

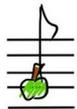
# L'algorithmie cognitive et ses applications musicales

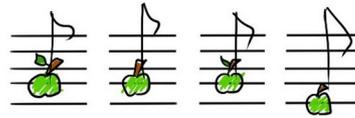
Soutenance de Thèse de Joséphine Calandra  
en vue d'obtenir le grade de  
Docteur en Musicologie de Sorbonne Université

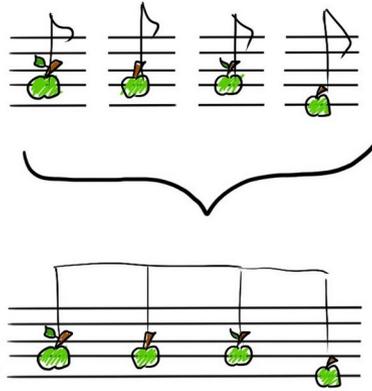
22 décembre 2023

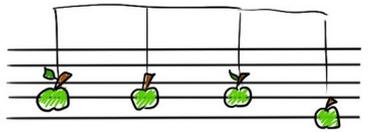
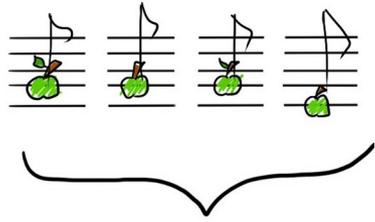
Mme Florence Levé	Professeure, Université de Picardie	(Rapporteur)
M. Frédéric Bimbot	Directeur de Recherche, CNRS, IRISA	(Rapporteur)
Mme Marie Tahon	Professeure, Le Mans Université	(Examinatrice)
M. Gérard Assayag	Directeur de Recherche, IRCAM	(Examineur)
M. Francis Courtot	Maître de Conférences, Université de Lille	(Examineur)
M. Jean-Marc Chouvel	Professeur, Sorbonne Université	(Directeur de thèse)
Mme Myriam Desainte-Catherine	Professeure, Bordeaux INP	(Co-Directrice de thèse)

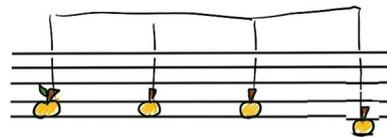
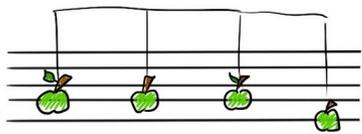
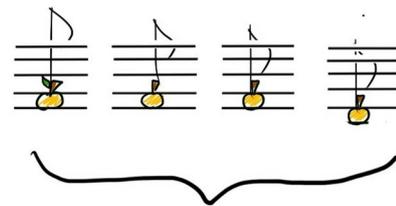
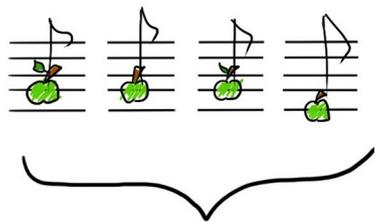




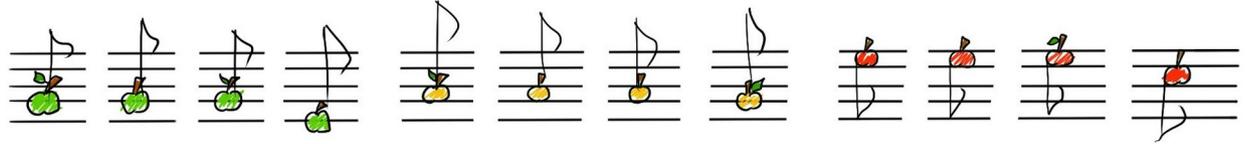




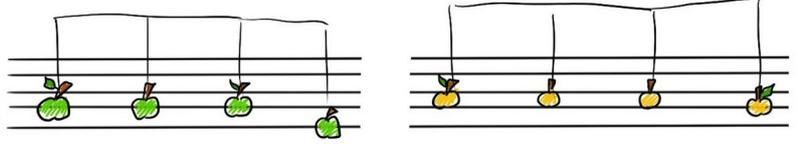




notes



motifs



notes

Three musical staves, each containing four notes. The first staff has four green apple notes. The second staff has four yellow orange notes. The third staff has four red cherry notes. Each note has a stem and a flag. A large bracket is drawn under each staff, grouping all four notes together.

motifs

Three musical staves, each containing four notes. The first staff has four green apple notes. The second staff has four yellow orange notes. The third staff has four red cherry notes. A horizontal line is drawn above the notes in each staff, connecting them to form a motif.

notes

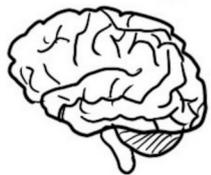
Hand-drawn musical notation showing three groups of notes on a five-line staff. The first group consists of four green apple notes with stems, each on a different line. The second group consists of four yellow apple notes with stems, each on a different line. The third group consists of four red apple notes with stems, each on a different line. A large black bracket is drawn underneath each group of notes.

motifs

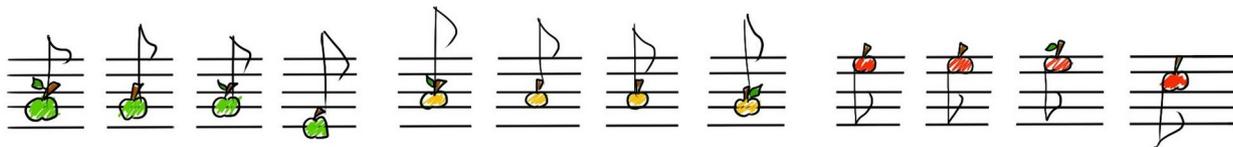
Hand-drawn musical notation showing three motifs on a five-line staff. The first motif is a sequence of four green apple notes with stems, each on a different line. The second motif is a sequence of four yellow apple notes with stems, each on a different line. The third motif is a sequence of four red apple notes with stems, each on a different line. A large black bracket is drawn underneath all three motifs.

phrase

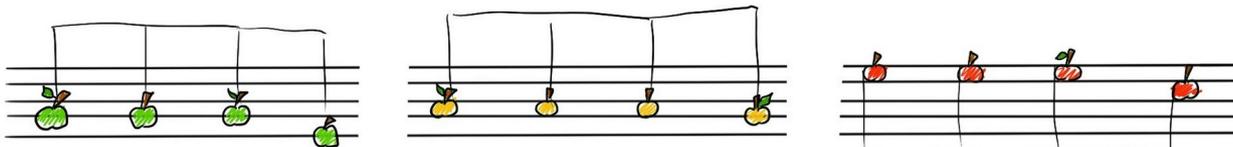
Hand-drawn musical notation showing a single phrase on a five-line staff. The phrase consists of a sequence of four green apple notes with stems, each on a different line, followed by a sequence of four yellow apple notes with stems, each on a different line, and finally a sequence of four red apple notes with stems, each on a different line. A large black bracket is drawn underneath the entire phrase.



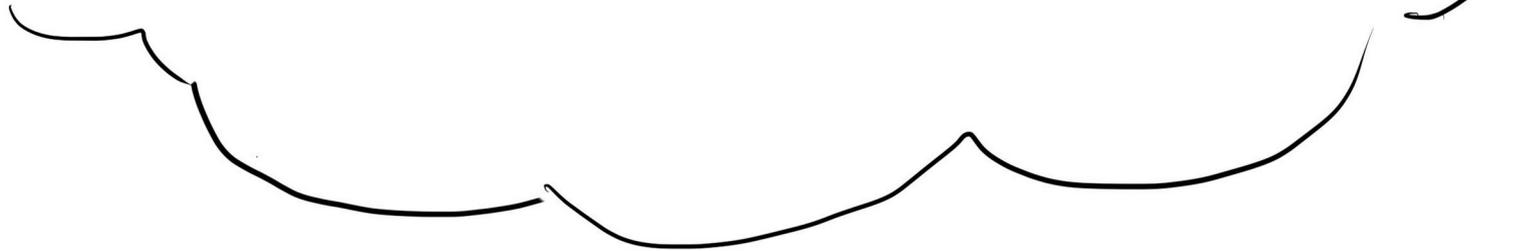
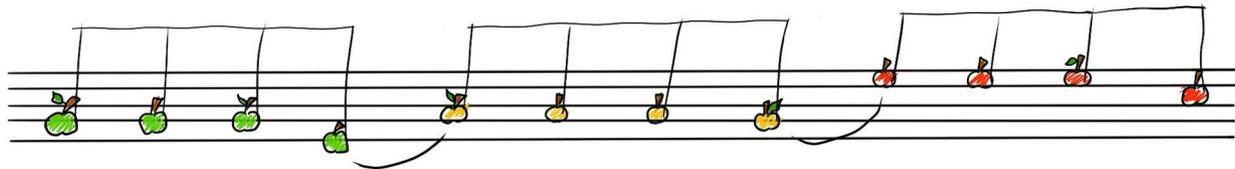
notes

