

# Génération Automatique de Diagrammes Formels par un Algorithme Cognitif Modulaire : Étude Préliminaire

Joséphine Calandra, Jean-Marc Chouvel,  
Myriam Desainte-Catherine, Pierre Hanna

Lundi 26 octobre 2020



**LaBRI**



# Introduction

- Analyse musicale en tant que processus temporel
- Modélisation d'une visualisation de l'évolution temporelle de l'œuvre
- En fonction de l'écoute du sujet (F. Delalande)

## Objectifs :

- Comprendre les stratégies des compositeurs dont les œuvres sont vecteurs d'émotion
- Proposer un autre mode de lecture
- Automatisation de l'analyse paradigmatique sur différents niveaux de lecture

# État de l'Art

## Systèmes structurés

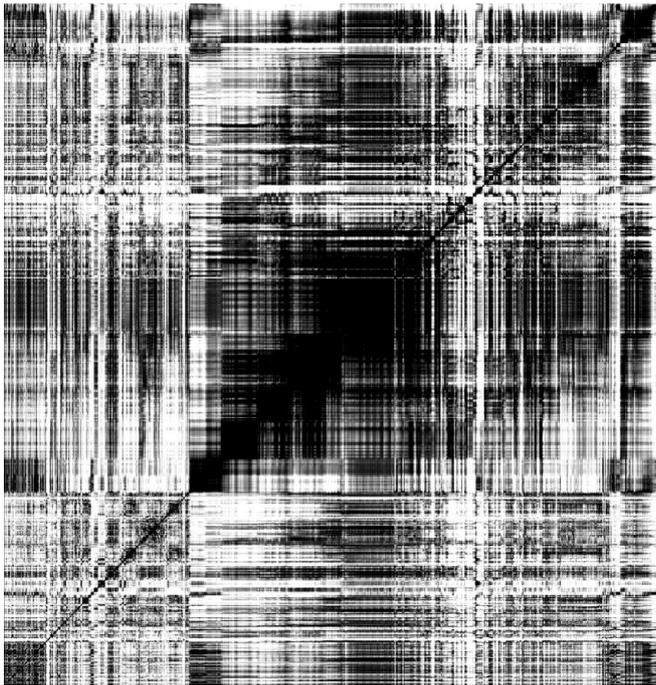
- **Analyse des structures répétitives dans les séquences musicales (Benjamin Martin, Université Sciences et Technologies, Bordeaux I, 2012)**
  - Utilisation d'un algorithme de comparaison de séquences ADN (BLAST)
- **Estimation de la structure de morceaux de musique par analyse multicritère et contrainte de régularité (Gabriel Sargent, Université de Rennes, 2013)**
  - Approche sémiotique et système modèle-contraste

## Systèmes temporels

- **Antescofo (Arshia Cont)**
  - Modélisation d'un système d'écoute pour la synchronisation avec le musicien
- **Ossia Score (SCRIME)**
  - Intégration dynamique du temps dans la partition

# État de l'Art

- Matrice d'autosimilarité

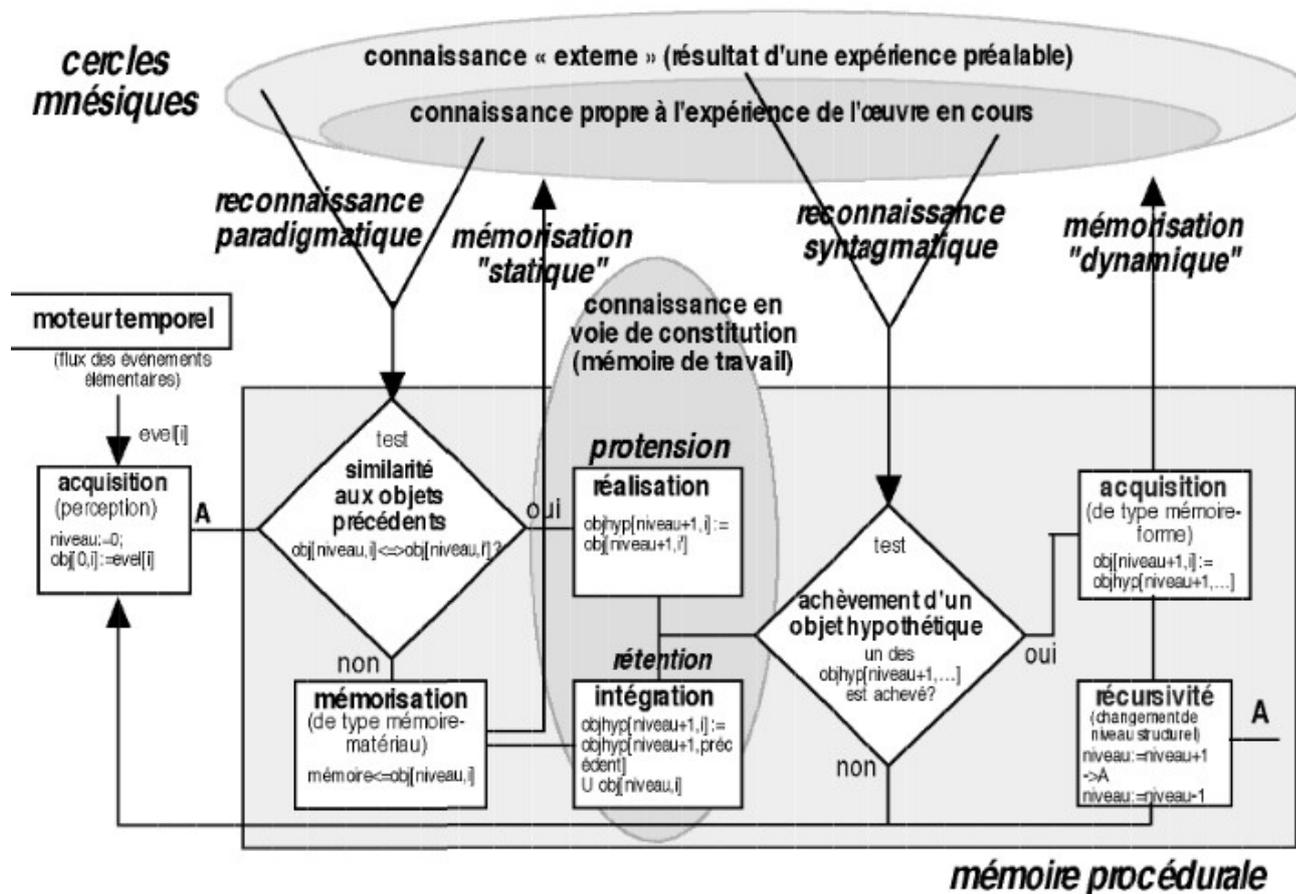


Fogg, Lorenzo Bianchi Hoesch (2012)

*Coupré, Pierre. (2015). Prolégomènes à la représentation analytique des musiques électroacoustiques. Circuit: Musiques contemporaines. 25. 10.7202/1029475ar.*

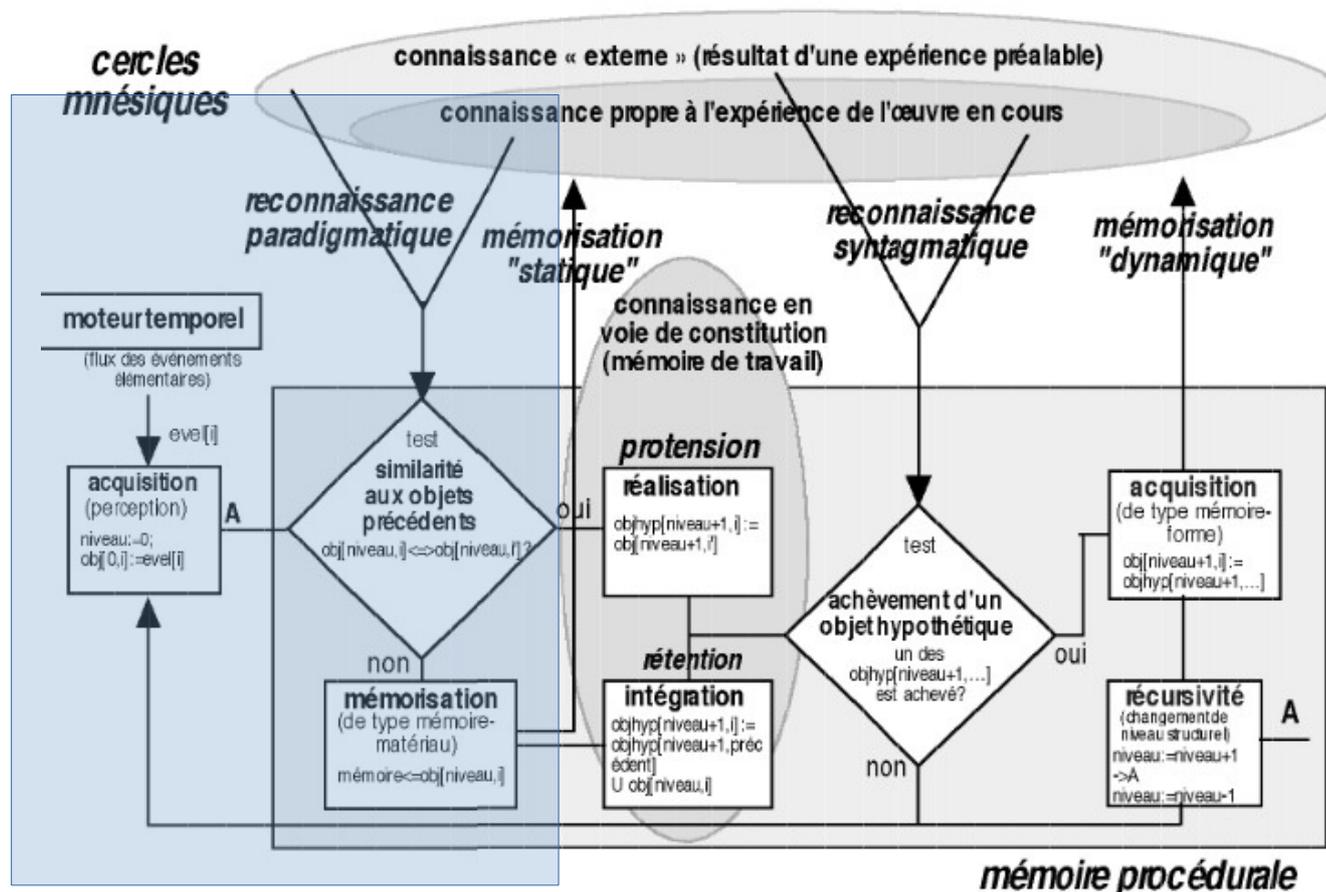
# L'algorithme cognitif

- Algorithme complet



# L'algorithme cognitif

- Algorithme complet



# Diagramme formel

**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 » ;**

Représentation temps-matériau = Représentation formelle de l'œuvre



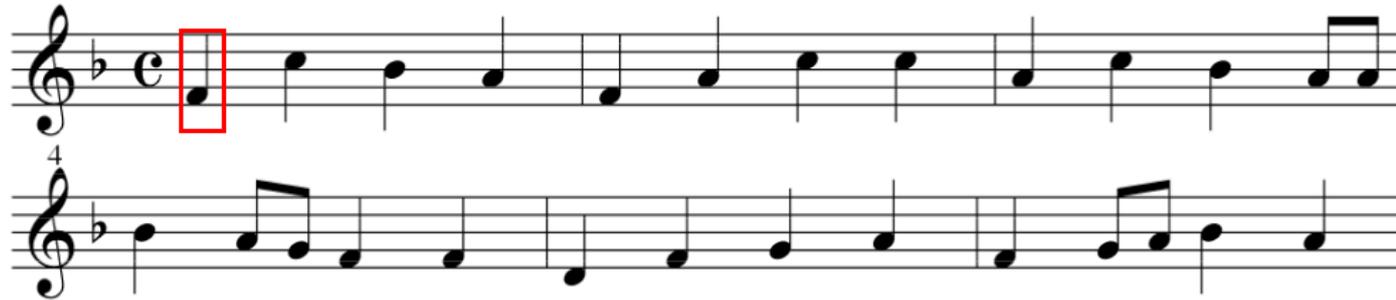
# Diagramme formel



temps  
(mémoire forme)

matériau  
(mémoire matériau)

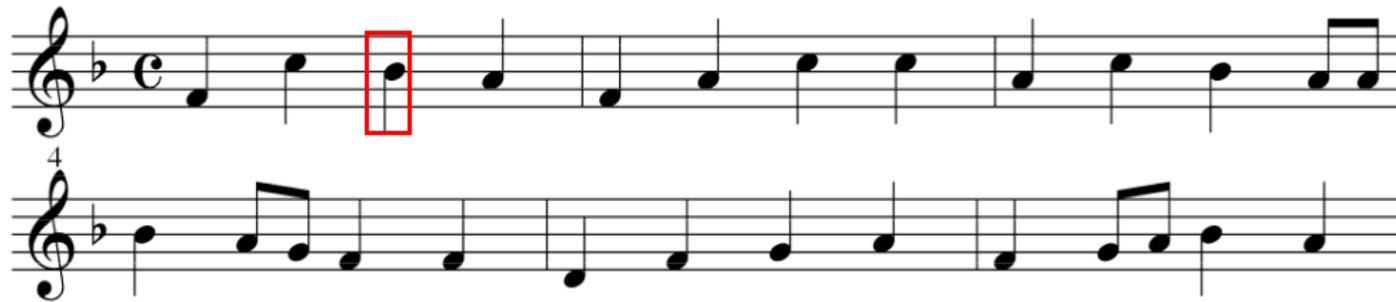
# Diagramme formel



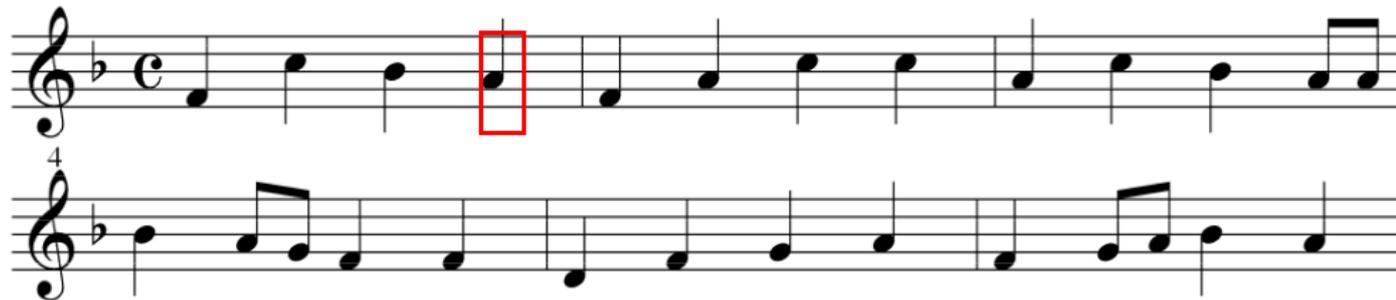
# Diagramme formel



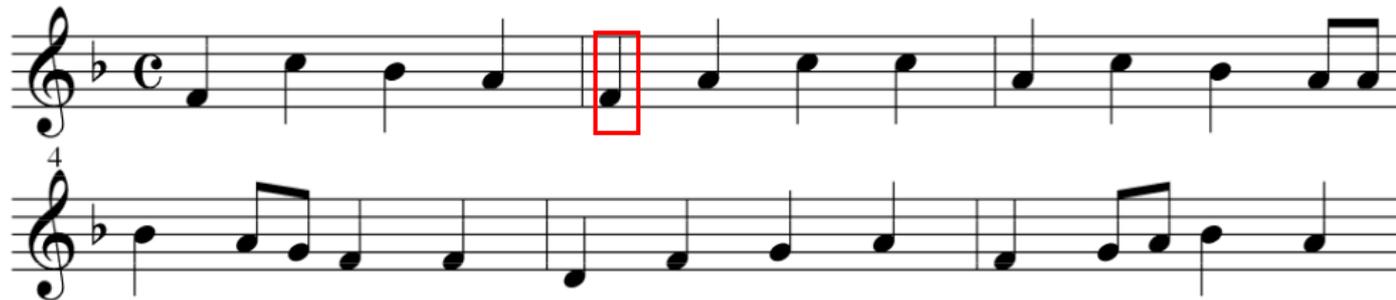
# Diagramme formel



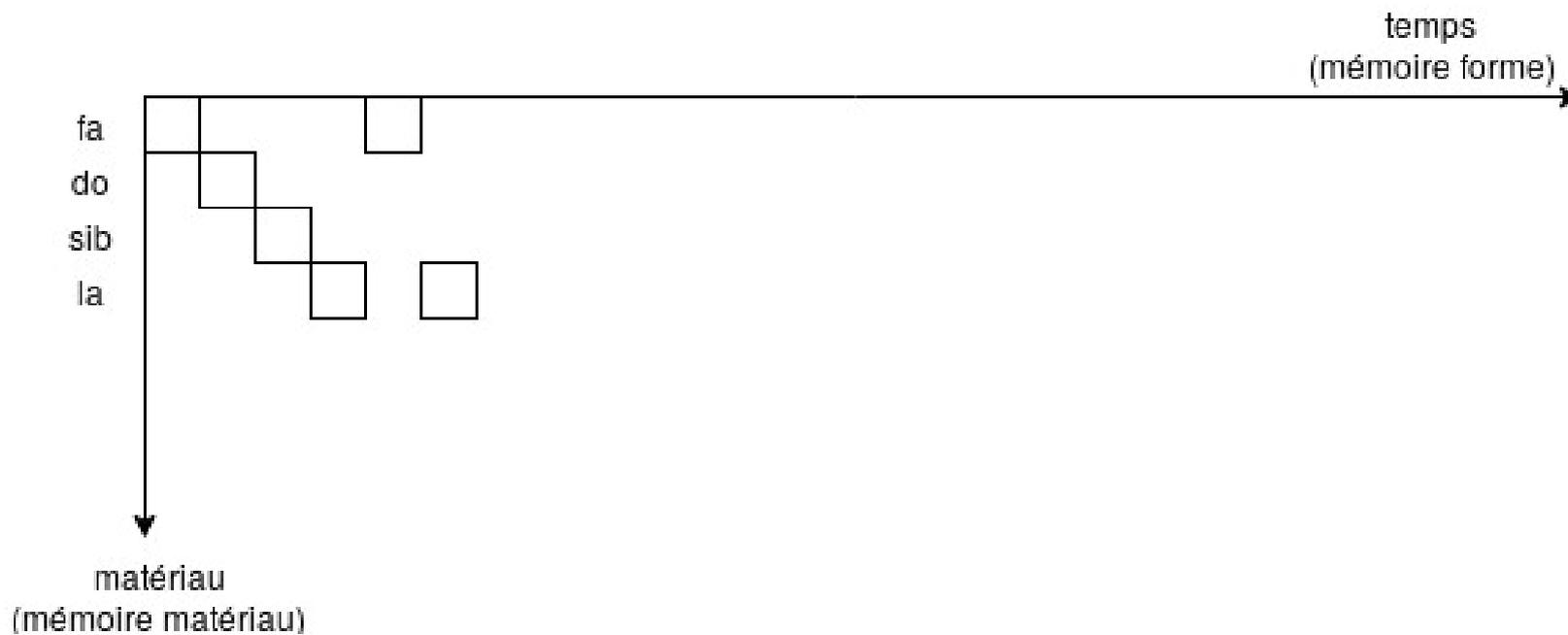
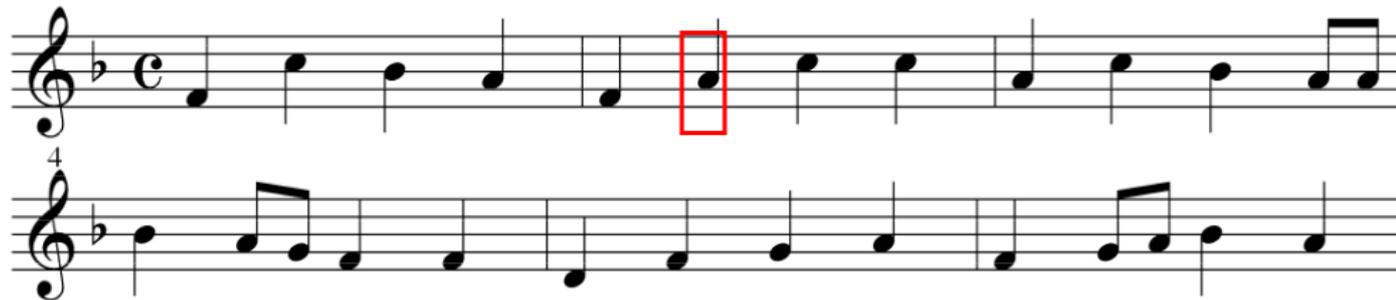
# Diagramme formel



