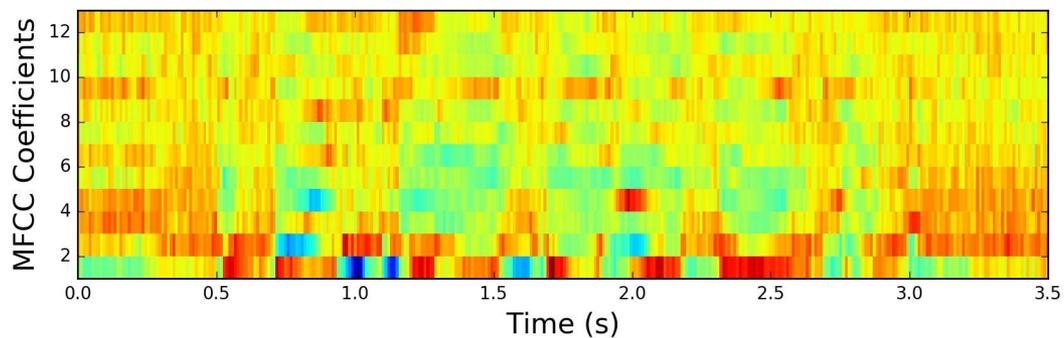
- segmentation = estimation des frontières
- étiquetage = regroupement des frontières en classes
- homogénéité
- répétition

Descripteurs (numériques ou symboliques)

- MFCCs pour le timbre
  - chromas pour la hauteur
  - évolution en intensité sonore du spectre pour le rythme
  - pulsation, tempo, métrique, instrumentation, ton, harmonie...
- approches multi-strates



# Outils informatiques de l'analyse musicale





# Transformée de Fourier



# Transformée à Q Constant

# Etat de l'Art





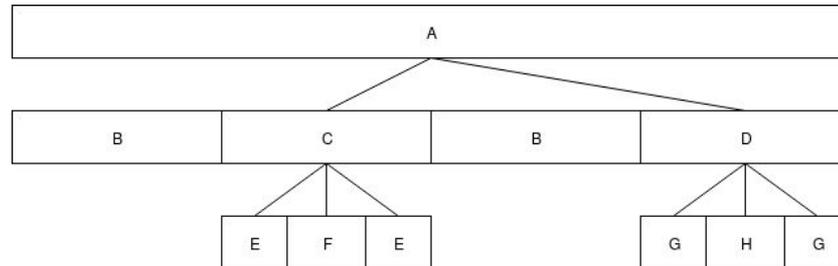
# Etat de l'Art

- ❖ *Analyse des structures répétitives dans les séquences musicales (Benjamin Martin, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I, 2012)*
- Utilisation d'algorithmes de comparaison de séquences d'ADN

Utilisation de descripteurs robustes à l'altération des motifs et transposition : chromas  
Techniques d'alignement/transcription pour calculer la proximité entre deux séquences

`cabaaab → acbba`

Modèle hiérarchique des répétitions.





# Etat de l'Art

- ❖ *Estimation de la structure de morceaux de musique par analyse multicritère et contrainte de régularité (Gabriel Sargent, Université de Rennes, 2013)*

Approche sémiotique : représentation symbolique du signal

mise en oeuvre d'une méthodologie d'analyse : analyse morphologique, paradigmatique et syntagmatique

automatisation de la structure sémiotique:

- estimation des frontières : critère de rupture d'homogénéité/répétition, de détection d'événements
- estimation des étiquettes : automate probabiliste



# Etat de l'Art

## ❖ *Antescofo*, Arschia Conte

modélisation de l'écoute pour que le système s'adapte au jeu du musicien.

système de suivi de partition

synchronisation entre électronique et instrumental pour des performances en direct

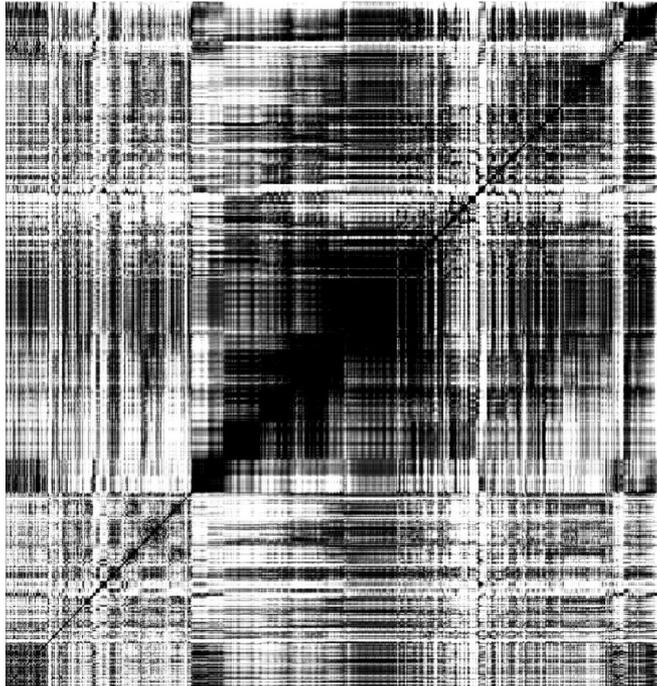
## ❖ *Ossia score*, SCRIME

Intégration dynamique du temps dans l'exécution de la partition



# Etat de l'Art

❖ *Matrice d'autosimilarité*



Fogg, Lorenzo Bianchi Hoesch (2012)



# Etat de l'Art

- ❖ *Auditory attention is divisible : Segregated tone streams can be tracked simultaneously (Laurent Demany, Mayalen Erviti, Catherine Semal)*
- ❖ *Traitement de la polyphonie pour l'analyse informatique de partitions musicales (Nicolas Guiomard-Kagan, Université de Picardie Jules Verne)*

Séparation des partitions polyphoniques en voix monophoniques ou streams pour faciliter l'analyse

Algorithmes de séparation en voix :

- trivial
- Chew et Wu
- Ishigaki, Matsubara et Saito

Approches par apprentissage (Jordanous), modèles de markov (McLeod et al.)



# L'algorithme cognitif





**Un logiciel d'analyse musicale  
pour la compréhension des  
phénomènes cognitifs**





# Un logiciel d'analyse musicale

Développement d'un logiciel de structuration des 'oeuvres musicales

- En temps réel : considération du déroulement temporel de l'oeuvre
- Hiérarchisé : différents niveaux de structure de l'oeuvre
- Pas de limite sur les genres musicaux : classique, musique actuelle, electro-acoustique...



# Objectifs et intérêts :

## Objectifs :

- Obtention pratique d'un résultat graphique représentant la forme de l'oeuvre pour les musicologue
- Création d'un machine d'écoute
- Monitoring de l'algorithme
- Compréhension des phénomènes cognitifs se déroulant lors de l'écoute d'une oeuvre musicale.