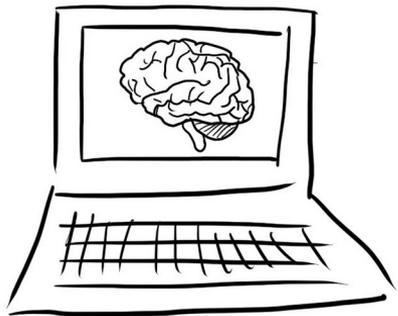


motifs



phrase





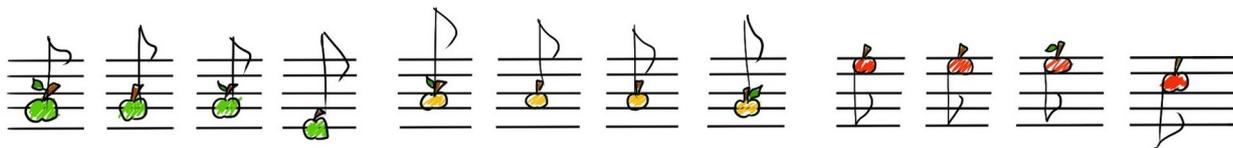
notes

motifs

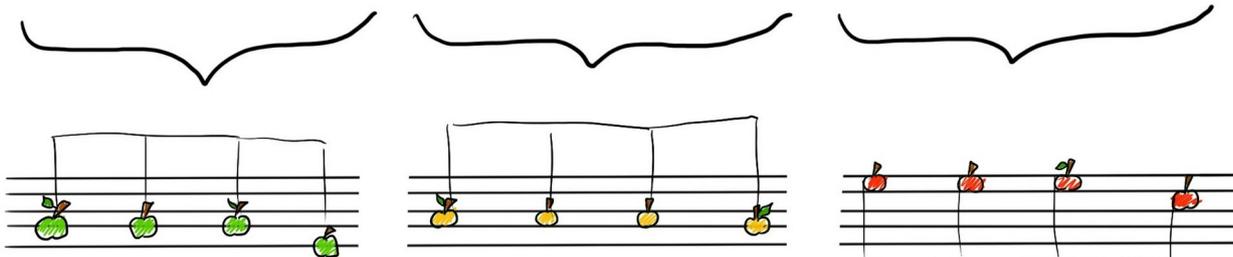
phrase

# Implémentation

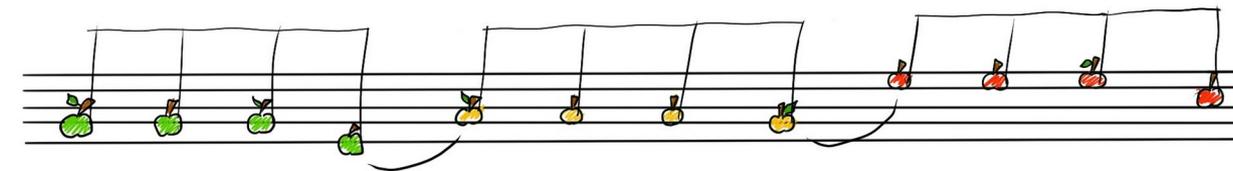
notes



motifs



phrase



# Segmentation

notes

A musical staff with 12 notes. The first four notes are green apples, the next four are yellow lemons, and the last four are red cherries. Three brackets are drawn below the staff, each spanning a group of four notes and containing a yellow question mark.

motifs

Three musical staves. The first staff has four green apple notes. The second staff has four yellow lemon notes. The third staff has four red cherry notes. A single large bracket is drawn below all three staves, containing a yellow question mark.

phrase

A single musical staff containing all 12 notes from the previous sections: four green apples, four yellow lemons, and four red cherries. A bracket is drawn below the entire staff.



# Classification

notes

A musical staff with 12 notes. The first two notes are green and have a yellow box with a red question mark above them. The next two notes are also green. The following four notes are yellow. The last four notes are red. Brackets underneath group the notes into three sections: the first four (green), the next four (yellow), and the last four (red).

motifs

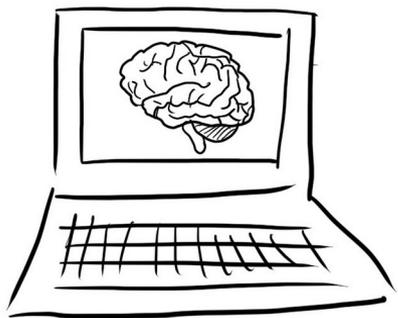
Two musical staves. The first staff has four green notes, with a yellow box and a red question mark above the first three. The second staff has four yellow notes, with a yellow box and a red question mark above the first three. A third staff has four red notes. A large bracket underneath groups all three staves together.

phrase

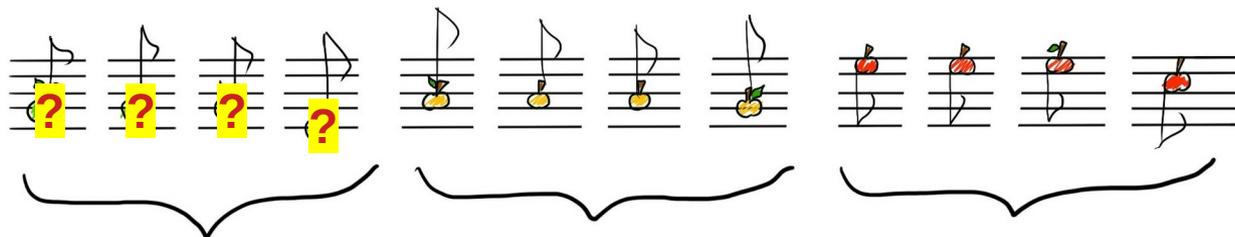
A single musical staff with 12 notes. The first four notes are green, the next four are yellow, and the last four are red. Brackets underneath group the notes into three sections of four notes each, corresponding to the color groups.



