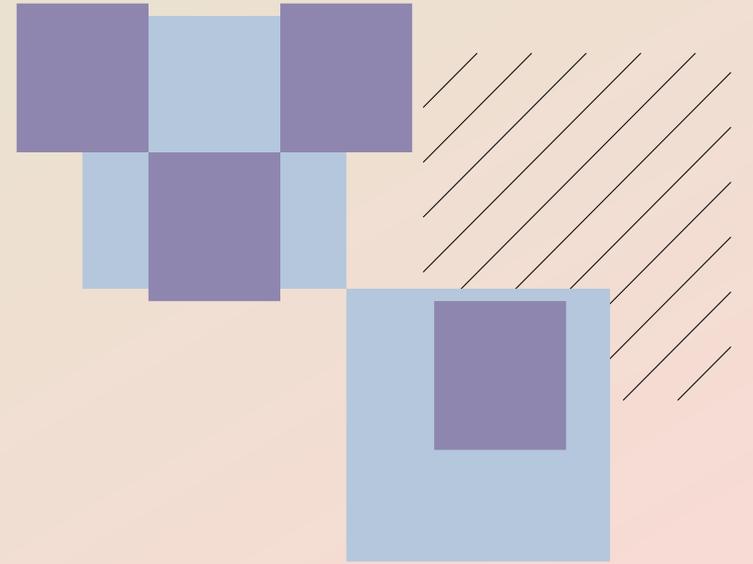


# Représenter l'écoute pour comprendre ce que la musique nous enseigne du cerveau humain.

Joséphine Calandra

sous la direction de Jean-Marc Chauvel et Myriam Desainte Catherine

Présentation pour le Pôle d'Enseignement Supérieur de la  
Musique et de la Danse, 24 février 2023

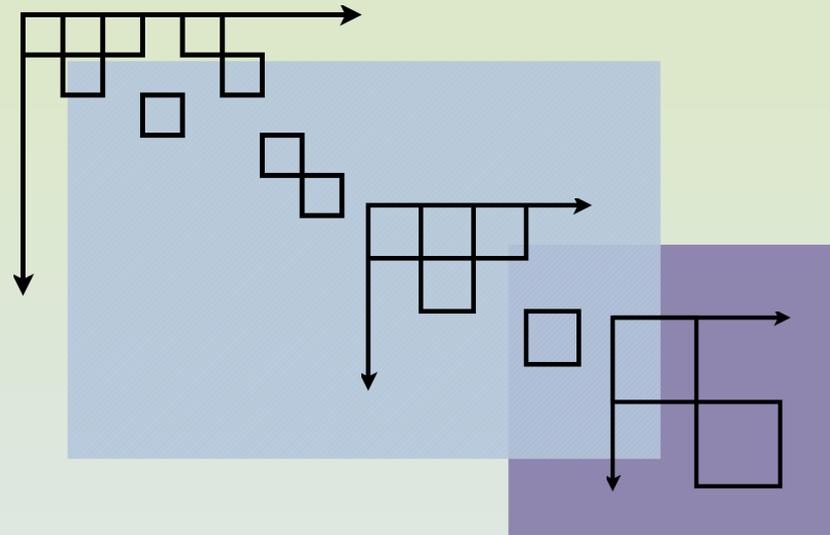


# Contexte du projet

- SCRIME
- Sorbonne Université - IreMus/LaBRI
- Présentation de la thèse
- Présentation de l'expérience

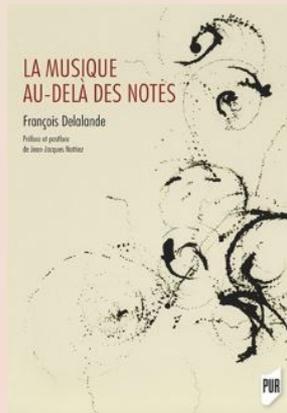
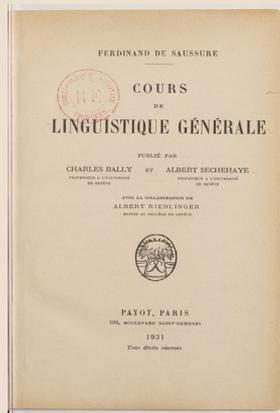
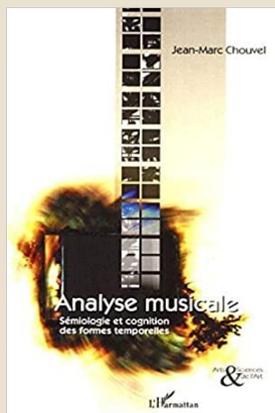


# INTRODUCTION



# Objectifs de la recherche

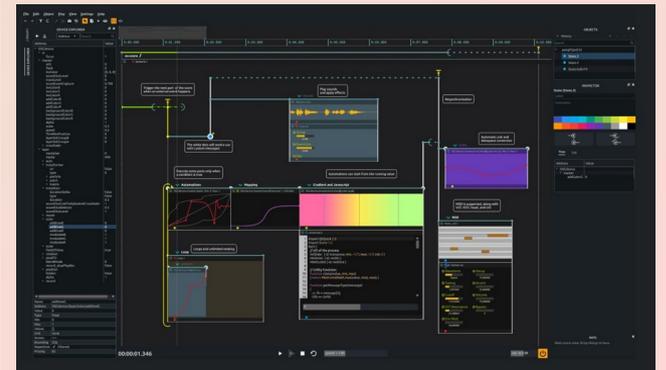
- Modéliser la structure et l'analyse paradigmaticque et automatiser cette modélisation
  - Proposer un modèle qui se soumet aux contraintes de l'écoute
  - Paramétrisation du système



- Chauvel, J.-M. *Analyse Musicale, sémiologie et cognition des formes temporelles*, L'Harmattan, Paris, 2006.
- De Saussure, F. *Cours de linguistique générale*. Payot, Paris, 1906.
- Delalande, F. *La musique au-delà des notes*. Presse Universitaires de Rennes, 2019.

# Objectifs de la recherche

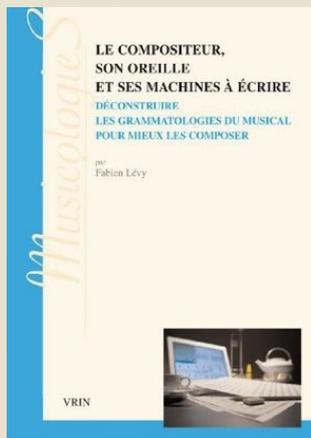
- Représenter la modélisation
  - Problématique de la hiérarchisation des diagrammes
- Proposer un logiciel accessible aux musicologues
  - Développement d'une interface
  - Intégration dans ossia-score ?



Interface algorithme cognitif ossia.io

# Objectifs de la recherche

- Comprendre les phénomènes d'attention
  - Monitorer l'algorithme
  - Calculer la charge computationnelle de l'algorithme



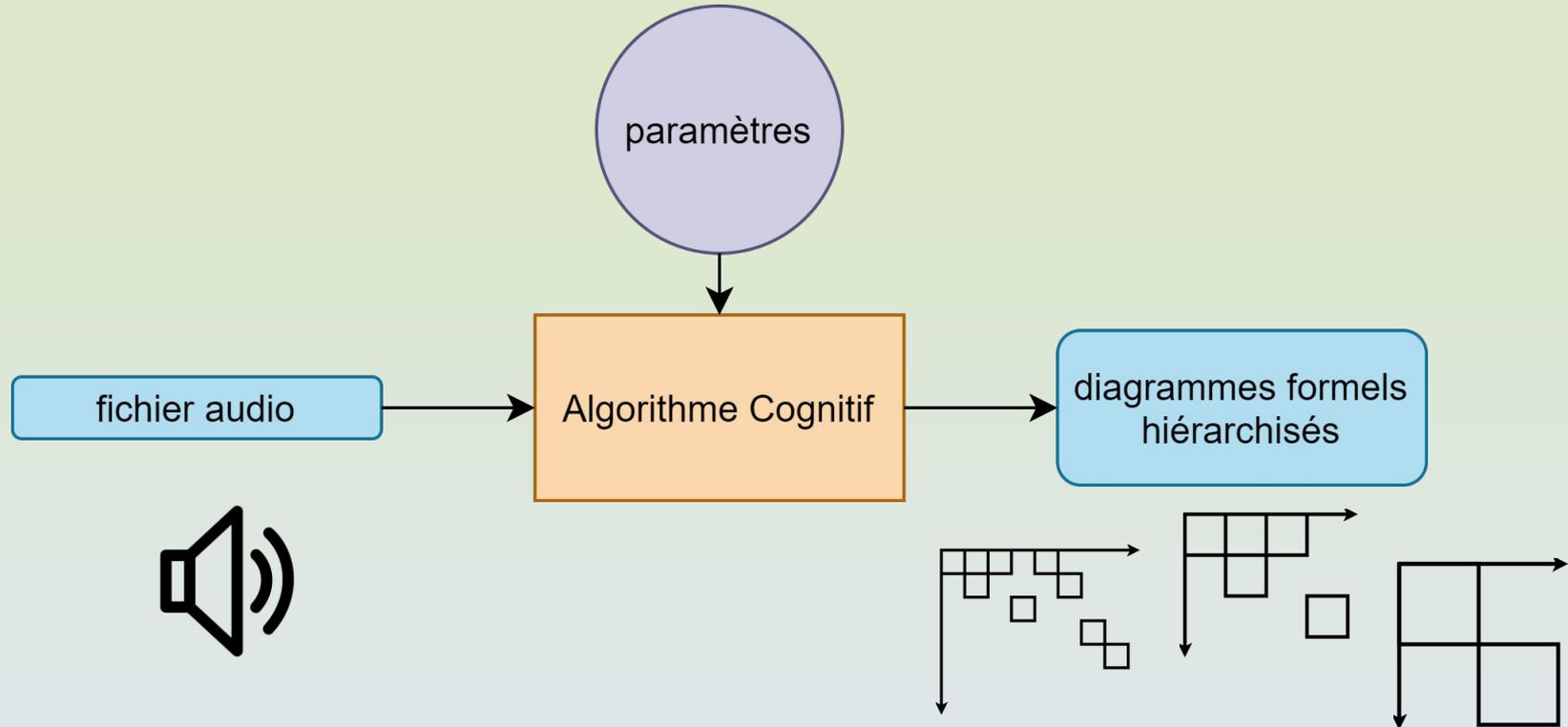
Ottolaske.com

- Laske, O.E. *Music, Memory and Thought, explorations in Cognitive Musicology*. University Microfilms, International, Ann Arbor (MI), 1977.
- Levy, F. *Le compositeur, son oreille et ses machines à écrire, Déconstruire les grammalogies du musical pour mieux les composer*, Vrin, 2014

# Etat de l'Art

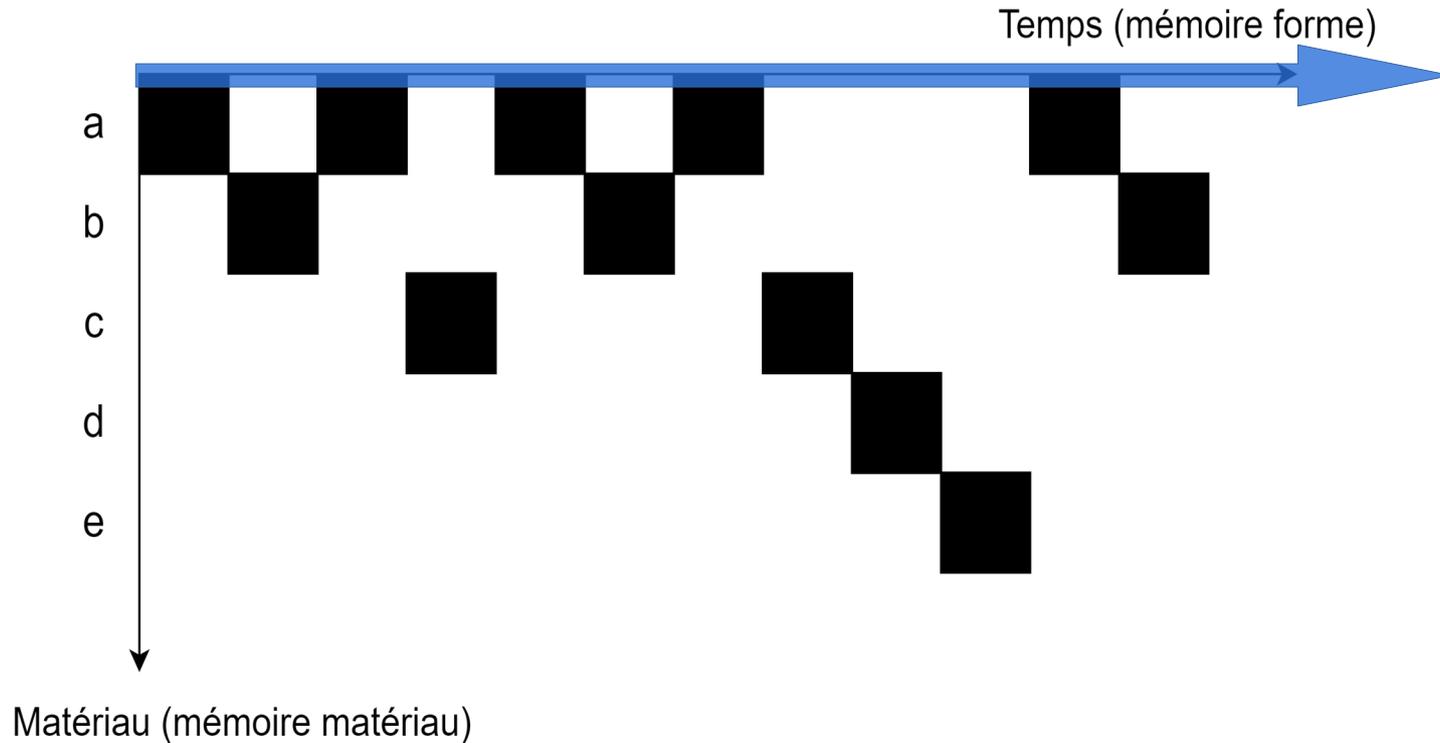
- Forme d'onde et spectre
- Sonogramme, acousmographe
- E-Analysis
- Antescofo, Ossia-score

# Présentation de l'algorithme cognitif



# Présentation du diagramme formel

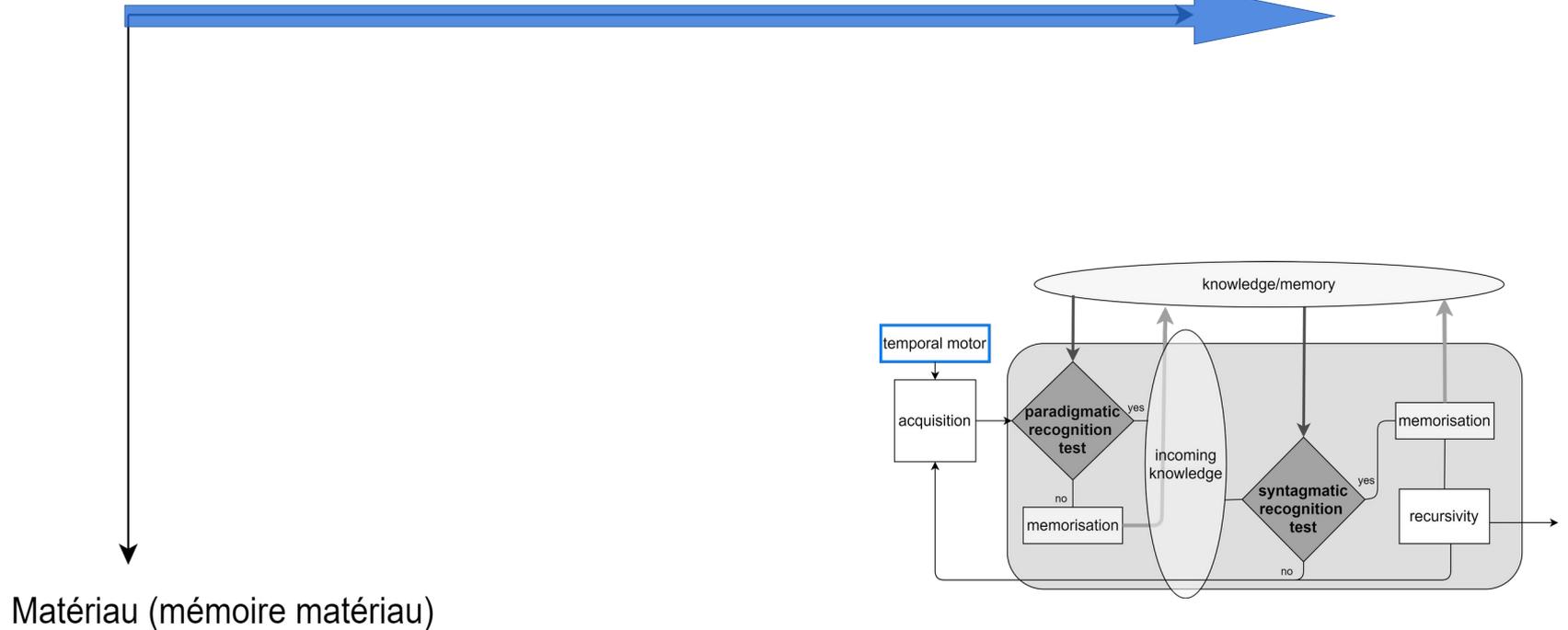
Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »

Temps (mémoire forme)



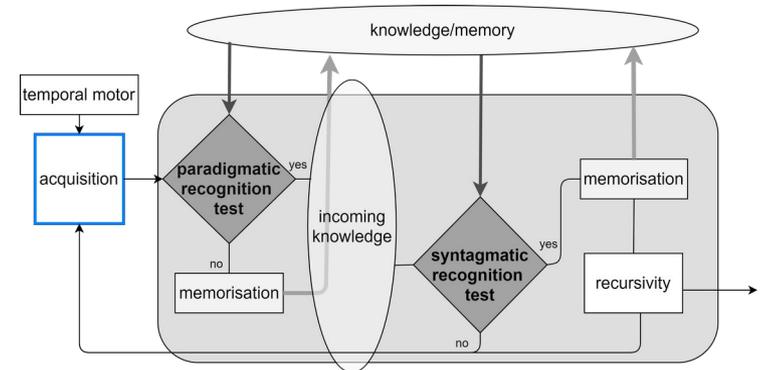
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »

Temps (mémoire forme)