## Intérêts :

- Automatisation de l'analyse musicale
- possibilité d'évaluer des corpus imposant
- pseudo-modélisation des systèmes cognitifs par le monitoring



# **Description de l'algorithme cognitif proposé par Jean-Marc Chouvel**





# Diagramme formel

Représentation temps-matériau  
Représentation formelle de l'oeuvre

Algorithme :



**pour chaque fragment entendu :**  
**comparaison avec les fragments précédents ;**  
**s'il est différent : inscription en mémoire « matériau » ;**  
**dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;**



# Diagramme formel



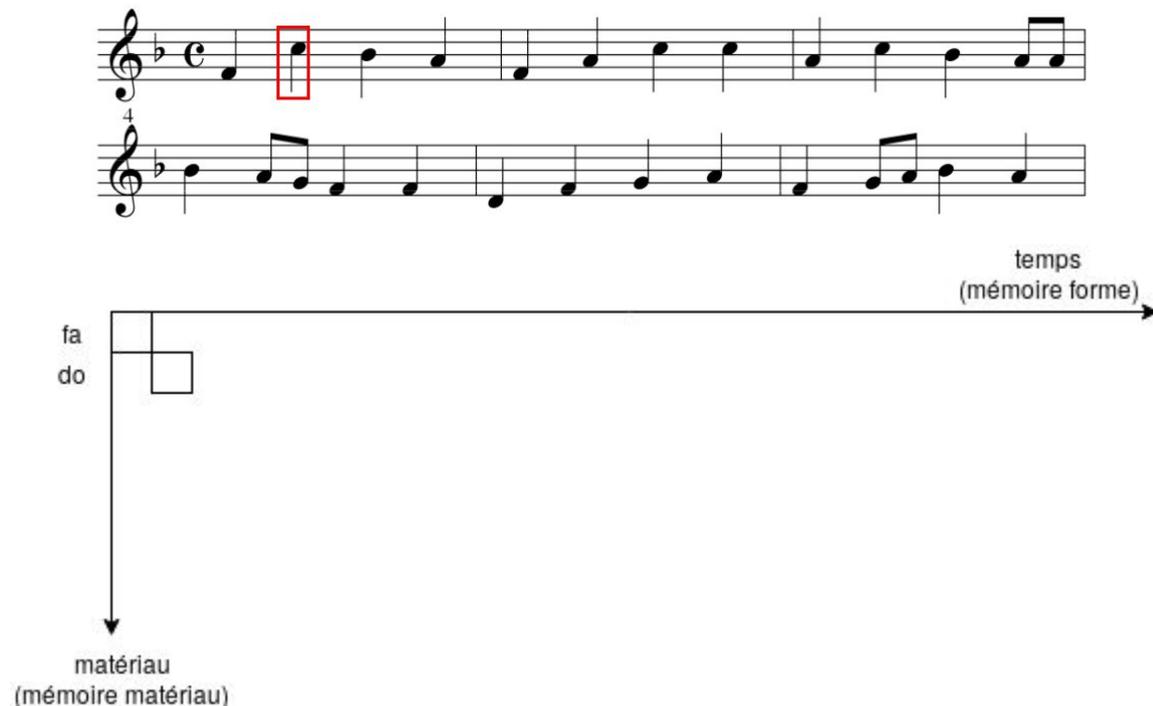


# Diagramme formel



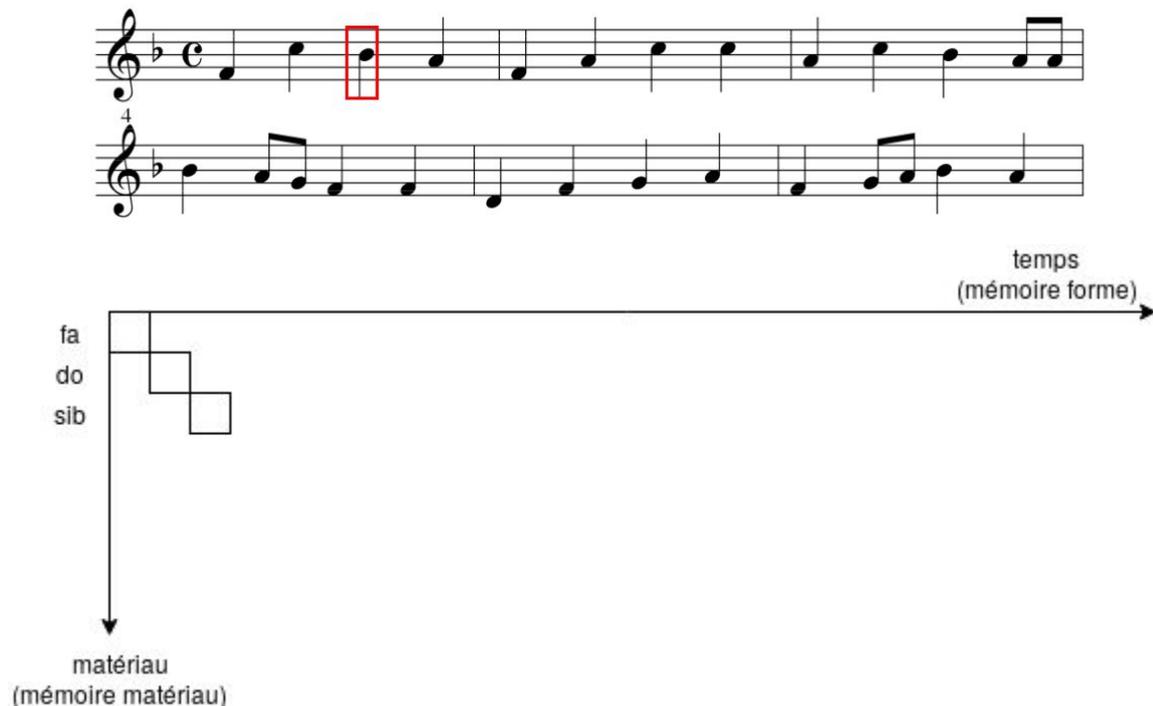


# Diagramme formel



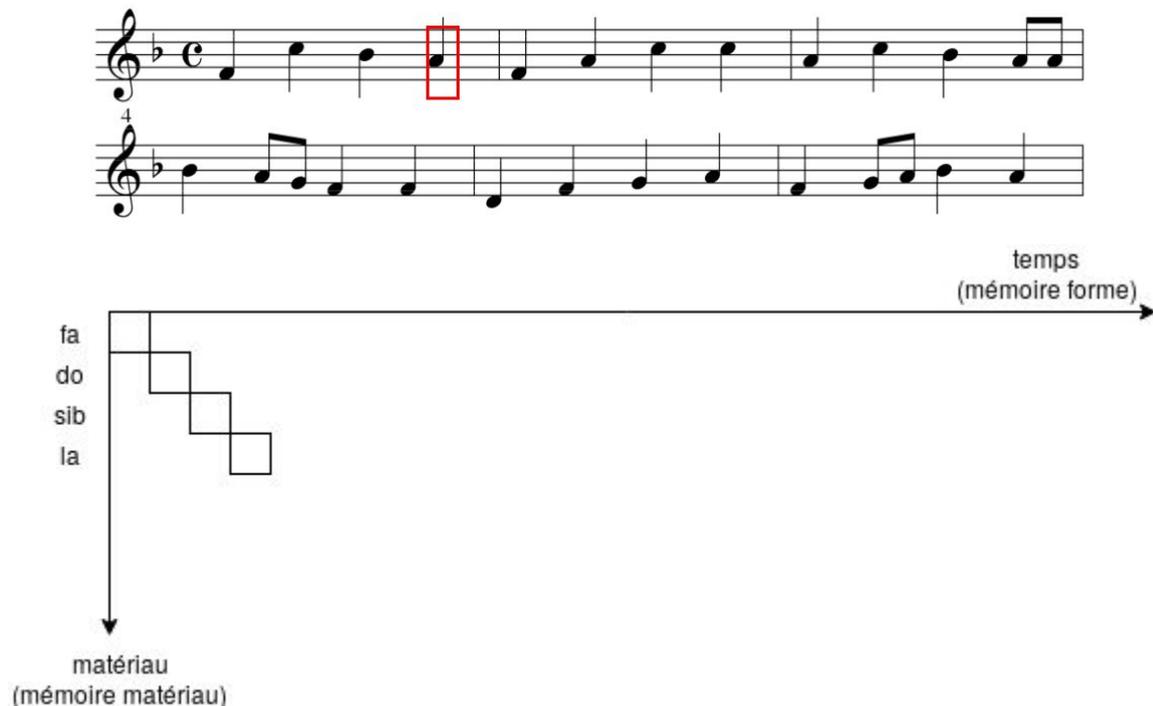


# Diagramme formel



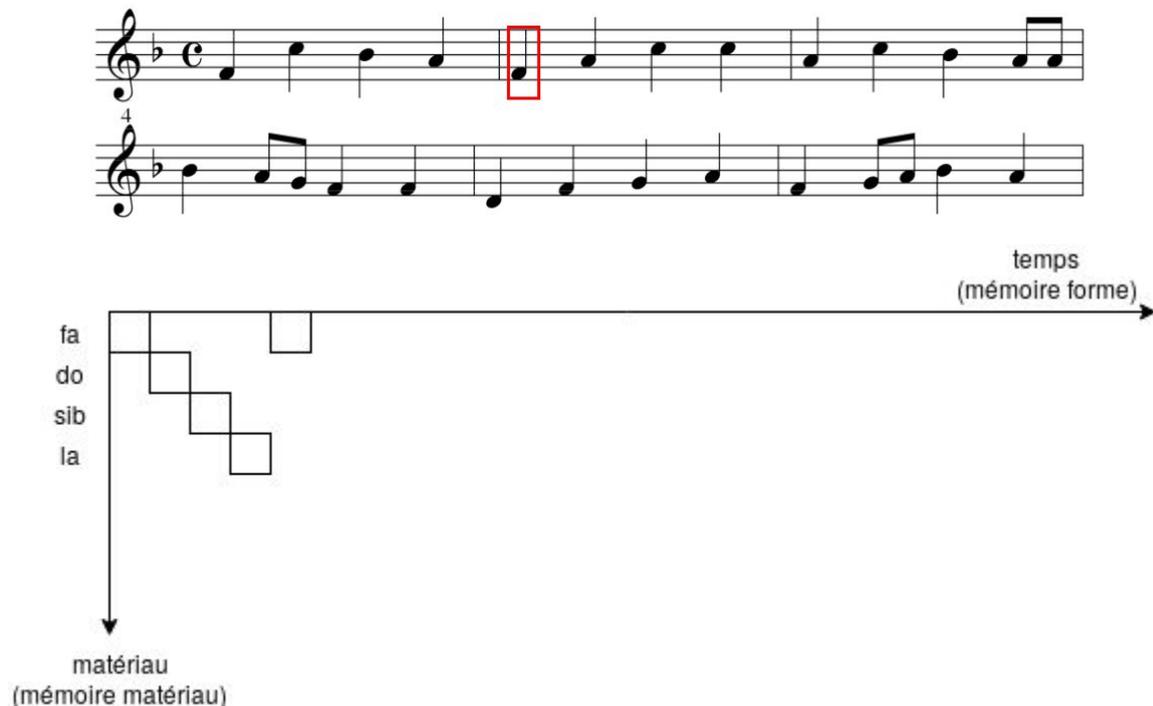


# Diagramme formel



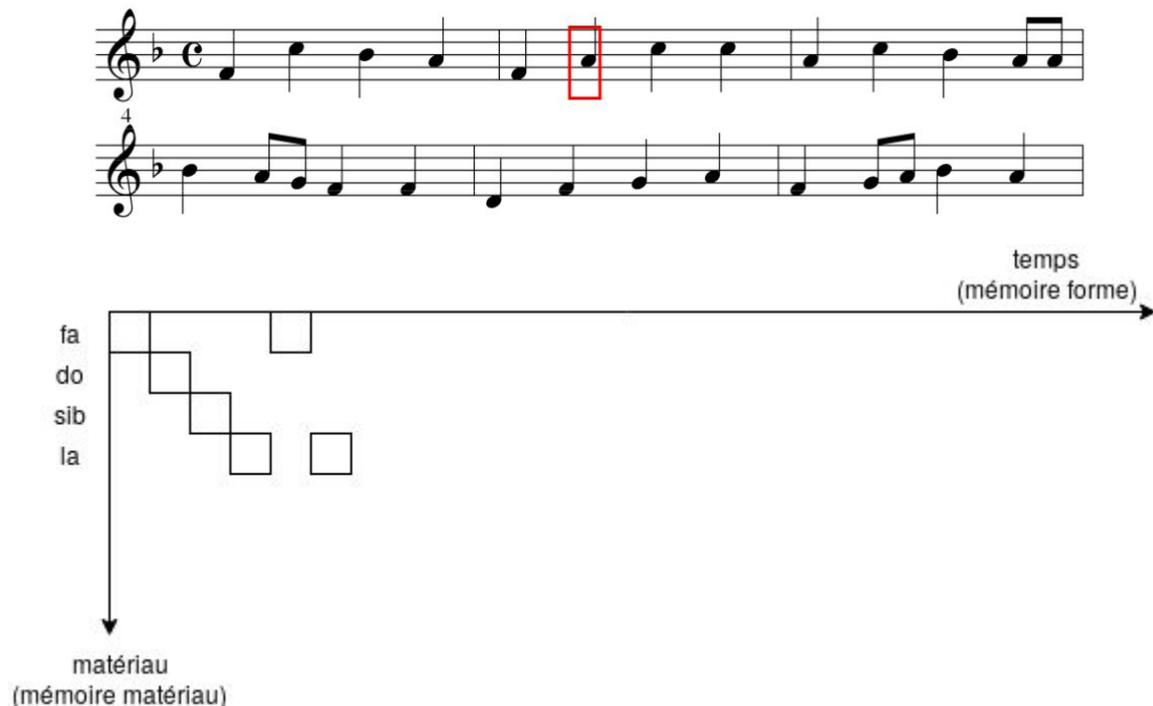