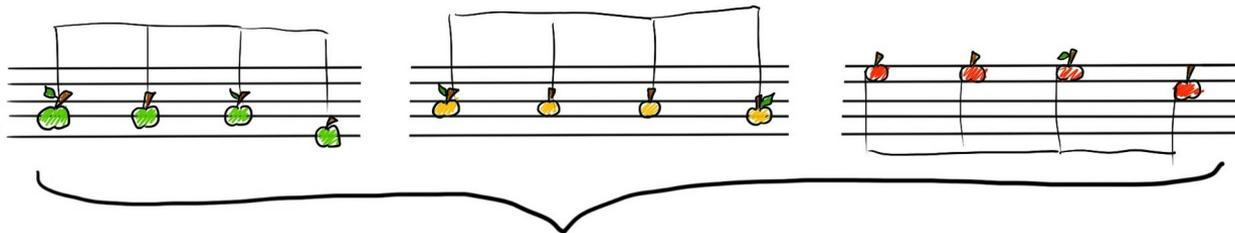
# Généralisation



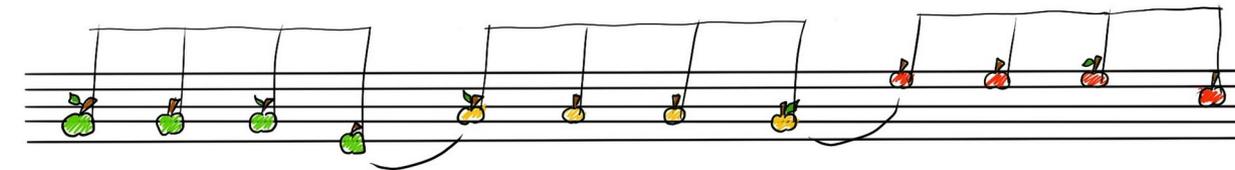
notes



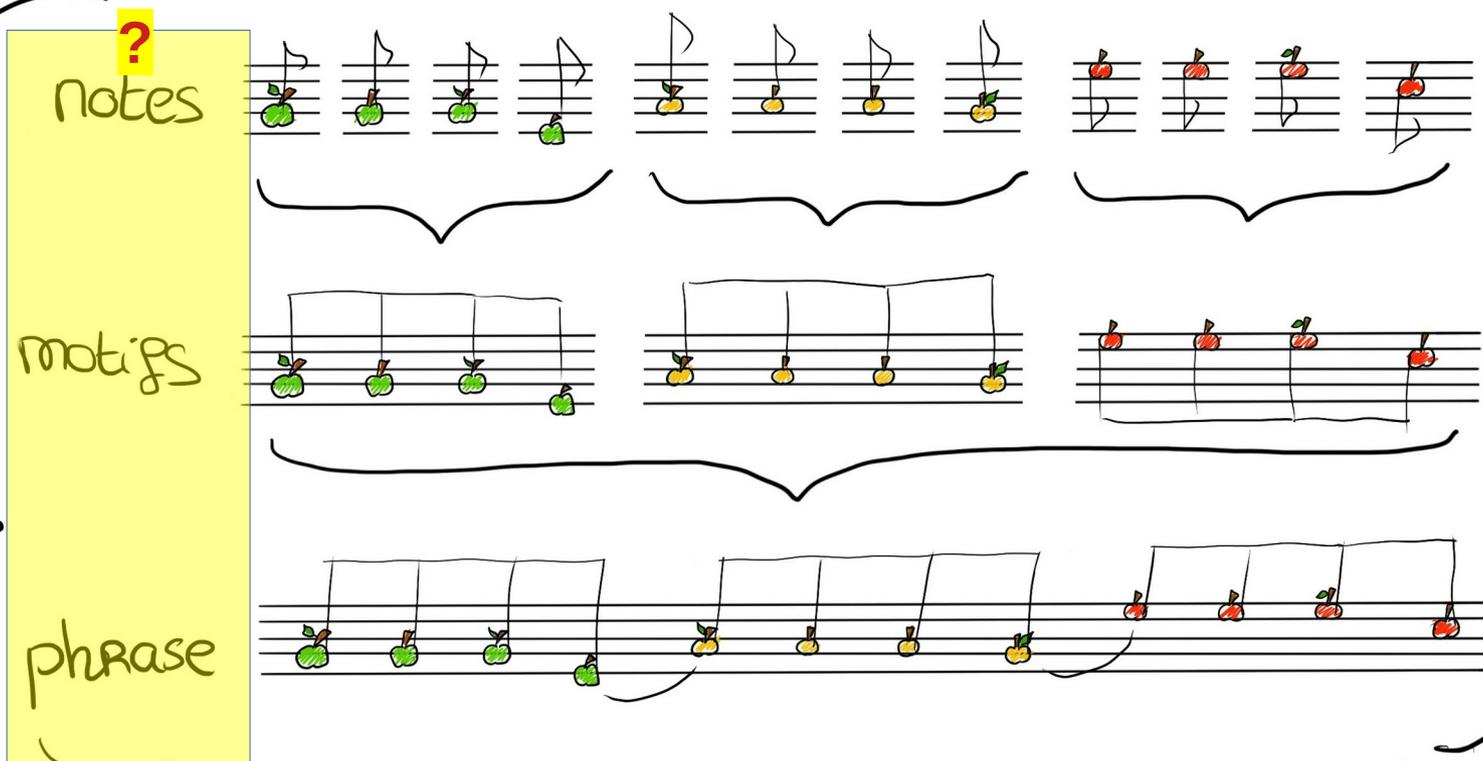
motifs



phrase



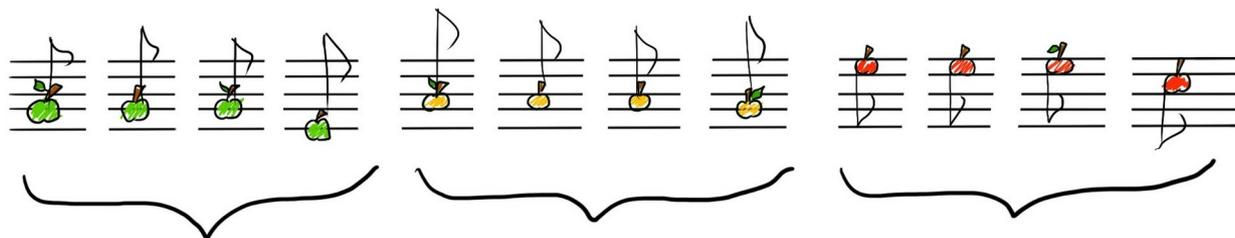
# Hiérarchisation



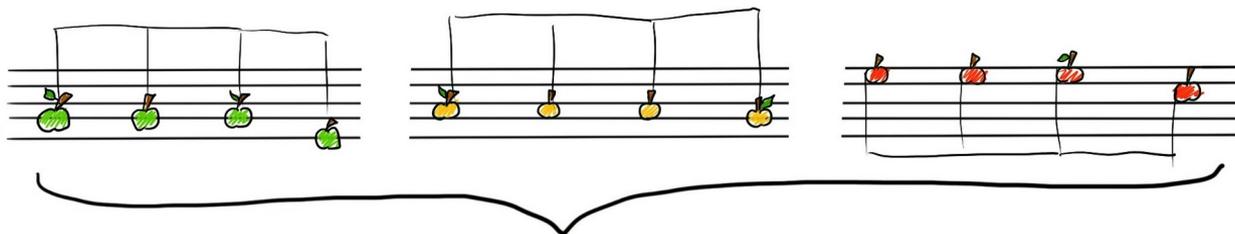
# Compréhension de la cognition



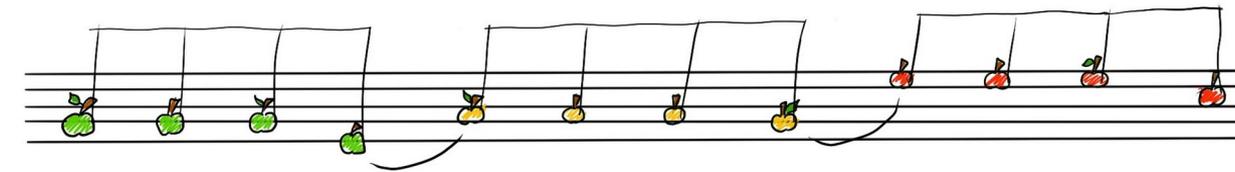
notes



motifs

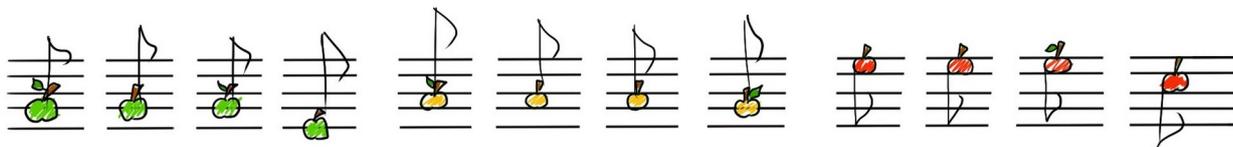


phrase

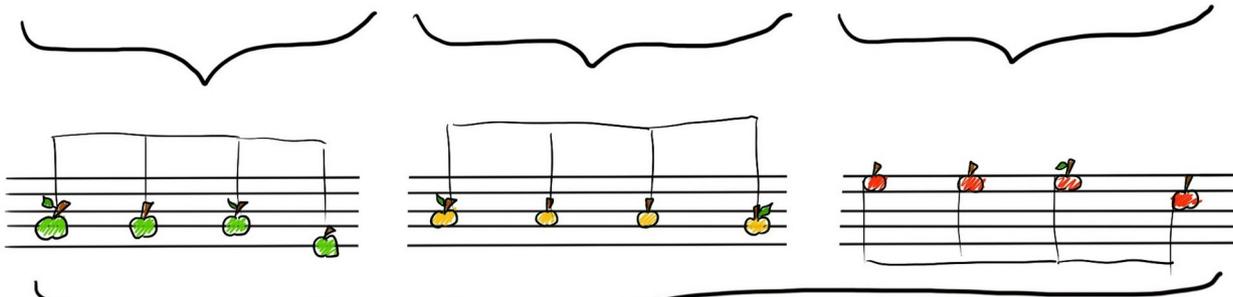


# Modélisation de la cognition

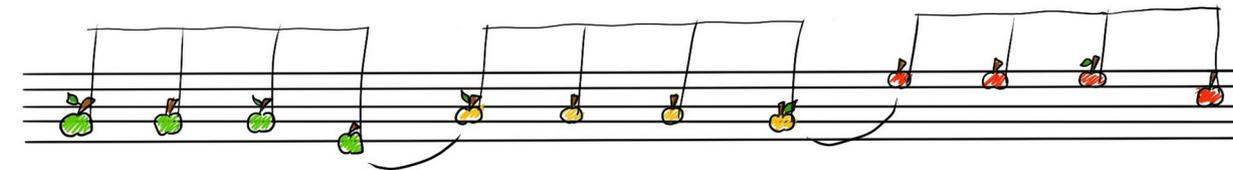
notes



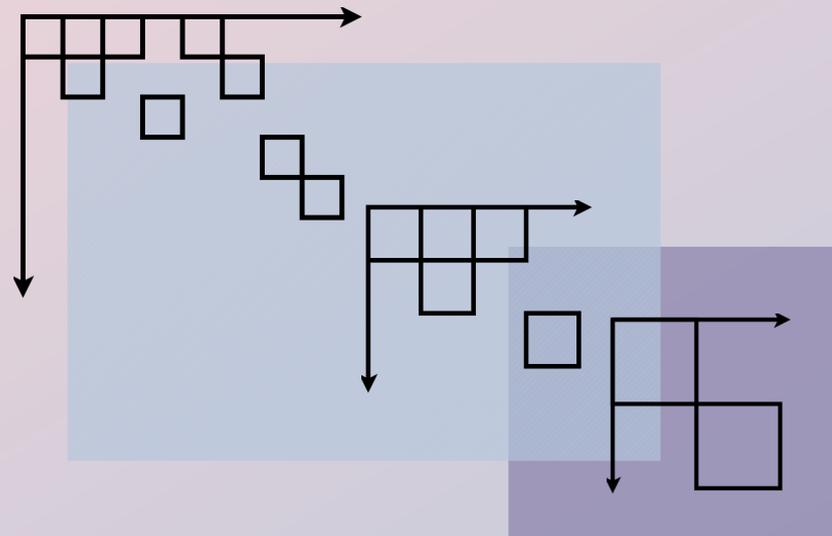
motifs



phrase



# CONTEXTE



# Analyse musicale

## Forme et Sémiologie

« *La musique, c'est ce qu'on écoute avec l'intention  
d'écouter de la musique* »  
- Luciano Berio

# Analyse musicale

## Forme et Sémiologie

« *La musique, c'est ce que l'on écoute avec l'intention d'écouter de la musique* » - Luciano Berio

→ intention de l'auditeur

→ dimension cognitive

# Analyse musicale

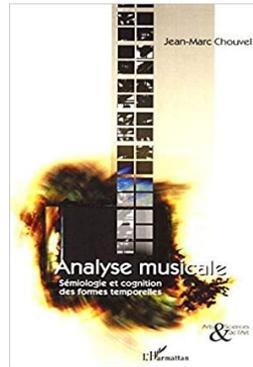
## Forme et Sémiologie

« *La musique, c'est ce que l'on écoute avec l'intention d'écouter de la musique* » - Luciano Berio

- intention de l'auditeur
- dimension cognitive

### Forme Musicale :

- mémoire, attention
- Théorie de la Gestalt



- Chouvel, J.-M. *Analyse Musicale, sémiologie et cognition des formes temporelles*, L'Harmattan, Paris, 2006.