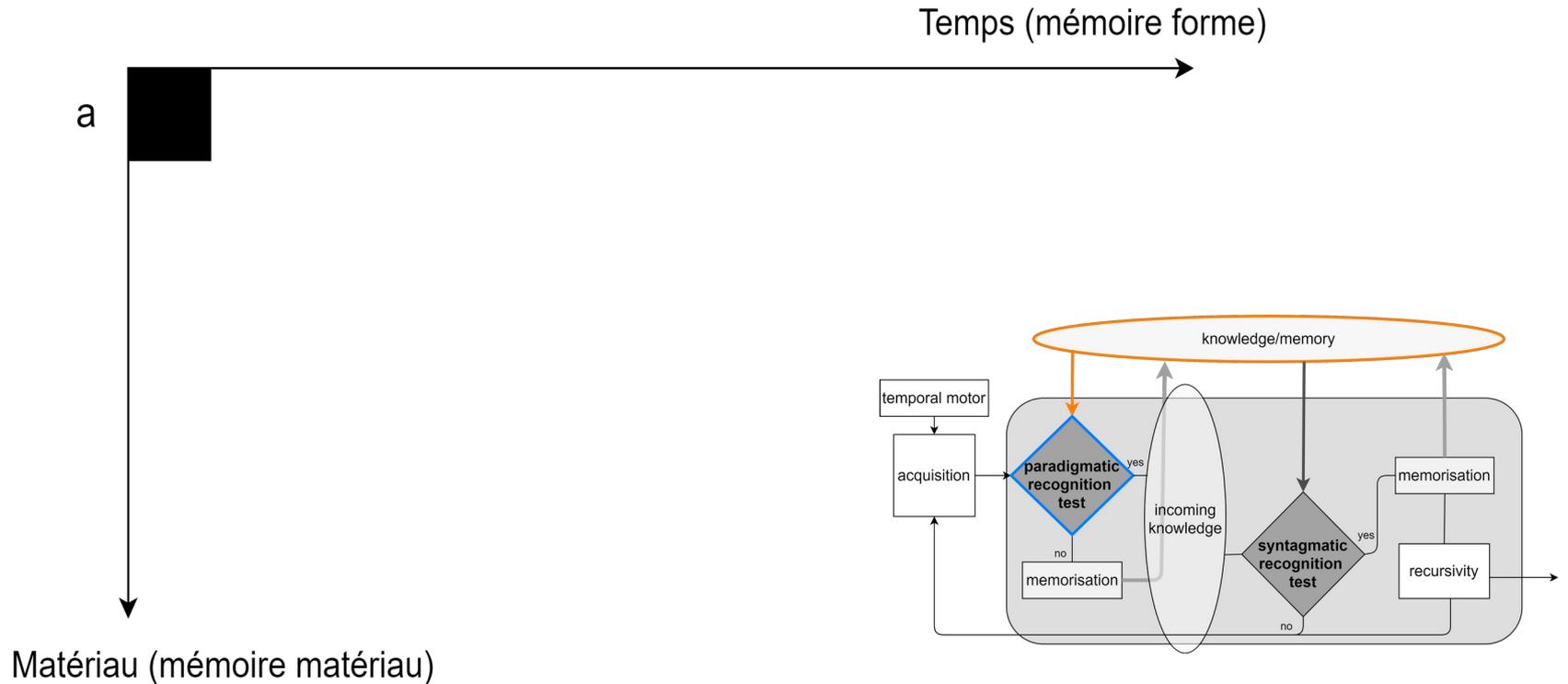


Matériau (mémoire matériau)



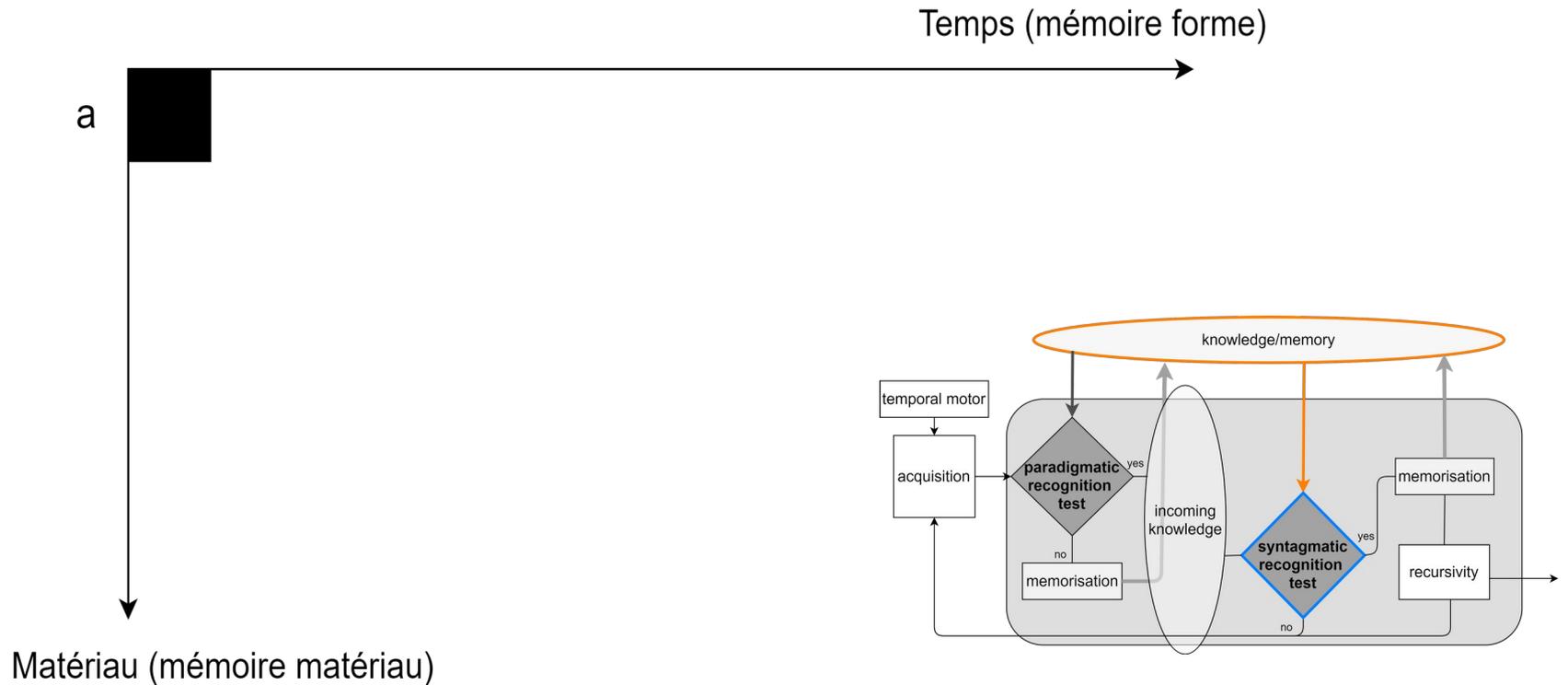
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



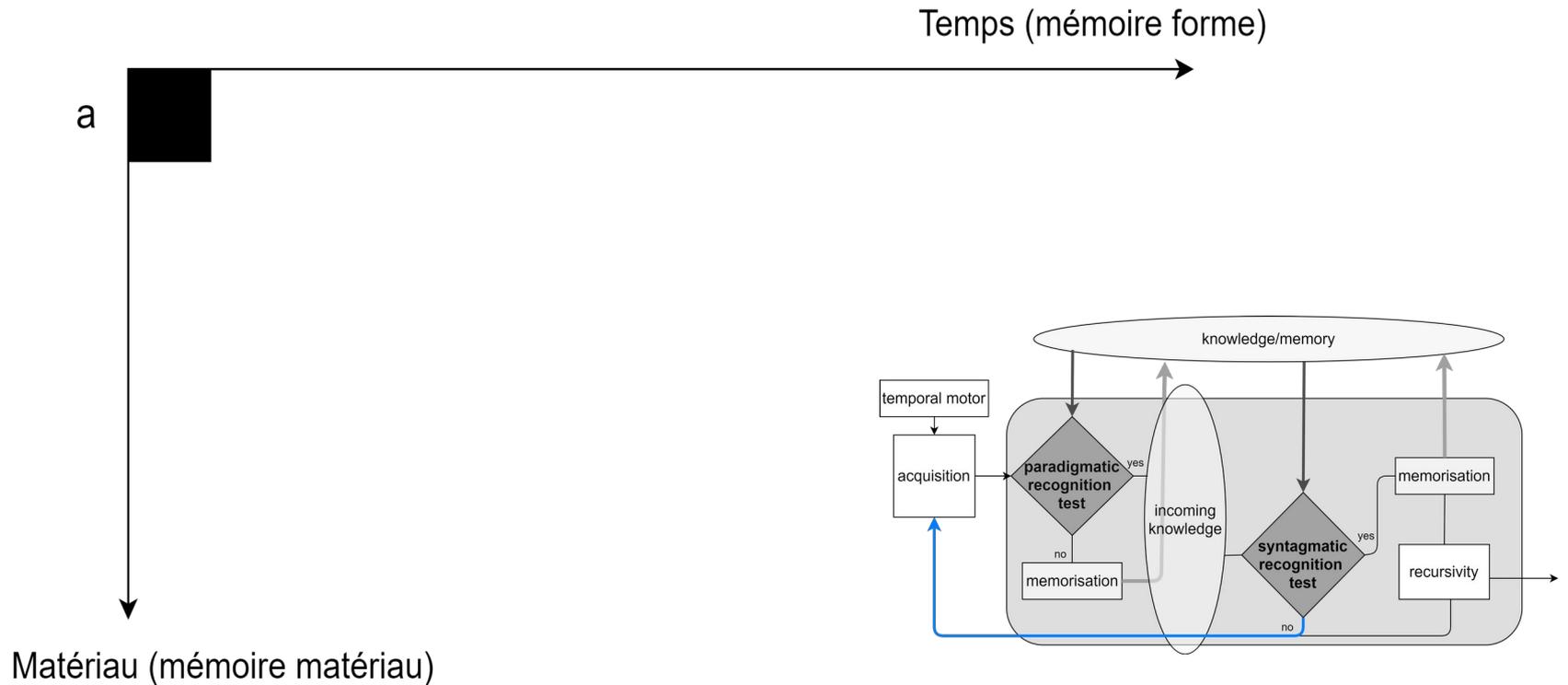
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



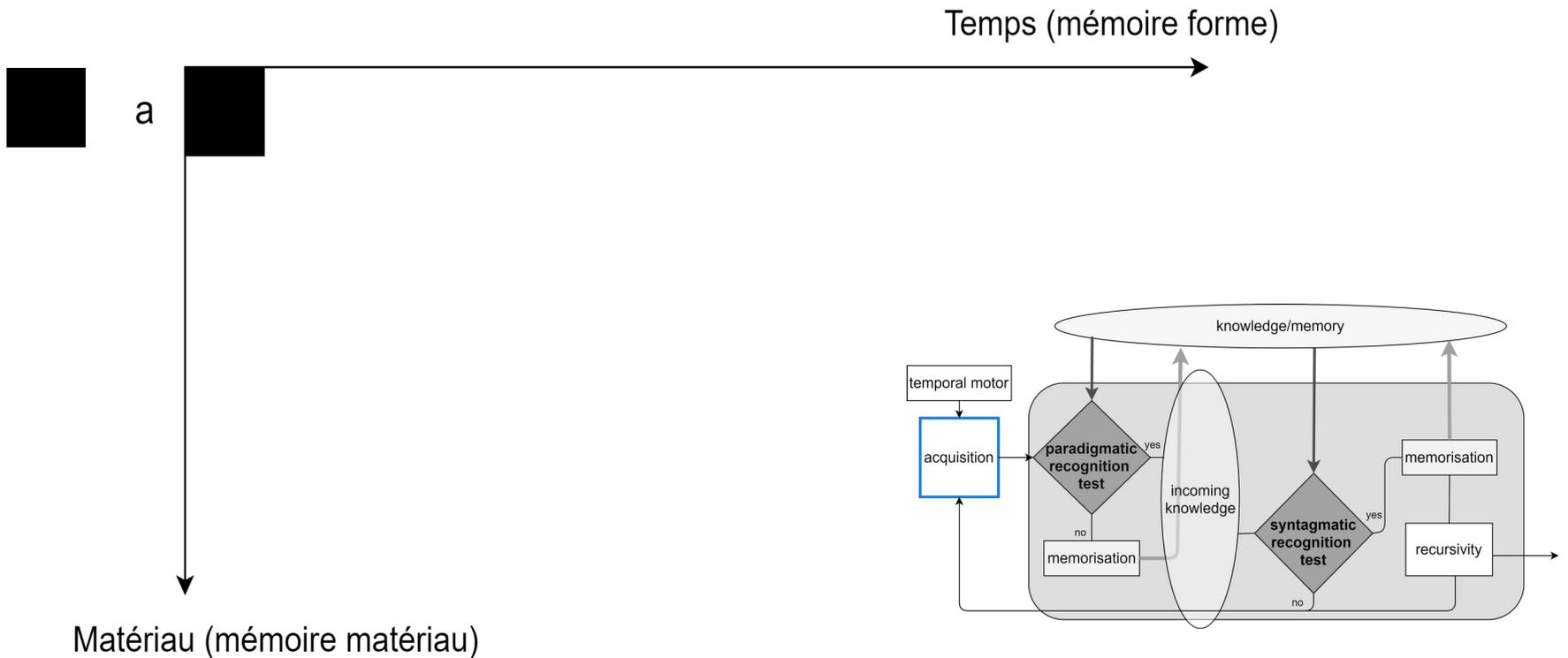
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



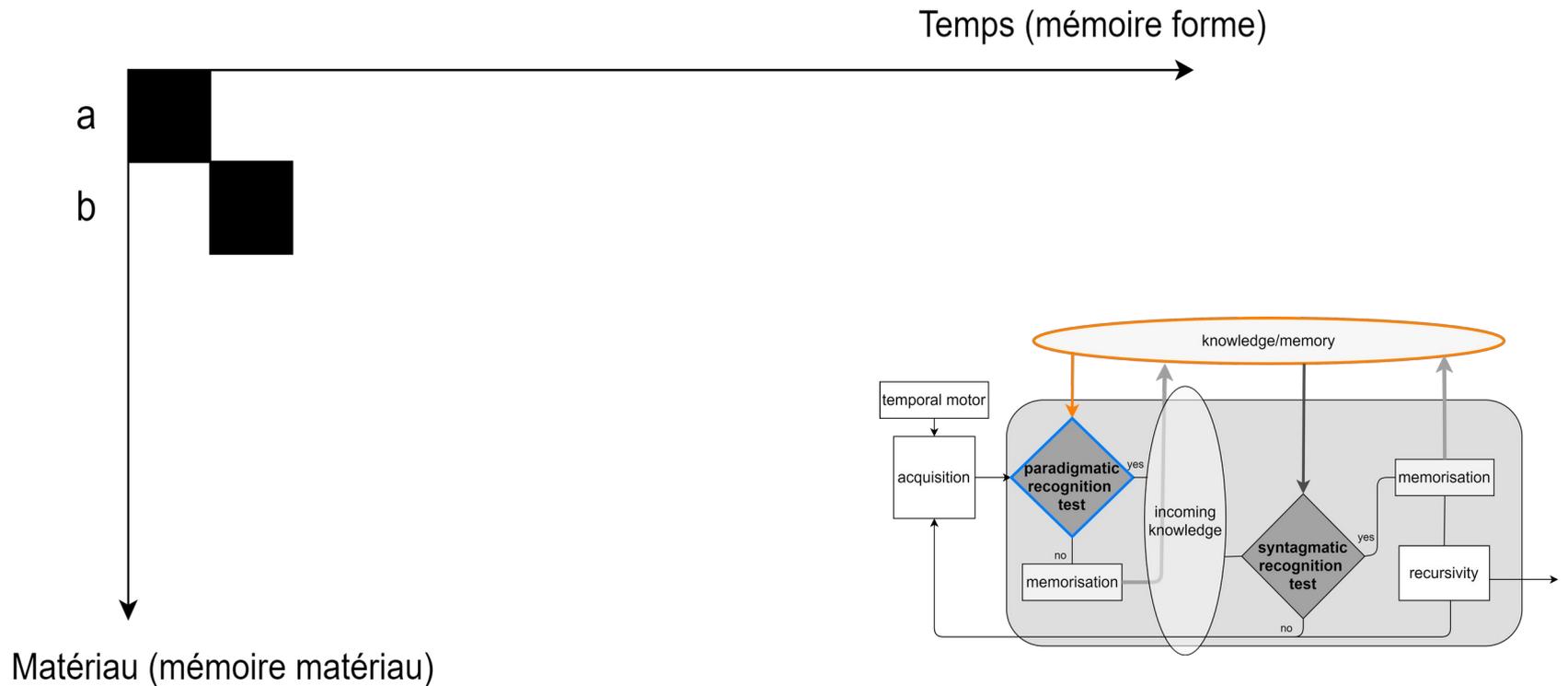
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



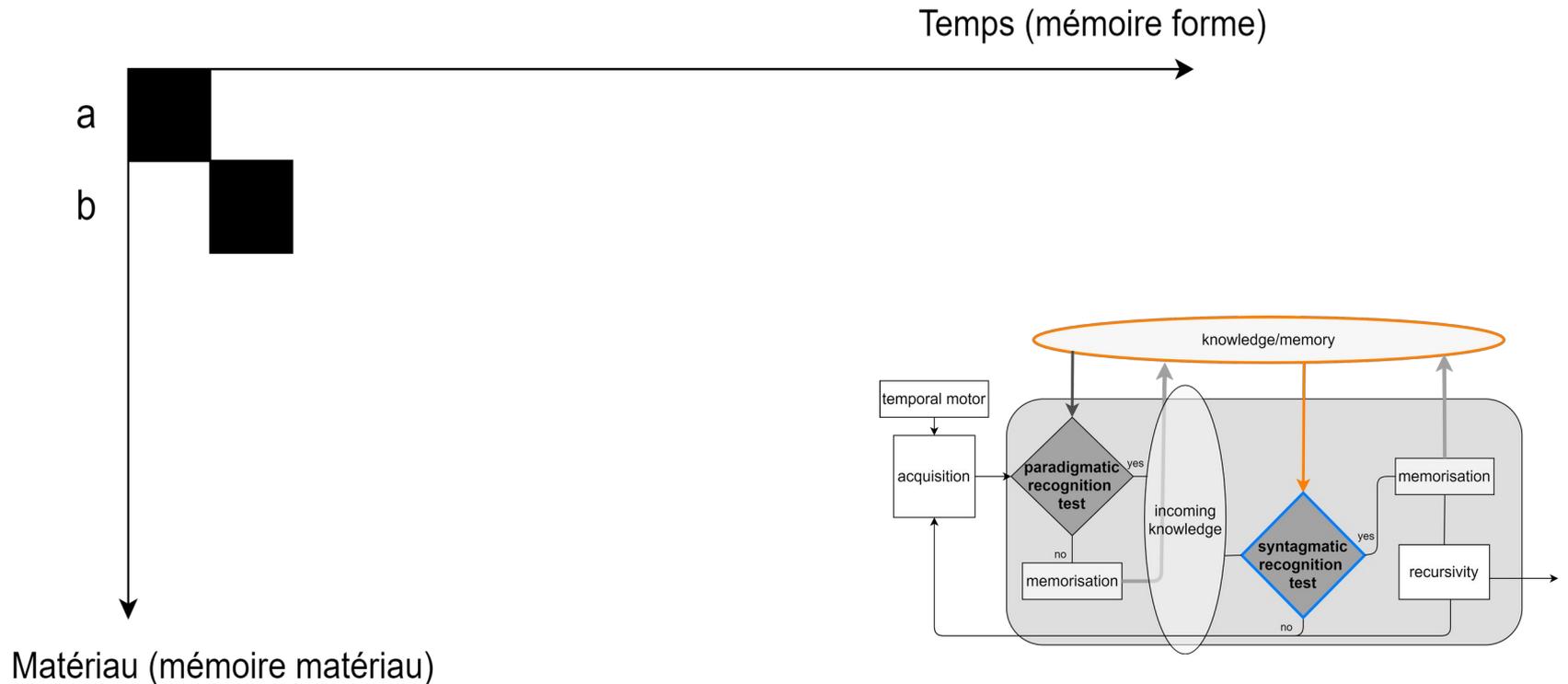
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