# Diagramme formel



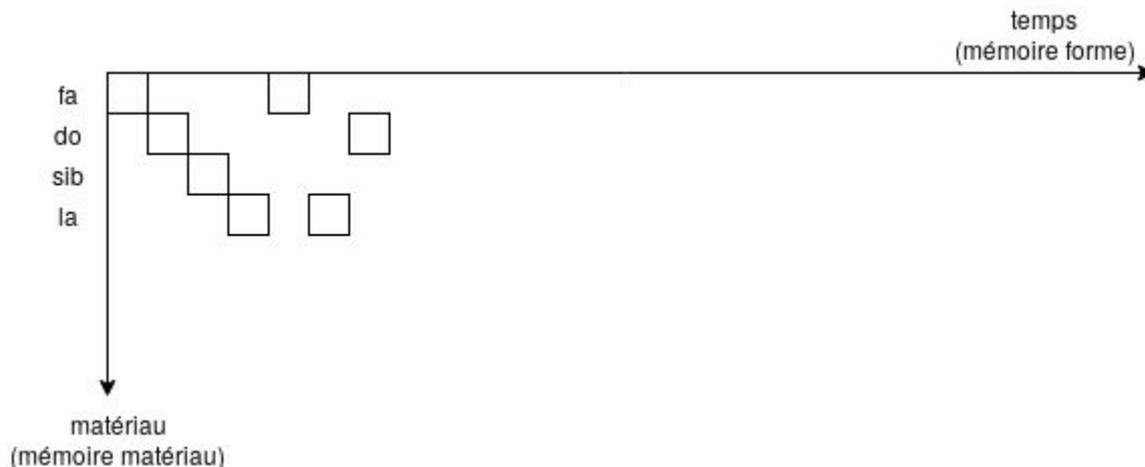
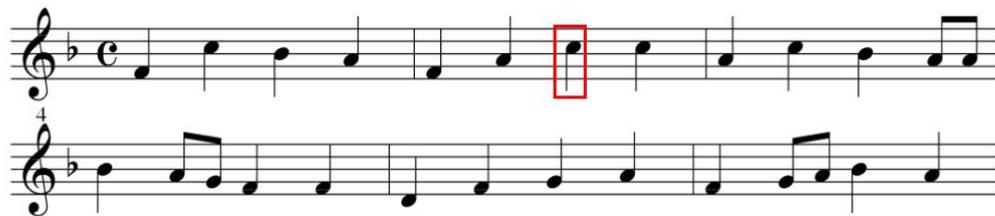


# Diagramme formel



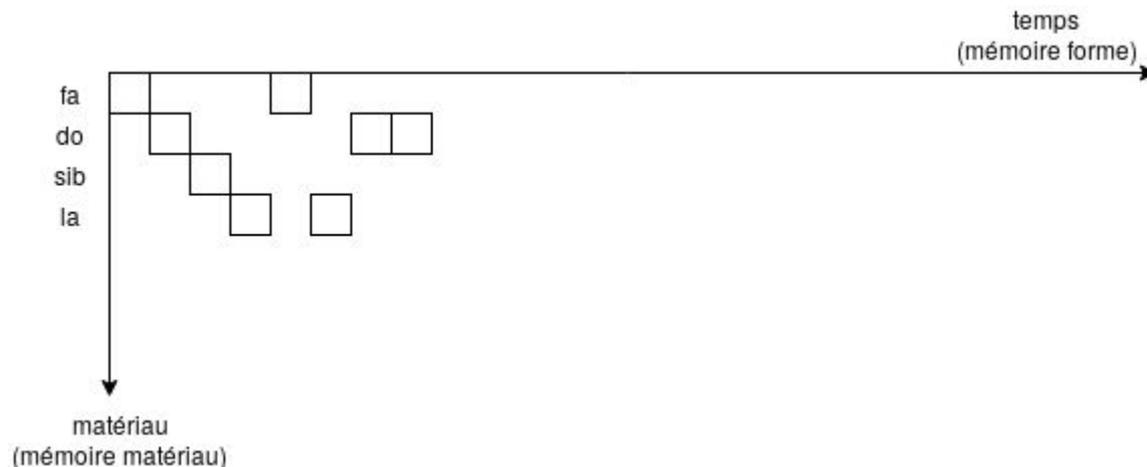
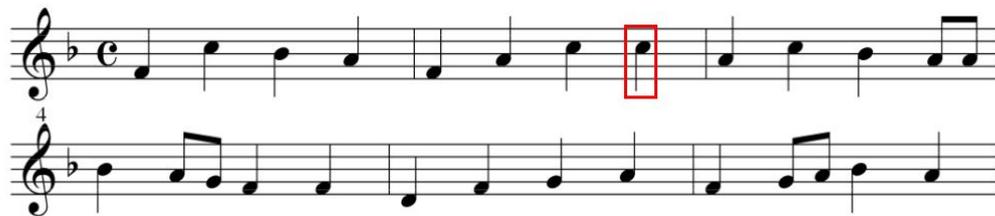


# Diagramme formel



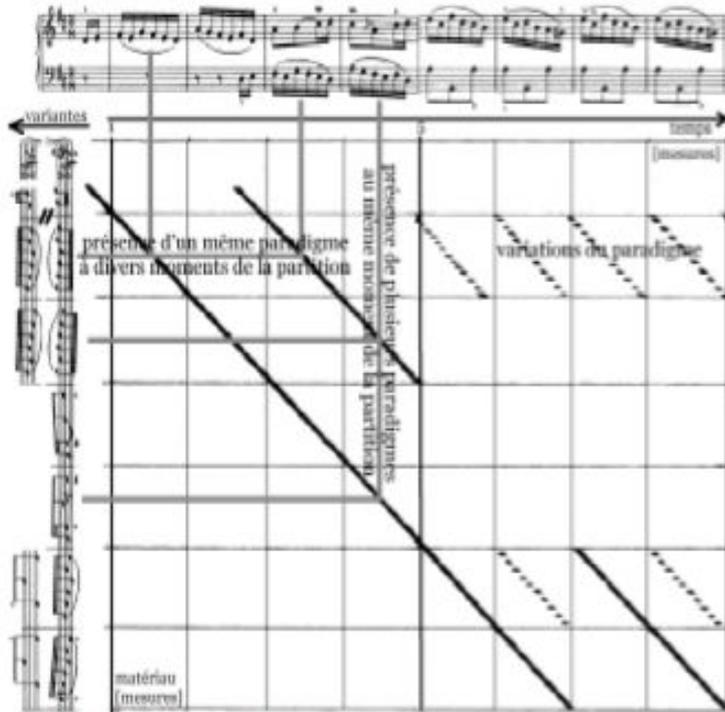


# Diagramme formel





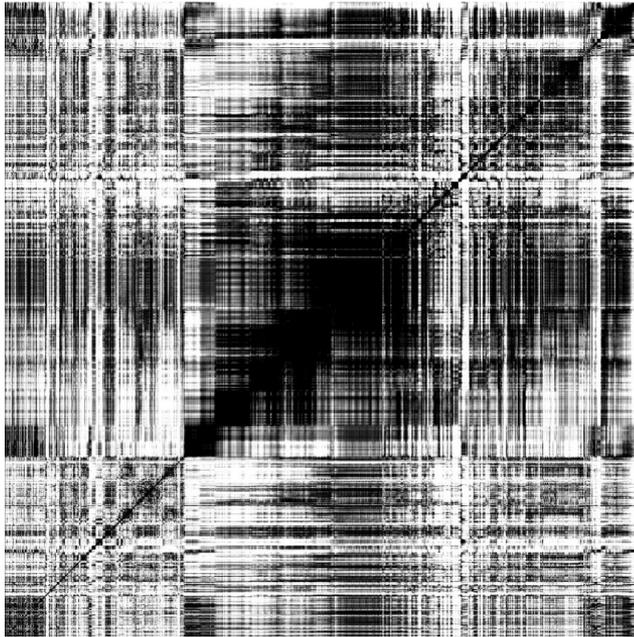
# Diagramme formel



Début de l'Invention n°3 BWV774 de J.S. Bach



# matrice d'autosimilarité



Fogg, Lorenzo Bianchi Hoesch (2012)