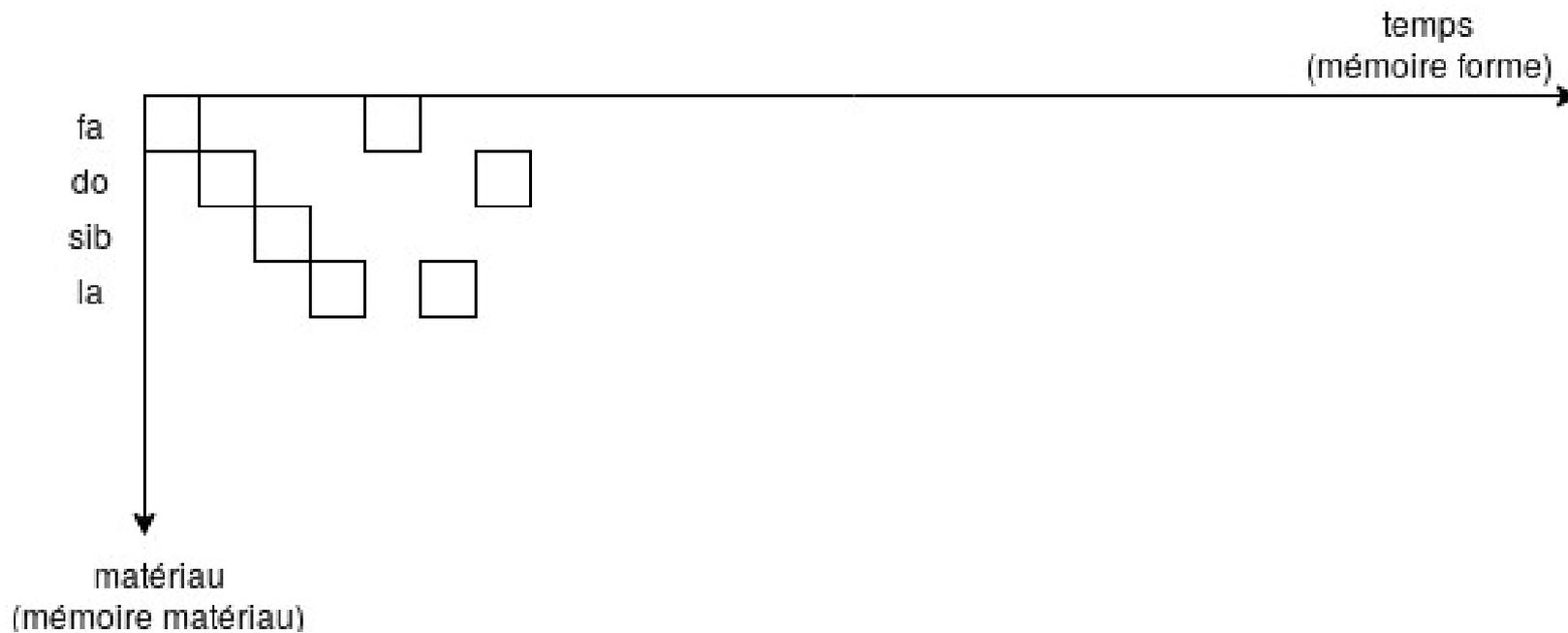
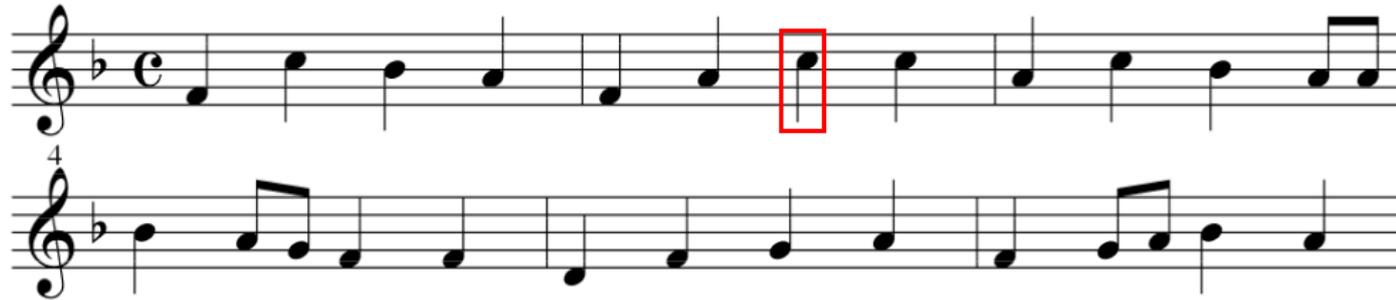
# Diagramme formel



# Diagramme formel



# Diagramme formel

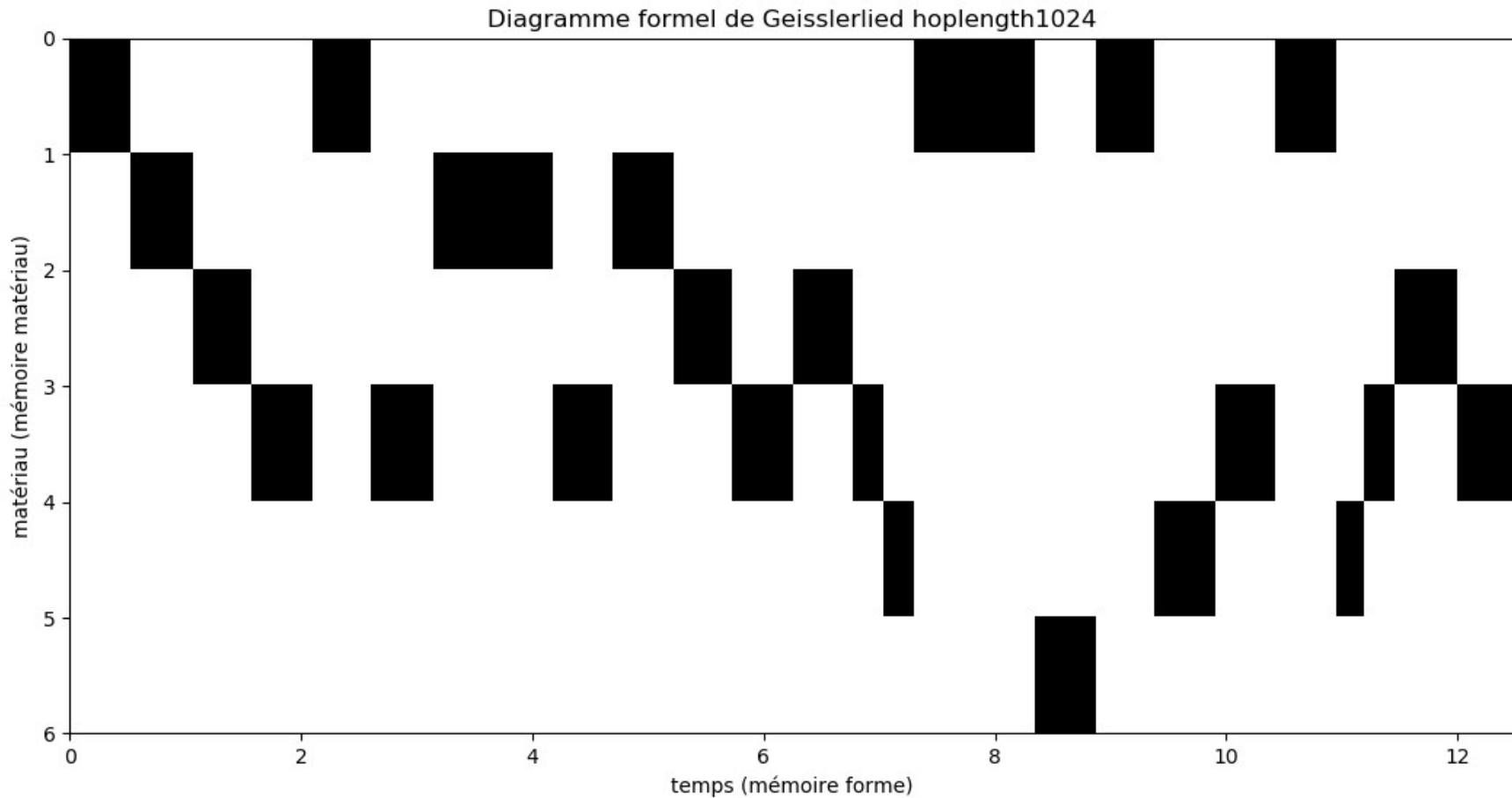






# Diagramme formel

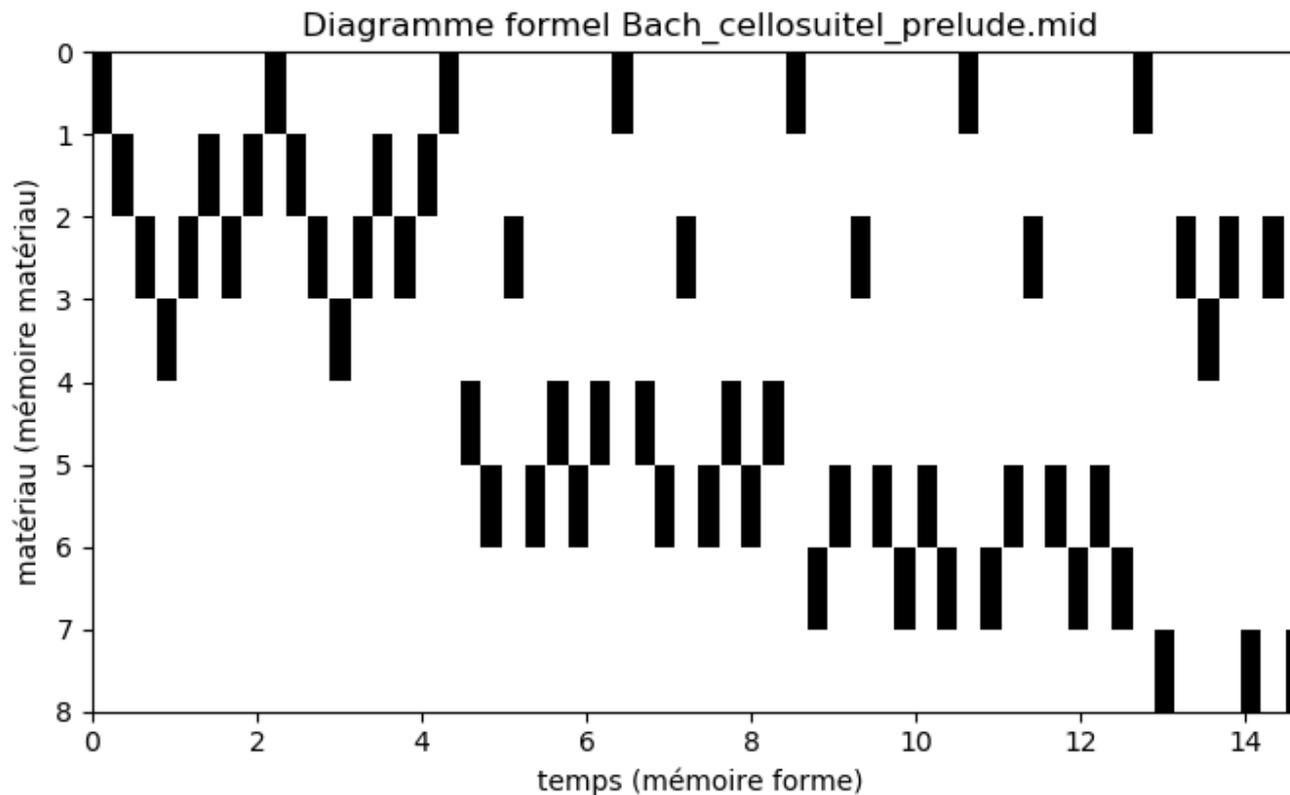
- Analyse à partir d'un fichier MIDI (*Geisslerlied*)



# Diagramme formel

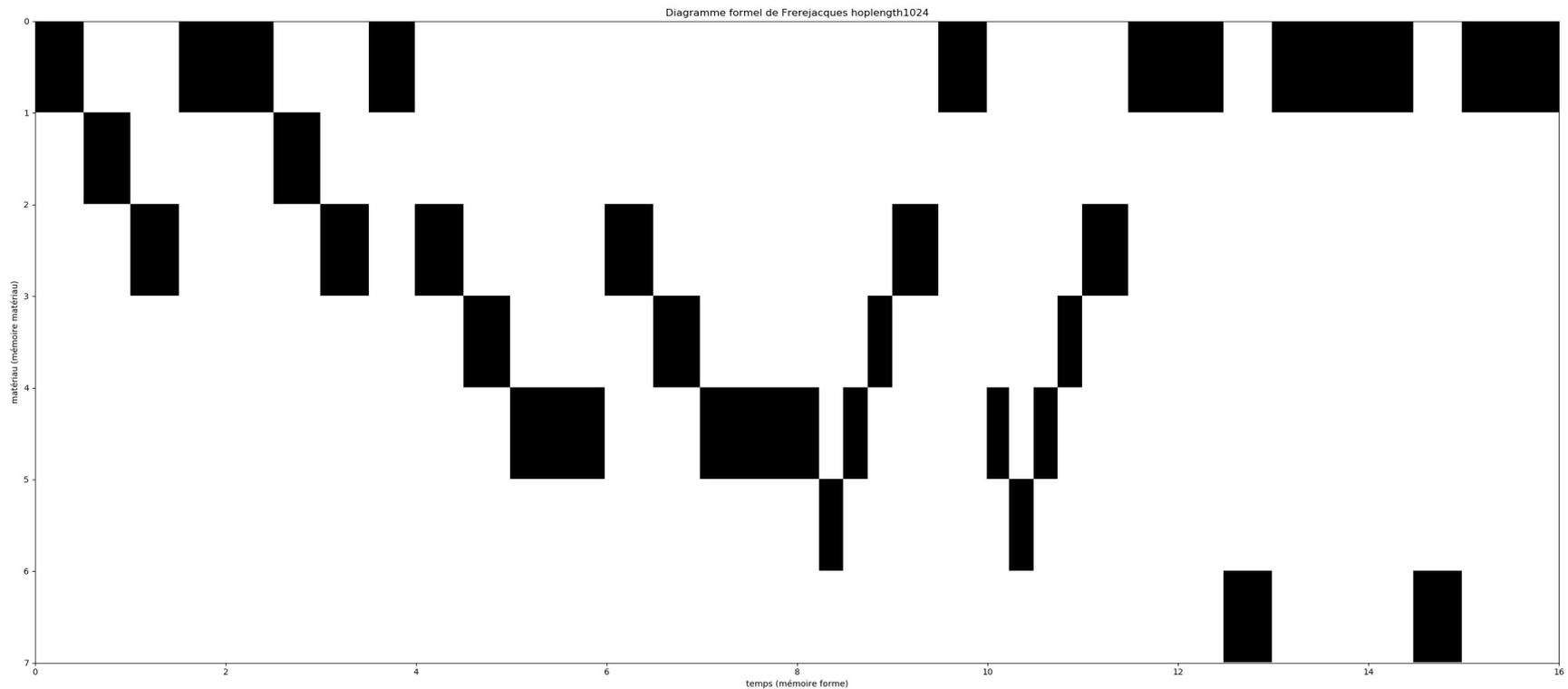
- Analyse à partir d'un fichier MIDI

- Fonctionne sans difficulté sur différents morceaux (*Prélude de la suite n°1 pour violoncelle de J.S. Bach*)