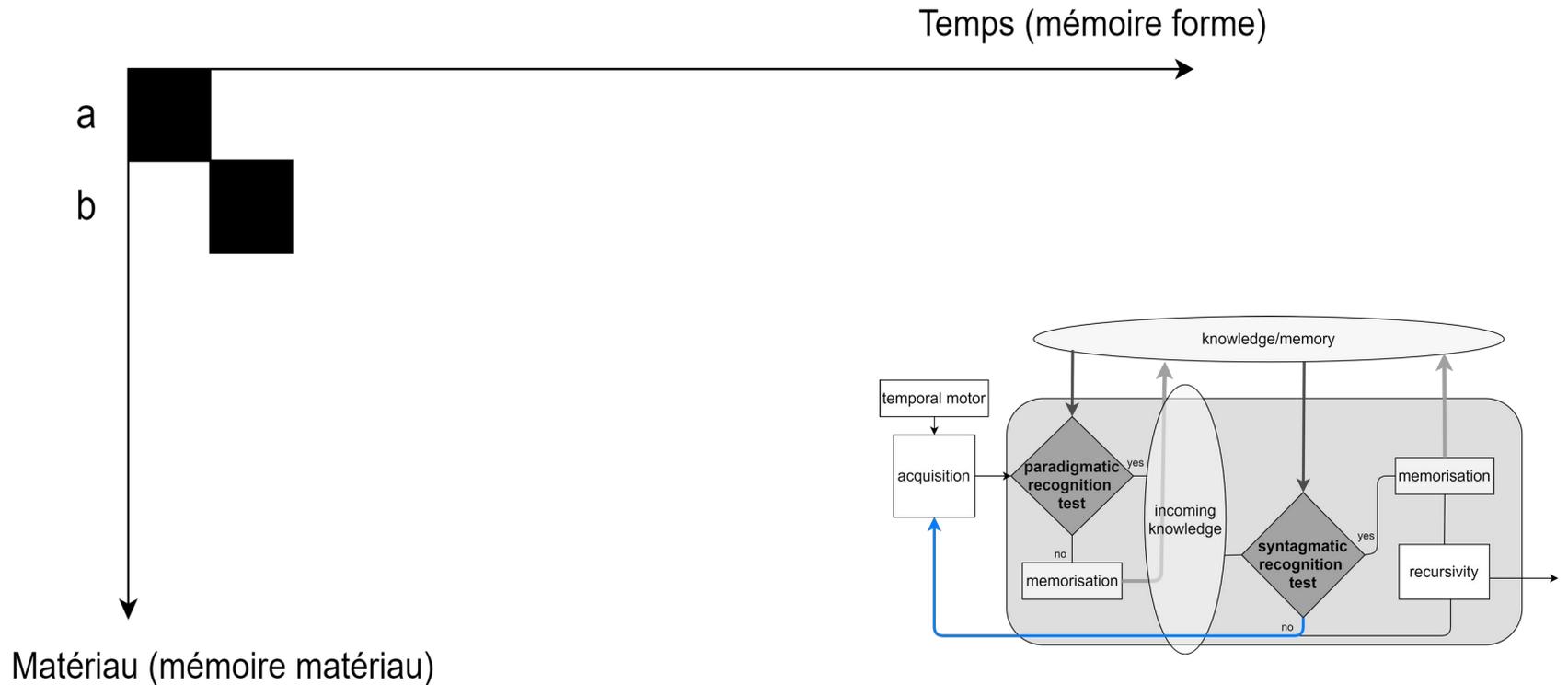
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



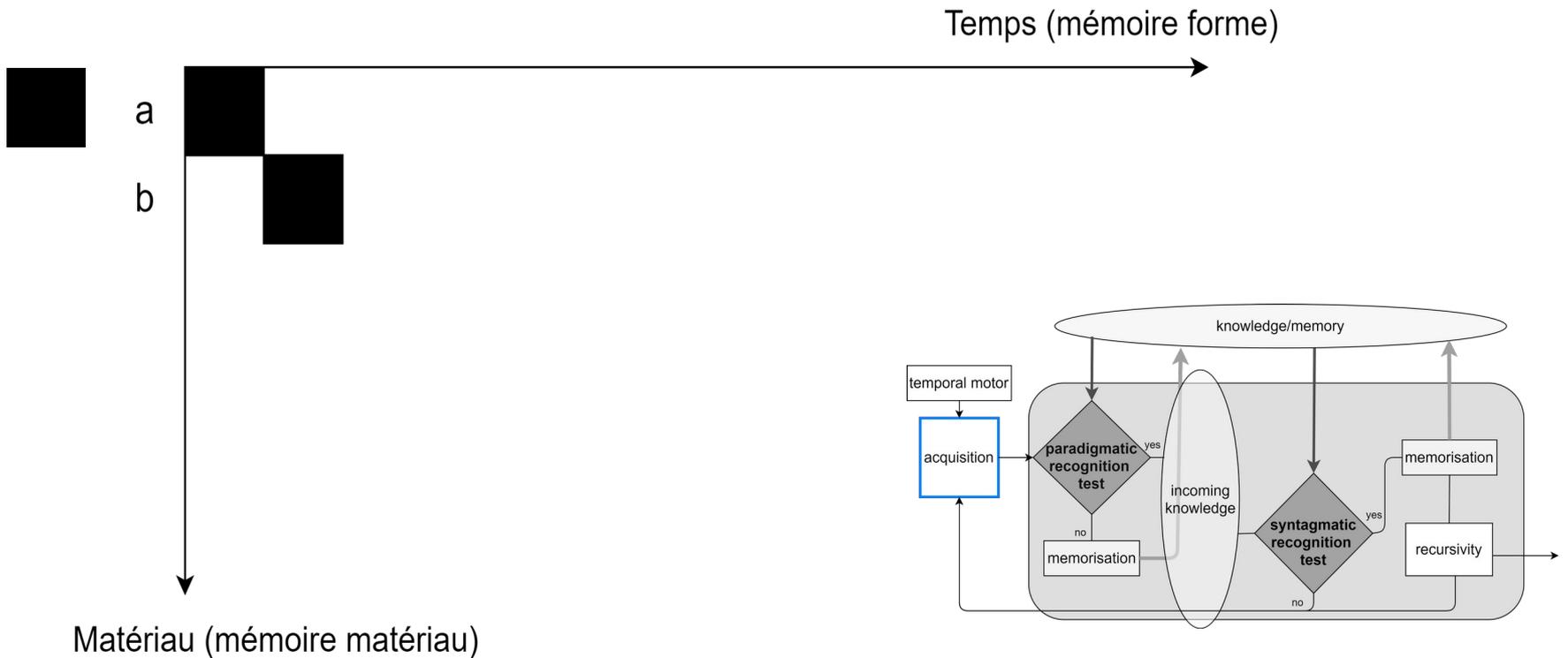
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



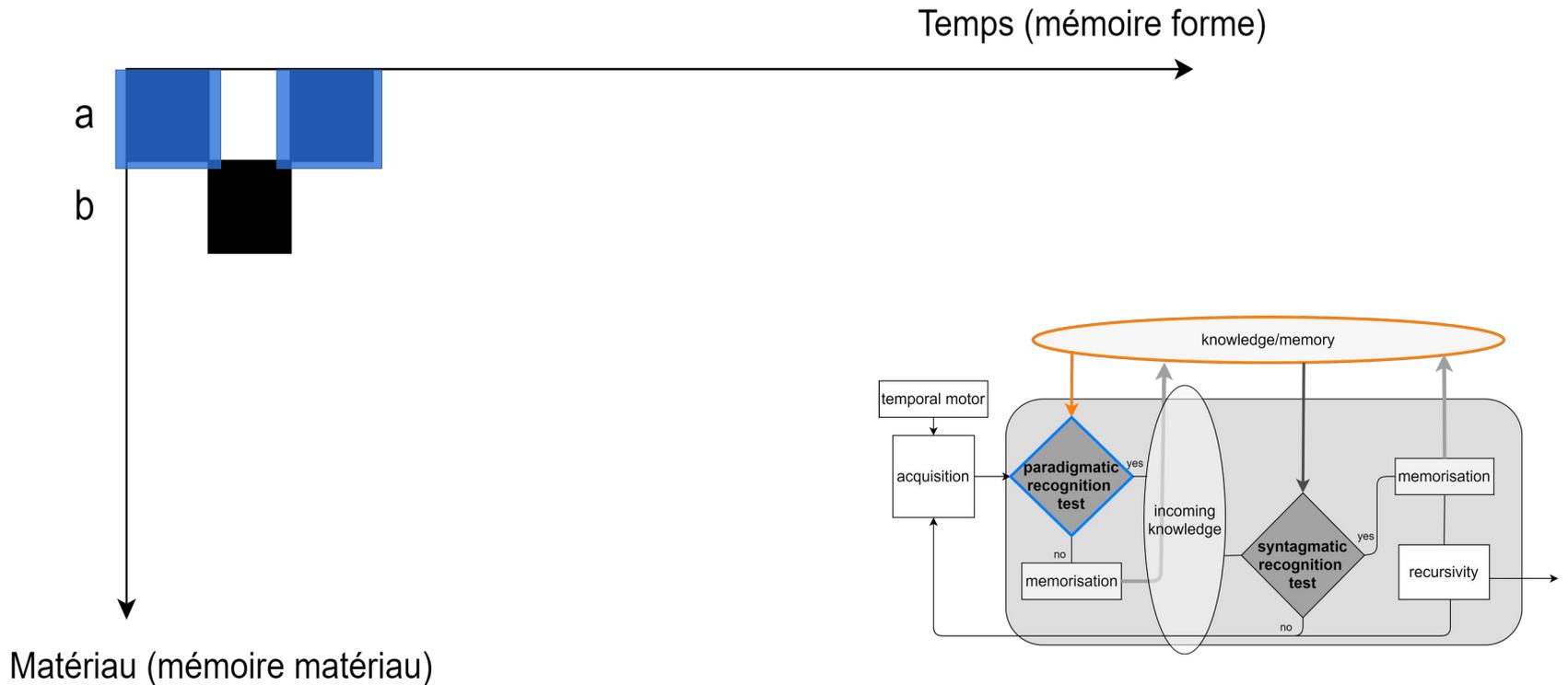
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



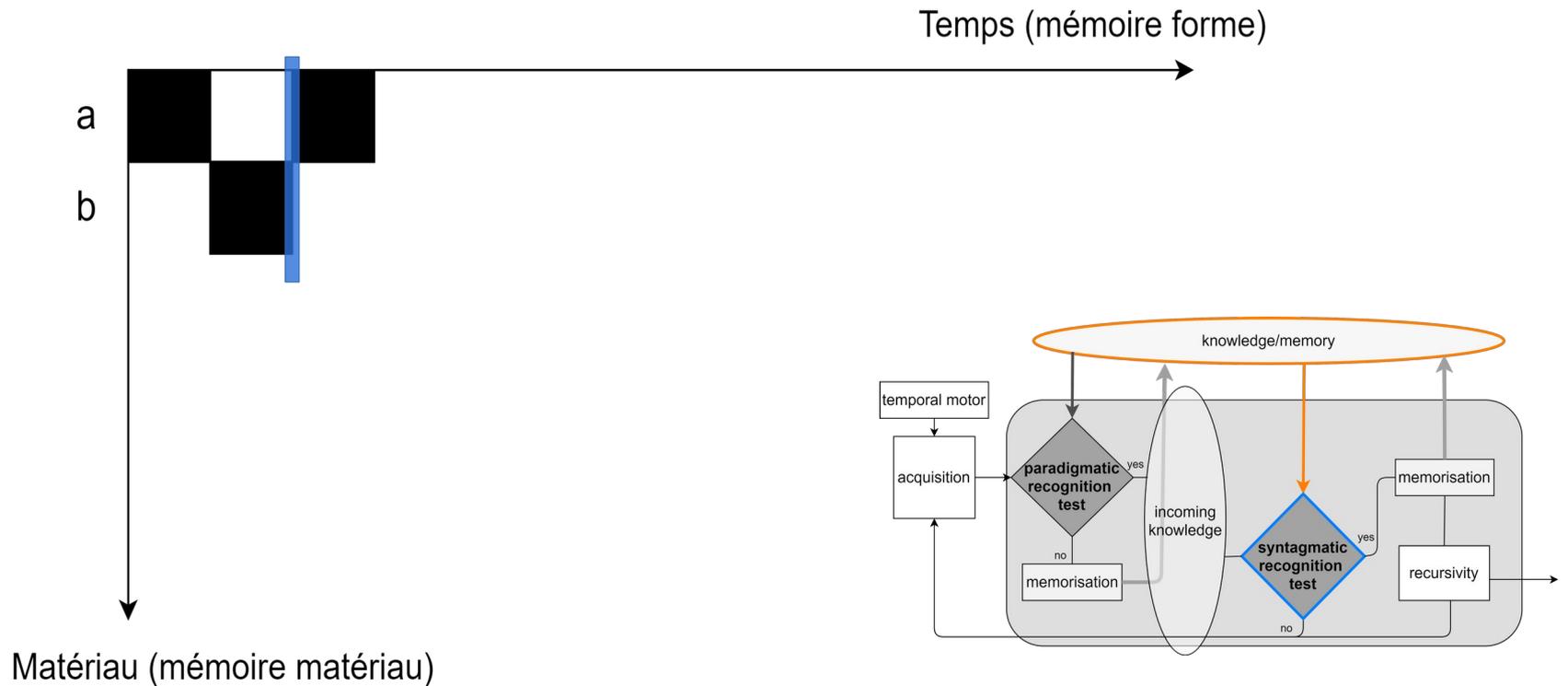
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la  
séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



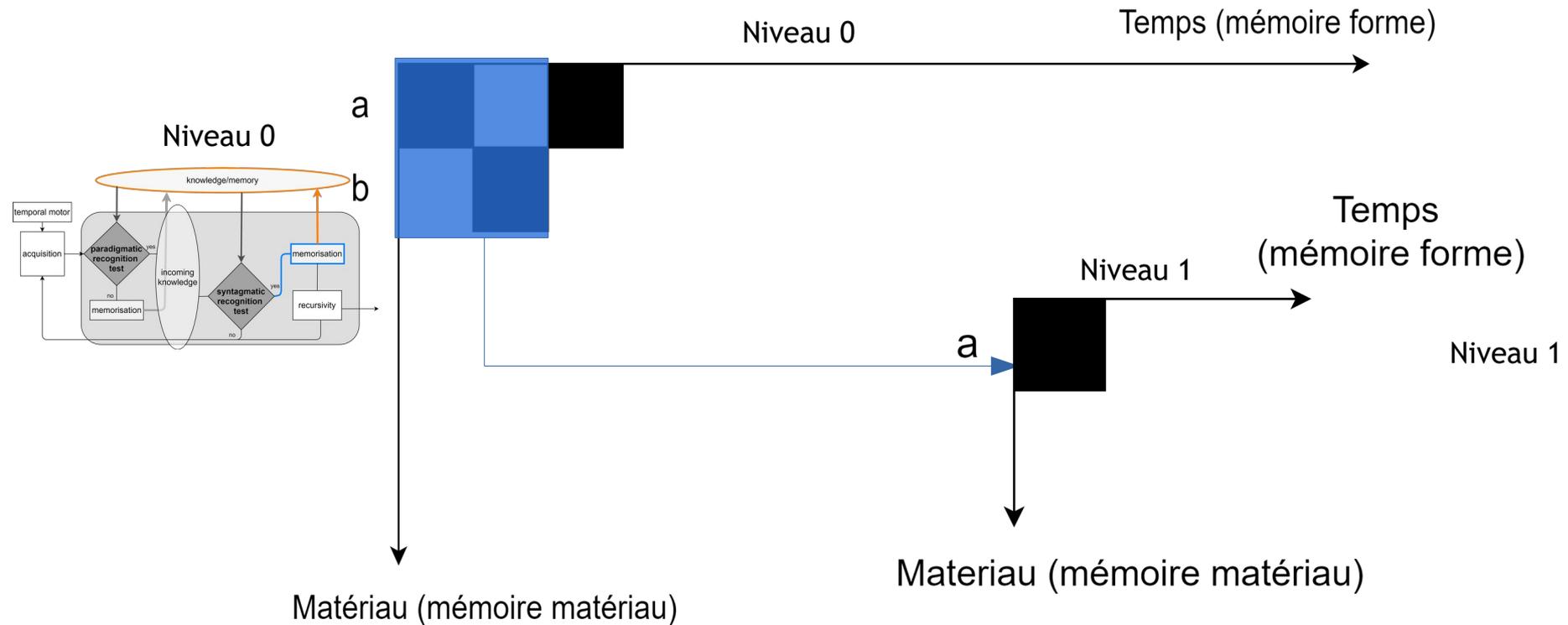
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