# Analyse musicale

## Forme et Sémiologie

« *La musique, c'est ce que l'on écoute avec l'intention d'écouter de la musique* » - Luciano Berio

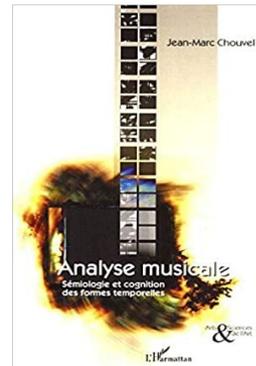
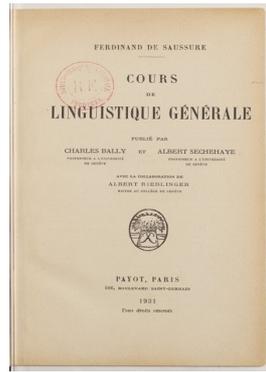
- intention de l'auditeur
- dimension cognitive

### Forme Musicale :

- mémoire, attention
- Théorie de la Gestalt

### Sémiologie :

- rapports syntagmatiques : relations entre les éléments dans une séquence
- rapports paradigmatiques : relations basées sur la similarité

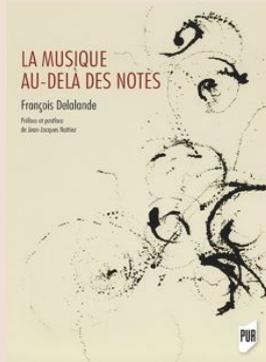


- Chouvel, J.-M. *Analyse Musicale, sémiologie et cognition des formes temporelles*, L'Harmattan, Paris, 2006.
- De Saussure, F. *Cours de linguistique générale*. Payot, Paris, 1906.

# Musicologie Cognitive

## Définition, hiérarchisation

« *La musicologie cognitive* est le nom de la discipline que j'ai créée dont l'objectif est de *comprendre* en profondeur *les relations entre les processus mentaux musicaux* tels que la composition, l'analyse musicale, la direction musicale et la performance musicale - *avec le résultat que ces processus produisent* » - Otto Laske



- Delalande, F. *La musique au-delà des notes*. Presse Universitaires de Rennes, 2019.
- Laske, O.E. *Music, Memory and Thought, explorations in Cognitive Musicology*. University Microfilms, International, Ann Arbor (MI), 1977.
- [Ottolaske.com](http://Ottolaske.com)

# Musicologie Cognitive

## Définition, hiérarchisation

« *La **musicologie cognitive** est le nom de la discipline que j'ai créée dont l'objectif est de **comprendre** en profondeur **les relations entre les processus mentaux musicaux** tels que la composition, l'analyse musicale, la direction musicale et la performance musicale - **avec le résultat que ces processus produisent*** » - Otto Laske

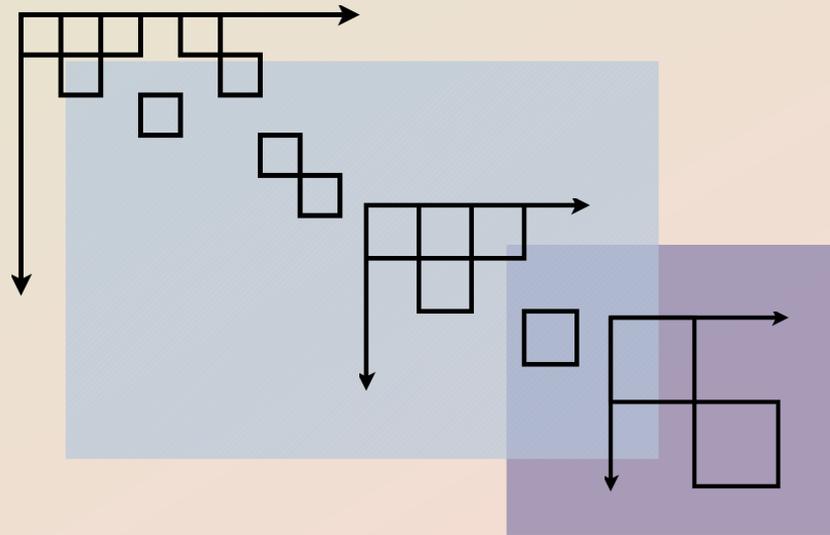
### Importance de la hiérarchisation

H. Schenker : L'organisation musicale s'effectue en fonction d'une **hiérarchie** dépendante de l'**importance** des événements musicaux

- E. Bigand. Les sciences de la cognition musicale. Bulletin de psychologie, 46-411 :449–458, 1993.
- F. Lerdhal and R. Jackendoff. A generative theory of tonal music. Cambridge, Mass. : MIT Press, 1983.