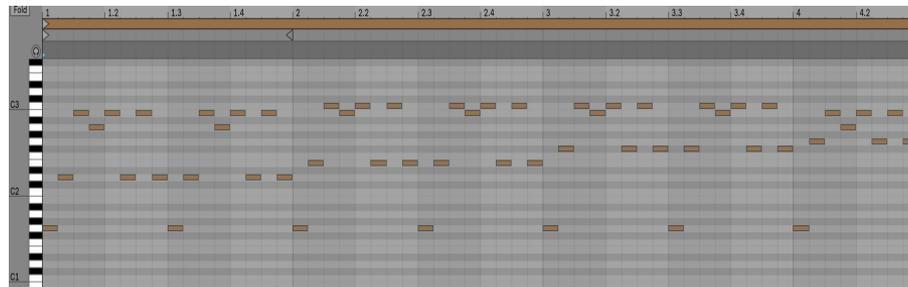
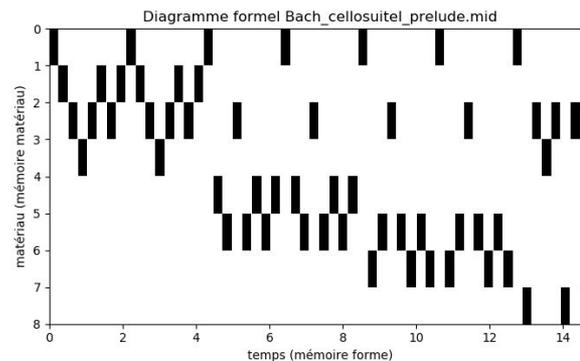
# Interprétations du diagramme formel

**Différence avec le piano-roll :**

→ représentation temporelle de  
l'apparition de nouveaux  
matériaux

→ met en exergue la forme de  
l'oeuvre : front de découverte

→ stratégie du compositeur





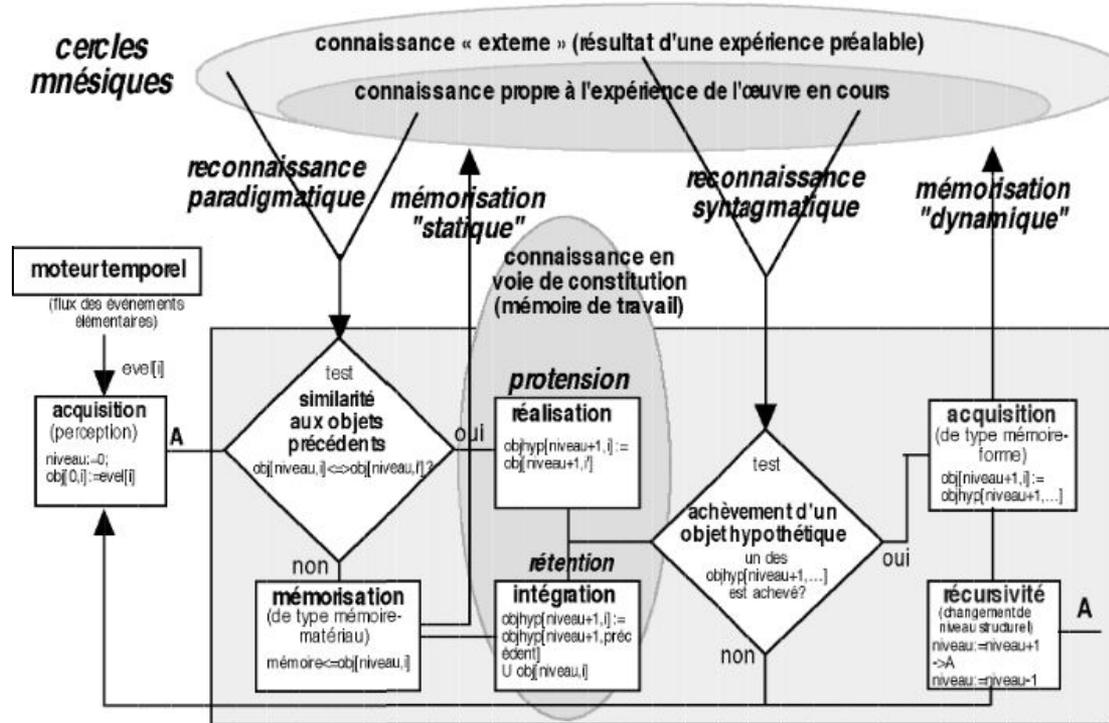
# Interprétations du diagramme formel

Attention : pas uniquement à l'échelle de la not

- matériaux plus subtiles, plus larges pertinents à d'autres échelles
- autres dimensions sonores (amplitude, rythme)

Comment déterminer automatiquement les échelles et critères pertinents de segmentation ?