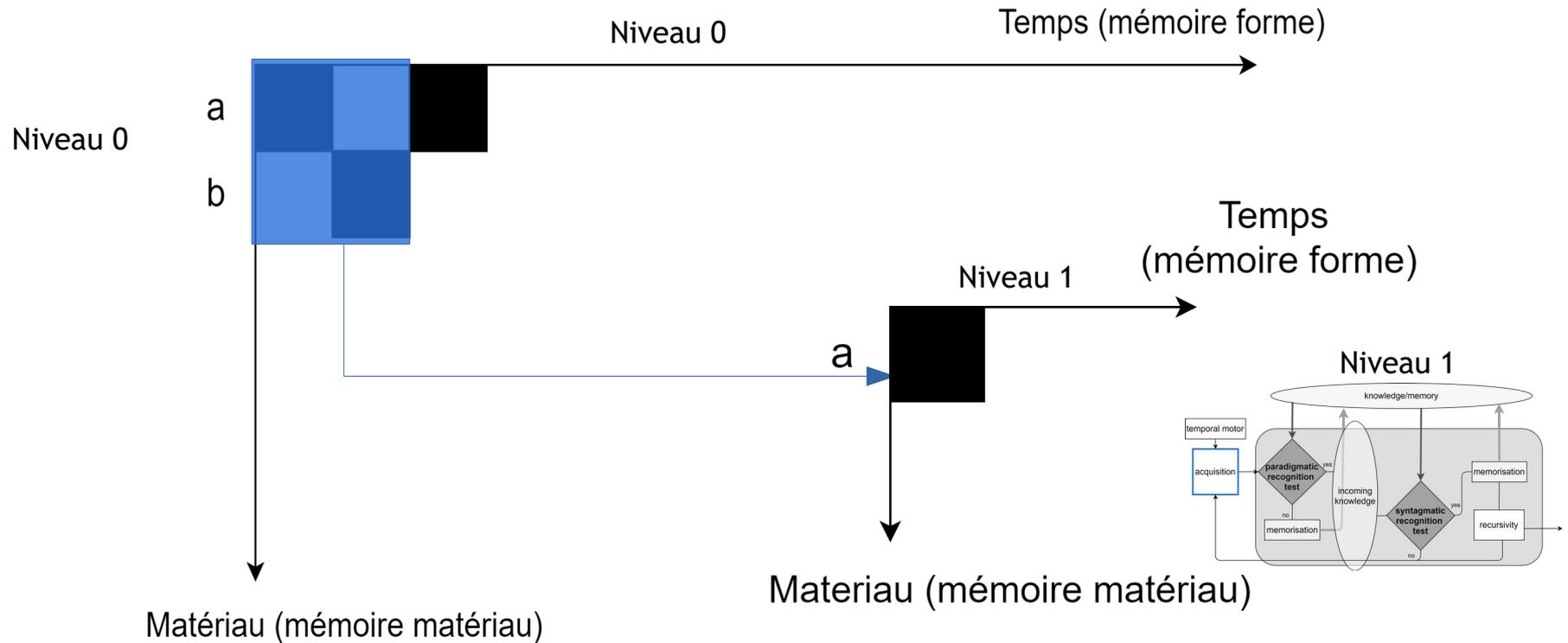
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



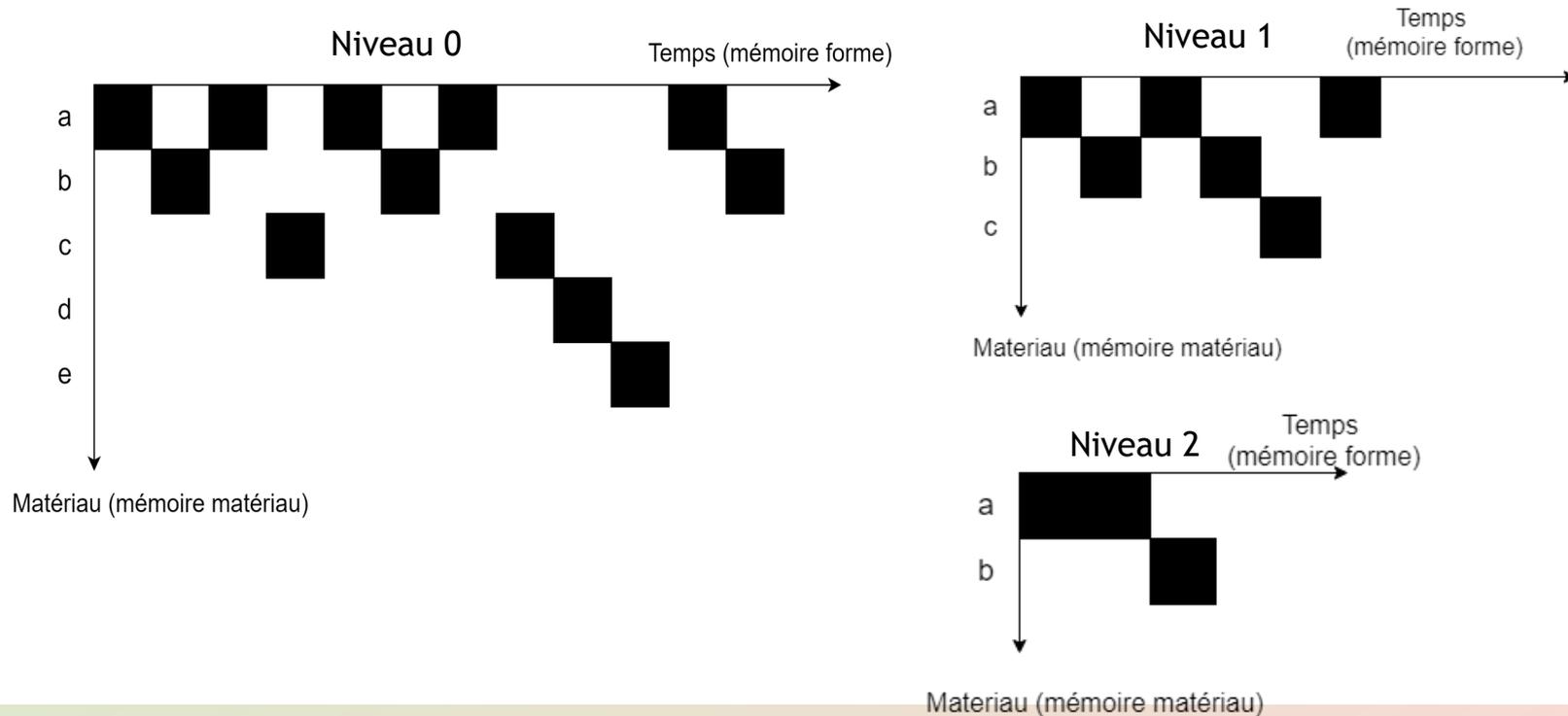
# Présentation du diagramme formel

Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »

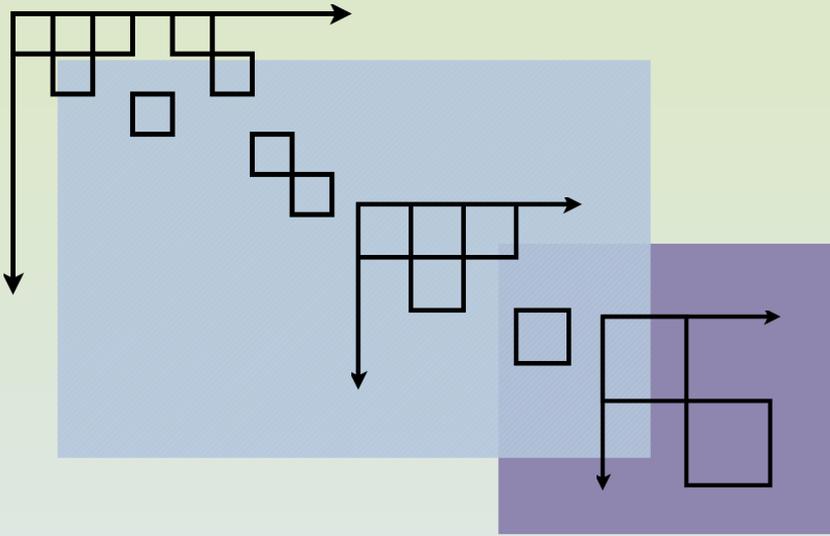


# Présentation du diagramme formel

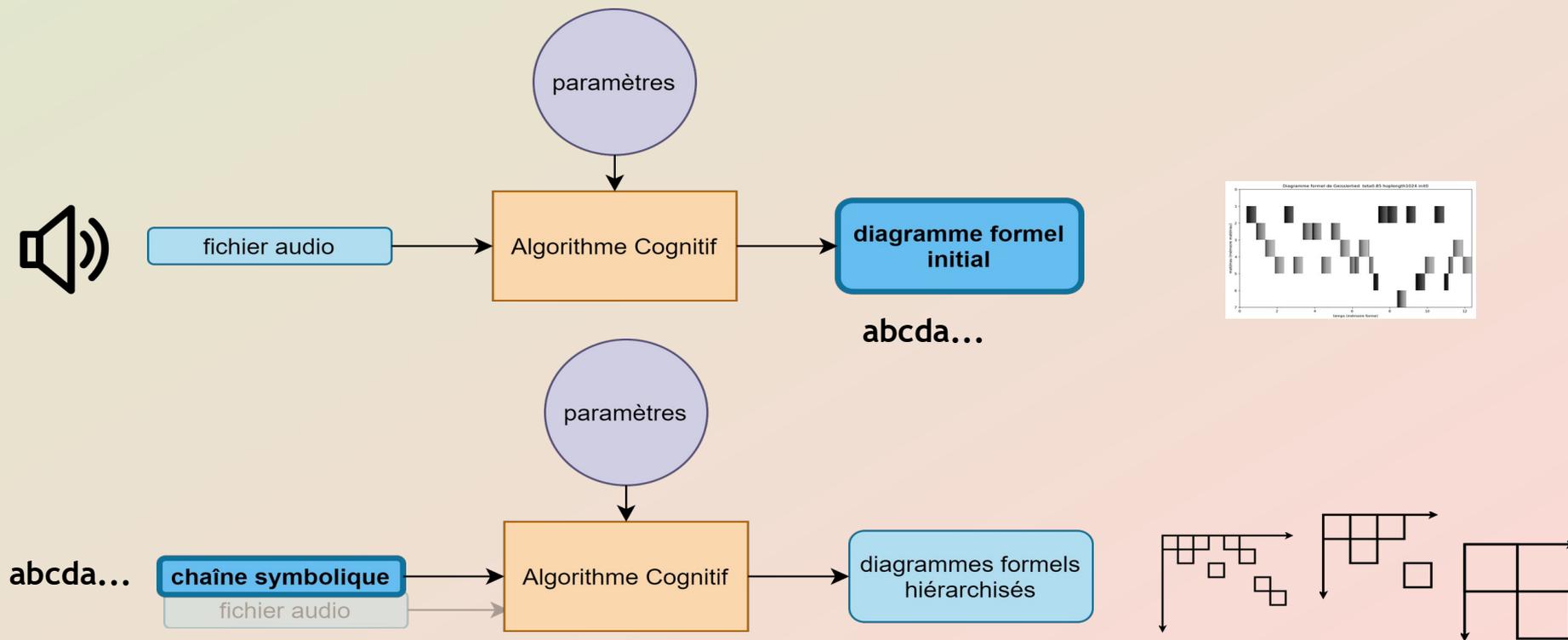
Diagramme Formel de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



# MODELISATION INFORMATIQUE DE L'ALGORITHME



# Implémentation de l'algorithme cognitif



J. Calandra, J.-M. Chouel, M. Desainte-Catherine, and al., *Génération automatique de diagrammes formels par un algorithme cognitif modulaire: étude préliminaire*, in Journées d'Informatique Musicales(JIM), Strasbourg, France, 2020.

J. Calandra, J.-M. Chouel et M. Desainte-Catherine, « Multi-Scale Oracle and automated representation of formal diagrams based on the cognitive algorithm » inProc. Int. Conf. On Technologies for Music Notation and Representation - TENOR 2021, Hamburg, Germany, 2021

# Implémentation

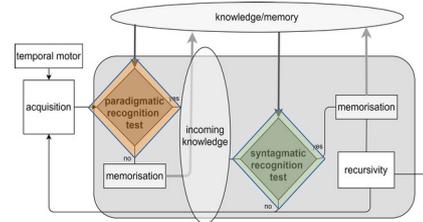
- **L'oracle multi-échelle :**

Chaque niveau inclus un certain nombre de structures de données dont :

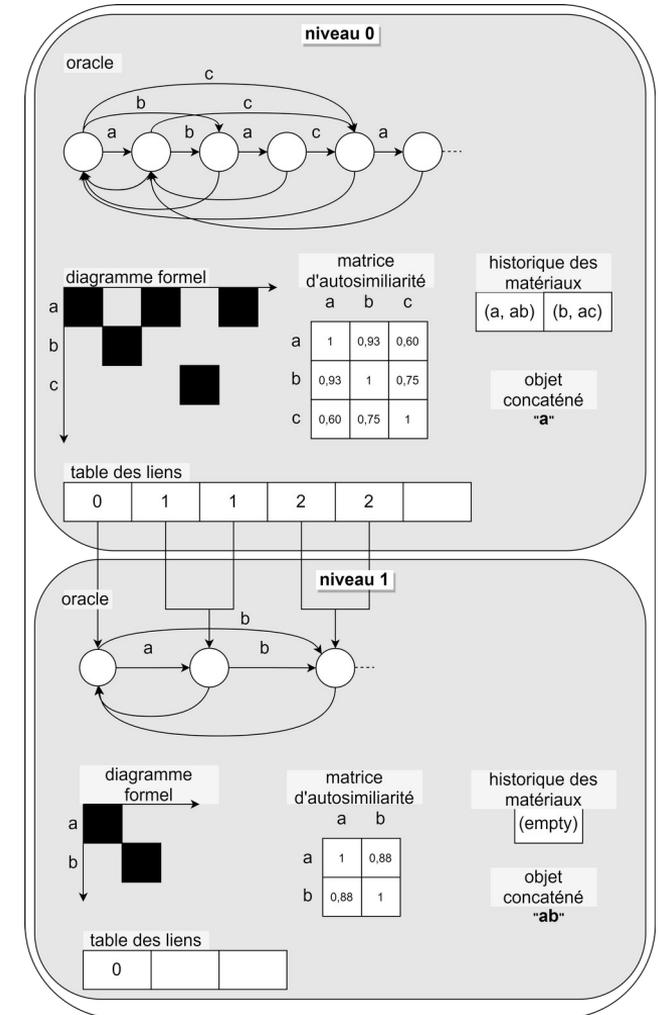
- Diagramme Formel
- Variable Markov/Factor Oracle
- Objet concaténé
- Table des liens
- Mémoire matériau (Historique/Matrice d'autosimilarité)

- **Tests de similarité et segmentation :**

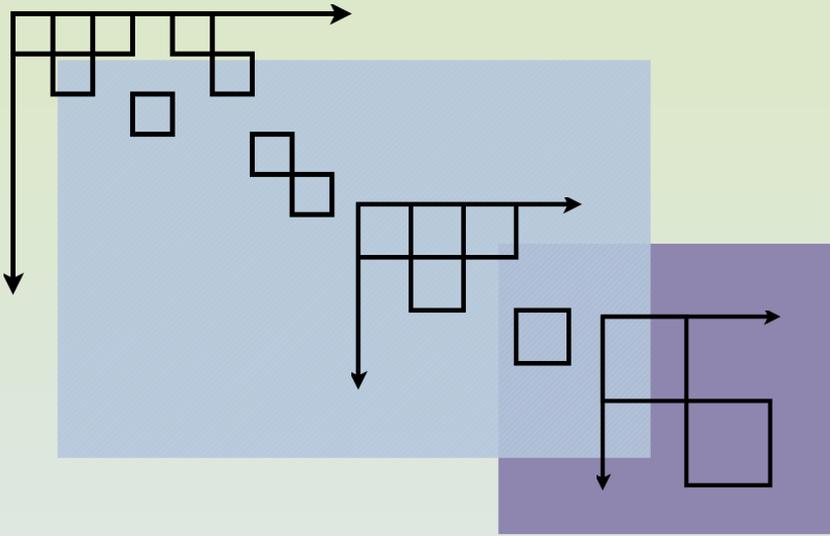
- Fonction de similarité/segmentation
- Règles syntaxiques
- Seuils



- C. Allauzen, M. Crochemore, and M. Raffinot, *Factor oracle: a new structure for pattern matching ; theory and practice of informatics*. in Proceedings of SOFSEM'99, Paris, France, 1999
- C. Wang and S. Dubnov, *Guided music synthesis with variable markov oracle*, in 3rd International Workshop on Musical Metacreation, 10th Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference, Raleigh, North Carolina, 2014.

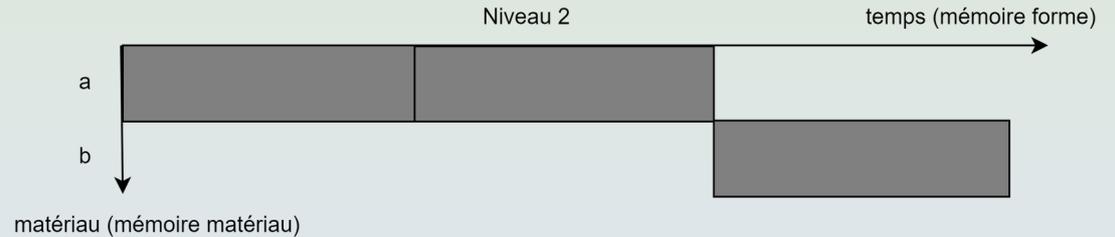
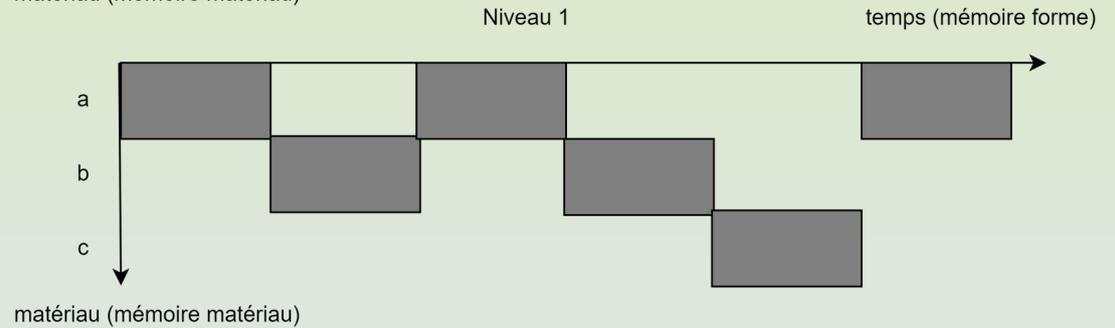
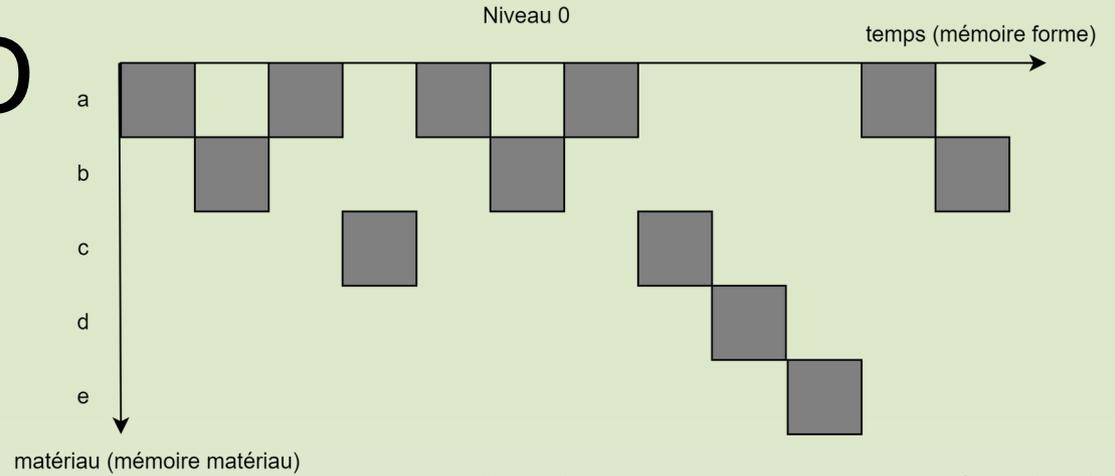