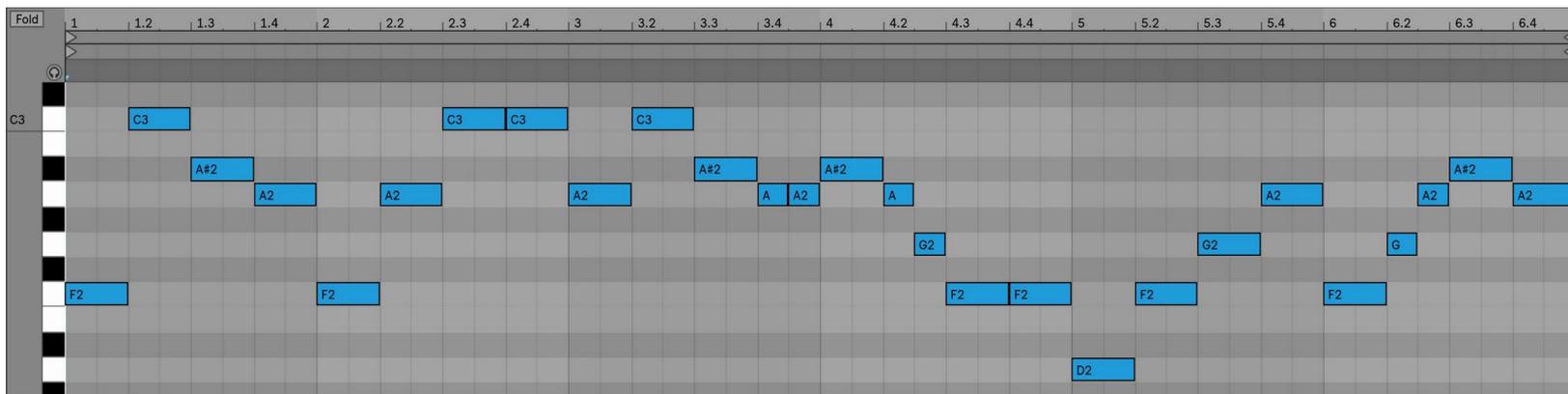
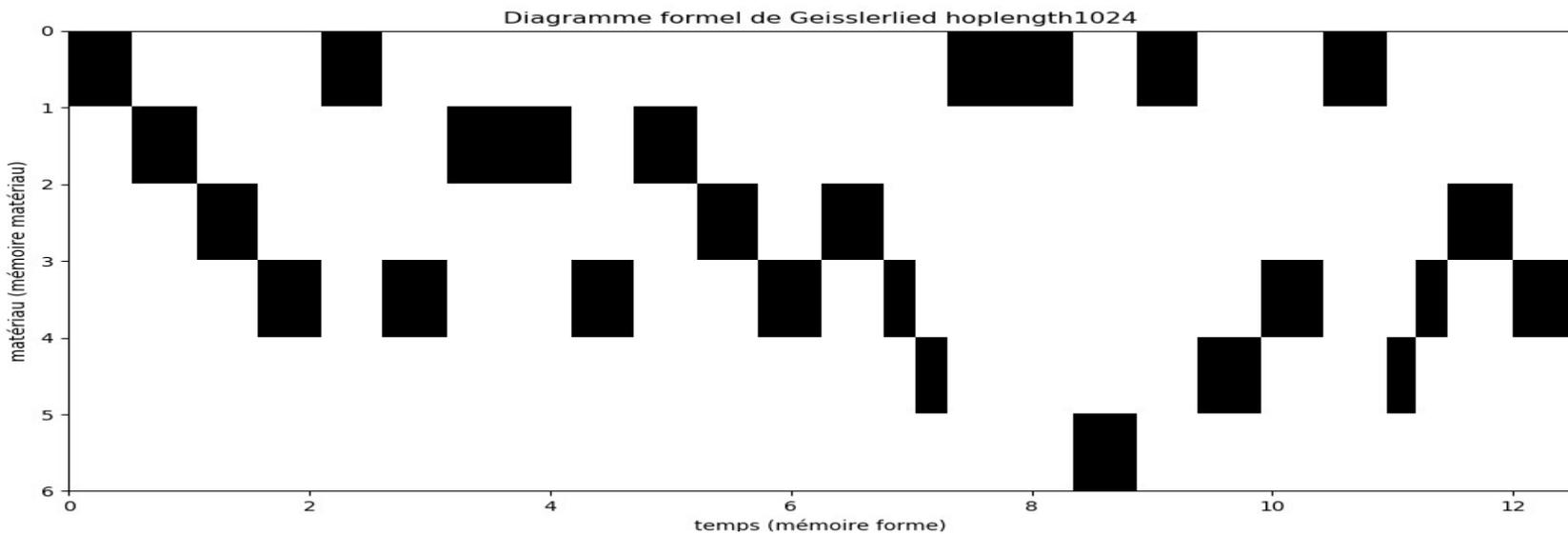
# Diagramme formel

- Analyse à partir d'un fichier MIDI
  - Fonctionne sans difficulté sur différents morceaux (*Frère Jacques*)



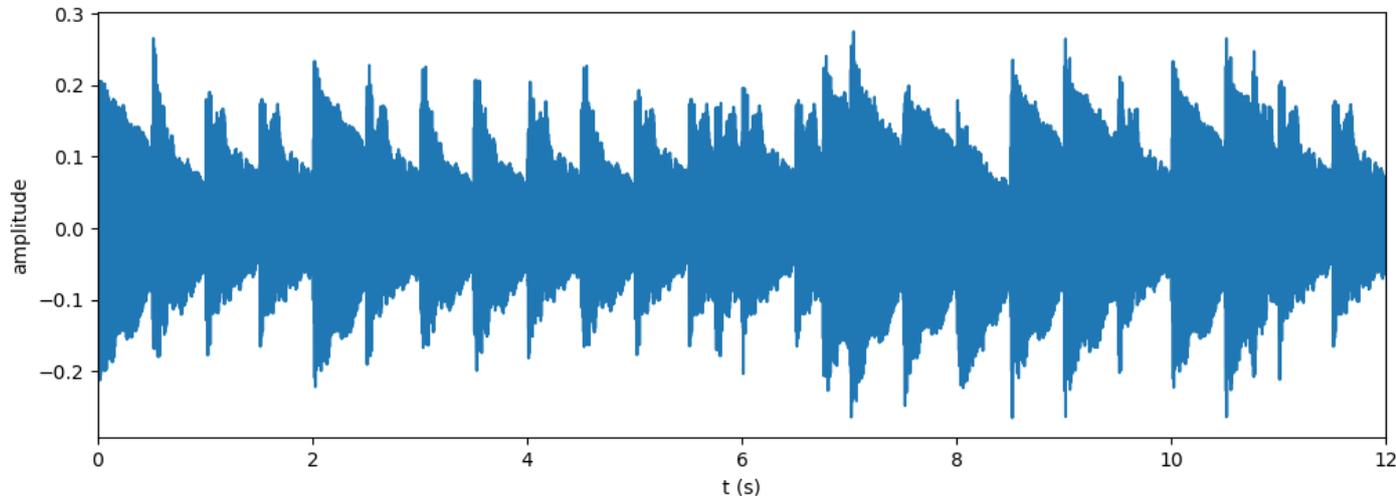
# Diagramme formel

- Différences avec le Piano Roll :



# Diagramme formel

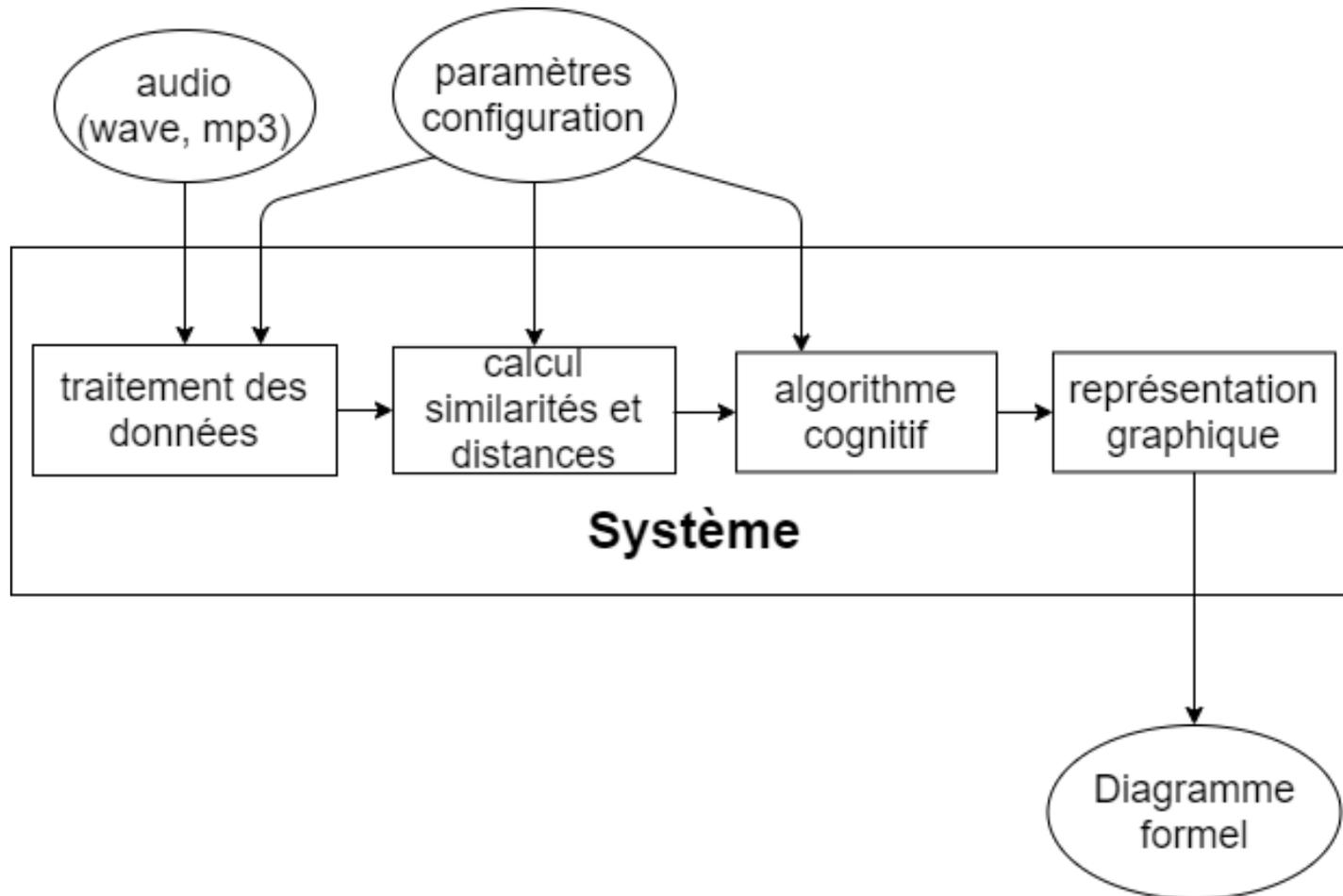
- Et à partir d'un fichier audio ?
  - Les critères de segmentation et de similarité ne sont pas explicites
  - Première approche au niveau du signal



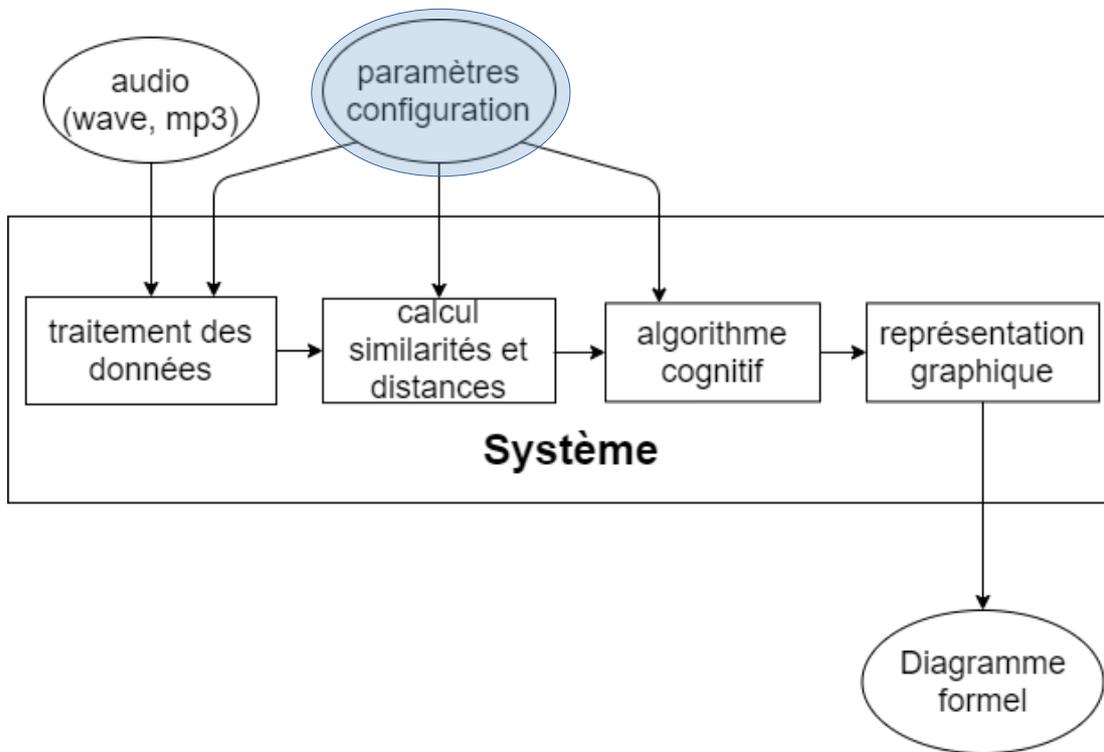
Forme d'onde du Geisslerlied synthétisé au Grand Piano au tempo 120 bpm

# Architecture du système

- Groupe modulaire : schéma général du système



# Architecture du système



## • Configuration :

### – Paramètres d'analyse :

- Nom du morceau et format à analyser
- Fréquence d'échantillonnage
- Seuil de similarité
- Longueur de la fenêtre analysée
- Choix du type de traitement des données et paramètres adéquats
- Choix du type d'algorithme de parcours du morceau

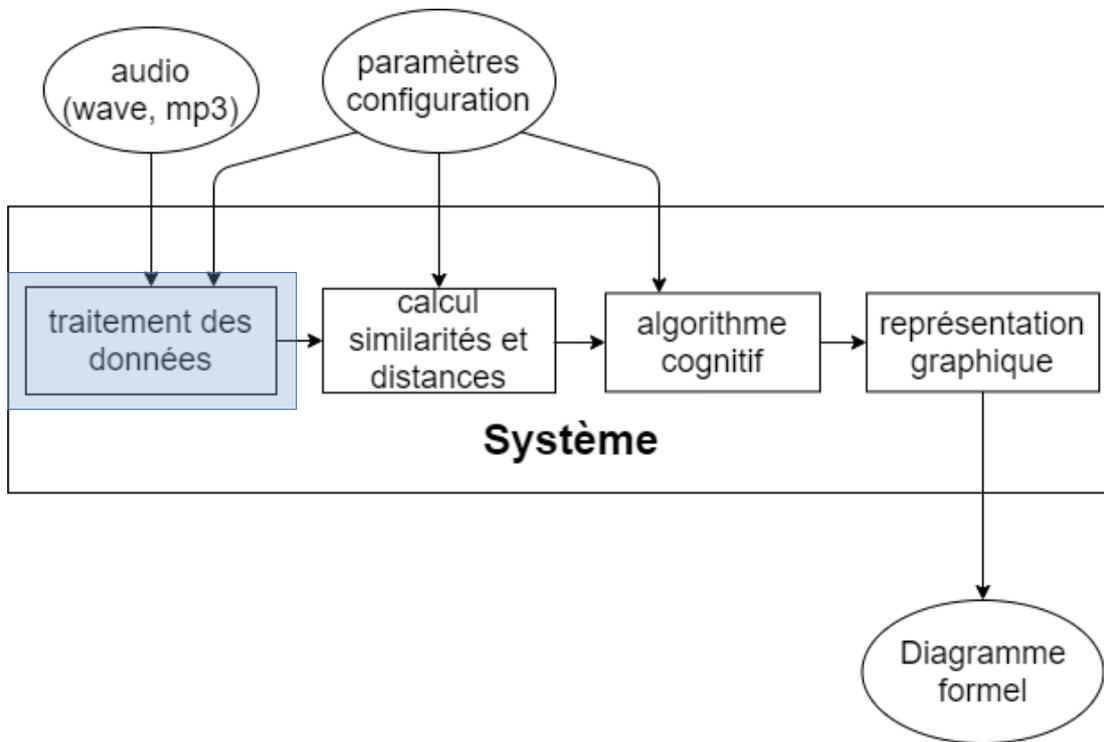
### – Paramètres de structuration :

- Algorithme de correction ou non du diagramme
- Affichage ou non de la segmentation dynamique et choix de la valeur de son seuil

### – Paramètres d'affichage :

- Affichage/Enregistrement ou non des diagrammes en PNG/BMP
- Choix des couleurs d'affichage