# Algorithme Cognitif

## présentation

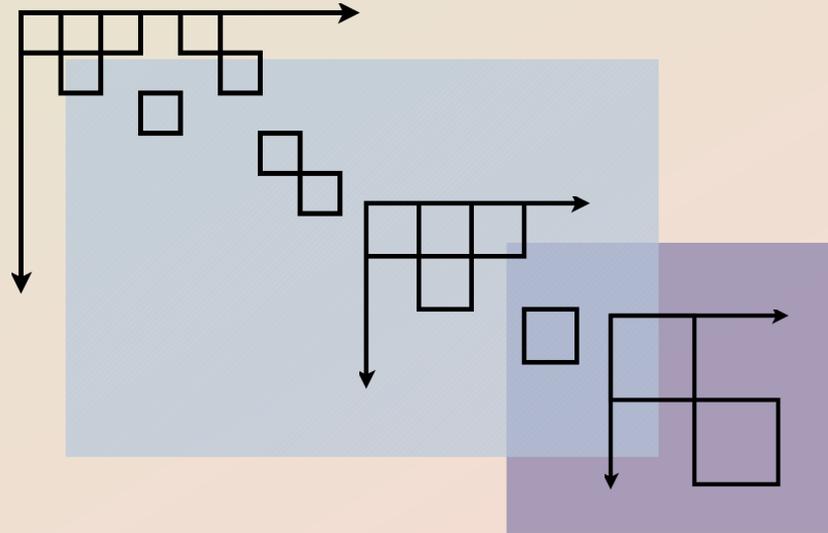


Musicologie cognitive

# Algorithme Cognitif

## présentation

Analyse musicale

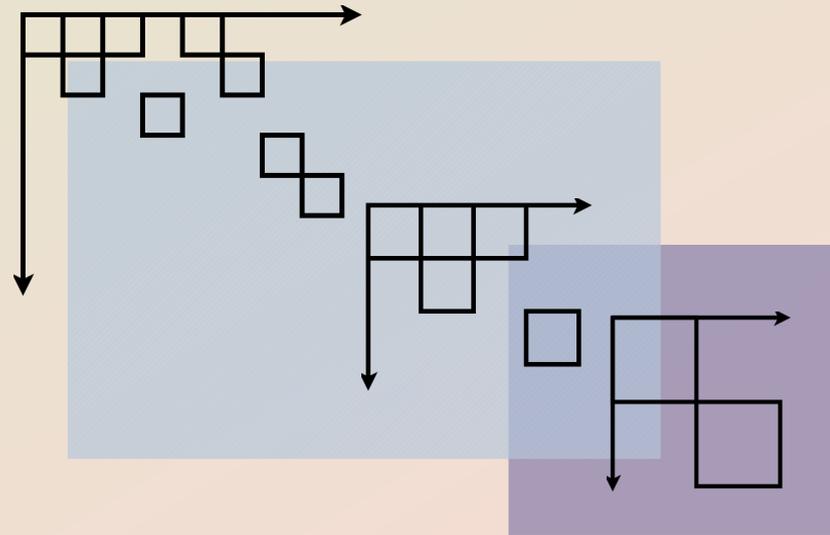


Musicologie cognitive

# Algorithme Cognitif

## présentation

Analyse musicale

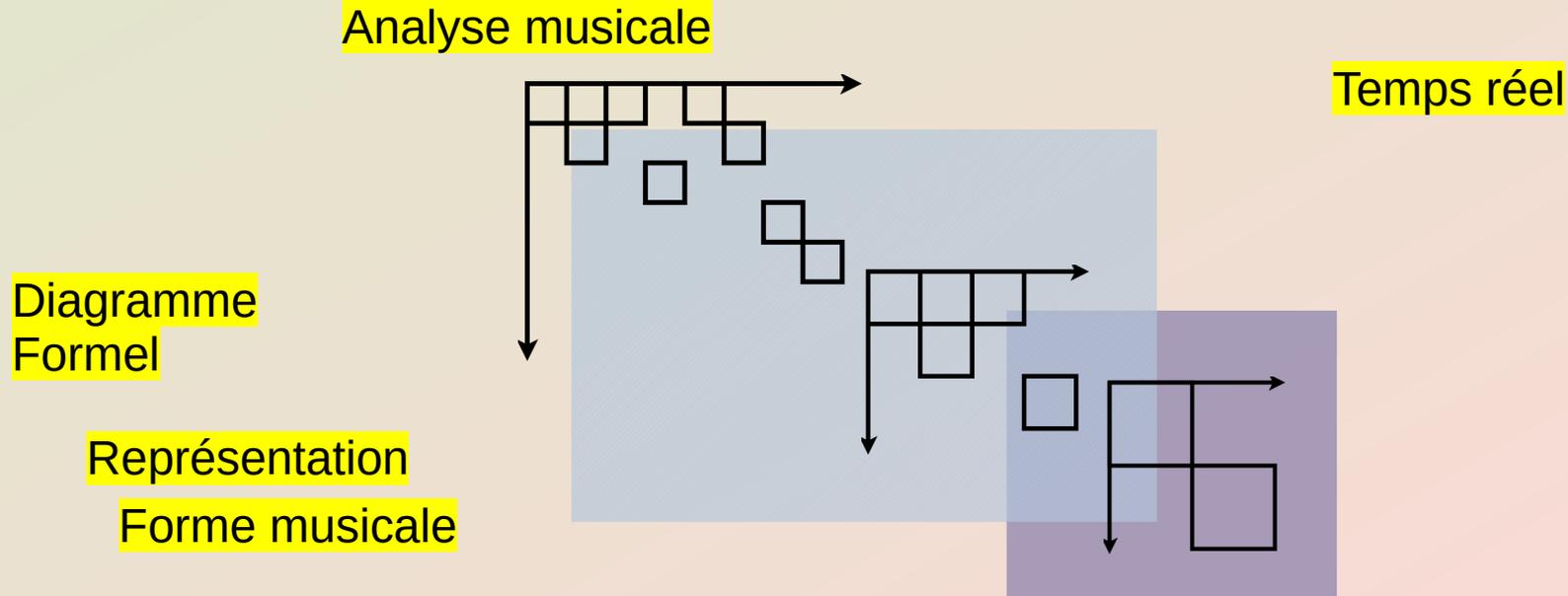


Temps réel

Musicologie cognitive

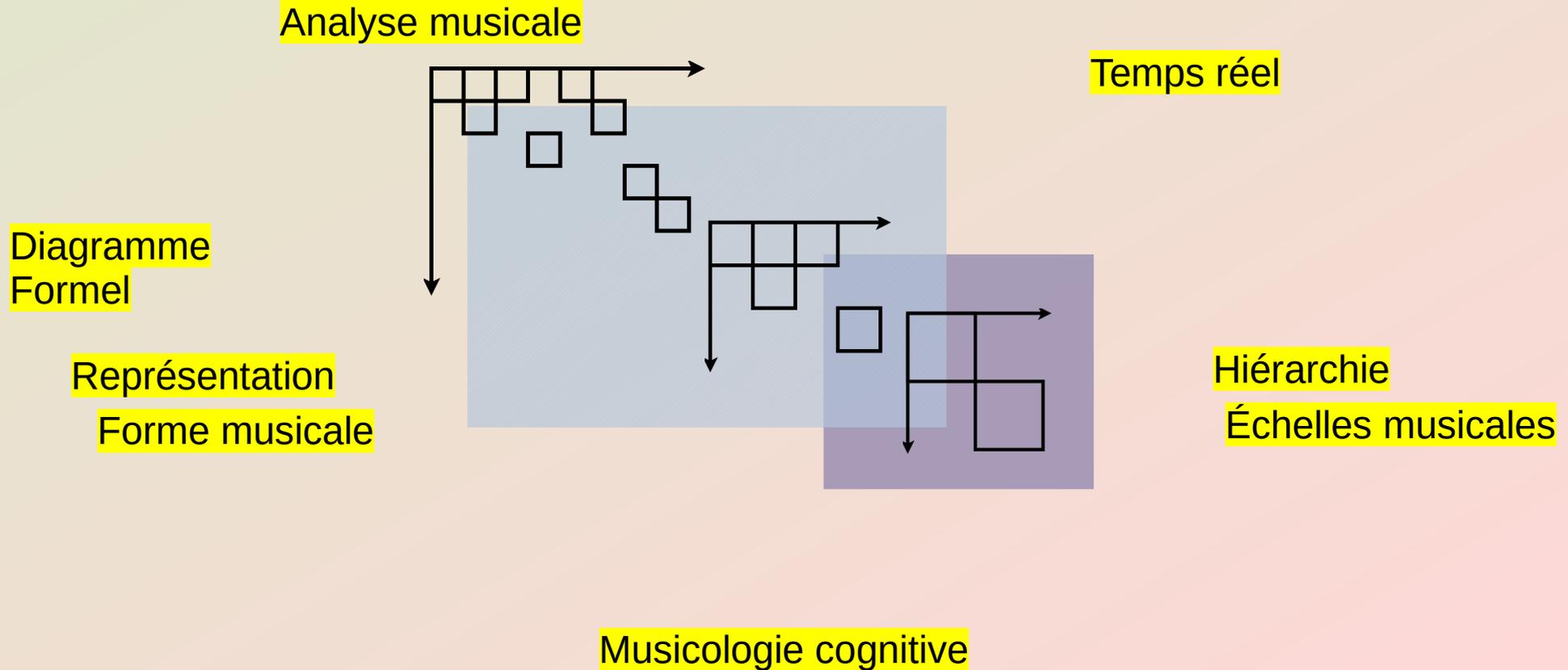
# Algorithme Cognitif

## présentation



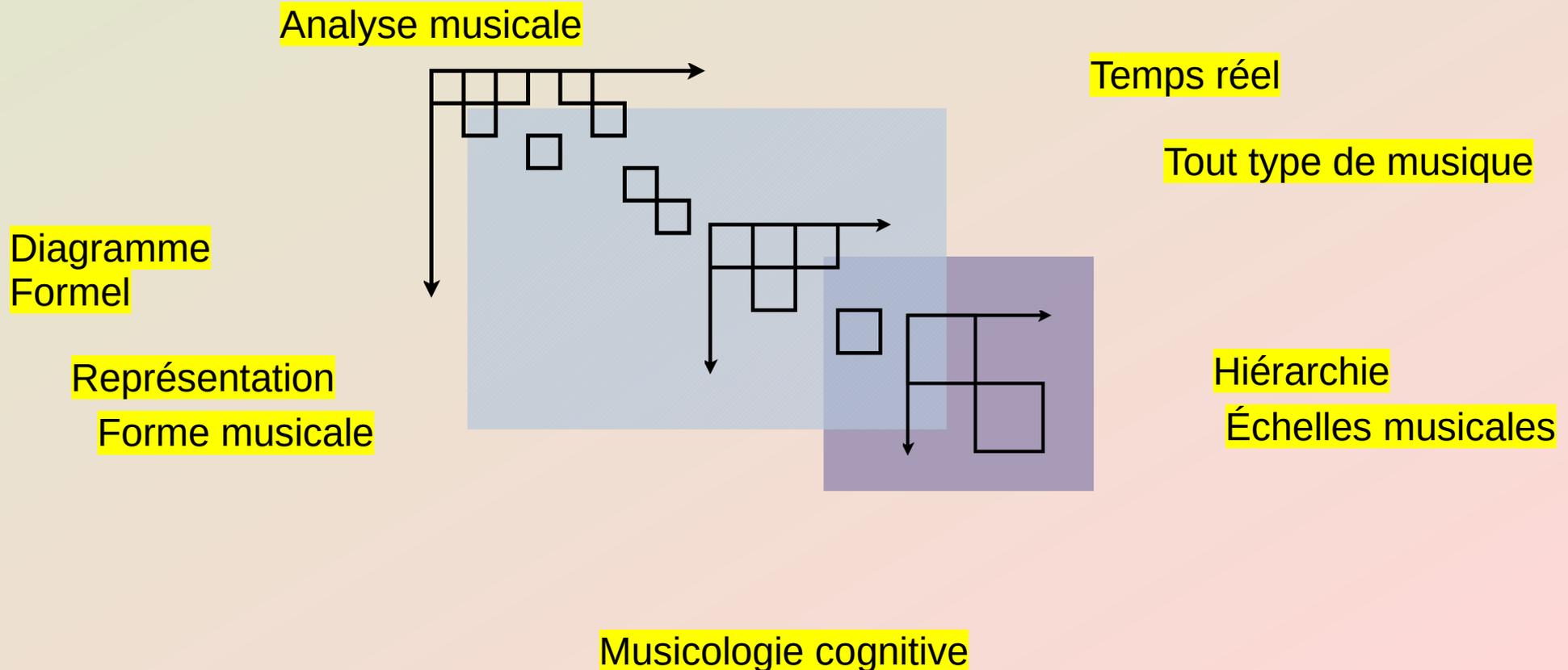
# Algorithme Cognitif

## présentation



# Algorithme Cognitif

## présentation



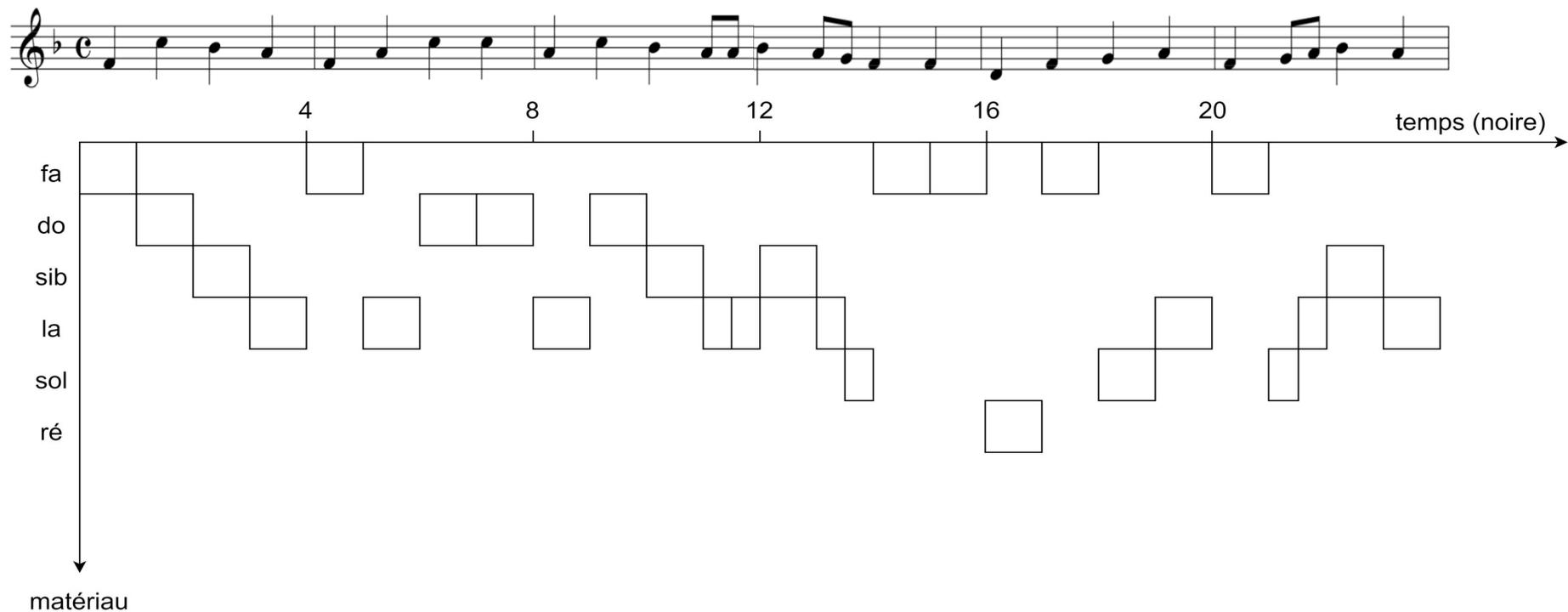
# Définition du Diagramme Formel

Un **Diagramme Formel** est la représentation des *matériaux* d'une œuvre en fonction du *temps*.

**Matériau** : classe d'éléments musicaux substituables.

**Objet** : occurrences de ces matériaux dans une œuvre donnée.

# Diagramme Formel



# Diagramme Formel - Geisslerlied



---

**Algorithm 1** Calcul d'un 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 » ;

---

# Diagramme Formel - Geisslerlied




---

## Algorithm 1 Calcul d'un diagramme formel

---

pour chaque fragment entendu :

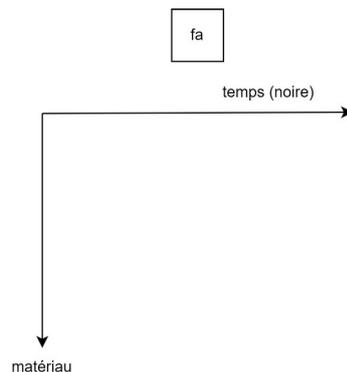
comparaison avec les fragments précédents ;