# REPRESENTATIONS & INTERFACES

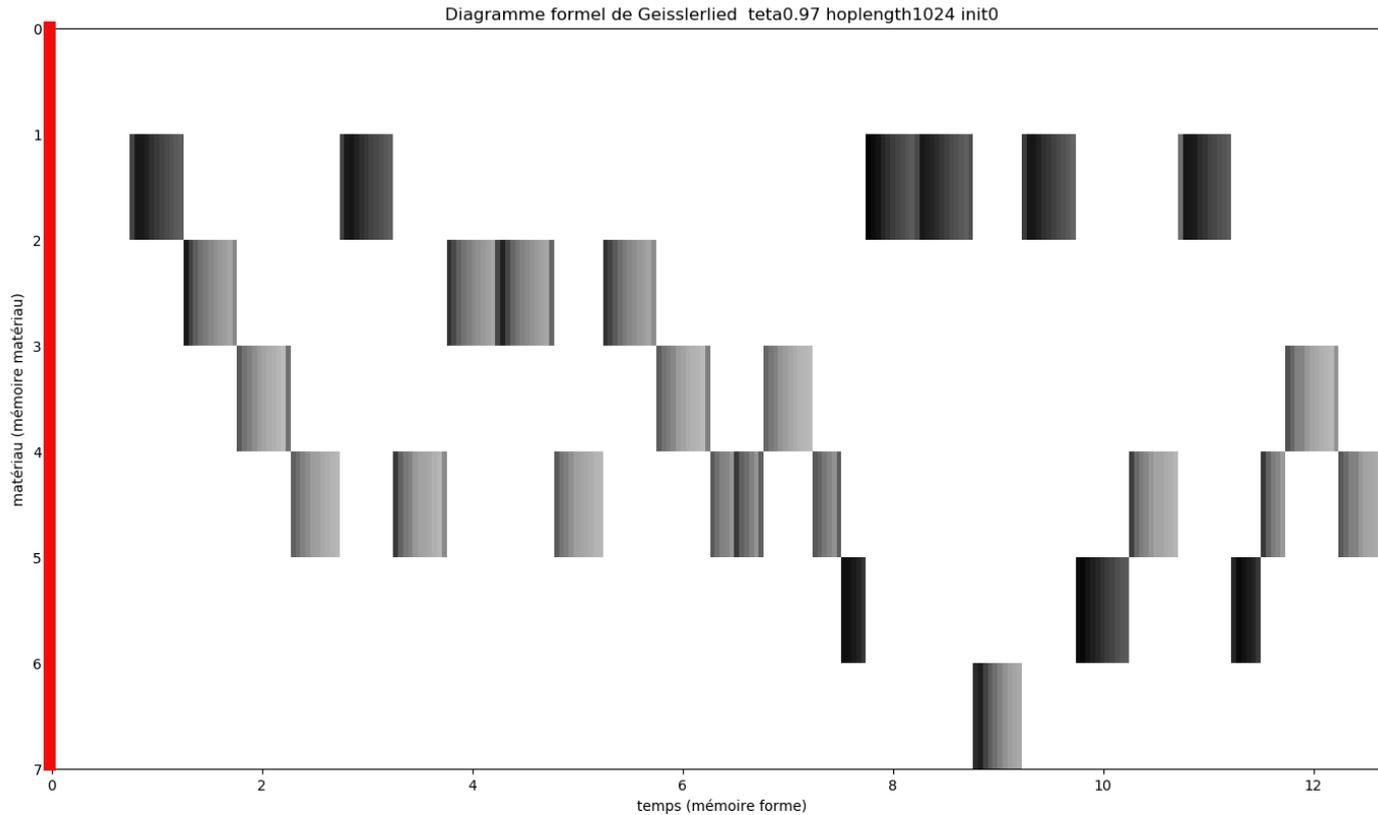


# Représentation 2D

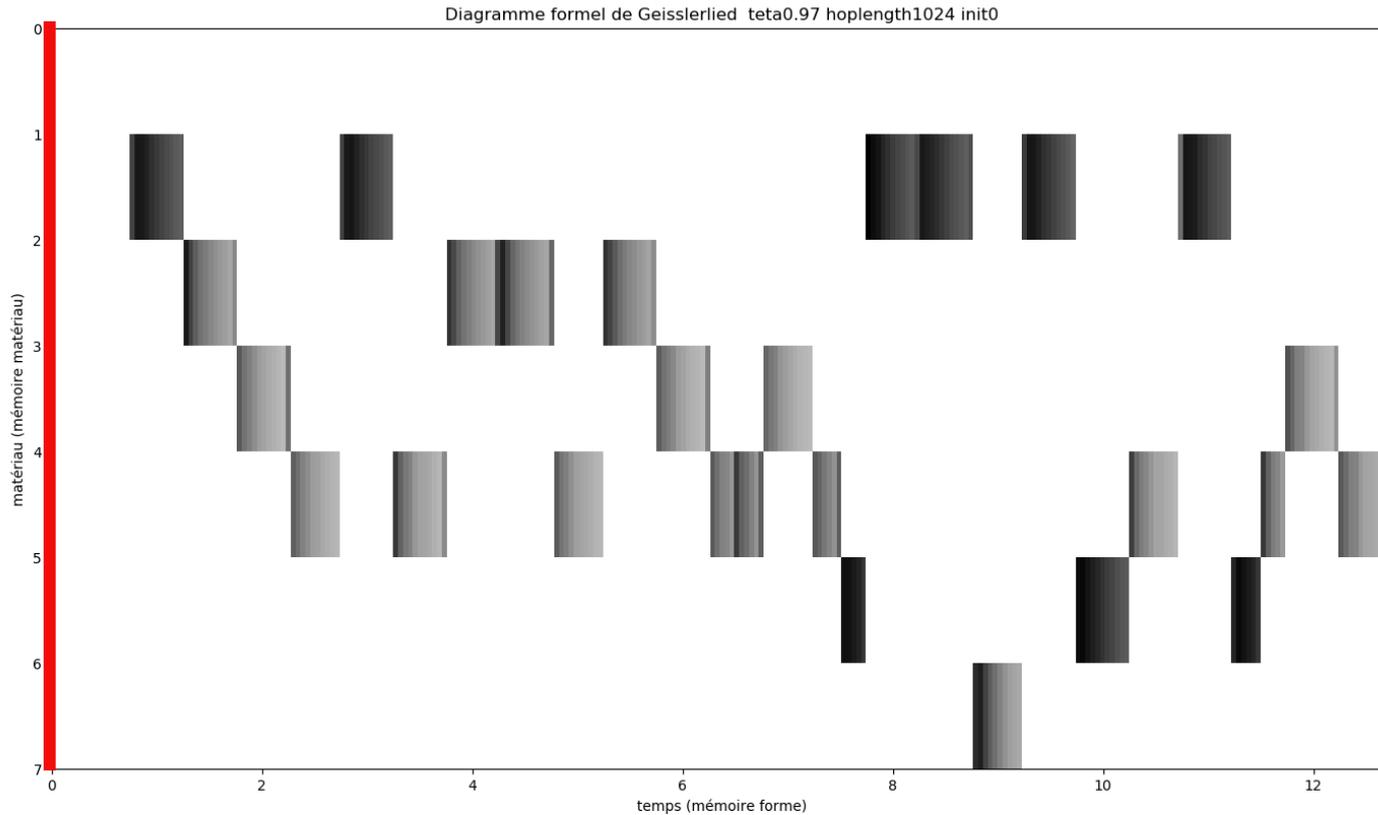
Diagrammes Formels de la musique associée à la séquence d'objets encodés « abacabacdeab »



# Diagramme formel initial

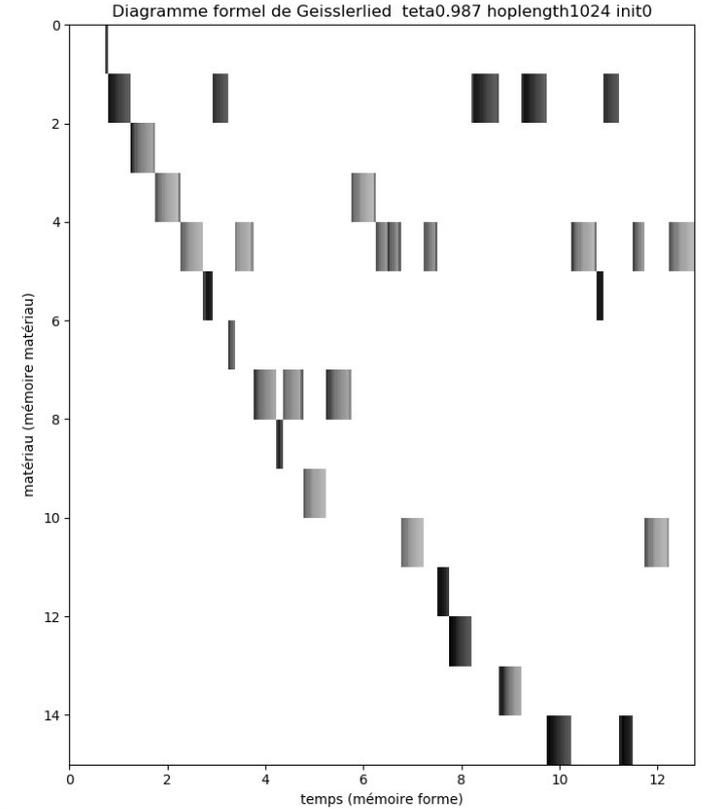
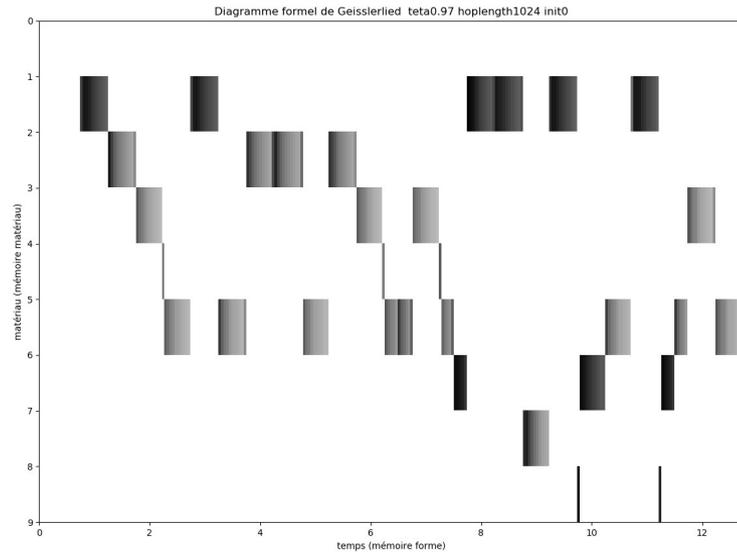
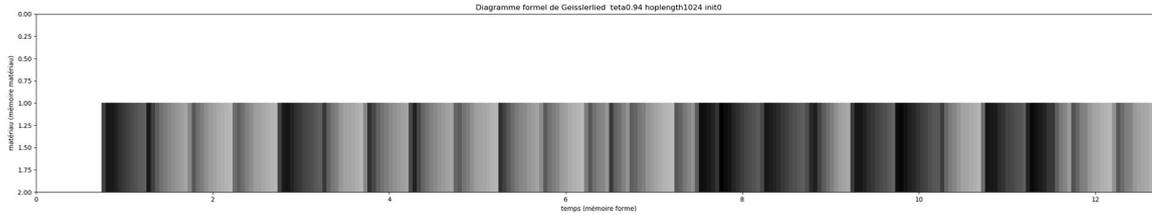


# Diagramme formel initial

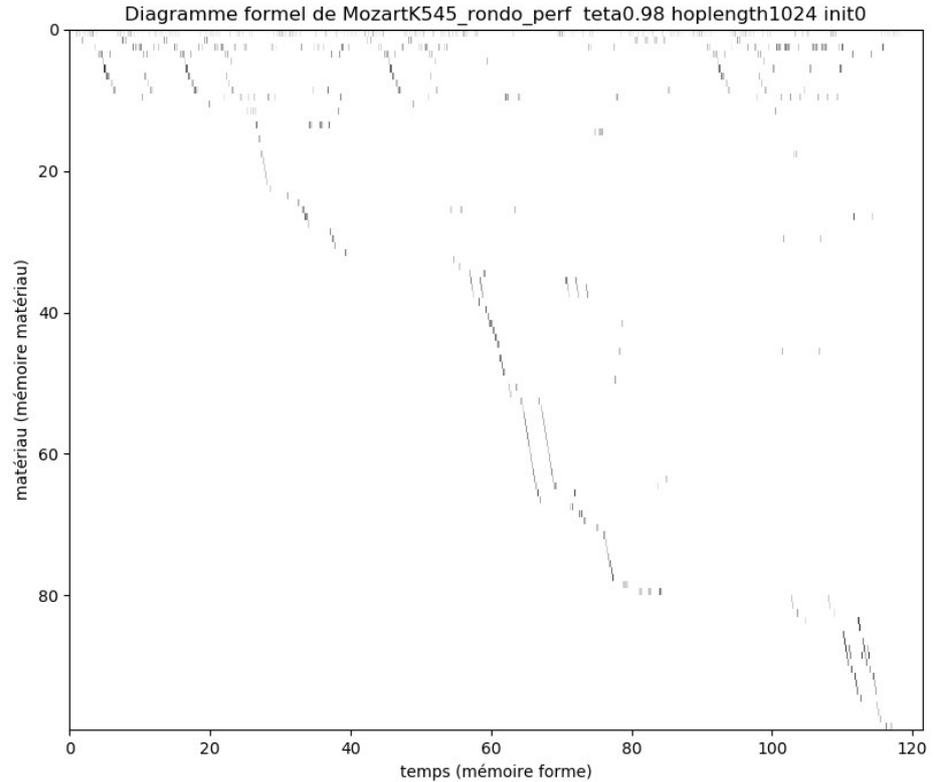
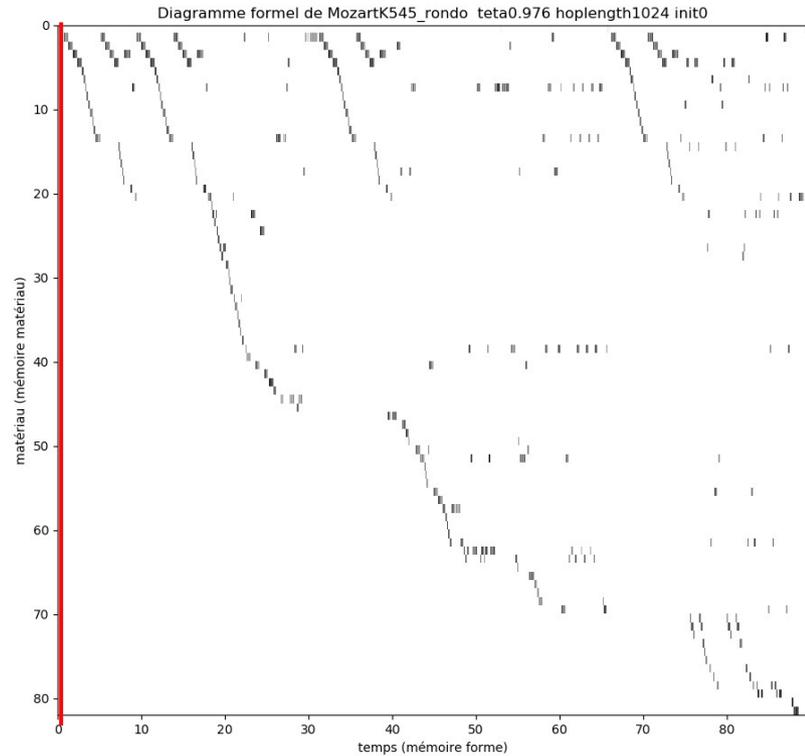


# Diagramme formel initial

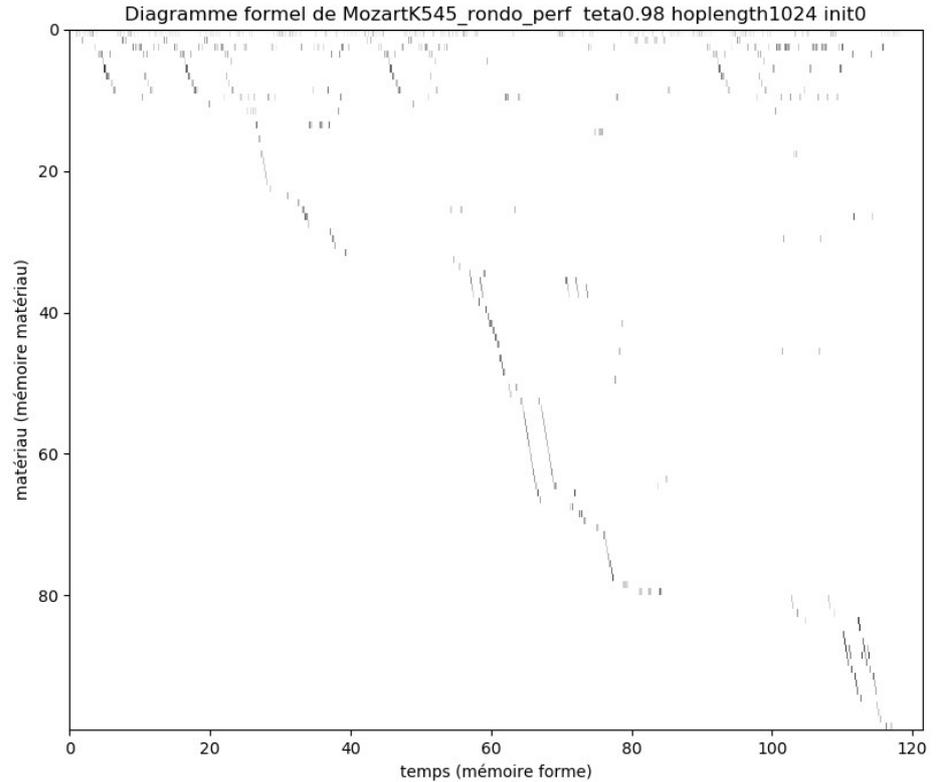
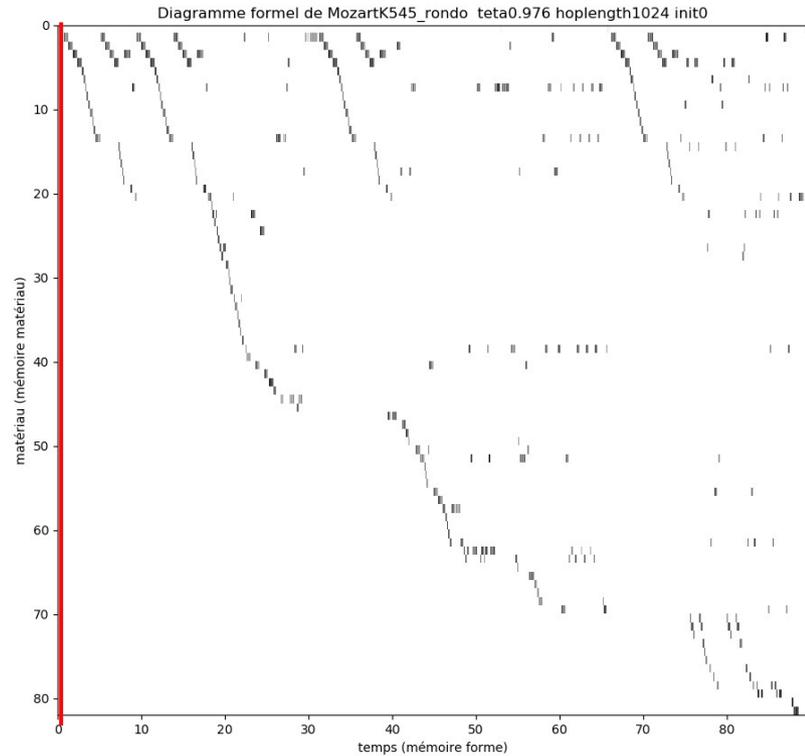
## influence des paramètres