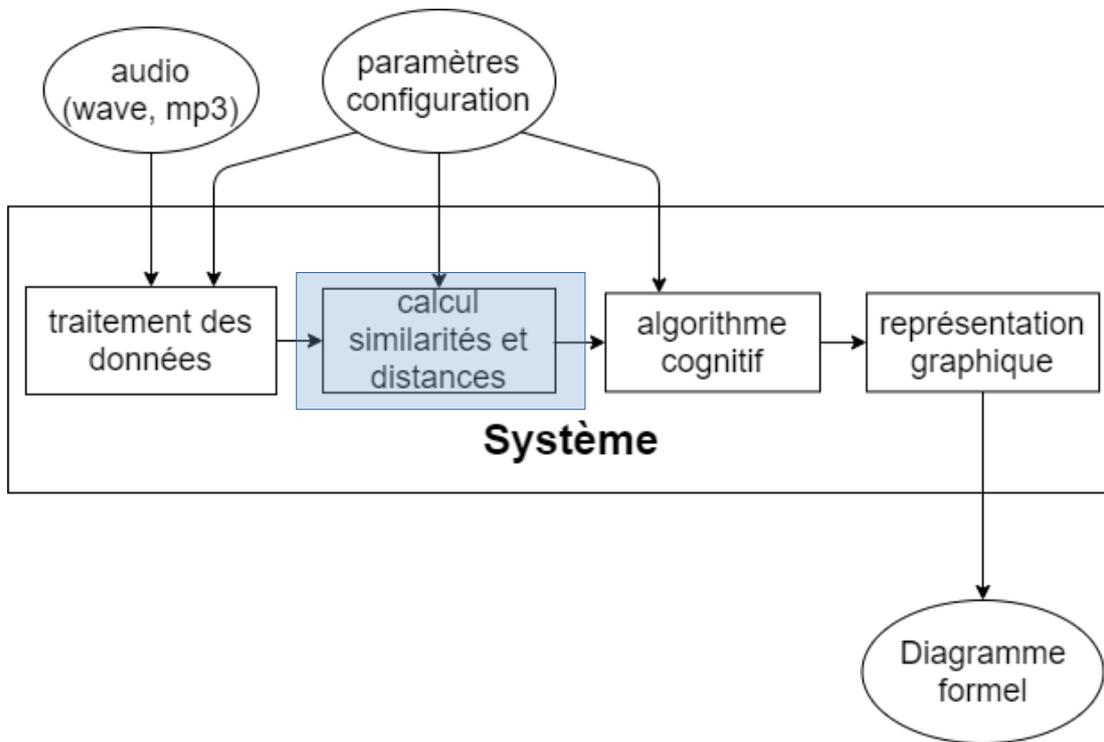
# Architecture du système



## • Traitement des données :

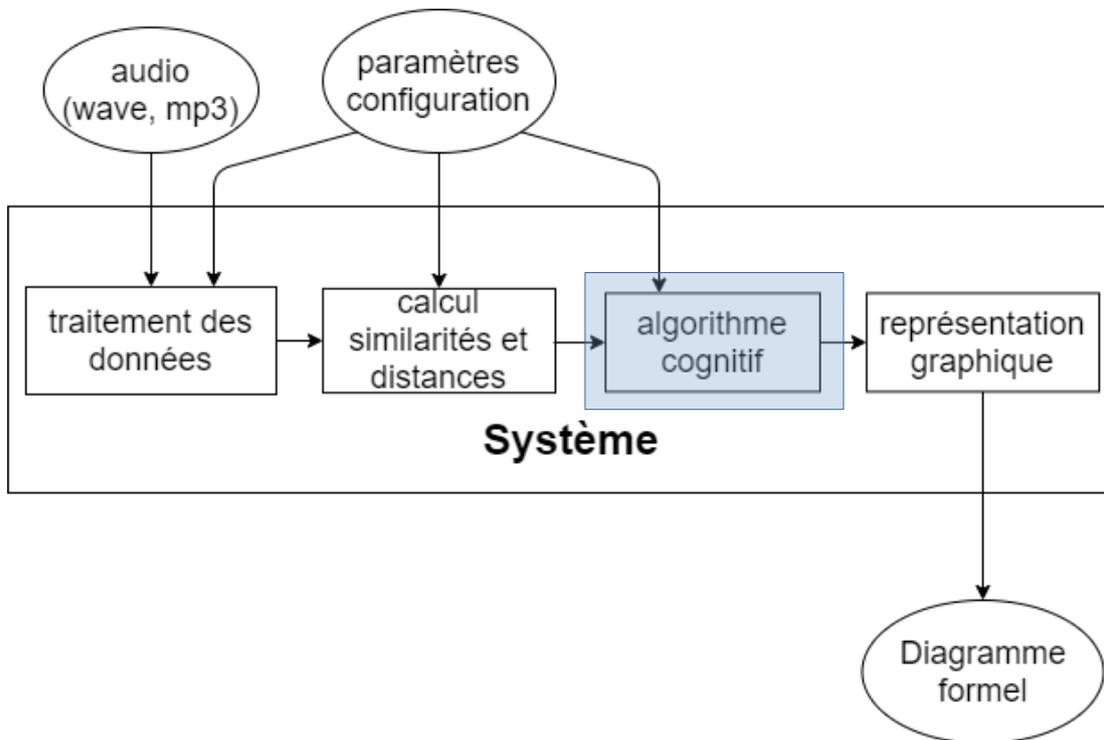
- Numérisation de l'audio
- Calcul des descripteurs
  - Volume :
    - Root Mean Square (RMS)
  - Spectres :
    - Transformée de Fourier Rapide (FFT)
    - Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC)
    - Transformée à Q constant (CQT)

# Architecture du système



- **Similarité et distances**
  - Calcul de similarité entre deux frames audio :
    - Similarité cosinus (FFT, CQT)
    - Inverse de la distance euclidienne (MFCC)
  - Calcul de dissimilarité dynamiques entre deux frames audio
    - Transformée différentielle
    - Kullback-Leibler

# Architecture du système



## • L'algorithme cognitif

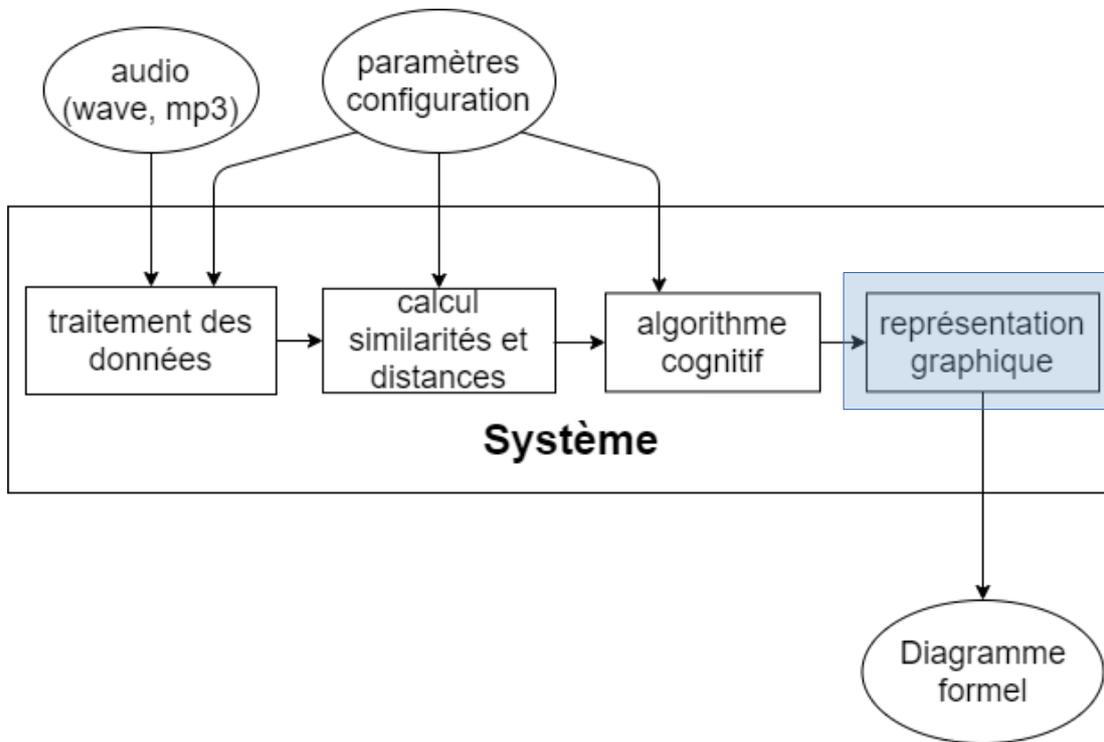
Implémentation du parcours de la mémoire.

3 algorithmes :

- Comparaison avec chaque frame depuis le début du morceau
- Comparaison avec des représentants de chaque classe entendue jusque là
- Implémentation du *Variable Markov Oracle* (VMO) de S. Dubnov

Et création d'une matrice de présence correspondant au diagramme formel

# Architecture du système



- **Représentation graphique :**

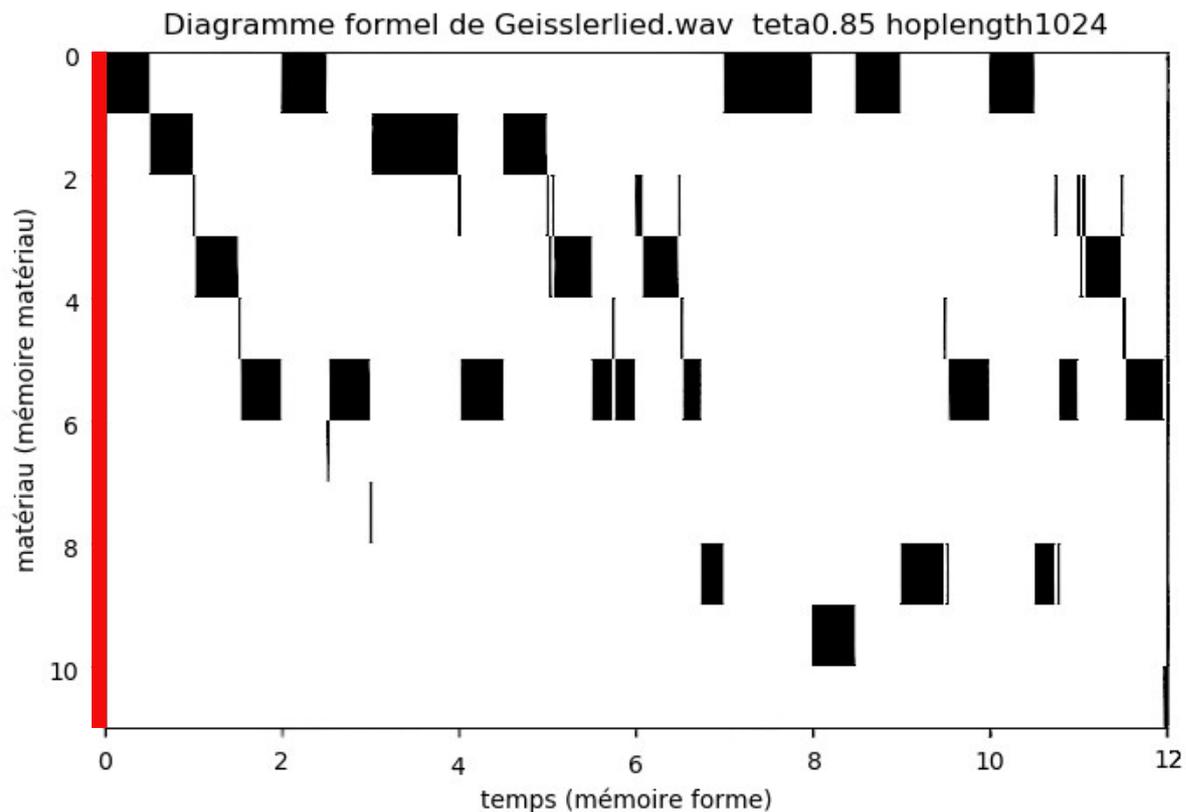
Le module de représentation graphique transforme la matrice obtenue en diagramme à l'aide du module pyplot.

# Validations expérimentales

- **Analyse d'exemples : Geisslerlied**
  - Fichier MIDI
  - Synthétisé en Son Grand Piano
  - 120BPM
  - Premier niveau d'analyse : la frame

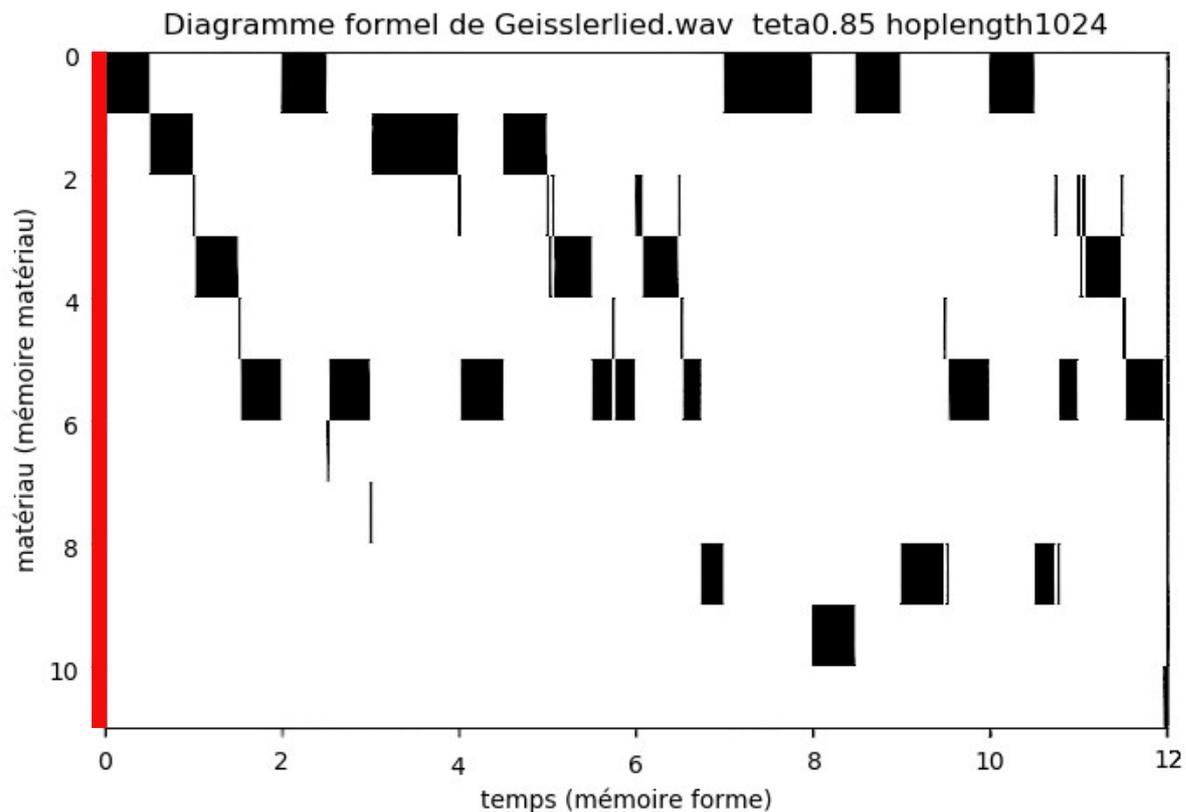
# Validations expérimentales

- Analyse d'exemples : Geisslerlied
- taille de fenêtre : 1024, seuil : 0,85



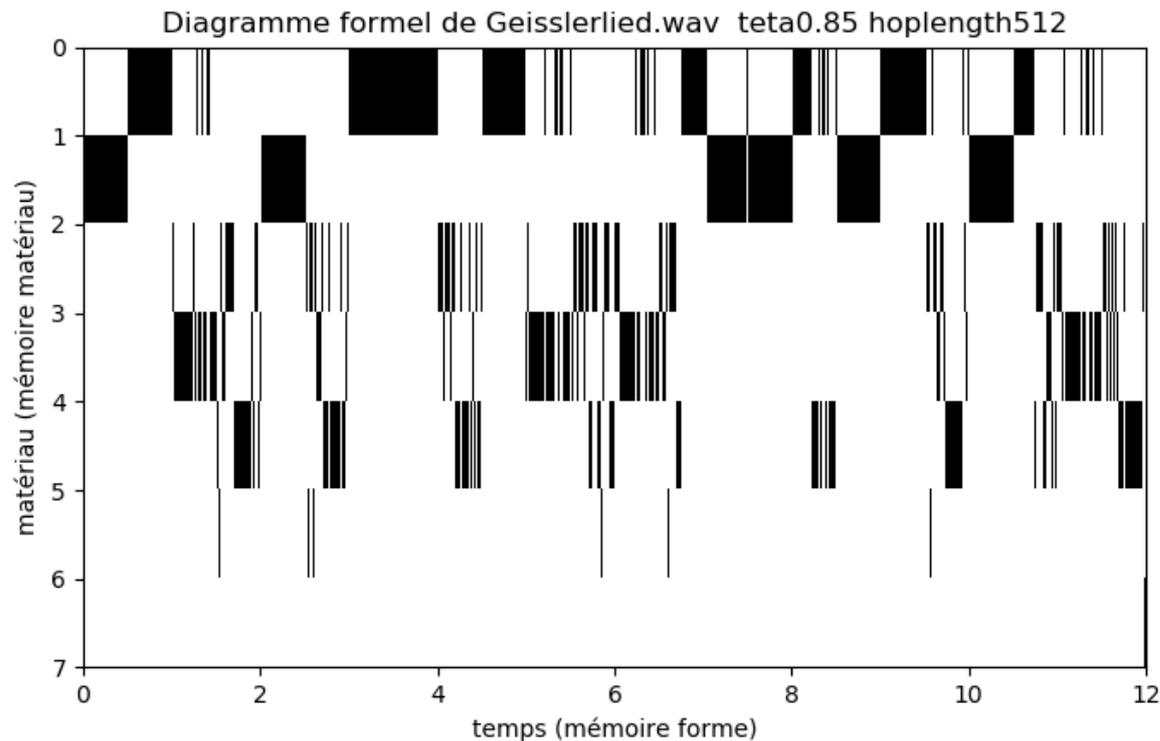
# Validations expérimentales

- Analyse d'exemples : Geisslerlied
- taille de fenêtre : 1024, seuil : 0,85



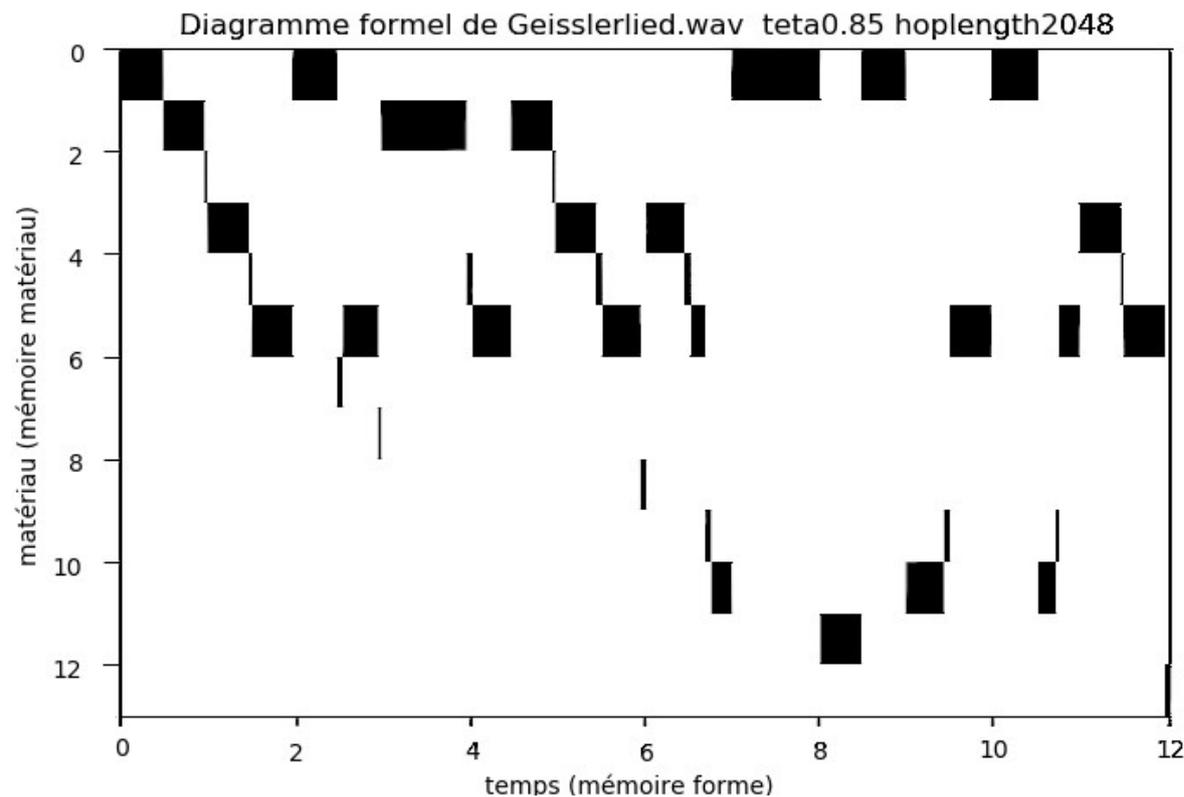
# Validations expérimentales

- Analyse d'exemples et variation de paramètres
- Variation de la taille de fenêtre : 512