# Algorithme hiérarchique

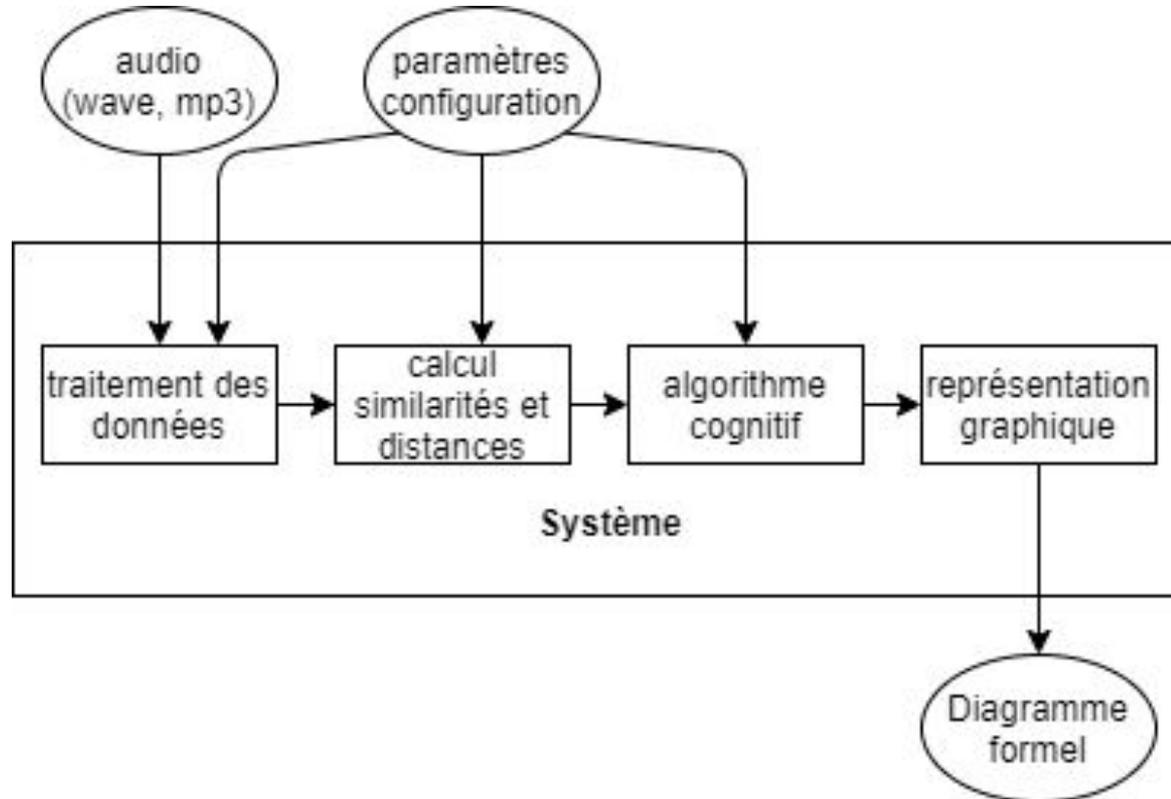




# Architecture du système au niveau du signal



# Architecture générale





# **Architecture : paramètres de configuration**



# **Architecture : traitement des données**



# **Architecture : calcul des similarités**



# **Architecture : algorithmme cognitif**



# **Architecture : représentation graphique**



# **Etude de cas : Geisslerlied**



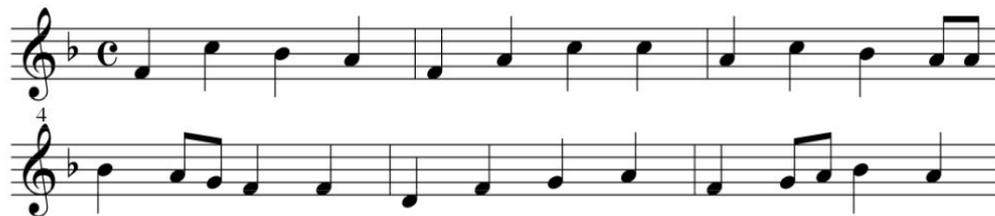


# Etude de cas : Geisslerlied

Etude de cas sur le Geisslerlied Maria muoter reinû maît (monophonique)