# Diagramme formel initial



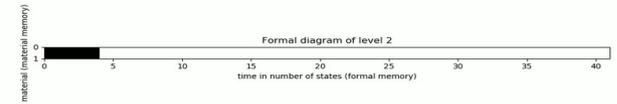
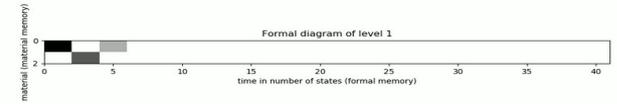
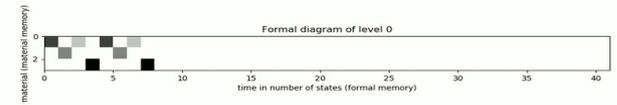
# Diagramme formel initial



# Diagrammes hiérarchisés (chaîne symbolique)

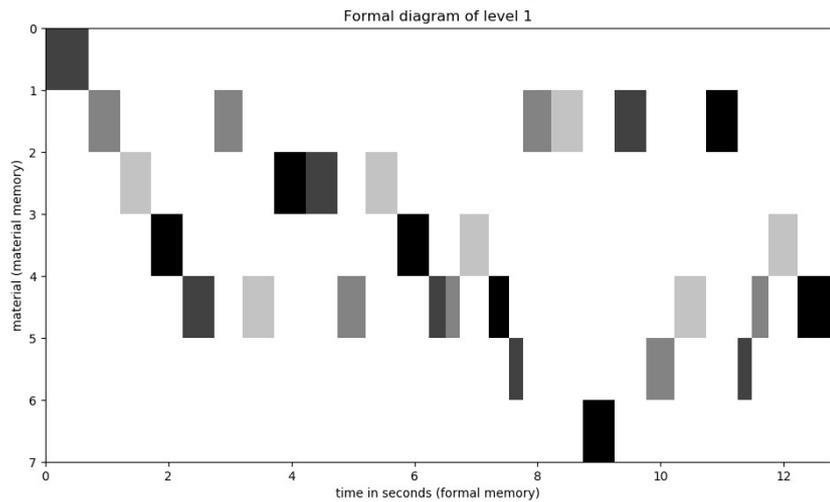
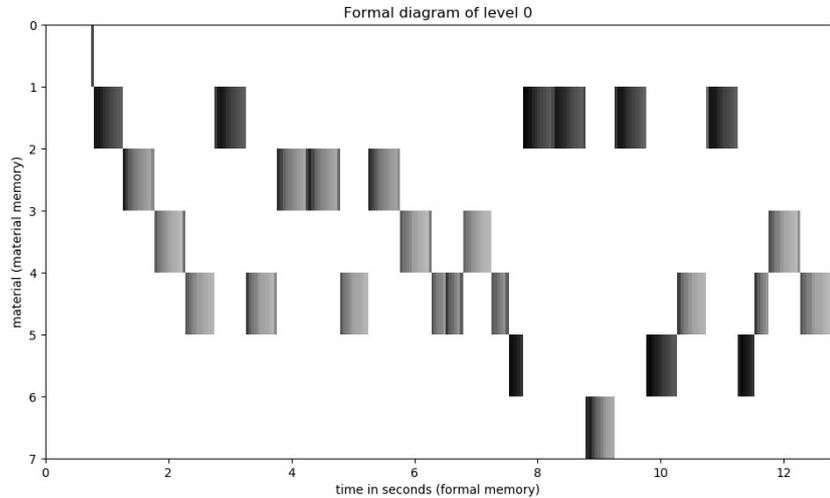
5 (180) RONDO. Allegretto. (181) 9

W. A. M. 545.

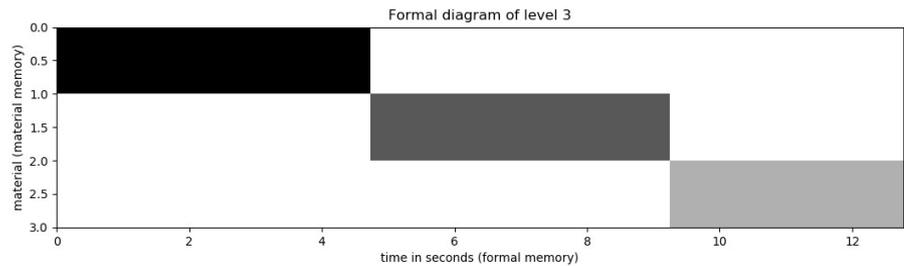
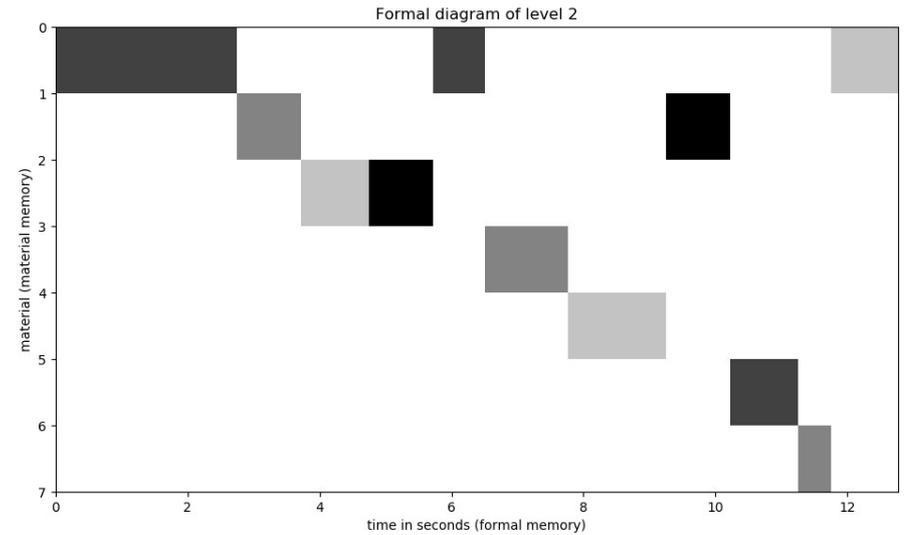


→ abacabacdeabfgabachijklmhinopqabacrsrttu

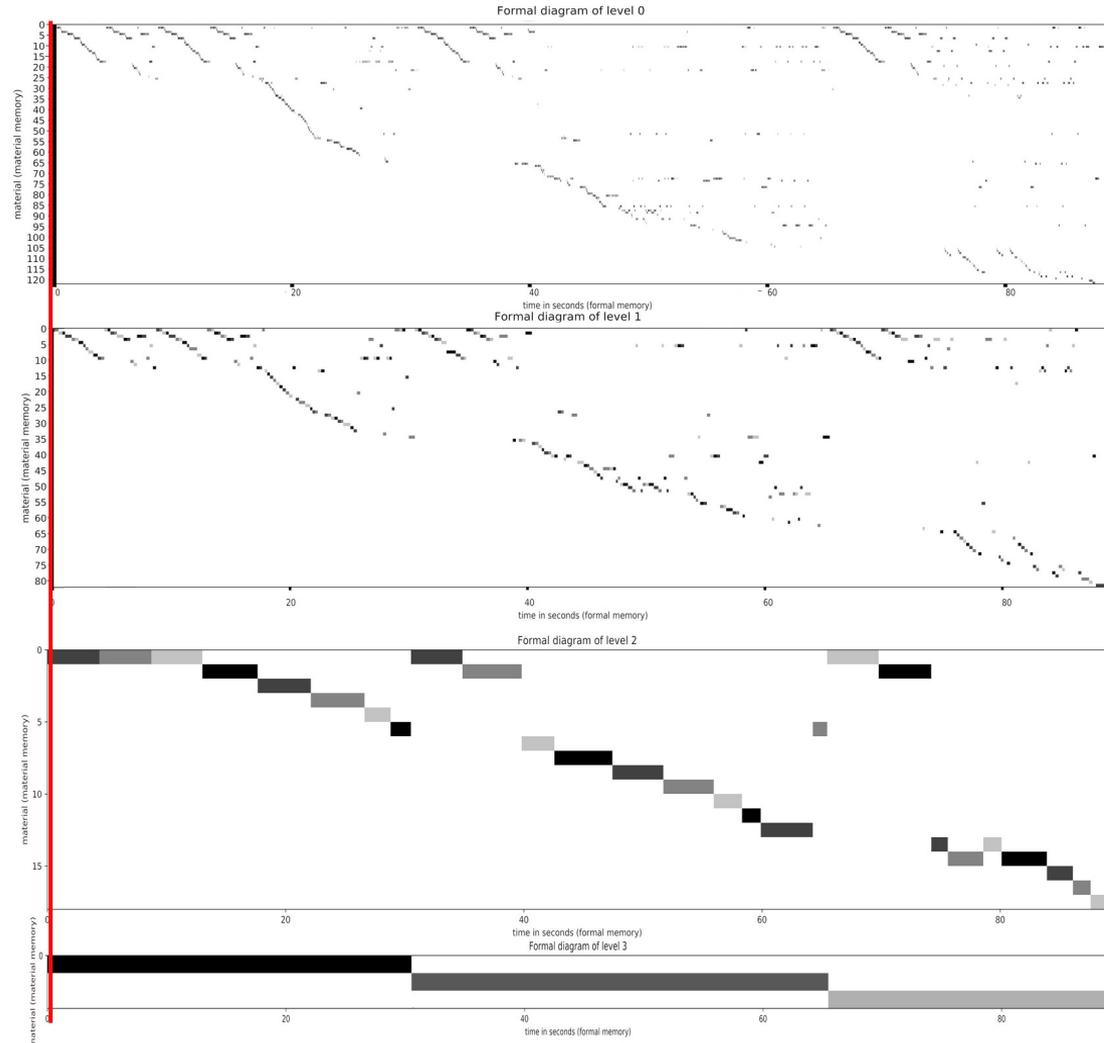
# Diagrammes formels hiérarchisés



Geisslerlied, rules 1,2,3 and 5

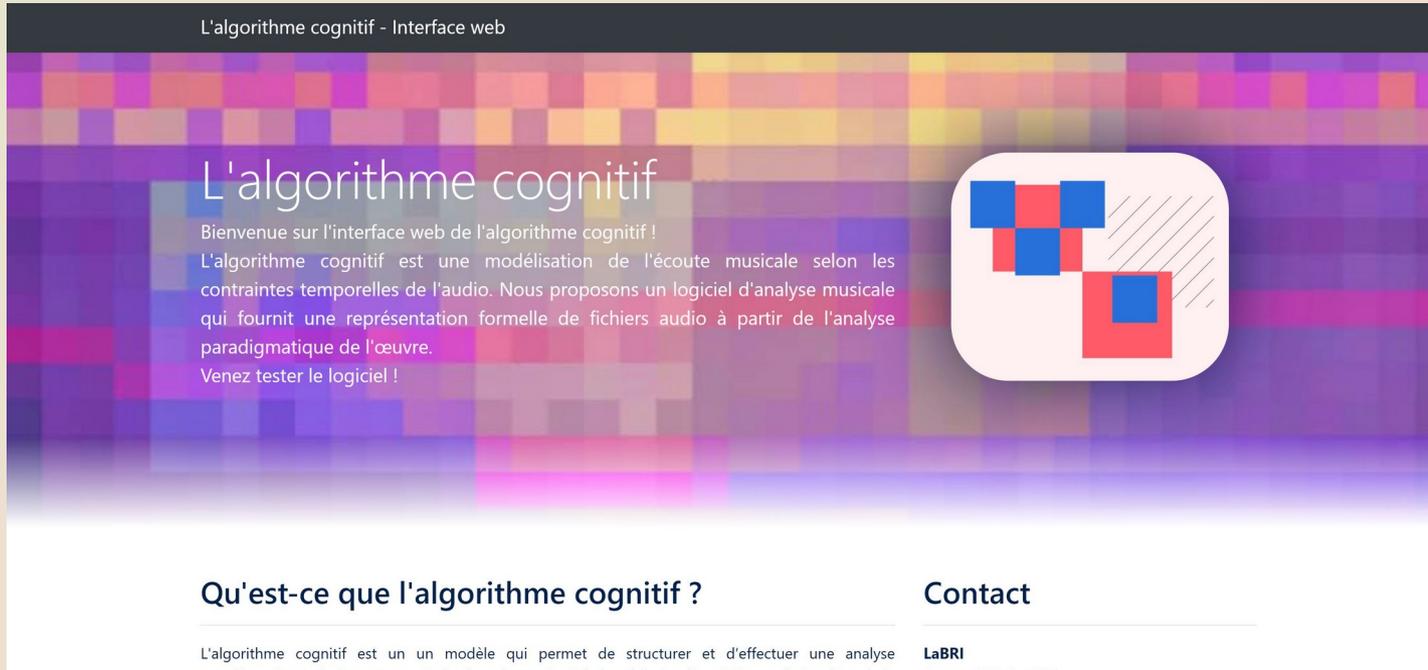


# Diagrammes Formels du rondo de la sonate n° 16 K545 de Wolfgang Amadeus Mozart



# Interface web

- En attendant le développement de l'interface dans un logiciel d'analyse, proposition d'une interface web pour les premiers tests :



The screenshot shows a web interface with a dark header containing the text "L'algorithme cognitif - Interface web". The main content area has a colorful, pixelated background. On the left, the title "L'algorithme cognitif" is displayed in a large, white, sans-serif font. Below the title, there is a welcome message: "Bienvenue sur l'interface web de l'algorithme cognitif !". This is followed by a paragraph: "L'algorithme cognitif est une modélisation de l'écoute musicale selon les contraintes temporelles de l'audio. Nous proposons un logiciel d'analyse musicale qui fournit une représentation formelle de fichiers audio à partir de l'analyse paradigmatique de l'œuvre." and a call to action: "Venez tester le logiciel !". To the right of the text is a white rounded square icon containing a stylized graphic of blue and red squares and a red square with a blue square inside it, all set against a background of diagonal lines. At the bottom of the page, there are two columns of text. The left column is titled "Qu'est-ce que l'algorithme cognitif ?" and the right column is titled "Contact". Below these titles, there is a line of small text: "L'algorithme cognitif est un un modèle qui permet de structurer et d'effectuer une analyse".

L'algorithme cognitif - Interface web

## L'algorithme cognitif

Bienvenue sur l'interface web de l'algorithme cognitif !

L'algorithme cognitif est une modélisation de l'écoute musicale selon les contraintes temporelles de l'audio. Nous proposons un logiciel d'analyse musicale qui fournit une représentation formelle de fichiers audio à partir de l'analyse paradigmatique de l'œuvre.

Venez tester le logiciel !

### Qu'est-ce que l'algorithme cognitif ?

L'algorithme cognitif est un un modèle qui permet de structurer et d'effectuer une analyse

### Contact

LaBRI  
Bordeaux-Mérignac

# Interface web

L'algorithme cognitif - Interface web

## Votre analyse :

**Fichier:**  
Veuillez choisir un fichier à analyser au format .wav ou .mp3.

File :  
 Aucun fichier choisi

**Descripteurs:**  
Veuillez choisir un seul type de descripteur.

Fft :  Cqt :  Mfcc :

**Seuil de similarité:**  
Veuillez choisir un seuil de similarité compris entre 0 et 1.

Similarity threshold :

**Seuil de segmentation:**  
Veuillez choisir un seuil de segmentation supérieur à 0.

Segmentation threshold

**Affichage de la similarité aux autres matériaux:**  
Cochez la case si vous voulez afficher la similarité de chaque objet à tous les matériaux précédemment entendus.

Polyphony :

Si vous avez coché la case, veuillez

## Documentation des paramètres:

**Fichier à analyser**  
Choisissez ici un fichier à analyser au format .wav ou .mp3.

**Descripteurs**  
Il s'agit du choix de représentation des fichiers audio. Correspond au paramètre d'intérêt pour la modélisation d'un angle d'écoute donné.  
Choisissez strictement 1 critère entre fft, mfcc et cqt. Si plusieurs descripteurs sont sélectionnés, la cqt est choisie par défaut.

**fft (Fast Fourier Transform):** représentation linéaire de la fréquence.  
**cqt (Constant Q Transform):** représentation logarithmique la fréquence.  
**mfcc (Mel Frequency Cepstral Coefficients):** représentation timbrale.

**Similarity threshold**  
Seuil à partir duquel deux éléments sont considérés comme similaires.  
Choisissez une valeur entre 0 et 1. Si le seuil sélectionné est inférieur à 0 ou supérieur à 1, les valeurs respectives 0 et 1 sont choisies.  
Attention: d'un critère à l'autre, les seuils de segmentation pertinents peuvent varier énormément.

**Segmentation threshold:**

L'algorithme cognitif - Interface web

**Laissez un commentaire sur l'analyse obtenue:**  
Vous pouvez laisser un commentaire sur les résultats obtenus avec la qualité sur laquelle les voix ont été analysées. Pour rappel, un paramétrage différent donne une analyse différente. Tous nos encouragements à tester différents seuils à la hauteur obtenue ne sont évidemment pas les seuls paramètres des voix analysées!  
Pour cela, je vous invite à m'envoyer un mail à [jeanmichel.cabanis@univ-lyon1.fr](mailto:jeanmichel.cabanis@univ-lyon1.fr) en renseignant le nom de l'analyse ou la paramétrage et diagramme formel obtenu.