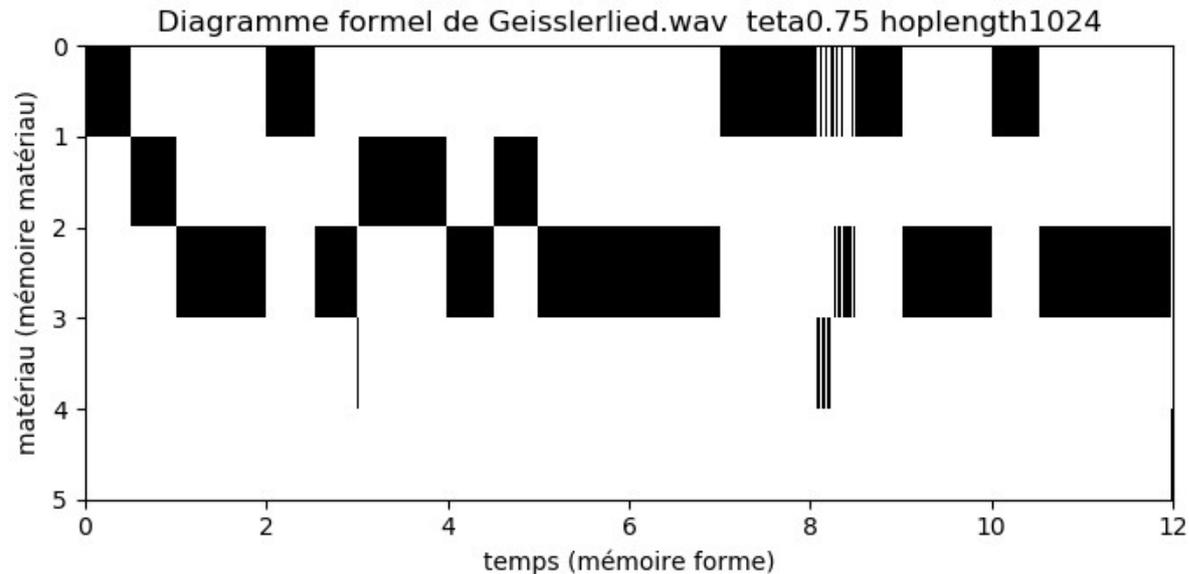
# Validations expérimentales

- Analyse d'exemples et variation de paramètres
- Variation de la taille de fenêtre : 2048



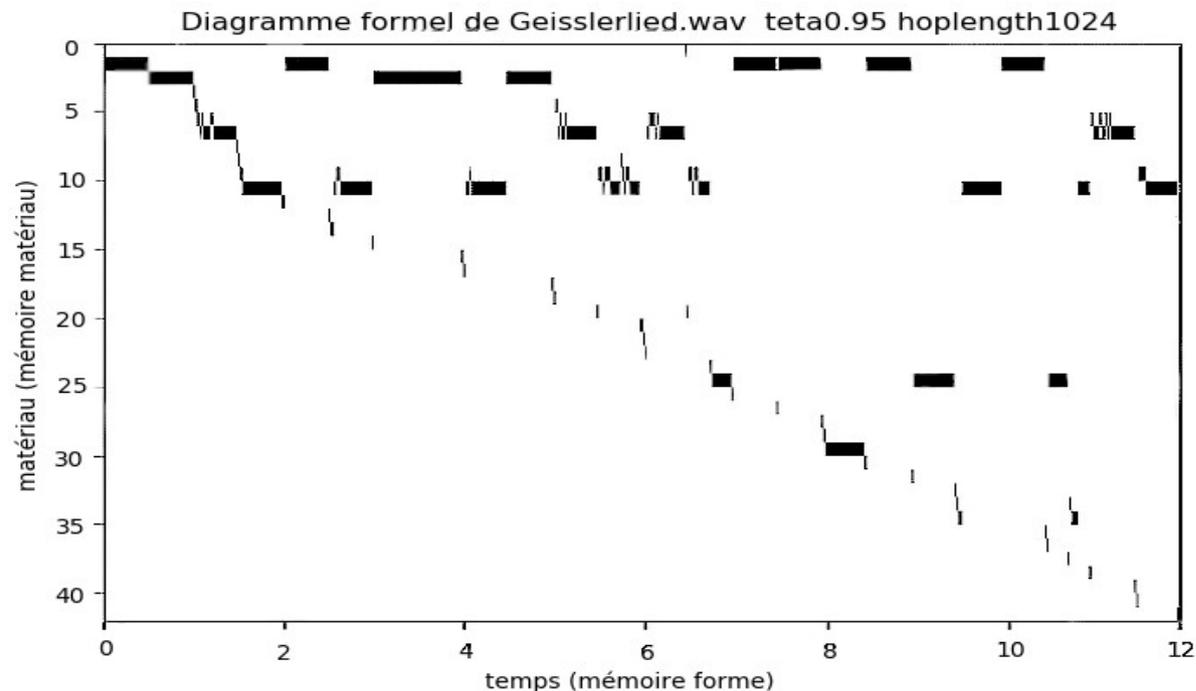
# Validations expérimentales

- Analyse d'exemples et variation de paramètres
- Variation du seuil de similarité : 0,75



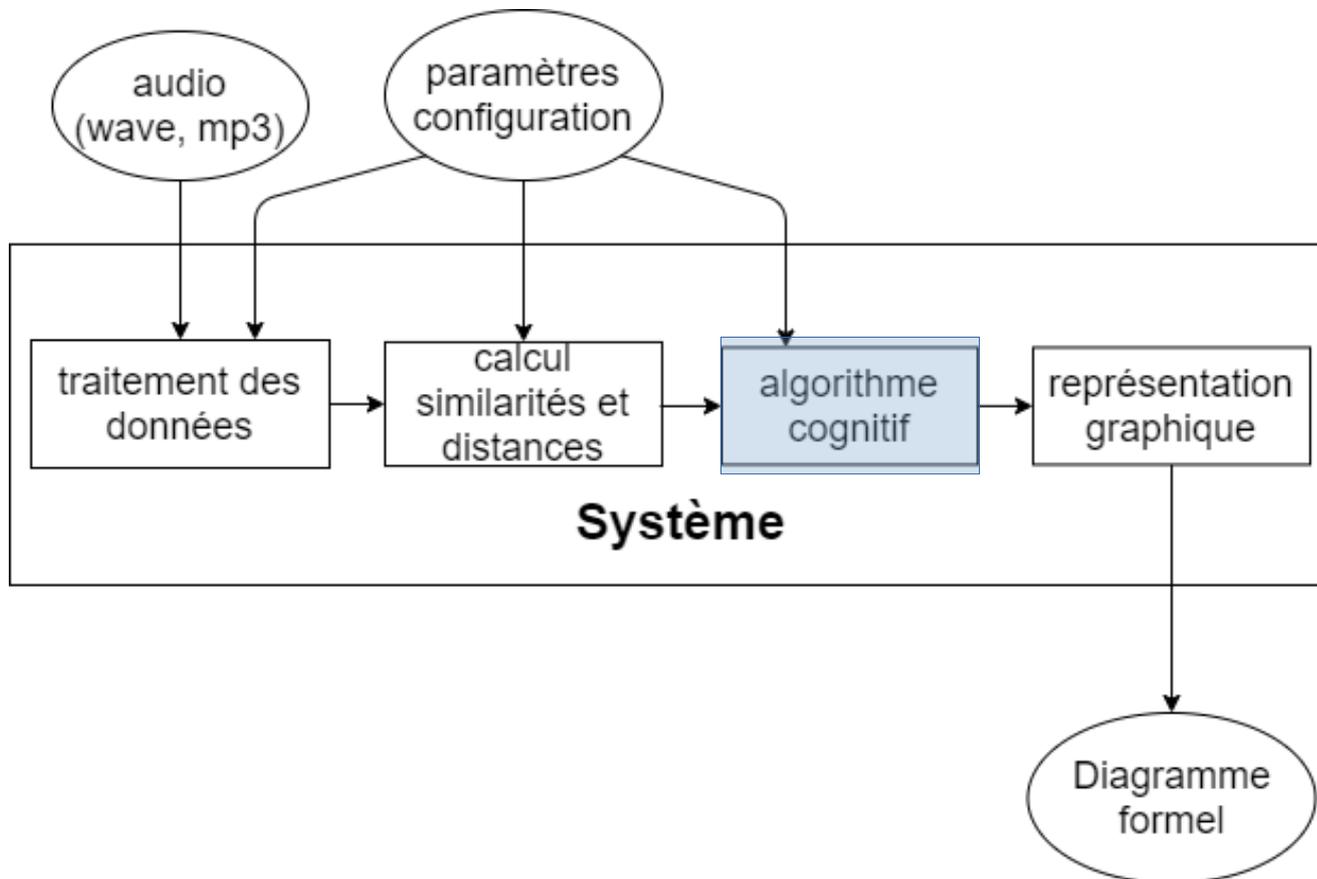
# Validations expérimentales

- Analyse d'exemples et variation de paramètres
- Variation du seuil de similarité : 0,95



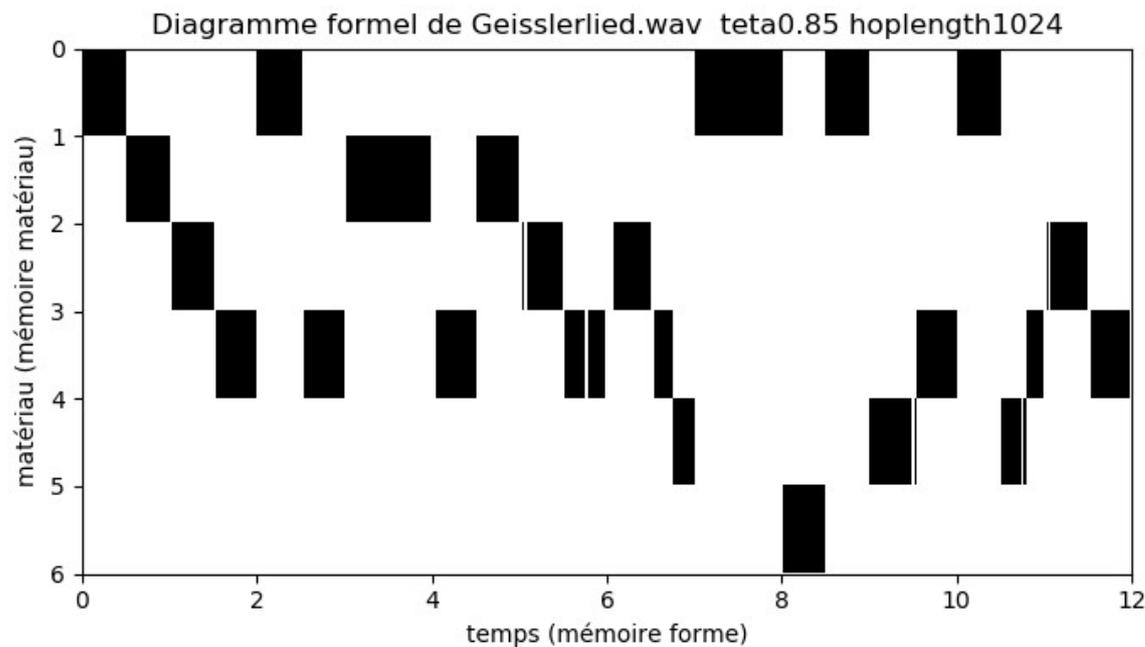
# Améliorations du système

- Algorithmes de correction :



# Améliorations du système

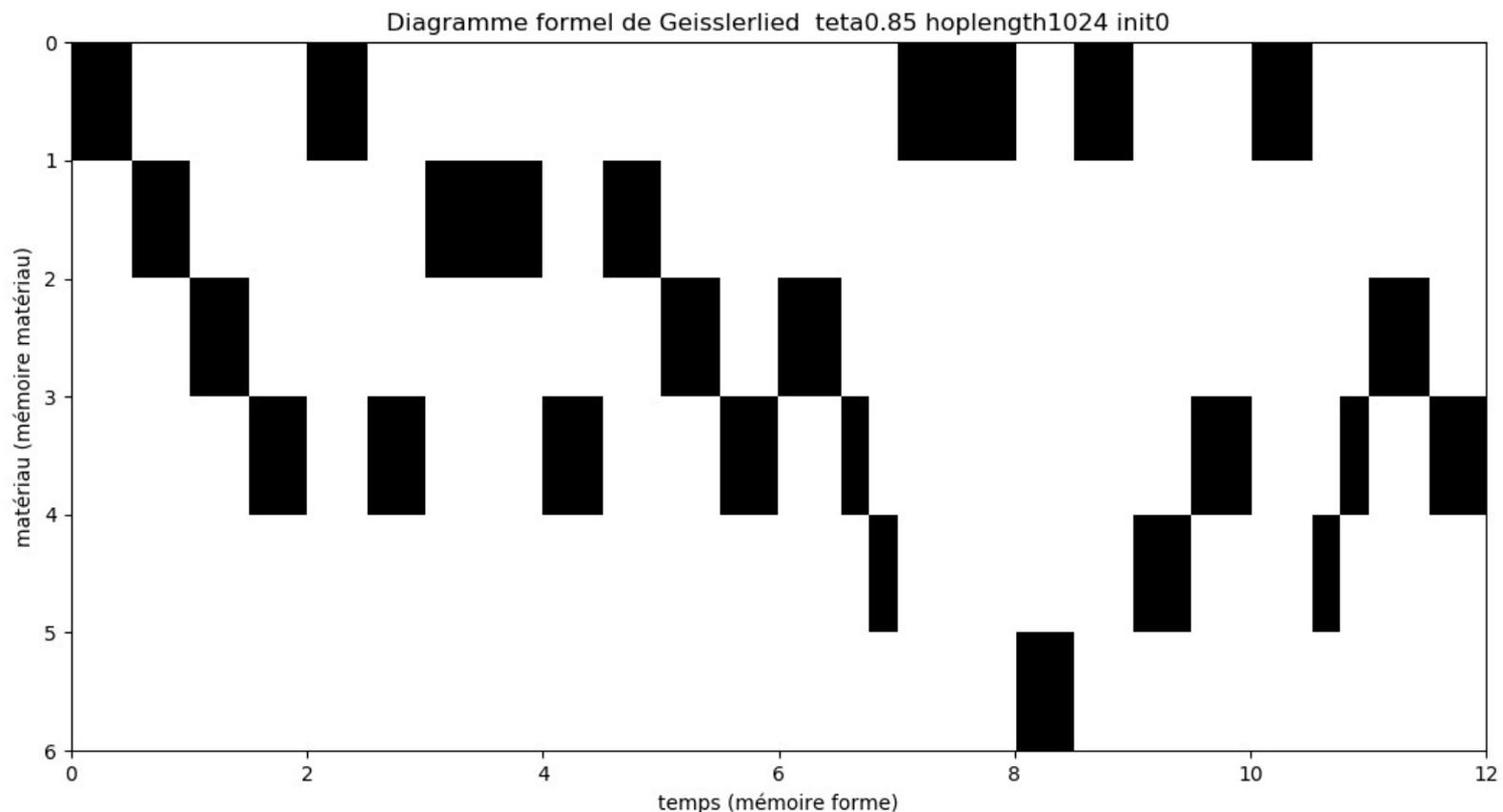
- Première proposition :
  - suppression des frames isolées et des matériaux correspondants si la classe de matériau est vide



→ Perte d'information

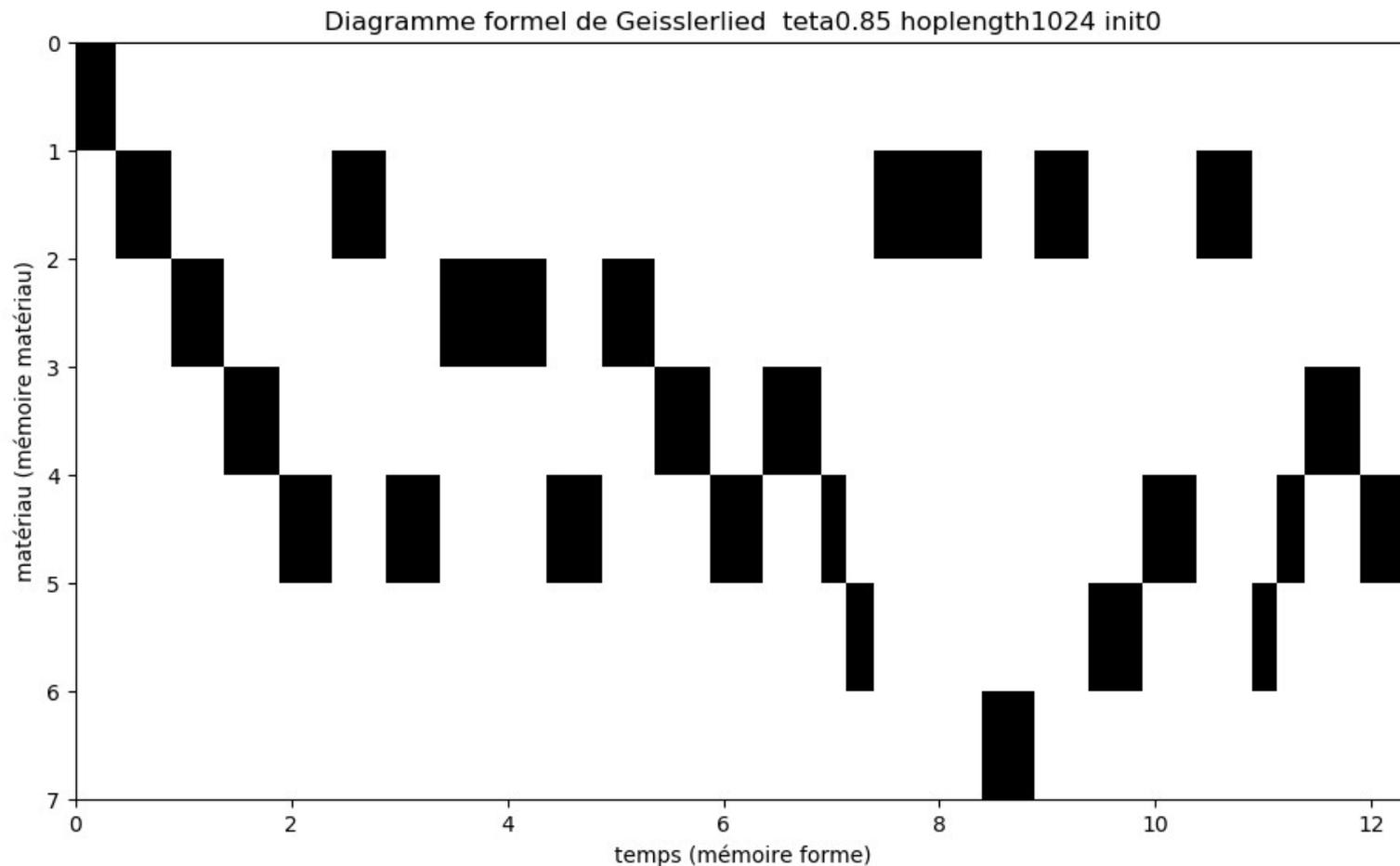
# Améliorations du système

- Première structuration avec un algorithme de « correction » :
  - Modification des frames qui ne sont pas pertinentes