s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;

---



# Diagramme Formel - Geisslerlied




---

## Algorithm 1 Calcul d'un diagramme formel

---

pour chaque fragment entendu :

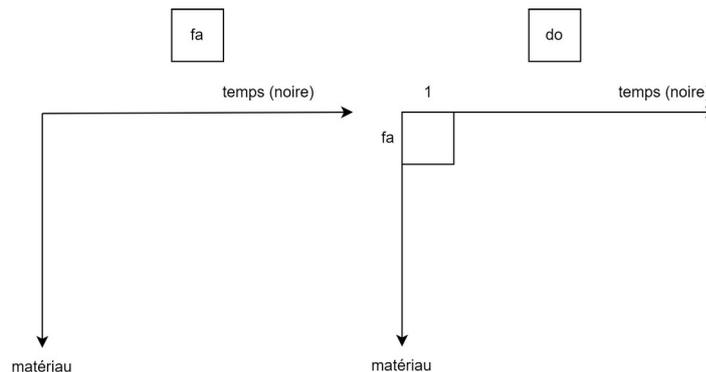
comparaison avec les fragments précédents ;

s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;

---



# Diagramme Formel - Geisslerlied




---

## Algorithm 1 Calcul d'un diagramme formel

---

pour chaque fragment entendu :

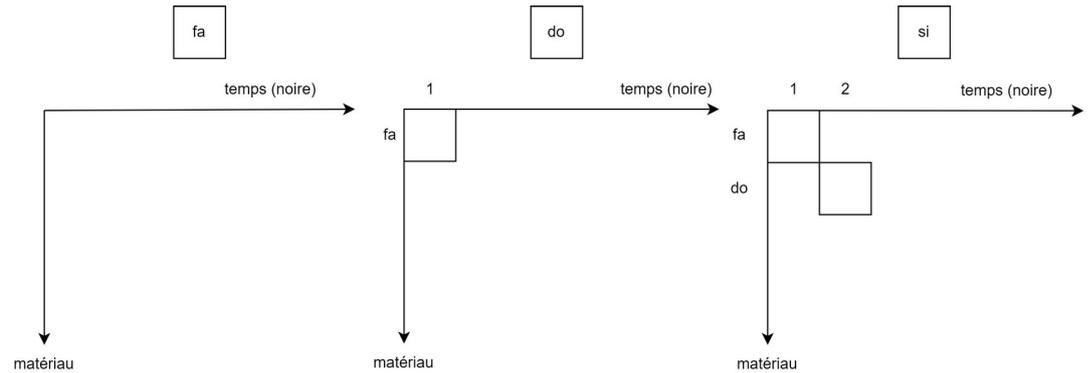
comparaison avec les fragments précédents ;

s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;

---



# Diagramme Formel - Geisslerlied



## Algorithm 1 Calcul d'un diagramme formel

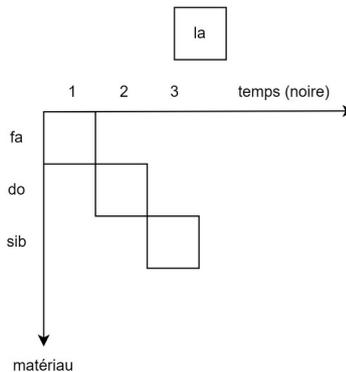
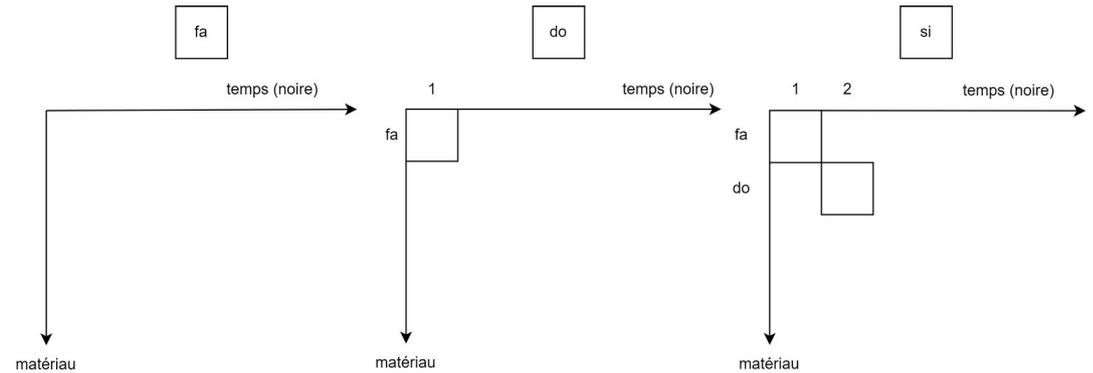
pour chaque fragment entendu :

comparaison avec les fragments précédents ;

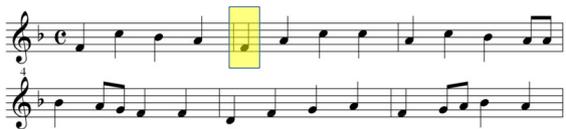
s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

    dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;



# Diagramme Formel - Geisslerlied



## Algorithm 1 Calcul d'un diagramme formel

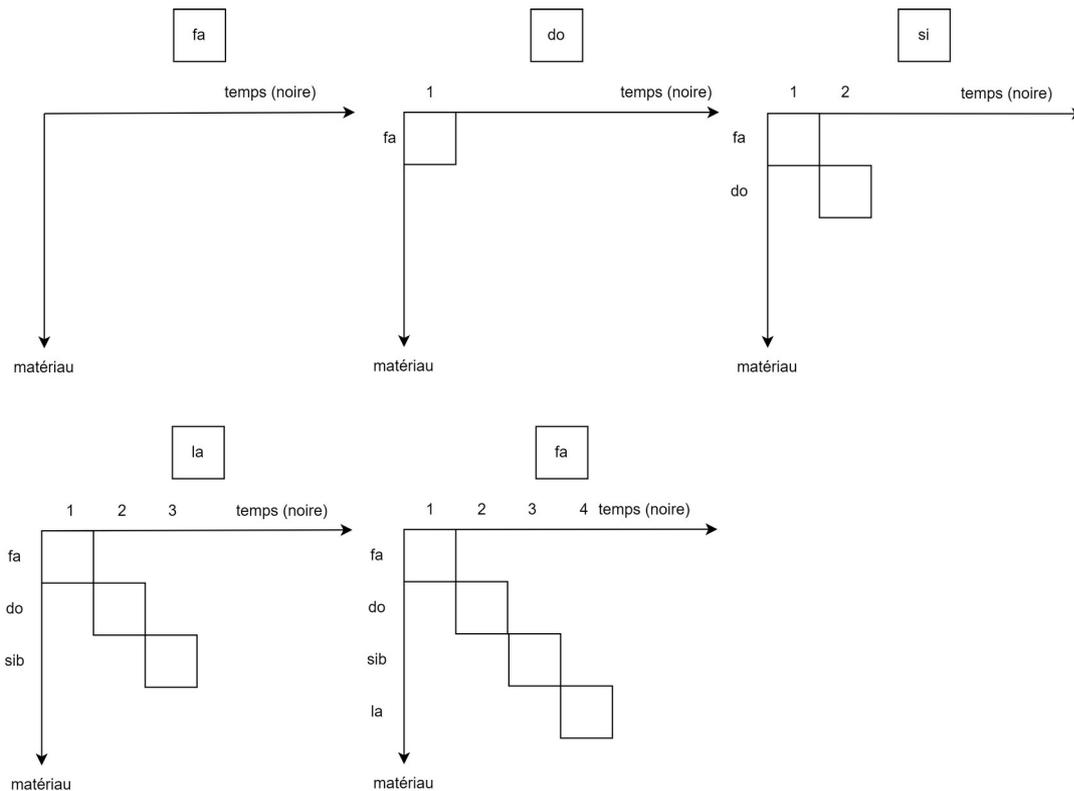
pour chaque fragment entendu :

comparaison avec les fragments précédents ;