modélisé en MIDI

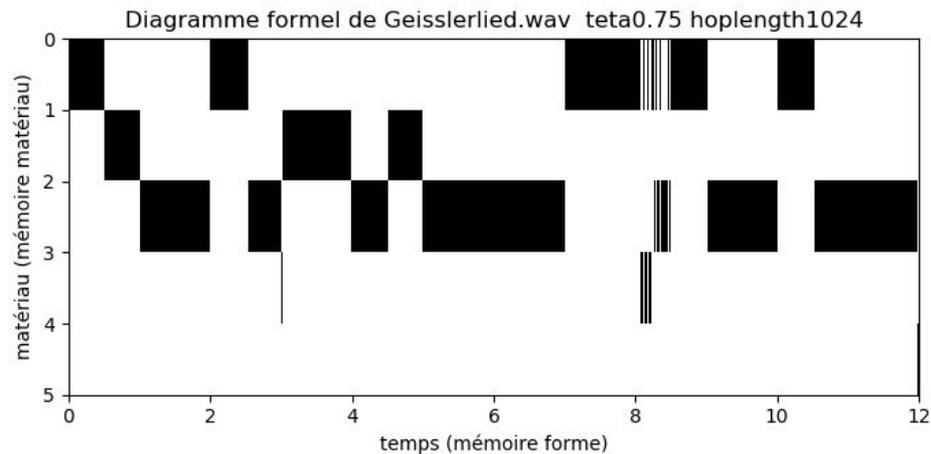
synthétisé au piano





# Etude de cas : variation du seuil

variation du seuil 1

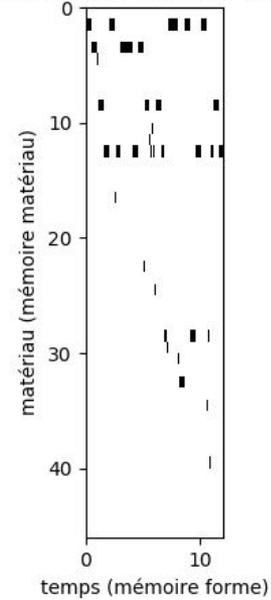




# Etude de cas : Geisslerlied

variation du seuil 2

Diagramme formel de Geisslerlied.wav teta0.95 hoplength1024

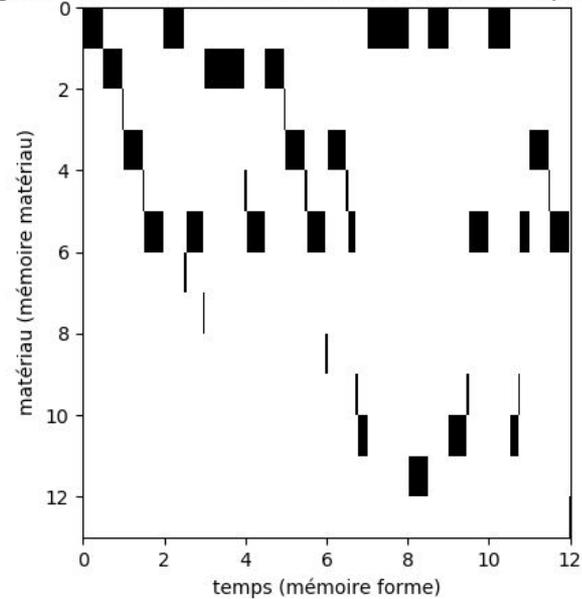




# Etude de cas : Geisslerlied

variation du seuil 3

Diagramme formel de Geisslerlied.wav teta0.85 hoplength2048



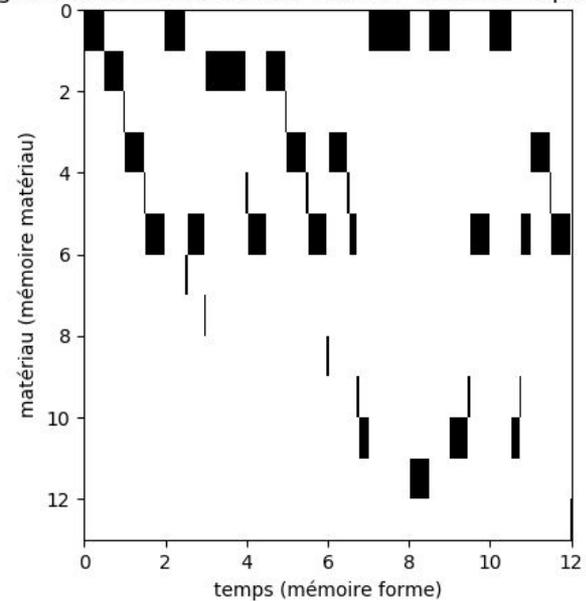




# Etude de cas : Geisslerlied

variation de la fenêtre 2

Diagramme formel de Geisslerlied.wav teta0.85 hoplength2048

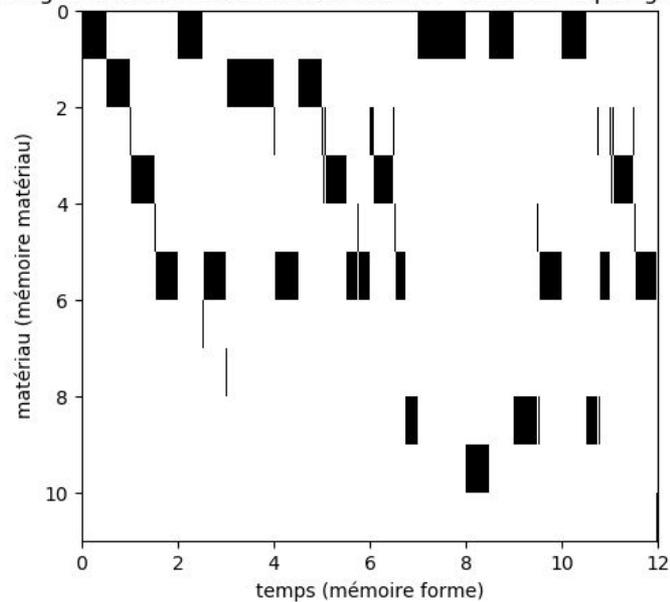




# Etude de cas : Geisslerlied

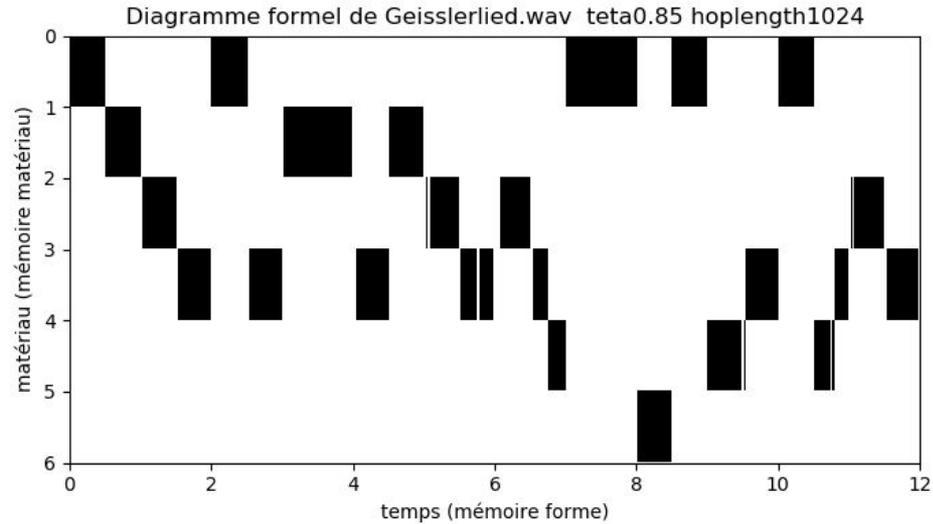
variation de la fenêtre 3

Diagramme formel de Geisslerlied.wav teta0.85 hoplength1024



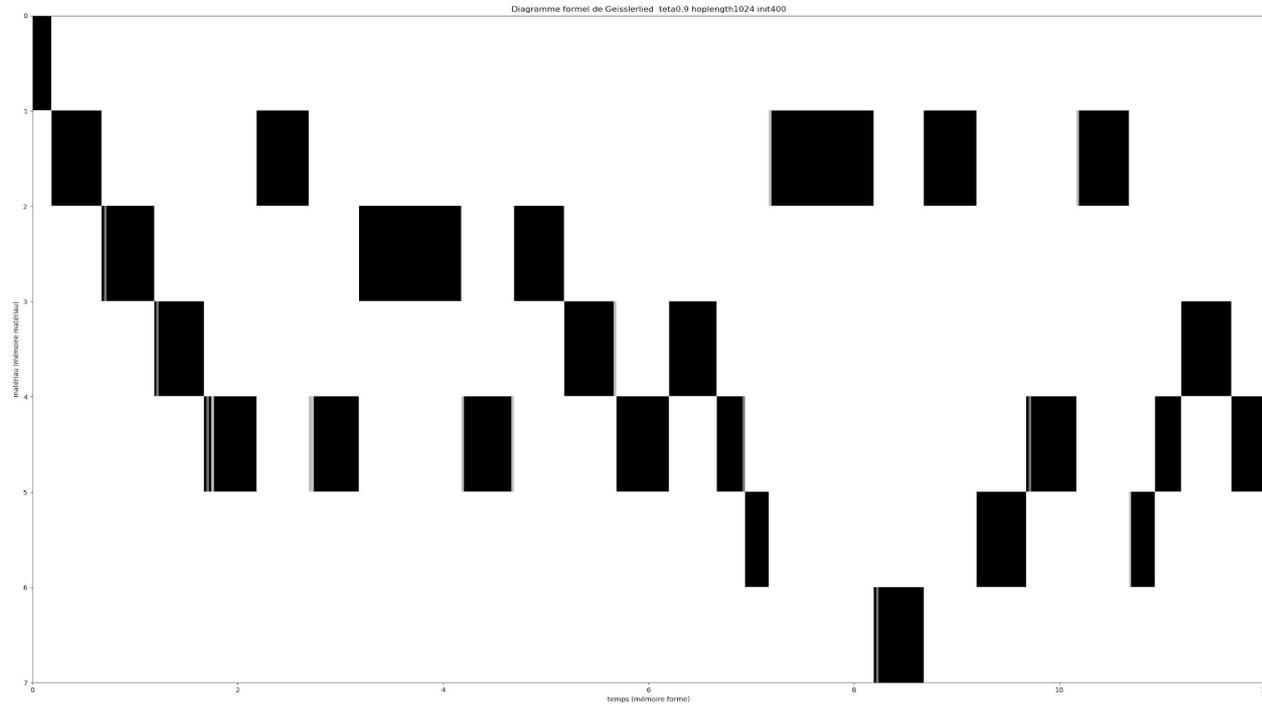


# Etude de cas : Correction des frames





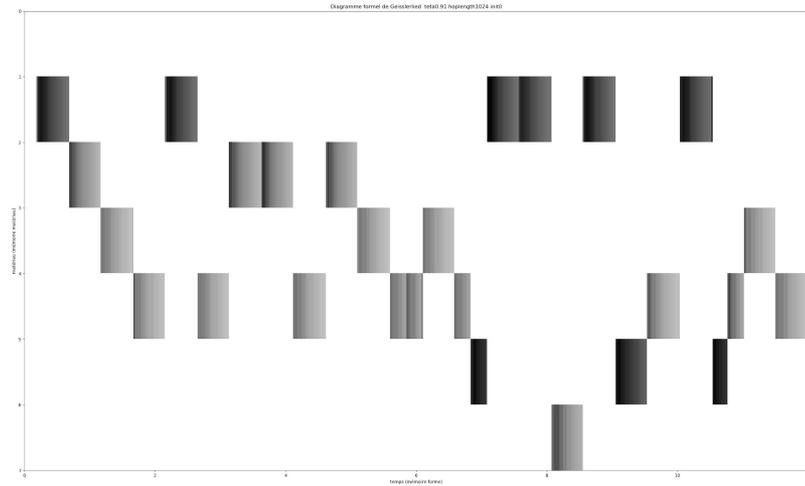
# Etude de cas : Ajout automatique du silence en début de morceau