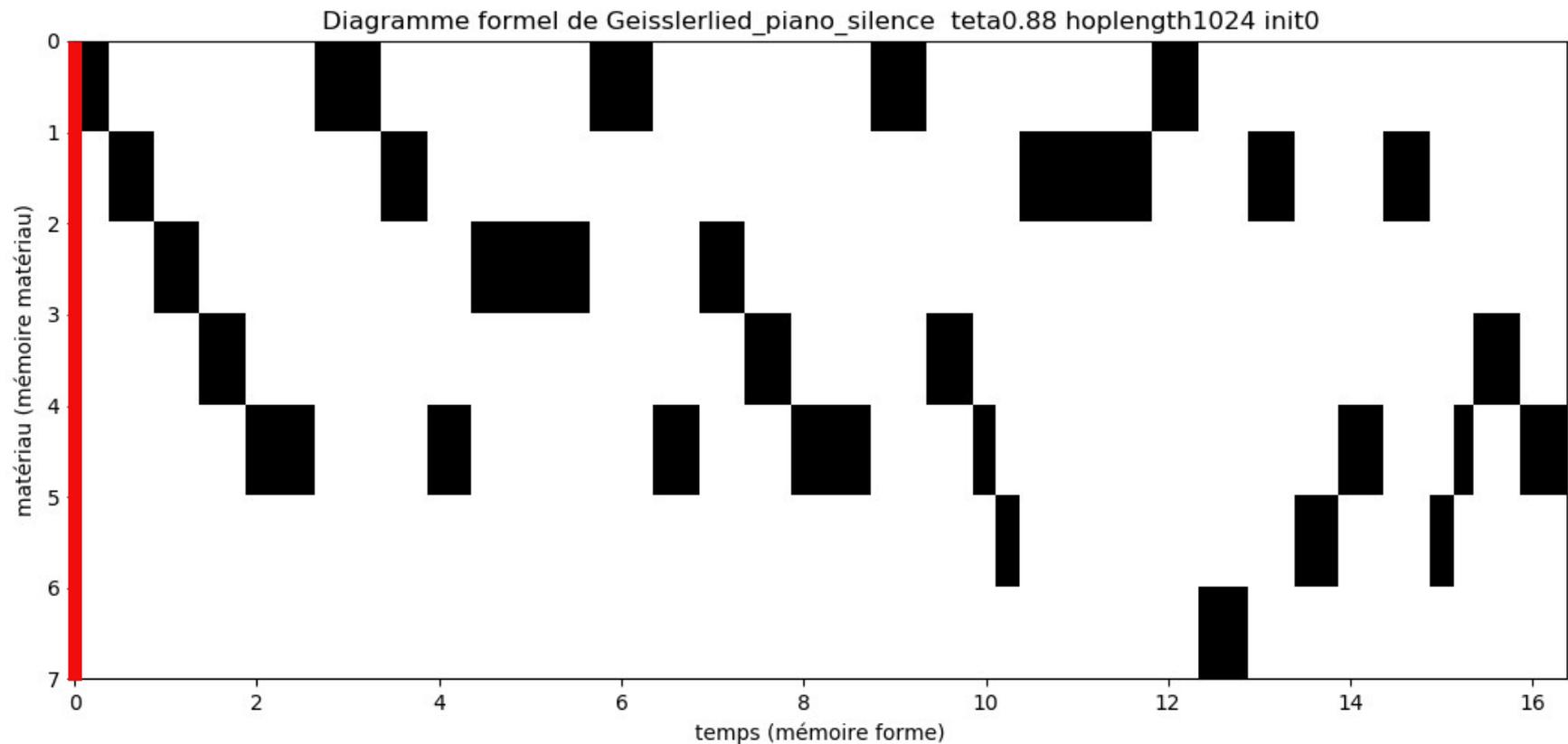
# Améliorations du système

- Intégration du silence comme matériau à part



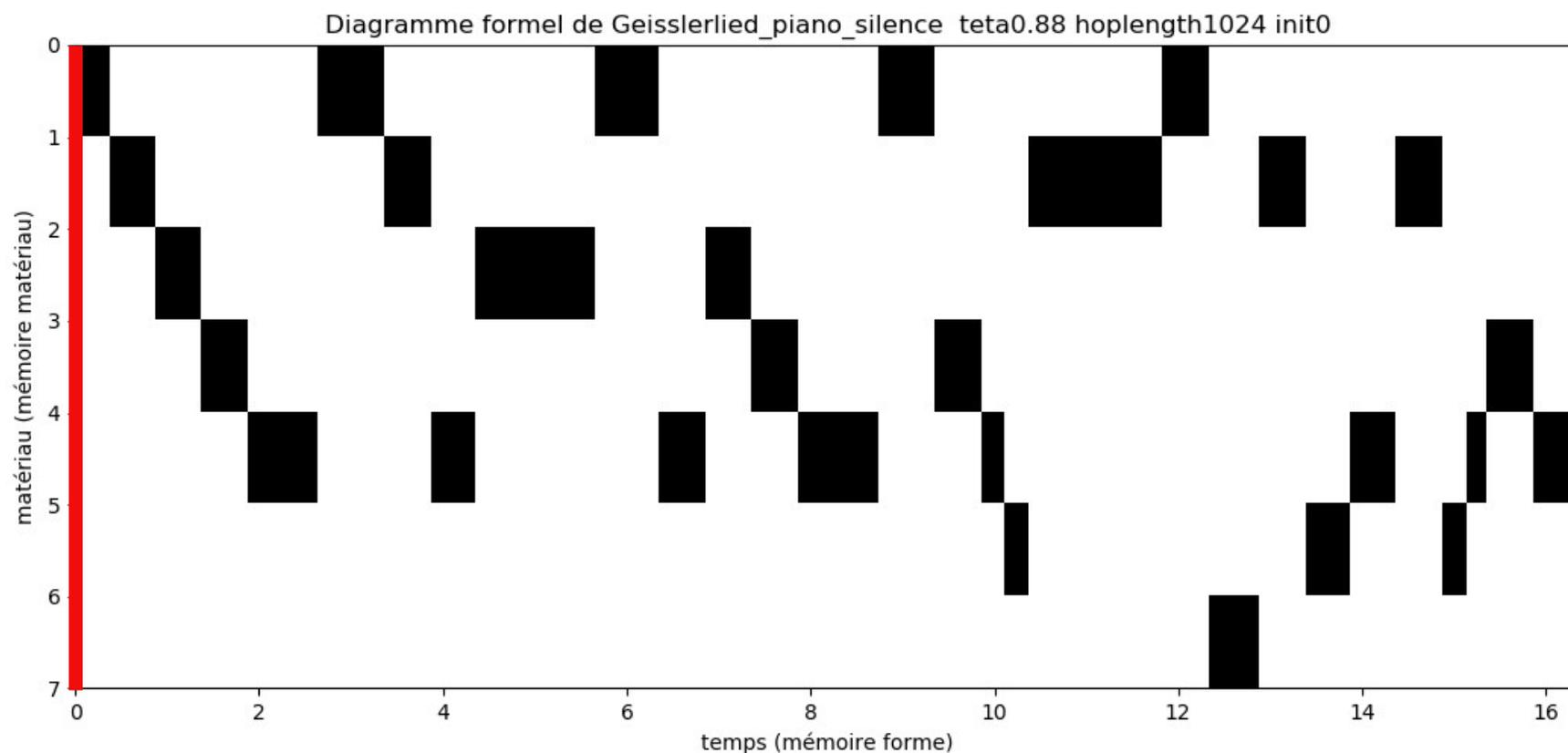
# Améliorations du système

- Présentation sur des exemples avec silences



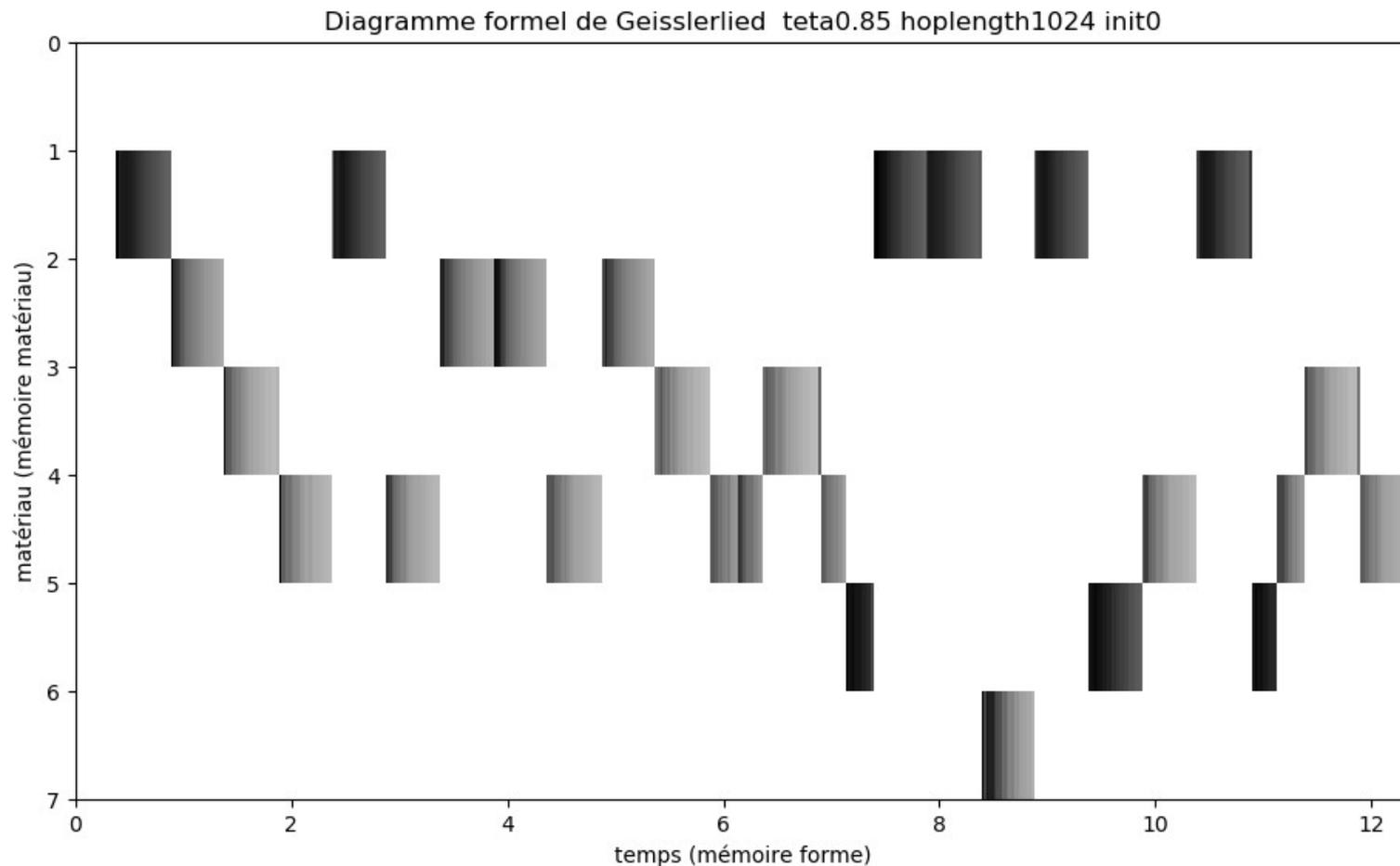
# Améliorations du système

- Présentation sur des exemples avec silences



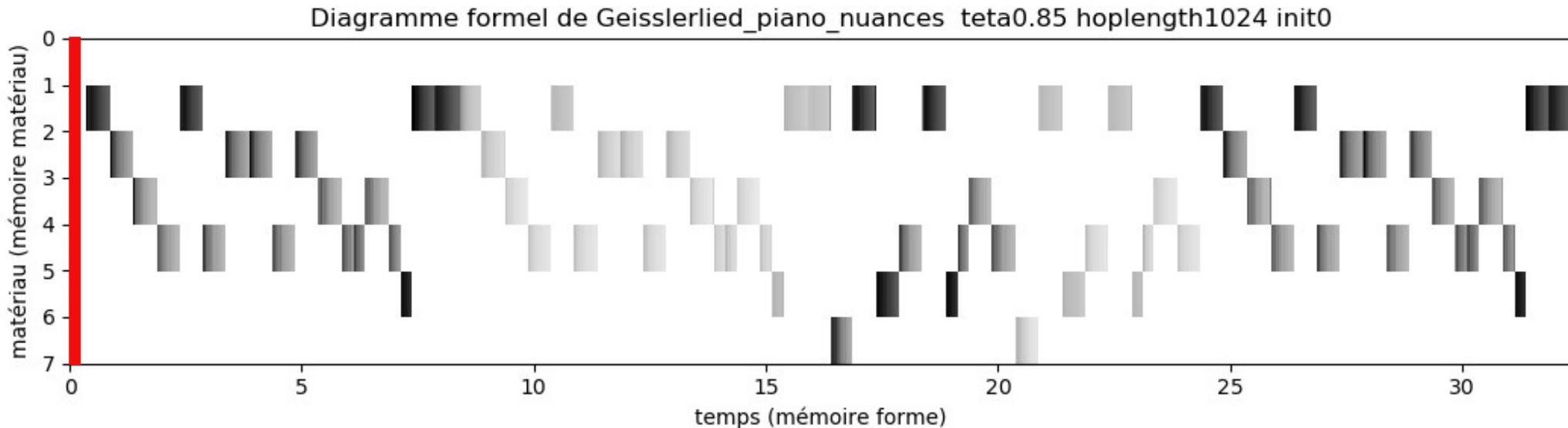
# Améliorations du système

- Intégration du volume dans la représentation



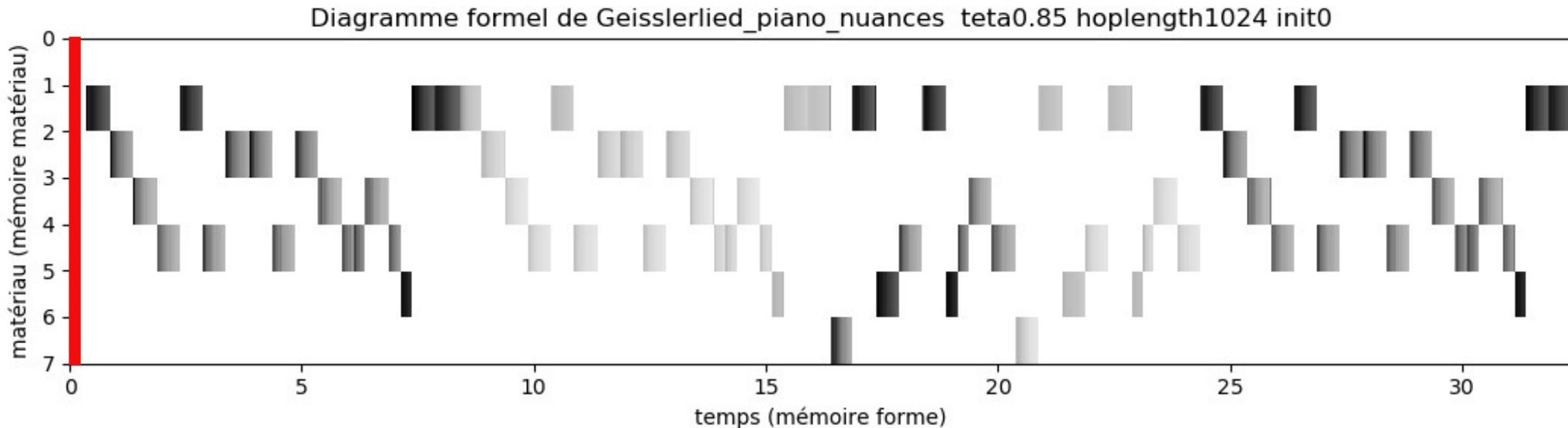
# Améliorations du système

- Présentation sur un exemple avec différents volumes



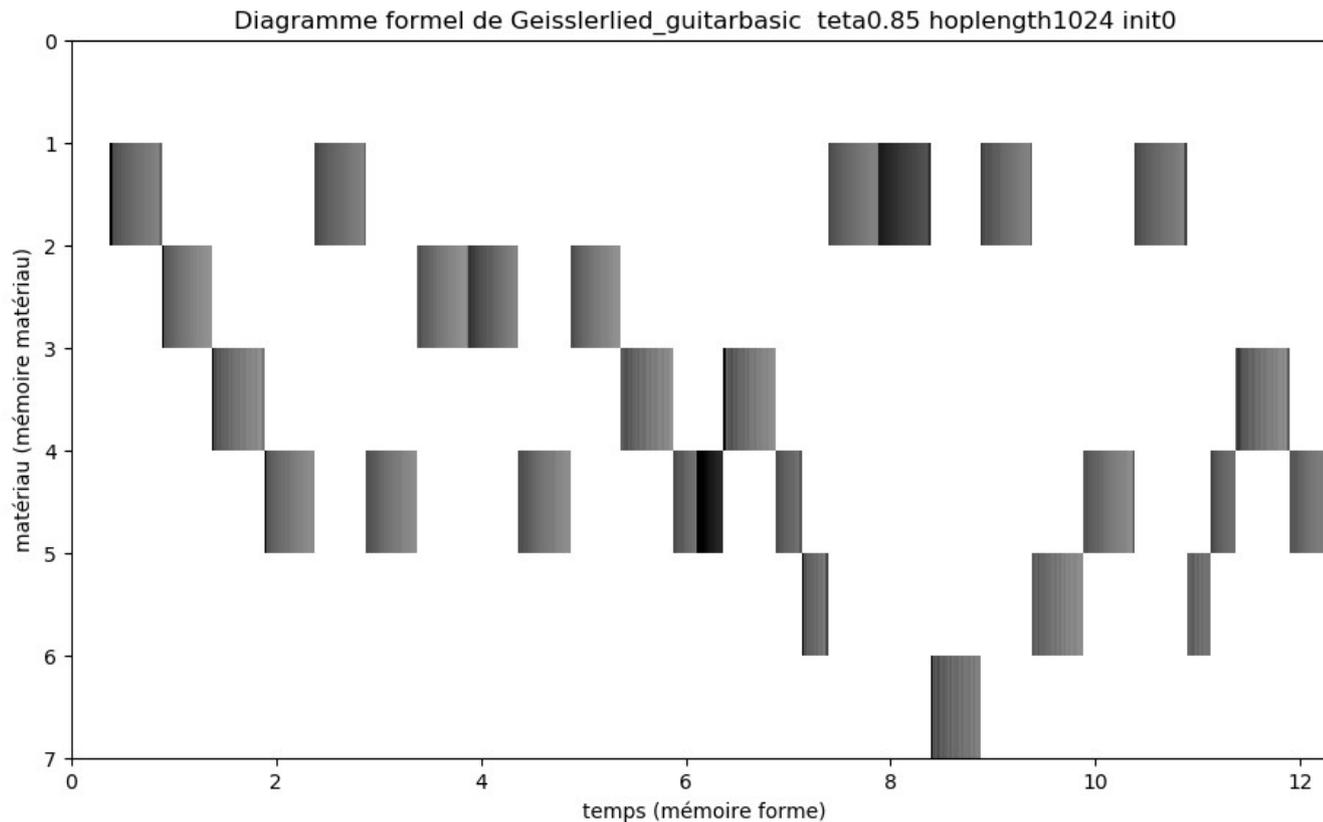
# Améliorations du système

- Présentation sur un exemple avec différents volumes



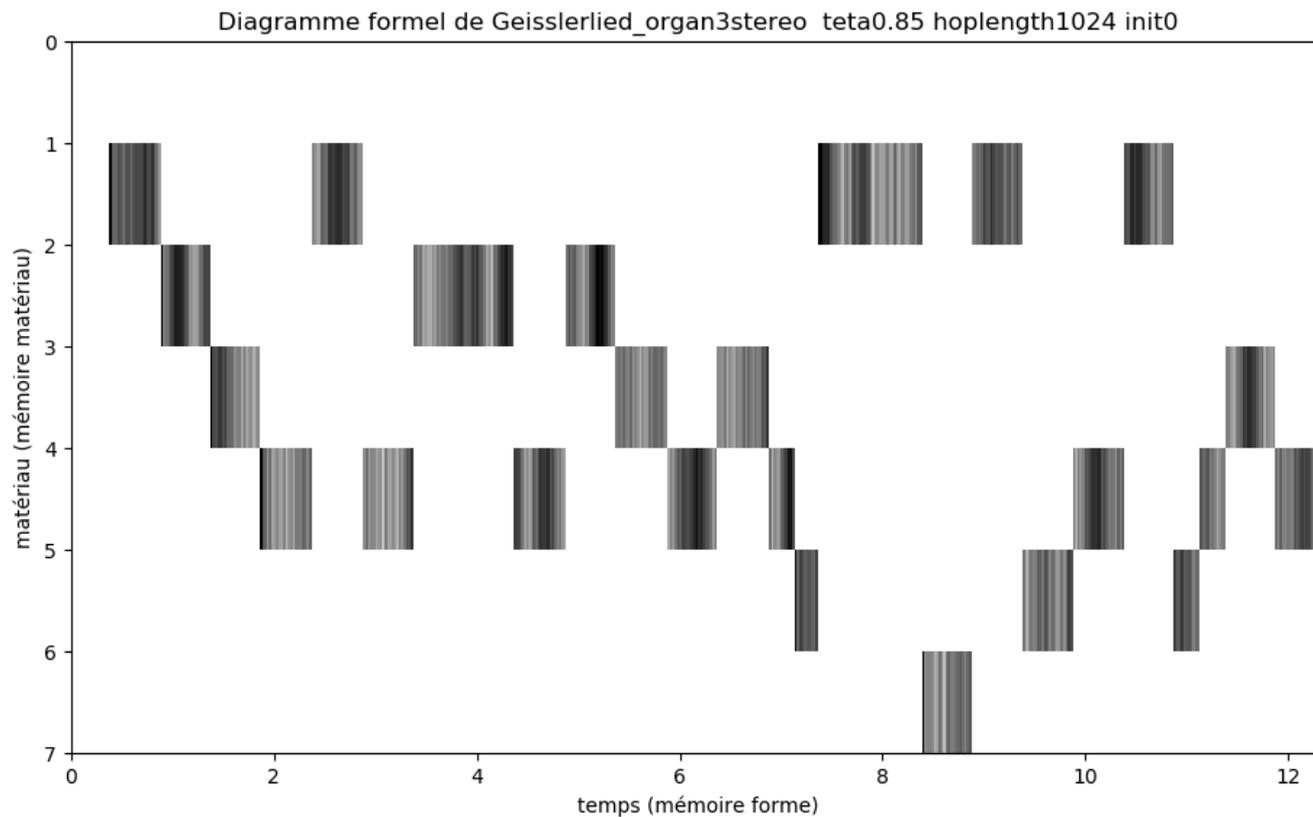