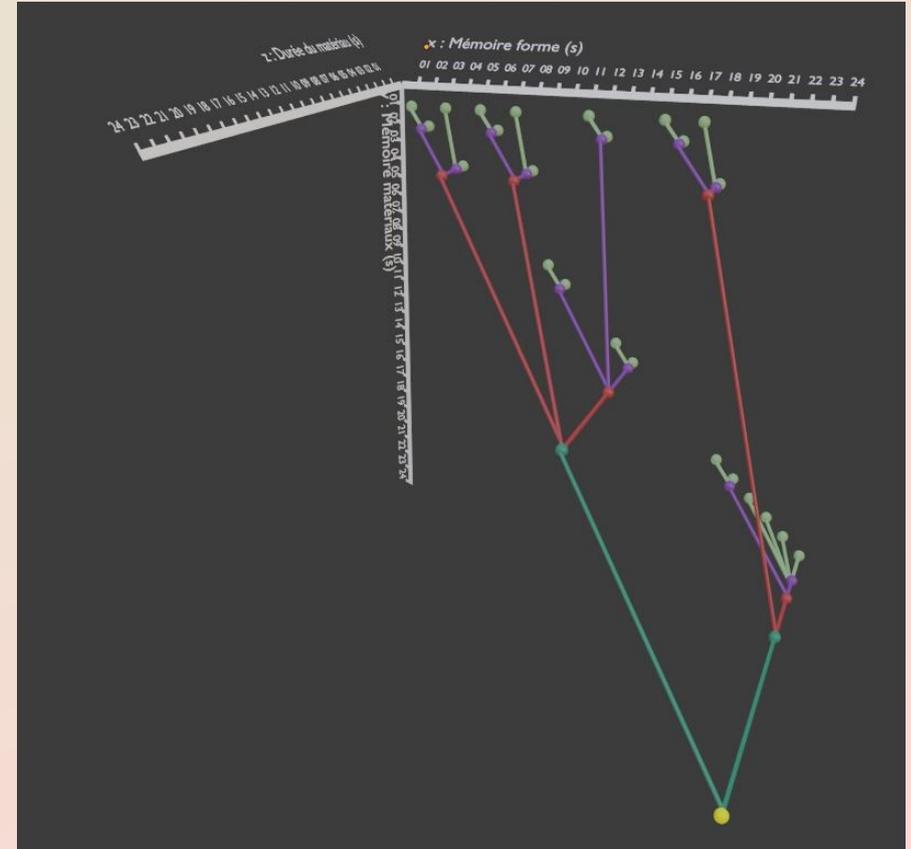
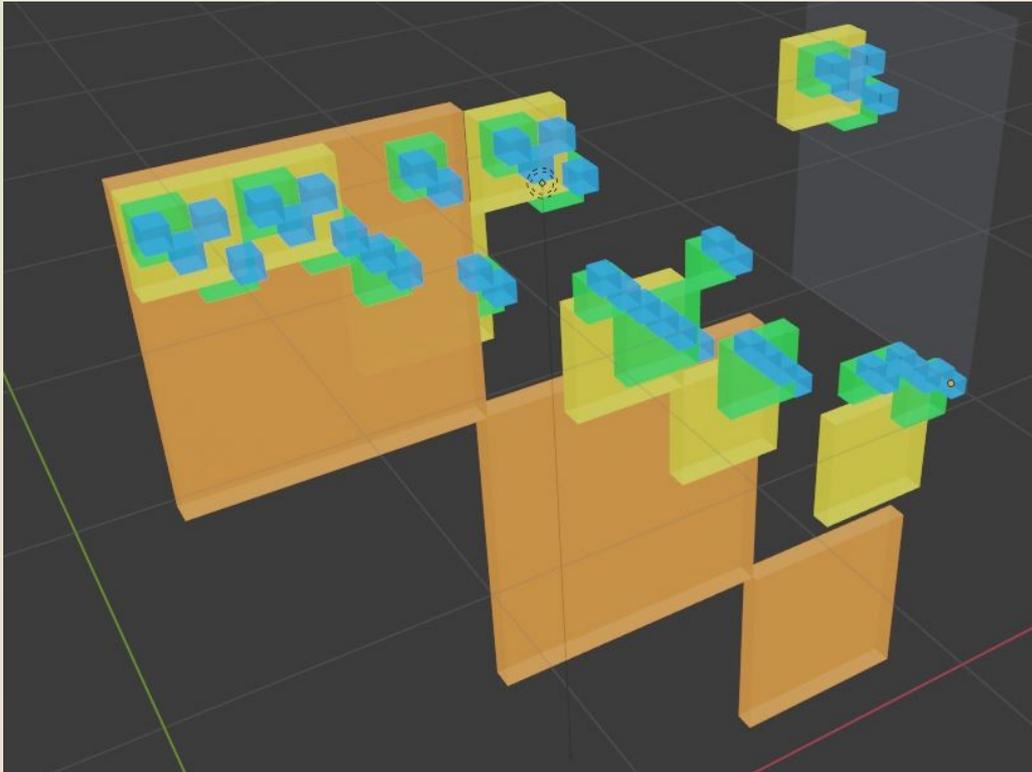
**Formal diagram of level 0**



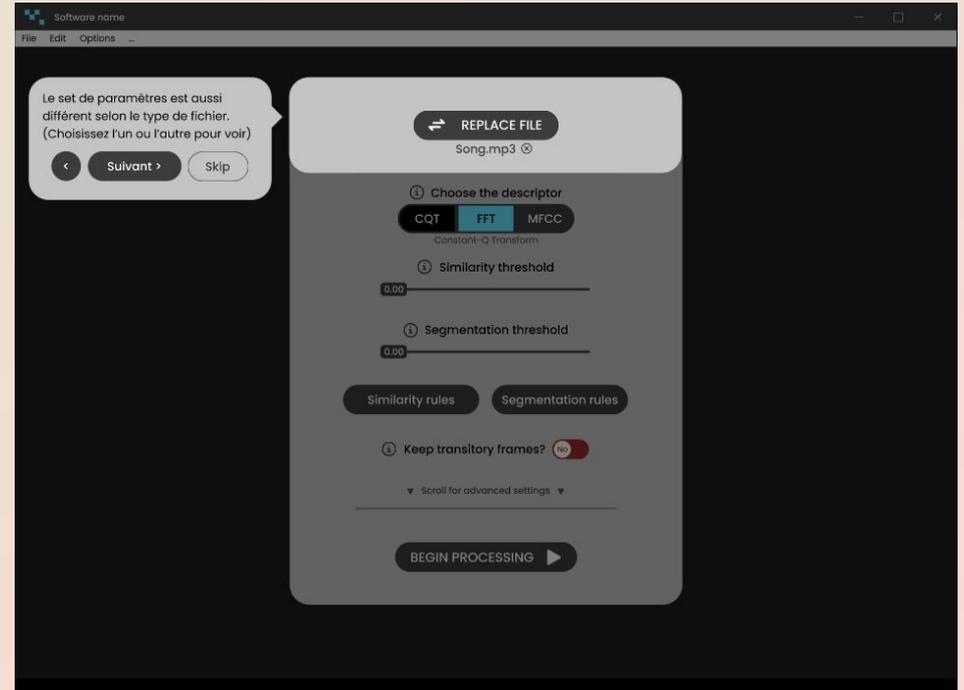
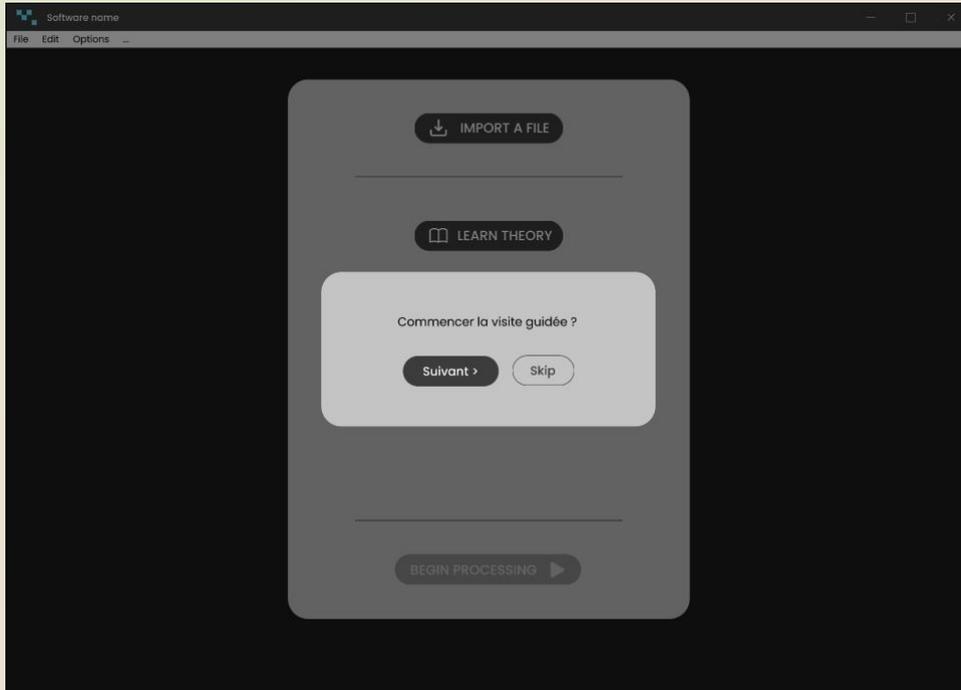
# Représentation 3D

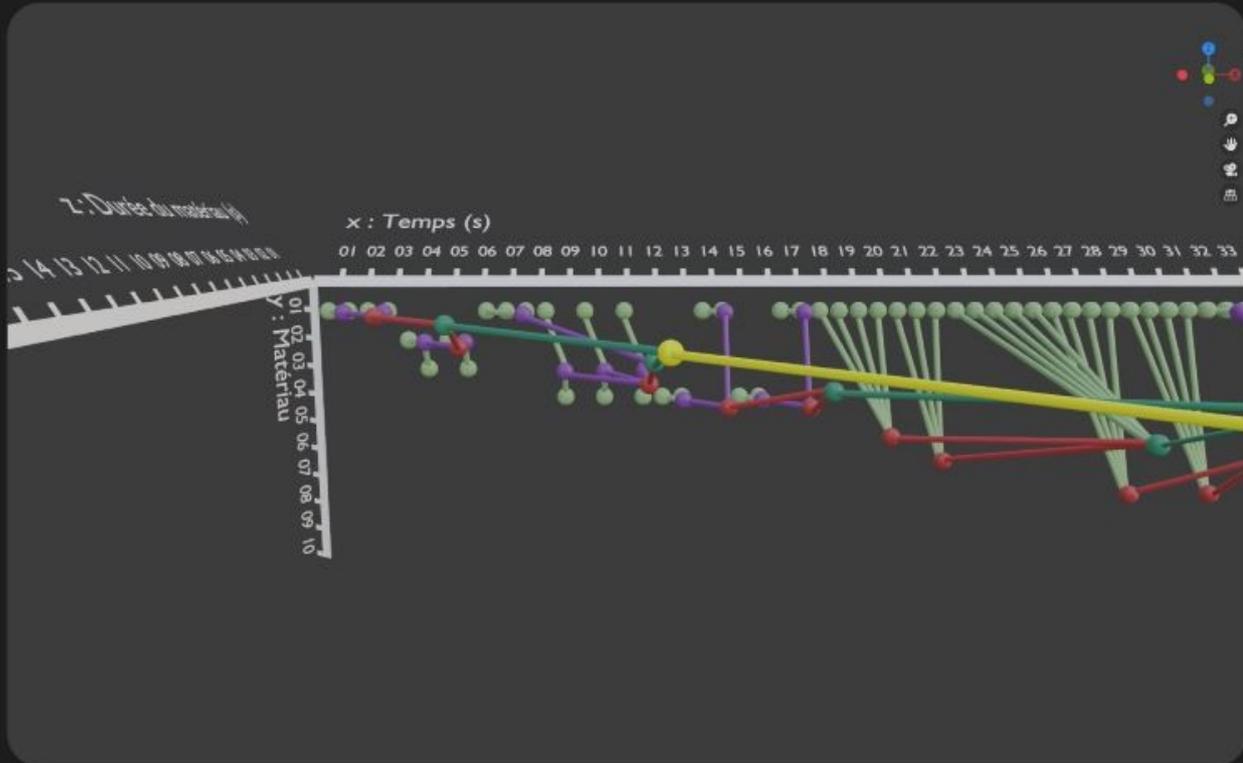
- Représentation plus lisible :
  - Compréhensible du Musicologue
  - Qui ait un sens selon les différentes vues de la représentation
  - Qui valorise les relations entre les éléments
  - Stage de Erwan Michel, étudiant M2 ergonomie cognitive, Université Toulouse Jean-Jaurès

# Suggestions de représentation 3D



# Interface logiciel





Download, Print, Share, and Bookmarks icons.

### GENERAL

Summary

- x rejected assumptions
- x total assumptions
- 
- 
- 

### 2D Views

xy view, xz view, yz view

### Selection

1 material(s)  
0 link(s)

Select a single object to display its details here.

show

- "active" materials (assumptions)
- rejected assumptions
- "to be nested" materials

0:00:00

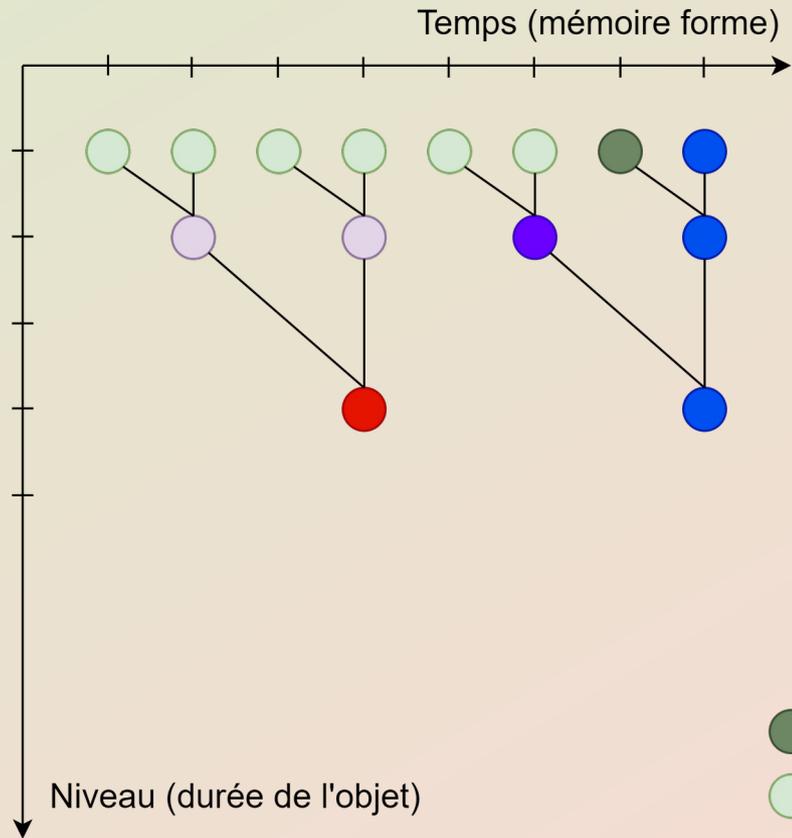
display

- Levels: 00 (min) 06 (max)
- Links: 00 (min) 06 (max)

highlight

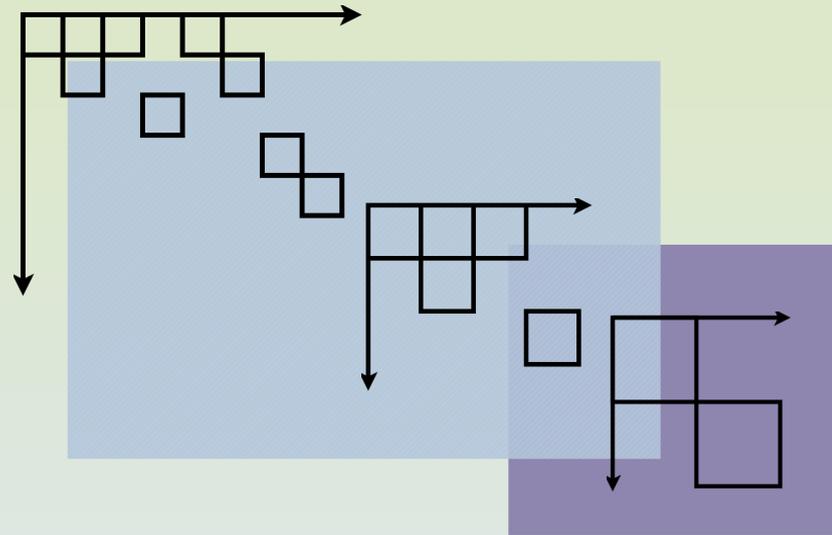
- 00 (Level)
- 00 (Link)