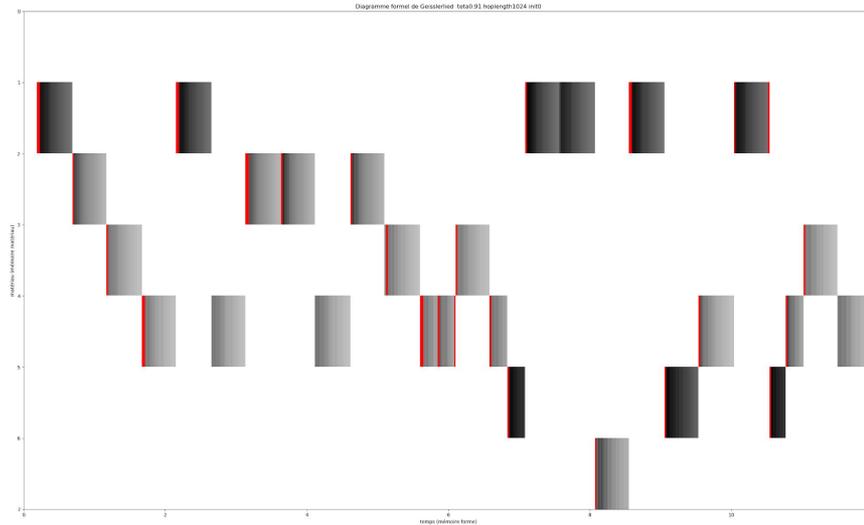
# Etude de cas : Application de la dynamique

variation de la fenêtre 3





# Etude de cas : Transformée différentielle



D\_THRESHOLD=70



# Confrontation des temps de calcul





# Confrontation des résultats obtenus



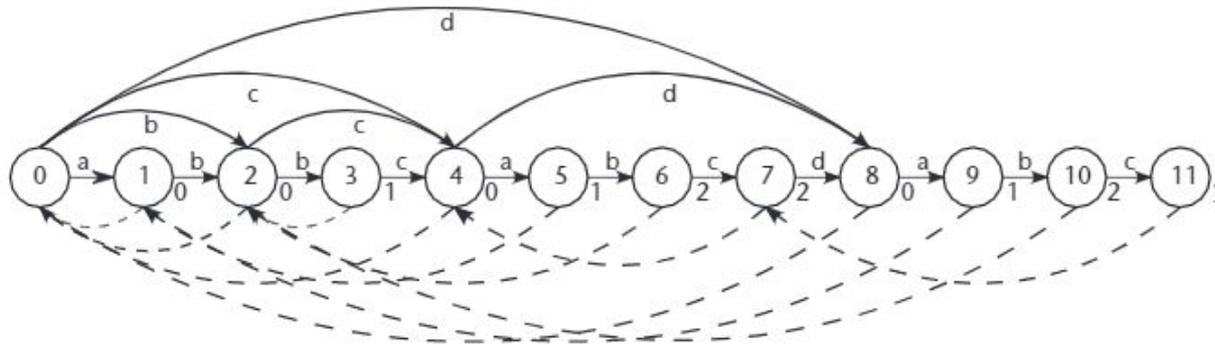
The slide features a solid orange background. In the top-left corner, there are three vertical bars of varying heights, each composed of several overlapping semi-transparent circles. A similar set of four vertical bars is located in the bottom-right corner, also composed of overlapping semi-transparent circles.

# **Amélioration de l'algorithme avec le Variable Markov Oracle (Shlomo Dubnov)**



# Variable Markov Oracle, Shlomo Dubnov

- Factor Oracle : chaînes symboliques
- Audio Oracle : Signal Audio
- VMO : FO+AO (mémorisation de l'étiquette des liens + Signal Audio)



Factor Oracle de la chaîne  
“abbcabcdabc”

Require: Oracle  $P = p_1 \dots p_t$ , time-series instance  $O[t + 1]$  and number of cluster  $M$

```
1. Create a new state  $t + 1$ 
2.  $q_{t+1} \leftarrow 0$ ,  $\text{sfx}_P[t + 1] \leftarrow 0$ 
3. Create a new transition from  $t$  to  $t + 1$ ,  $\delta(t, q_{t+1}) = t + 1$ 
4.  $k \leftarrow \text{sfx}_P[t]$ 
5. while  $k > -1$  do
6.    $D \leftarrow$  distances between  $O[t + 1]$  and  $O[\delta(k, :)]$ 
7.   if all distances in  $D$  are greater than  $\theta$  then
8.      $\delta(k; q_{t+1}) \leftarrow t + 1$ 
9.      $k \leftarrow \text{sfx}_P[k]$ 
10.  else
11.    Find the forward link from  $k$  that minimizes  $D$ 
12.     $k' \leftarrow (k; :)[\text{argmin}(D)]$ 
13.     $\text{sfx}_P[t + 1] \leftarrow k'$ 
14.    break
15.  end if
16. end while
17. if  $k = -1$  then
18.    $\text{sfx}_P[t + 1] = 0$ 
19.   Initialize a new cluster with current frame index  $\sigma_{M+1} \leftarrow t + 1$ 
20.    $\Sigma \leftarrow [\Sigma; \sigma_{M+1}]$ 
21.   Assign a label to the new cluster,  $q_{t+1} \leftarrow M + 1$ 
22.   Update number of clusters,  $M \leftarrow M + 1$ 
23. else
24.   Assign cluster label based on assigned suffix link  $q_{t+1} \leftarrow q_k$ 
25.    $\sigma_{q_k} \leftarrow [\sigma_{q_k}; t+1]$ 
26. end if
27. return Oracle  $P = p_1 \dots p_{t+1}, M$ 
```



## Limites et cadre :

- musiques polyphoniques, musiques expérimentales particulières
- Quelle définition du fragment ?
- Quelles conditions de classification et de séparation pour structurer
- flexibilité de la classification
- Comment définir l'objet en entrée du système
- Utilisation de logique, langages de description ?
- Quelle représentation finale pour le système
- et plus particulièrement quelle représentation des chemins avortés, des chemins aboutis



# Représentation de l'objet du système





# Représentation de l'objet du système

Première structuration au niveau du signal:

→ pondération de descripteurs et choix de la classe par comparaison aux éléments précédemment vus (seuil, pondération, critère ?)

Aux niveaux supérieurs :

→ Représentation symbolique sous forme de matrice