# Améliorations du système

- Tests avec synthèse sur différents instruments
  - Guitare acoustique (guitarbasic)



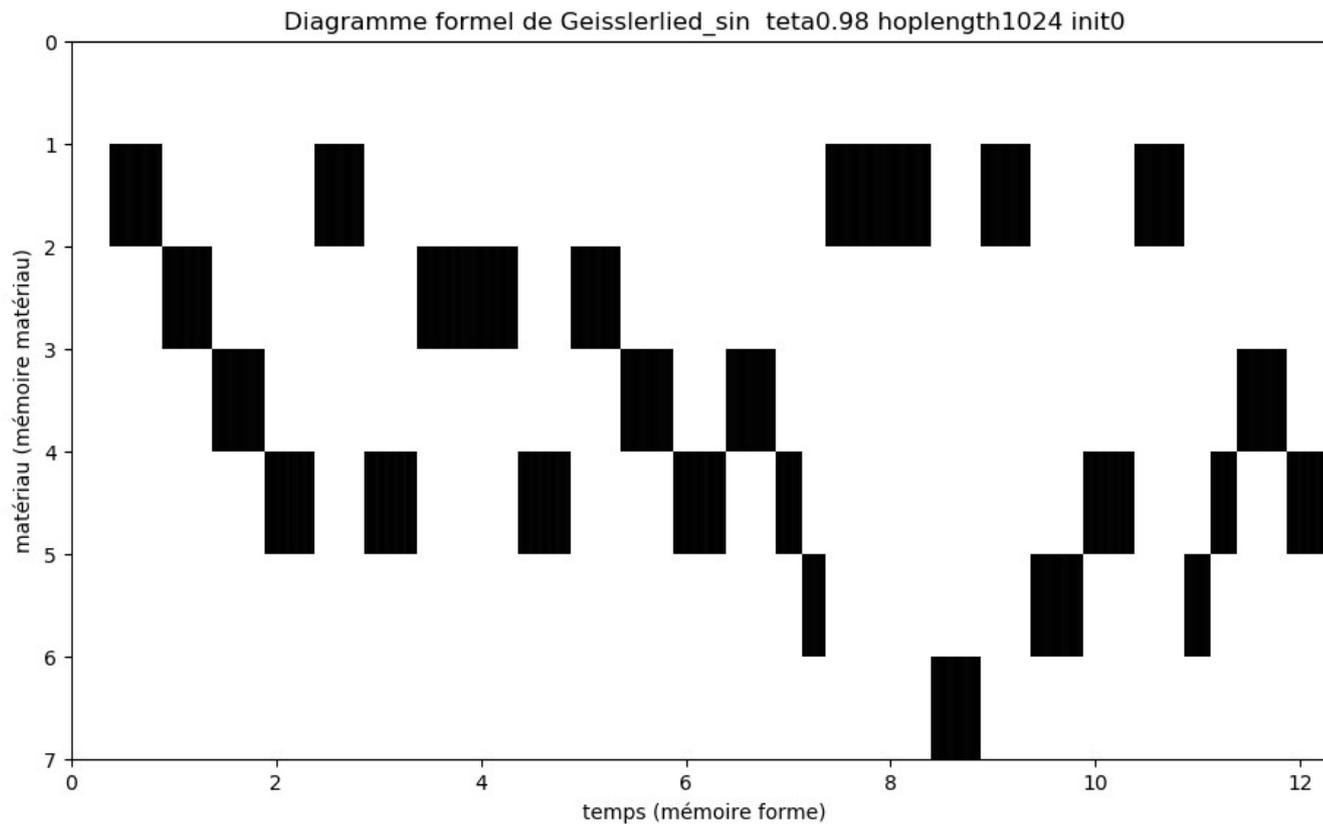
# Améliorations du système

- Tests avec synthèse sur différents instruments
  - Orgue avec tremolos (organ3stereo)



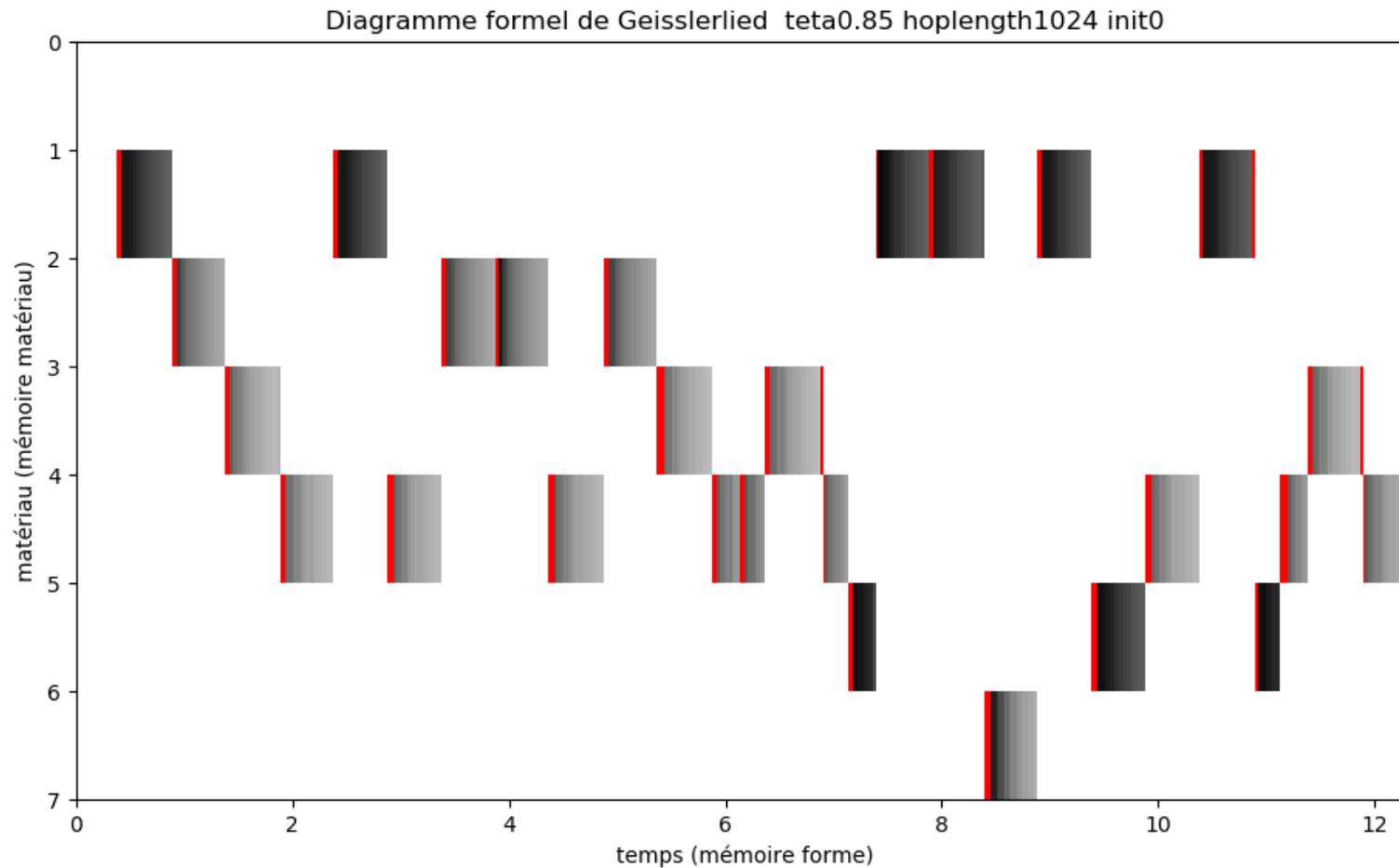
# Améliorations du système

- Tests avec synthèse sur différents instruments
  - Sinusoïde (sin)



# Améliorations du système

- Test de la segmentation par dissimilarité



# Discussions

- **De nouveaux développements :**

- Différents descripteurs audio
- Différents algorithmes de parcours

- **Limites et difficultés :**

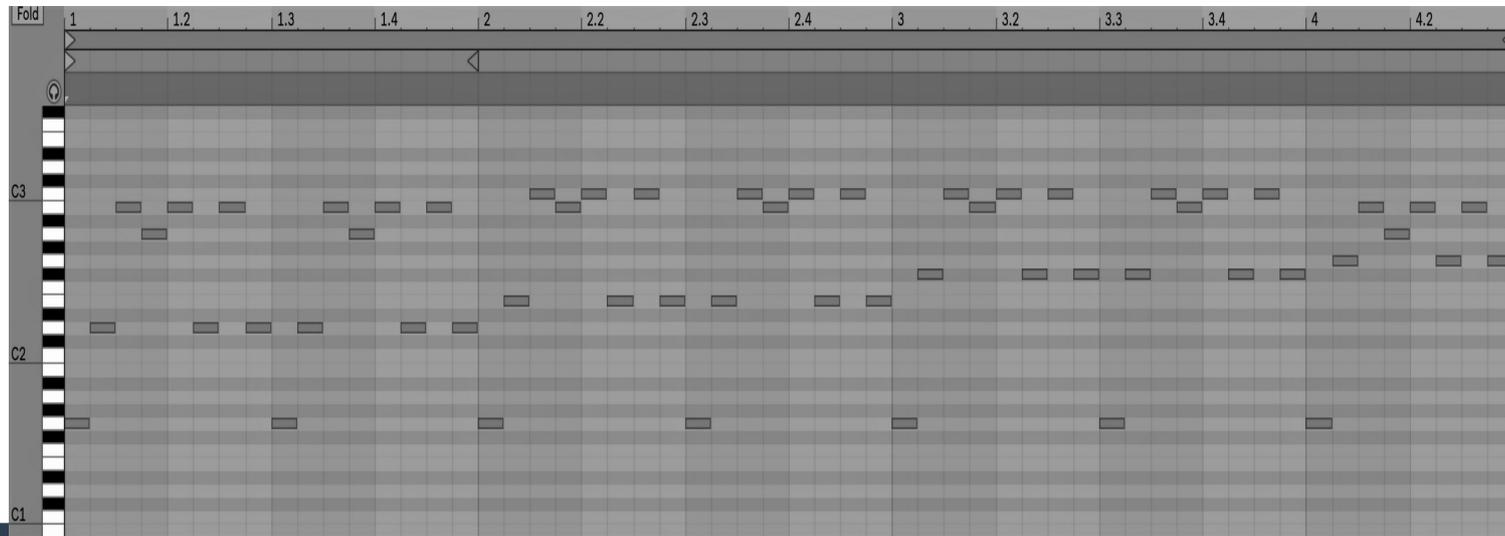
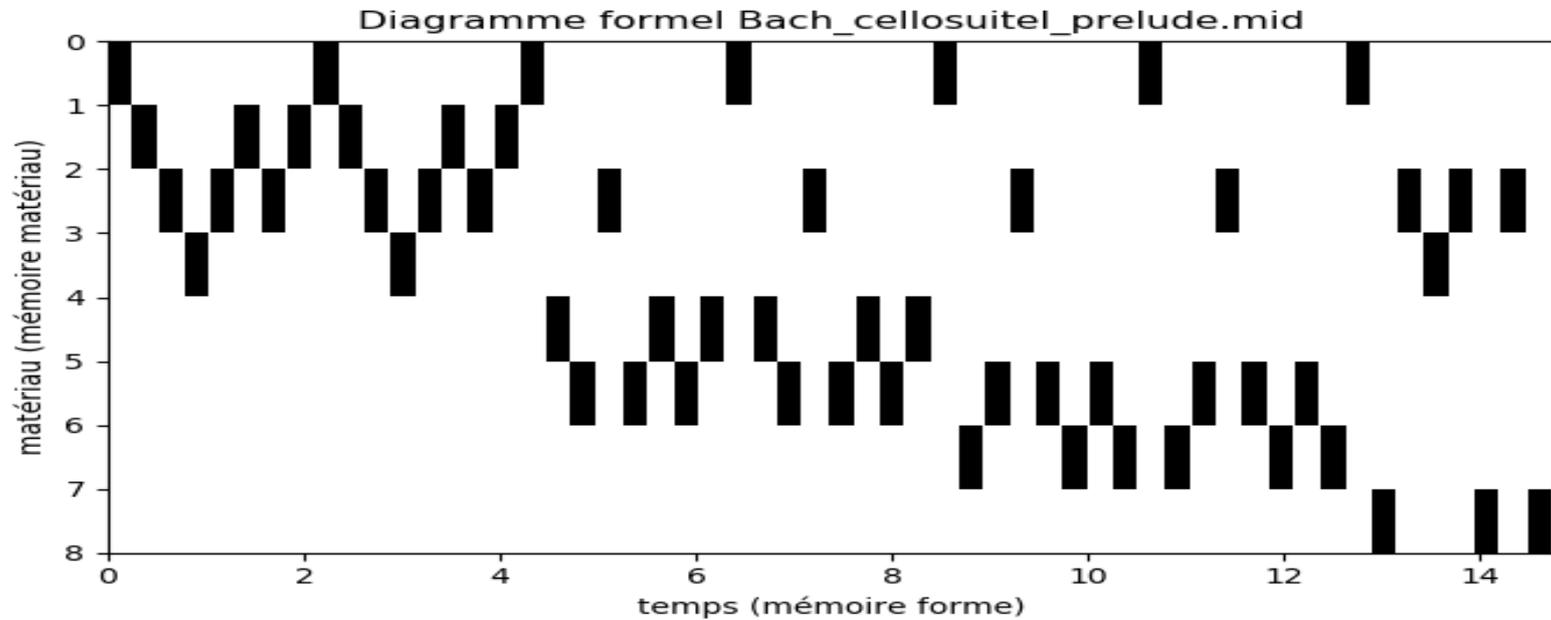
- Structurer des morceaux sans partition
- Polyphonie