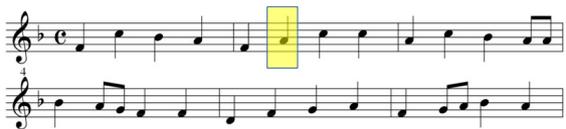
s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

    dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;



# Diagramme Formel - Geisslerlied



## Algorithm 1 Calcul d'un diagramme formel

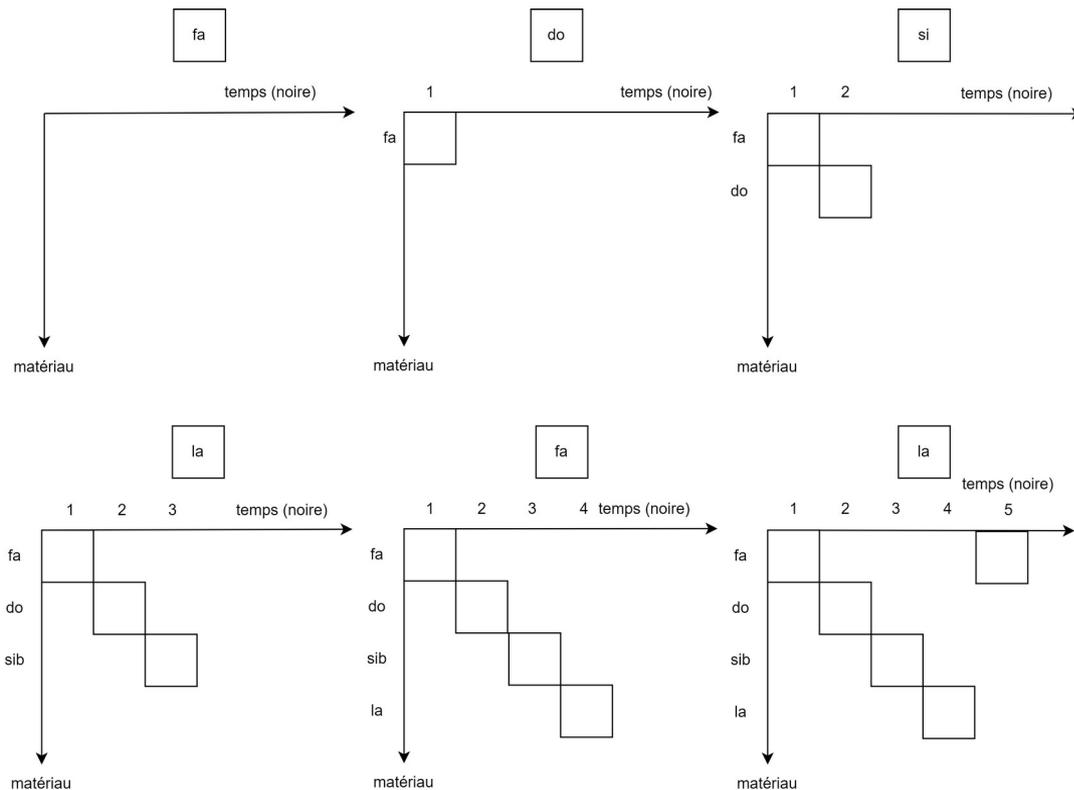
pour chaque fragment entendu :

comparaison avec les fragments précédents ;

s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

    dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;

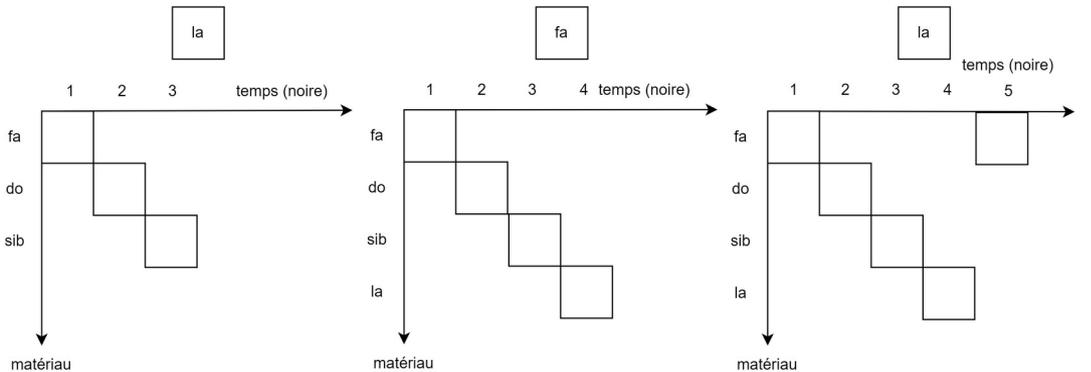
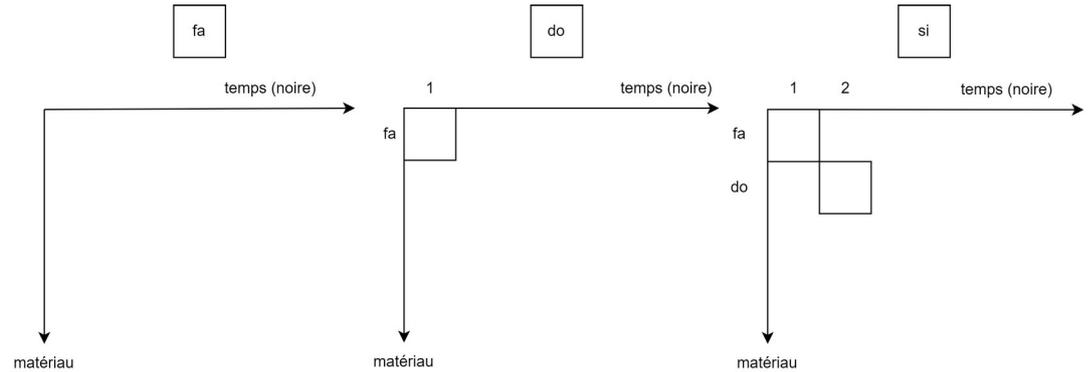
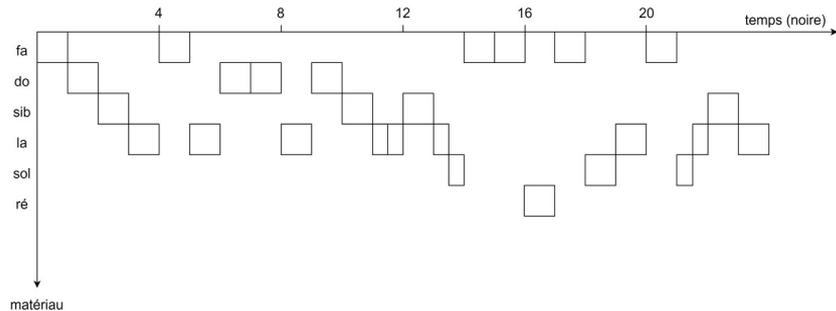