# Améliorations pour la représentation 3D



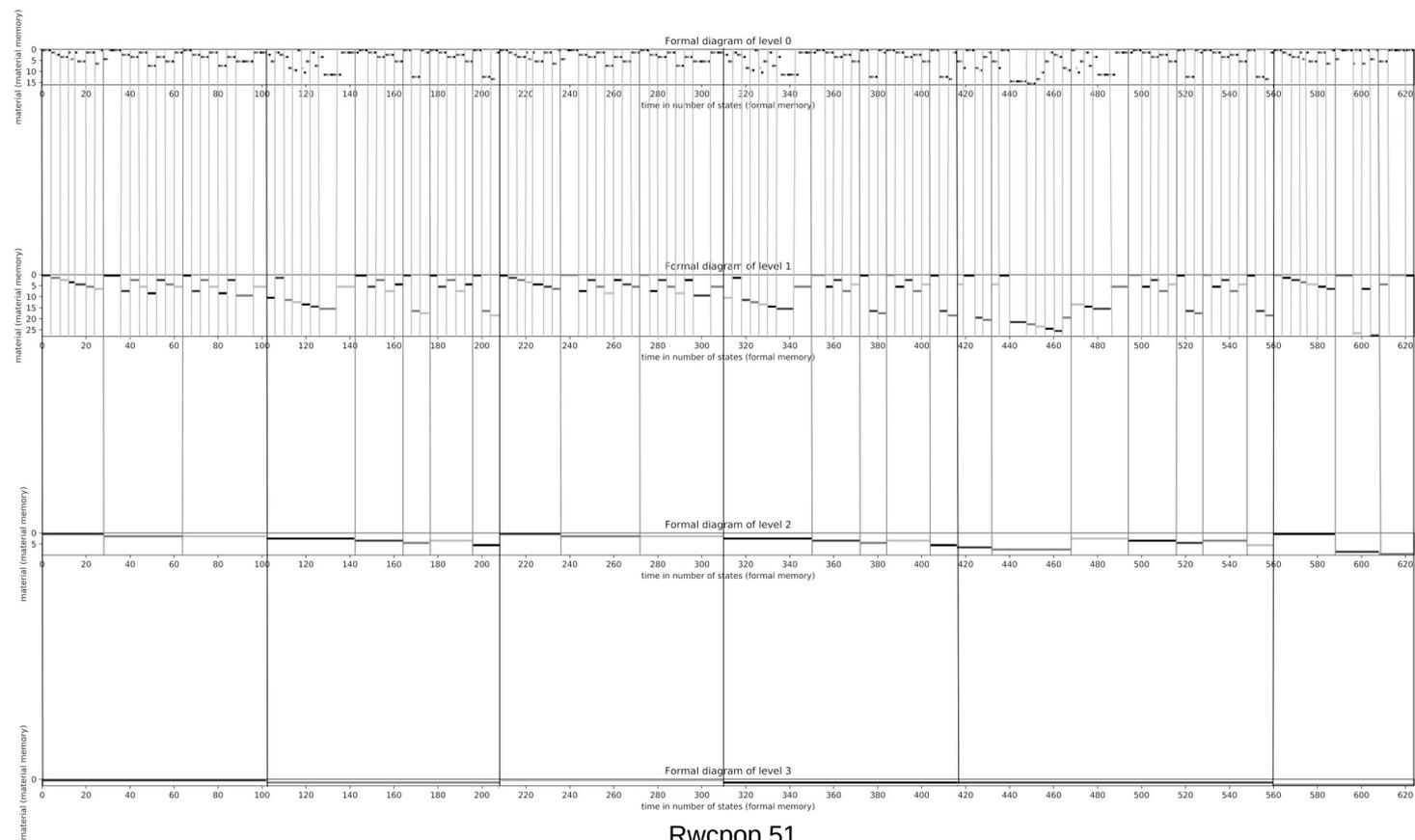
- Proposition d'affichage possible :
  - des hypothèses cognitives
  - De la mémoire à long terme et de la mémoire de travail

# ANALYSES



# Analyses systématiques

- Base de donnée RWCPop (grille d'accords)
- Évaluation selon MIREX (mir\_eval)
  - Segmentation
  - Labellisation
- M. Goto, H. Hashiguchi, T. Nishimura, and R. Oka, *RWC Music Database: Popular, Classical and Jazz Music Databases*, in ISMIR, vol. 2, 2002, pp. 287-288
- “MIREX wiki,” [https://www.music-ir.org/mirex/wiki/MIREX\\_HOME](https://www.music-ir.org/mirex/wiki/MIREX_HOME).
- Colin Raffel, Brian McFee, Eric J. Humphrey, Justin Salamon, Oriol Nieto, Dawen Liang, and Daniel P. W. Ellis, *mir\_eval: A Transparent Implementation of Common MIR Metrics*, Proceedings of the 15th International Conference on Music Information Retrieval, 2014.

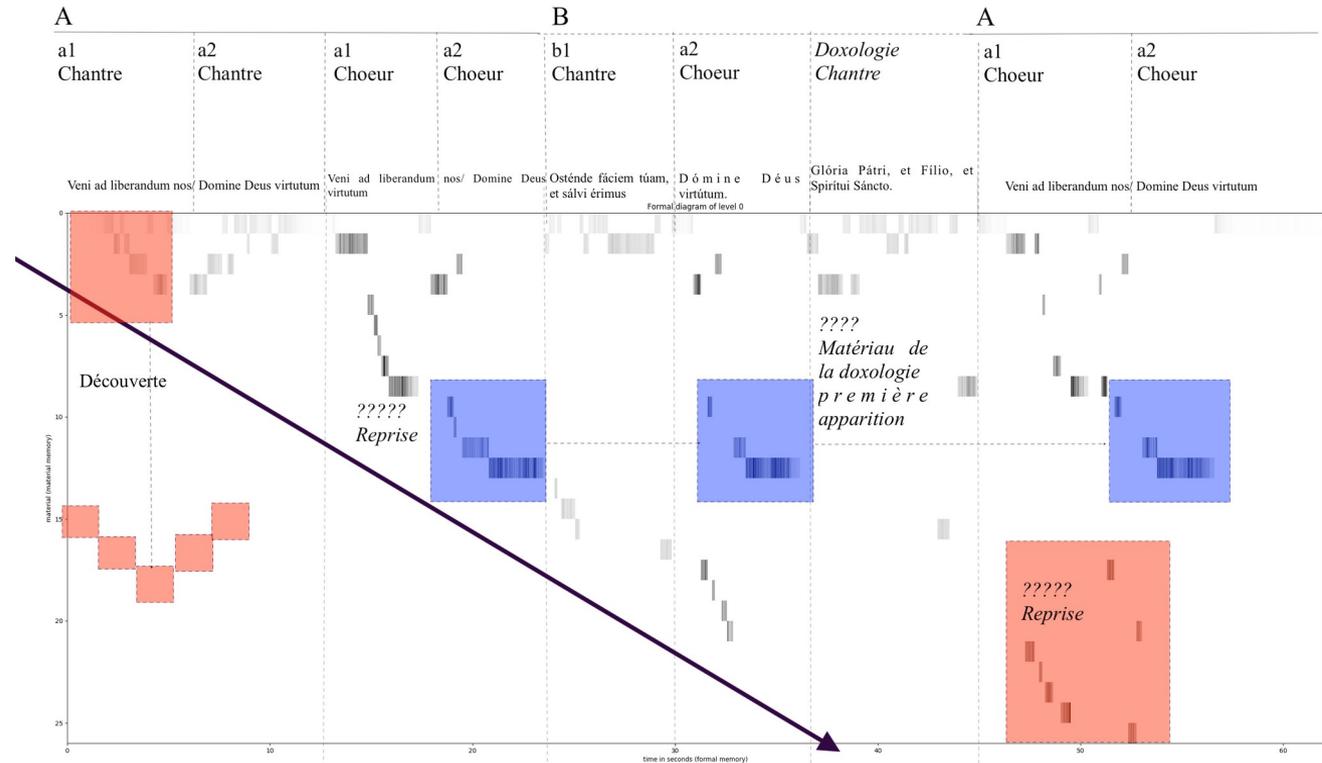


Rwcipop 51

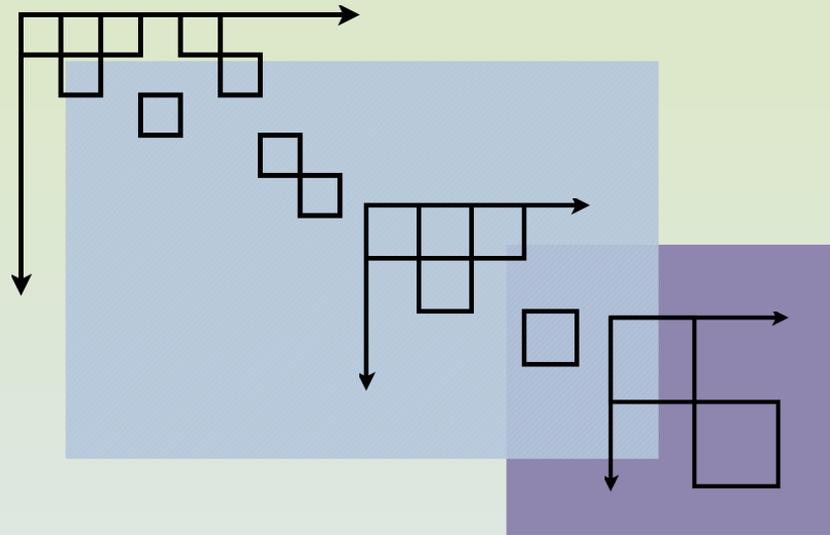
# Analyses musicologiques

- Corpus d'œuvres et analyses par Bichoy Elia, doctorant en Musicologie à Sorbonne Université.

VENI AD LIBRANDUM NOS Répons-bref

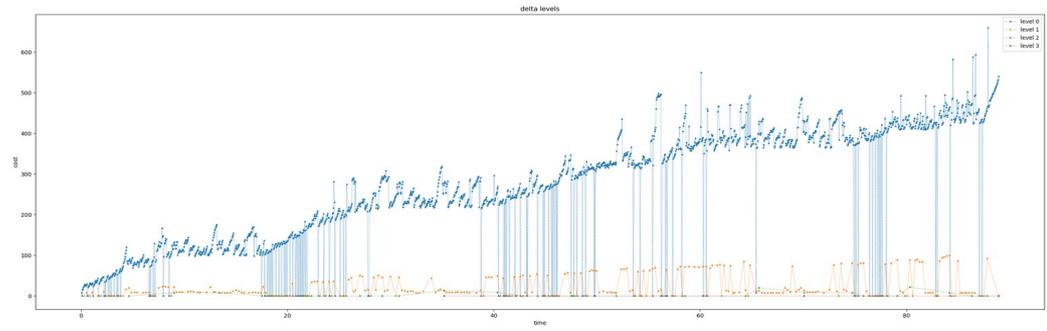
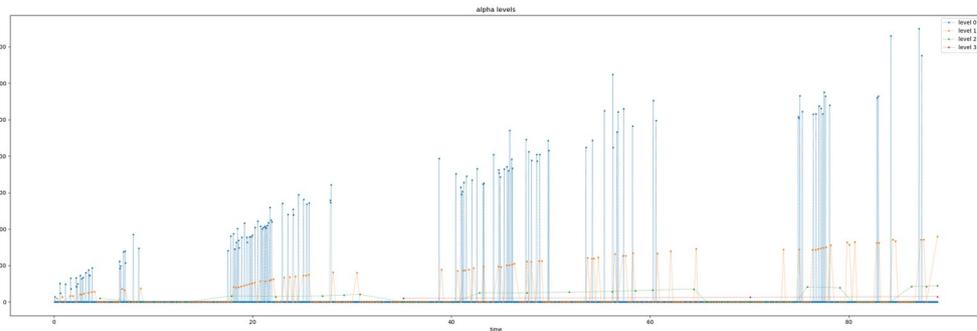


# MONITORING



# Objectifs

- Calcul de coûts :
  - Pour évaluer la pertinence des segmentations et d'ensemble de règles
  - Comparer les coûts computationnels entre différentes œuvres musicales
  - Aller vers une compréhension de la charge cognitive liée à l'écoute musicale

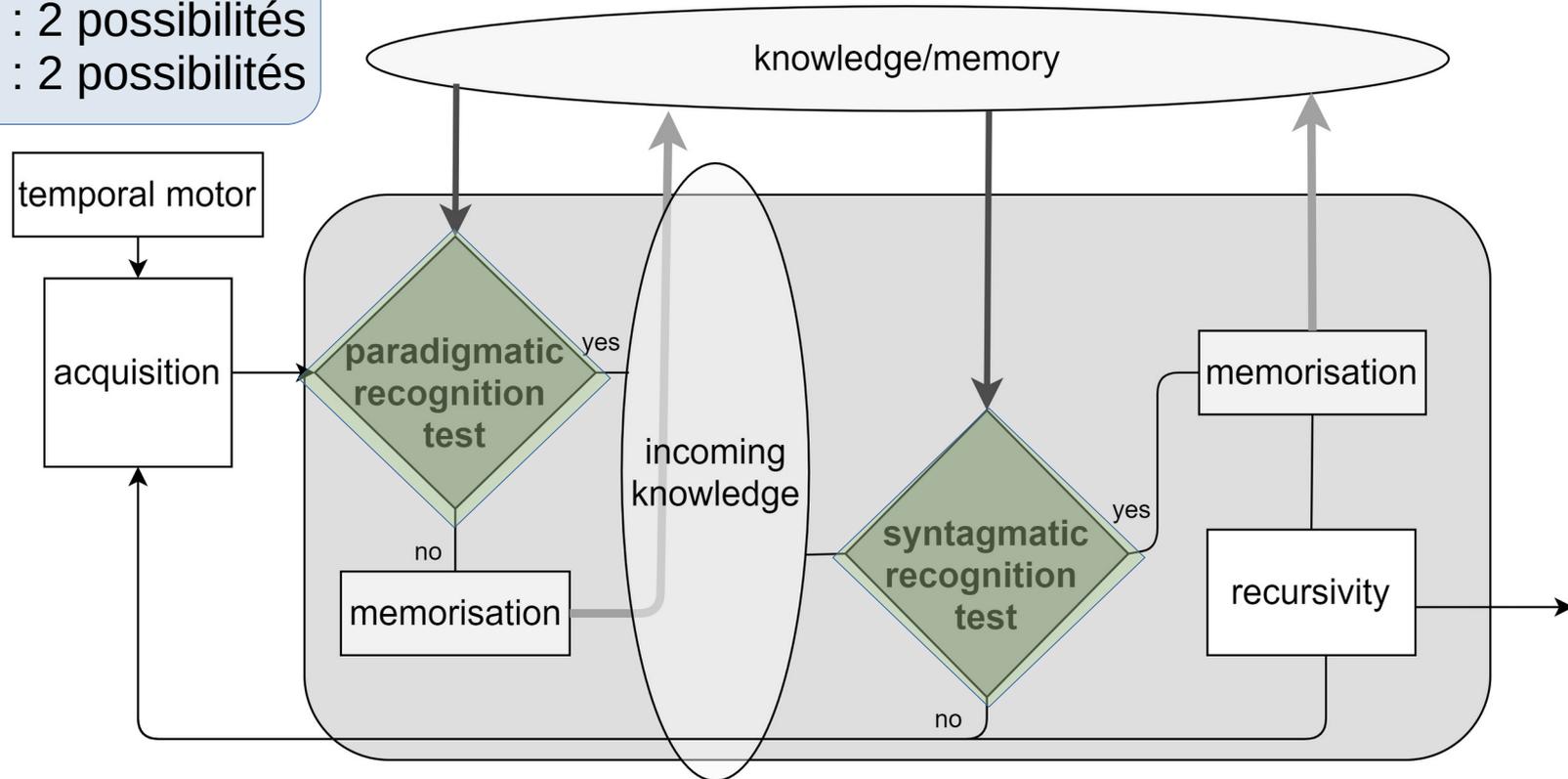


Coûts en fonction du temps et pour chaque niveau lié à l'ajout d'un nouveau matériau (gauche) et d'un matériau déjà existant (droite) sur le rondo de la sonate n° 16 de W.A. Mozart

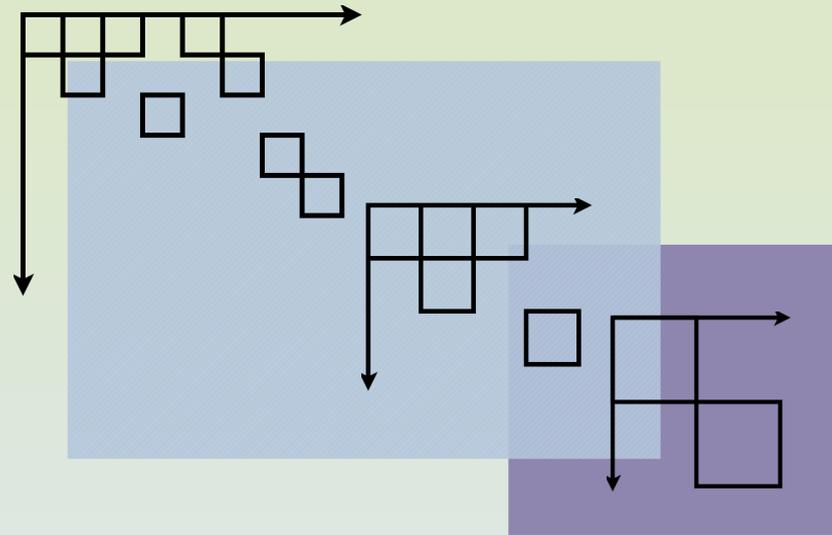
# Phases cognitives

4 phases cognitives

- Test 1 : 2 possibilités
- Test 2 : 2 possibilités



# Presentation de l'expérience cognitive



# Étude sur la charge cognitive

## Étude double tâche

- première tâche : écoute active avec annotation des fin de phrases et fin de section
- deuxième tâche : reproduction de séquence de caractères « X » et « O »
- + questionnaire NASA-TLX pour la charge cognitive
- + un questionnaire sur le profil de l'utilisateur

→ Anastazja Adamczyk, étudiante Master 1 Sciences Cognitives à l'Université de Bordeaux

**Pour participer à l'étude :  
Manifestez-vous à la fin de la présentation !**

## Implémentation de l'interface

**Niveau 1/9**

Lancez la lecture ci-dessous, puis complétez autant de séquences que possible et séquencez de manière intuitive le morceau en phrases et en sections.

O	O	X

X O

Copied sequences : 0  
Latest copy time : 0.00

T  
Phrase

G  
Section

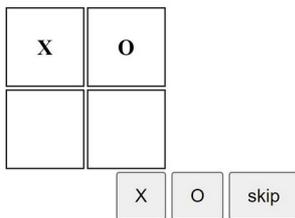
->

→ Asia Auville, étudiante 1ere année (L3) informatique à l'ENSEIRB-Matmeca

M. Poret, S. Ibarboure, M. Robine, E. Duc, N. Couture, M. Desainte-Catherine, and C. Semal, *Sonification for 3d printing process monitoring*, in Proceedings of the 2021 International Computer Music Conference (ICMC 2021), Santiago, Chile, 2021.

# Tâches à effectuer

- **Reproduction de séquences de caractères (« X » et « O »)**
  - Avec la souris
  - Cliquer successivement sur la case « X » ou « O »
  - Séquences **bleues** : « skip »



- **Segmentation à l'écoute**
  - Avec le clavier
  - Touche 'T' pour fin de phrase
  - Touche 'G' pour fin de section



Phrase



Section

Des définitions de **phrases** et de **sections** sont présentées en début d'expérience

# Déroulement de l'expérience

- Explications
- Phase de test :
  - 1min XO sur silence
  - 1 morceau segmentation seule
  - 1 morceau segmentation + XO
- Phase expérimentale
  - 3 morceaux segmentation seule
  - 9 morceaux segmentation seule  
OU segmentation + XO
- Questionnaire final

Après chaque entraînement ou niveau :  
**1 questionnaire NASA/TLX**

Surtout informer au + vite si vous oubliez de le remplir

# Déroulement de l'expérience

- 12 œuvres musicales
  - Époques et difficulté de segmentation variable (cela peut être très difficile, c'est normal)
  - Idéalement non connues de l'auditeur
- Vous pouvez poser des questions pendant la phase d'entraînement
- Vous ne devez pas faire de pause au milieu d'une œuvre musicale
- Vous pouvez prendre des petites pauses après avoir répondu au(x) questionnaire(s) NASA/TLX
- Si l'exercice est trop difficile, se concentrer sur la tâche de segmentation

Pour participer : inscrire votre nom et votre adresse mail sur la feuille qui circule  
Nous

Je vous remercie pour votre écoute