- **Quelle validation ?**

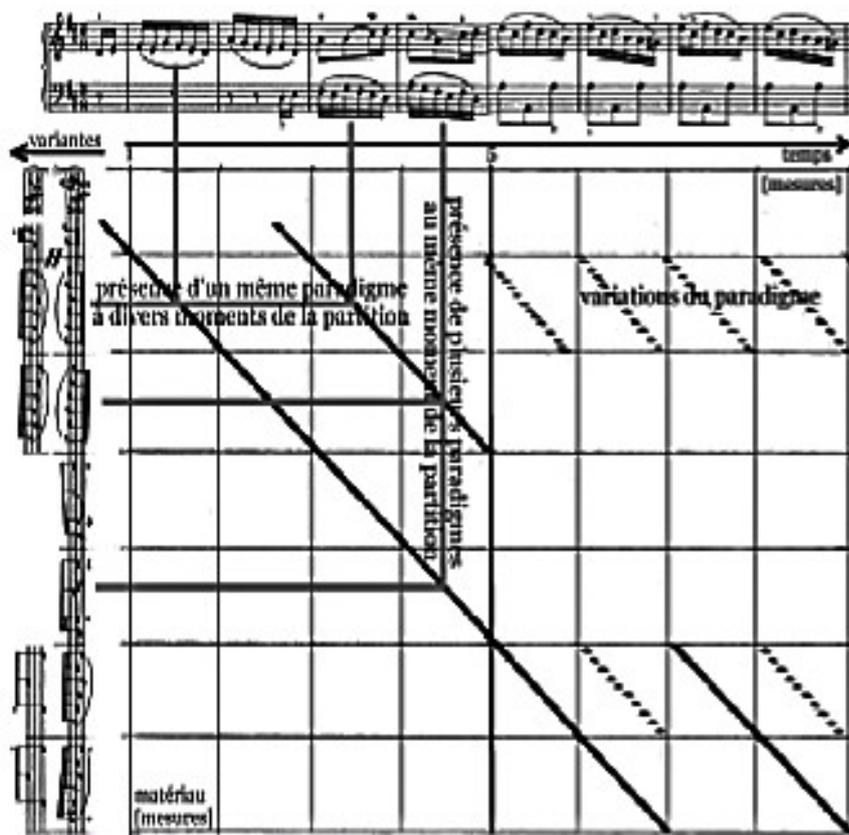
- Robustesse de l'algorithme
- Validation par synthèse à partir du diagramme obtenu

**Merci pour votre  
attention.**

# Diagramme formel vs MIDI

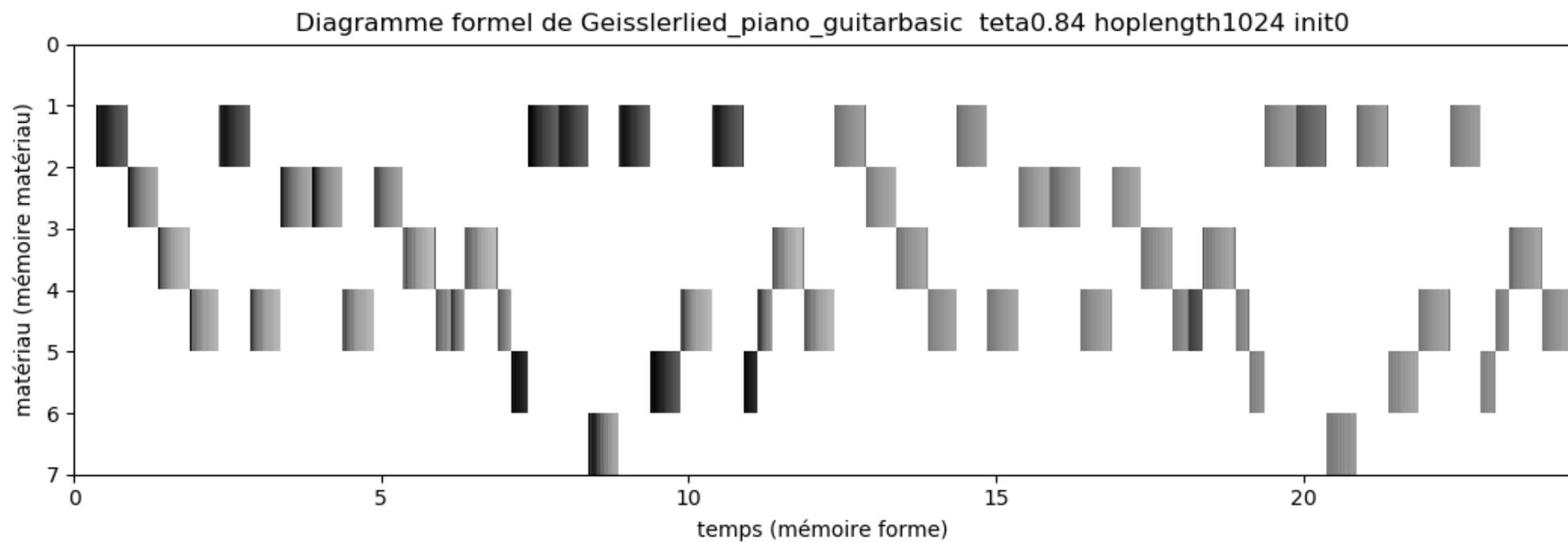


# Autres matériaux

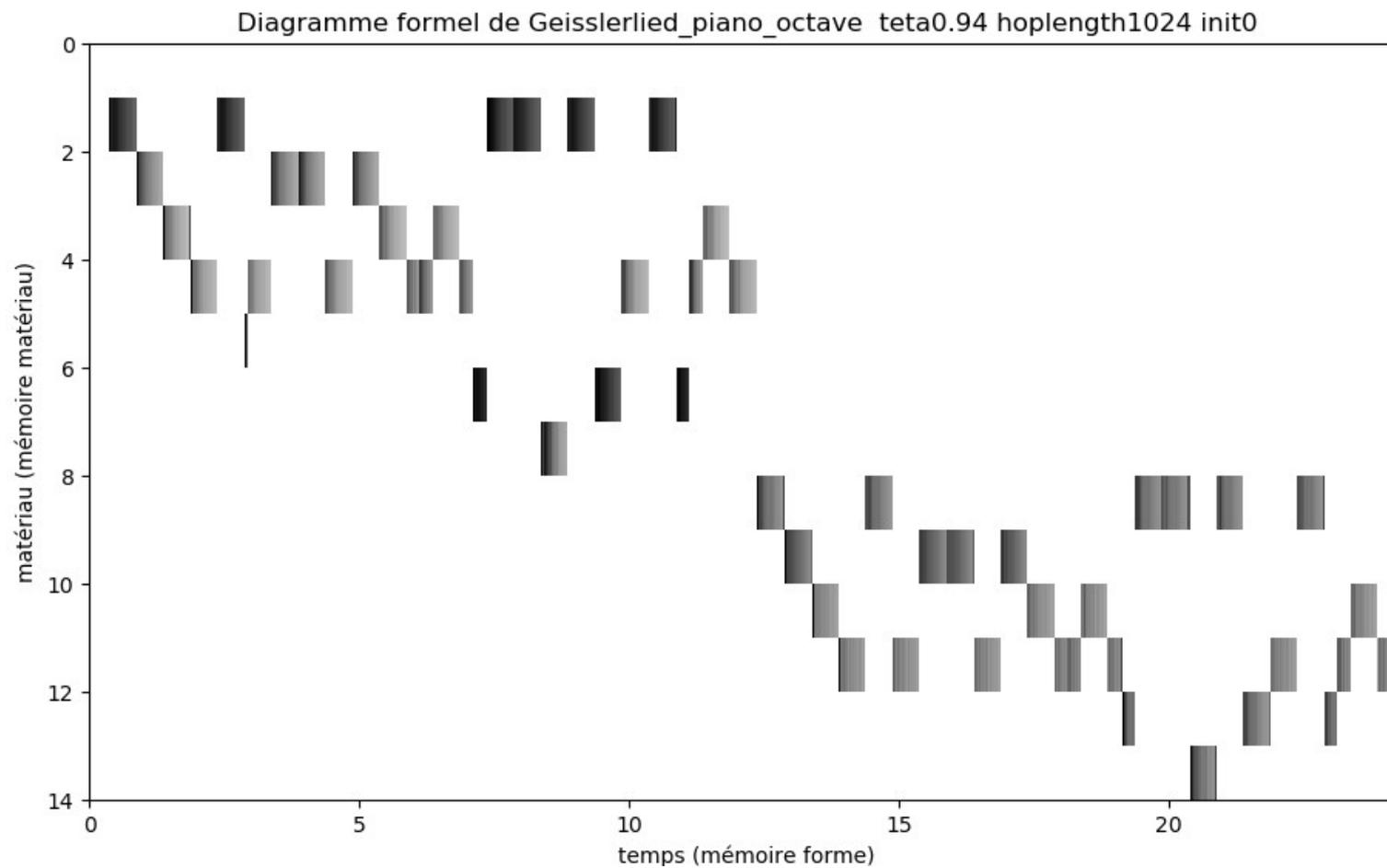


Jean-Marc Chauvel, *Analyse Musicale : Sémiologie et cognition des formes temporelles*, L'Harmattan, 2006

# Tests sur différents instruments



# Tests sur différentes octaves

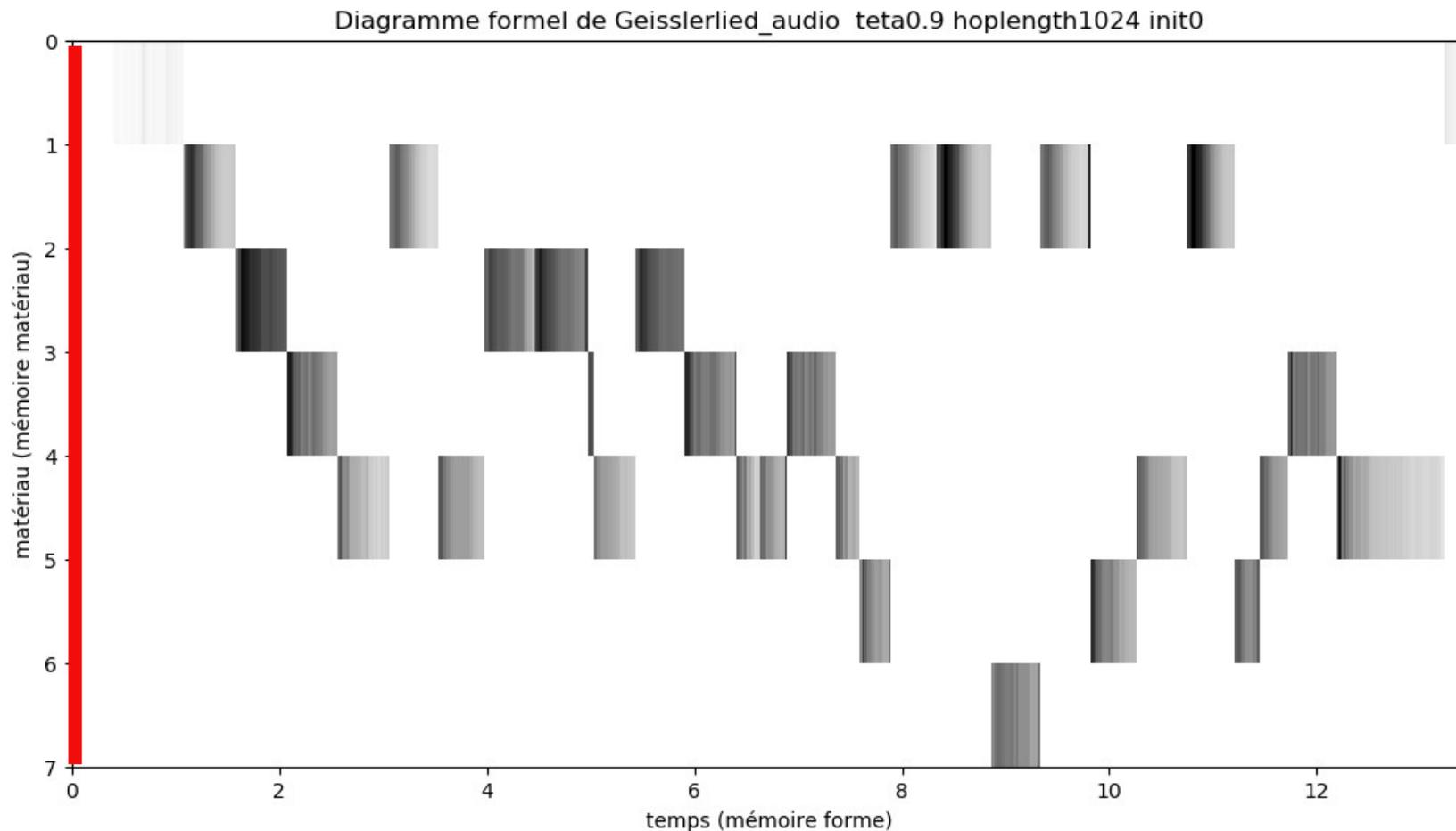


# Fichier audio

- **Test sur un extrait du Geisslerlied enregistré :**
    - Accentuation, rythme et tenues de notes approximatives
    - Enregistrement par téléphone (sons ambiants, bruités, clics des touches audibles)
    - *Son 001 Grand Piano sur Yamaha PSR E323*
- Quel résultat ?

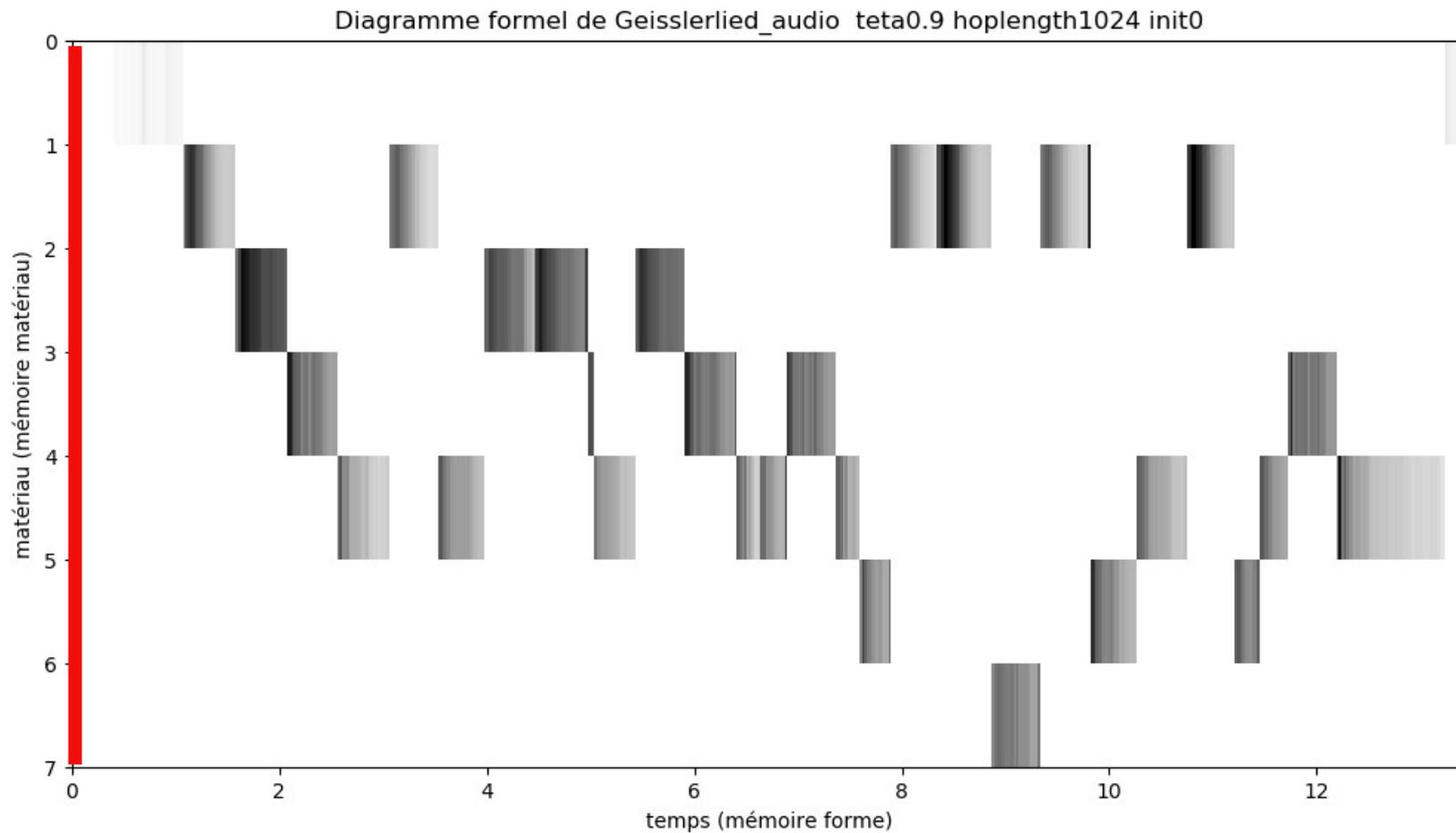
# Fichier audio

- Test sur un extrait du Geisslerlied enregistré :



# Fichier audio

- Test sur un extrait du Geisslerlied enregistré :



# Formules (1)

- **Root Mean Square :**

$$RMS(s) = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n s(i)^2}$$

- **Similarité Cosinus :**

$$Scos(s_a, s_b) = \frac{\sum_{i=1}^n s_a(i) s_b(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n s_a(i)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n s_b(i)^2}}$$

- **Distance euclidienne :**

$$De(s_a, s_b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_a(i) - s_b(i))^2}$$

# Formules (2)

- Transformée différentielle :

$$TD(s_a, s_b) = \sum_{i=1}^n (s_a(i) - s_b(i))^2$$

- Dissimilarité Kullback-Leibler :

$$D_{KL}(s_a || s_b) = \sum_{i=1}^n s_a(i) \log\left(\frac{s_a(i)}{s_b(i)}\right)$$