# Diagramme Formel - Geisslerlied



## Algorithm 1 Calcul d'un diagramme formel

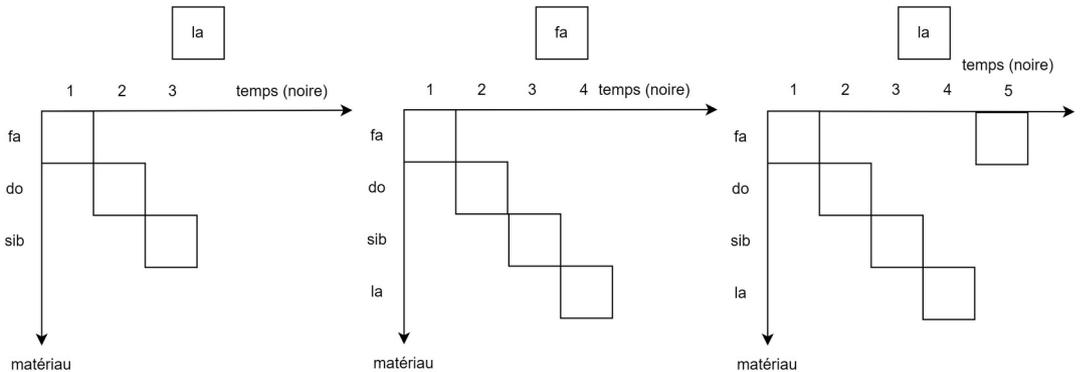
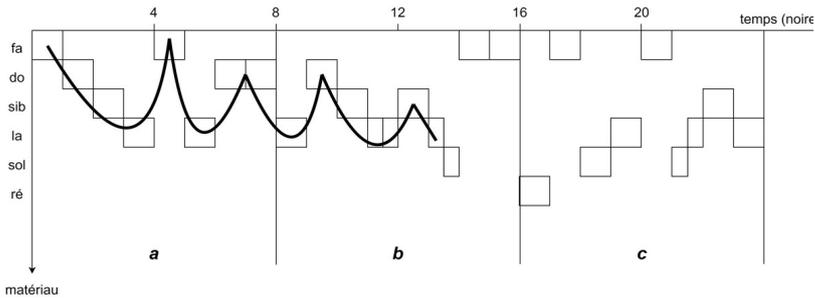
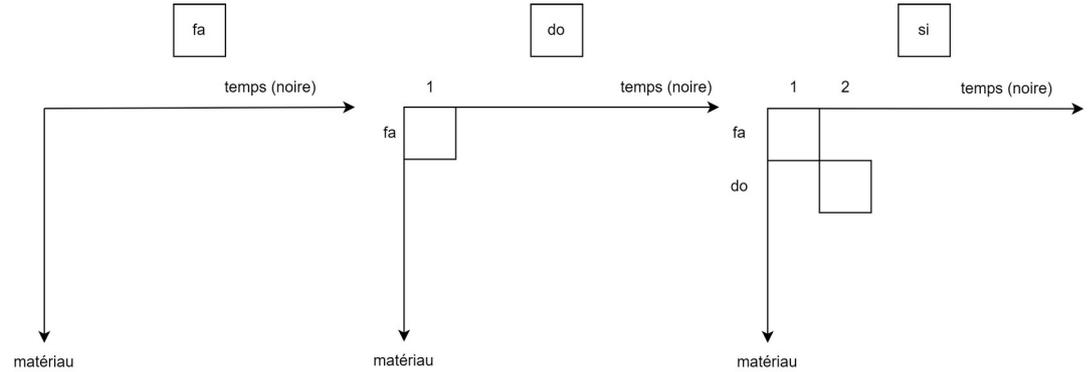
pour chaque fragment entendu :  
 comparaison avec les fragments précédents ;  
 s'il est différent :  
   inscription en mémoire « matériau » ;  
 dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;



# Diagramme Formel - Geisslerlied



**Algorithm 1** Calcul d'un 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 » ;



# Algorithme Cognitif

---

**Algorithm 1** Calcul d'un diagramme formel

---

pour chaque fragment entendu :

**comparaison** avec les fragments précédents ;

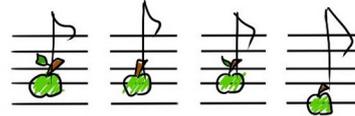
s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;

---

**étude de la  
classification**



# Algorithme Cognitif

---

**Algorithm 1** Calcul d'un diagramme formel

---

pour chaque fragment entendu :

**comparaison** avec les fragments précédents ;

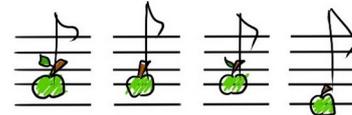
s'il est différent :

    inscription en mémoire « matériau » ;

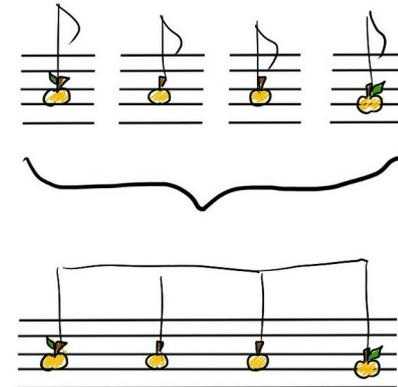
    dans tous les cas: inscription en mémoire « forme » ;

---

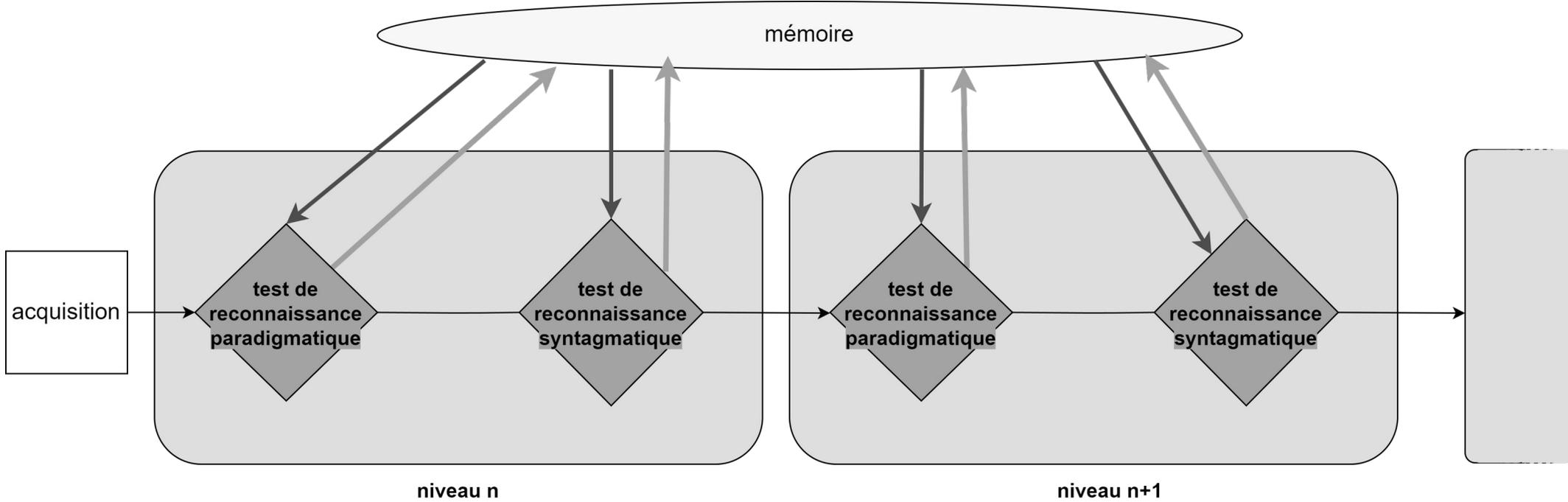
étude de la  
classification



étude de la  
segmentation ?



# Algorithme Cognitif

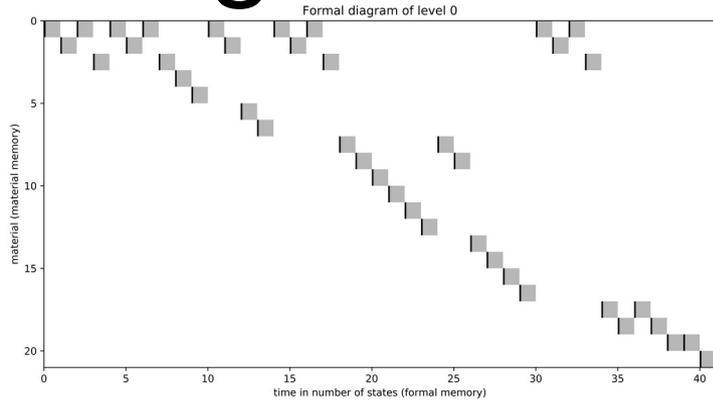


# Diagramme Formel Multi-échelle

Un **Diagramme Formel Multi-échelle** est l'*organisation hiérarchisée* et assemblée des *diagrammes formels* d'*une analyse* donnée

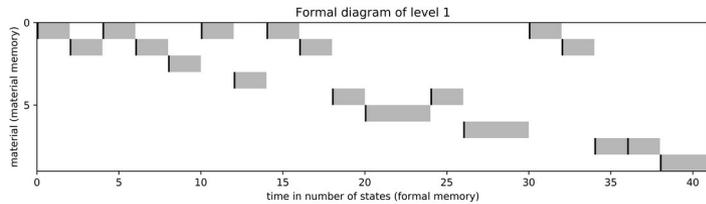
**Niveau de hiérarchie** : défini par l'échelle temporelle des éléments qui le constituent (note, motif, phrase...)

# Diagramme Formel Multi-échelle

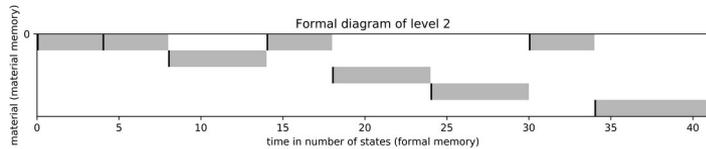


Équivalence avec les chaînes de caractères :

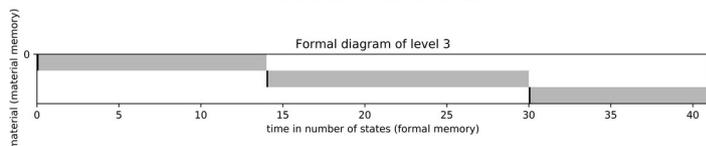
↔ abacabacdeabfgabachijklmhinopqabacrsrsttu



↔ ababcdabefghehiabkkl



↔ AABACDAE



↔ ABC

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

(180) **RONDO.**  
*Allegretto.*

W. A. M. 545.

(181) 9

W. A. M. 545.

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

The image displays two systems of musical notation for Mozart's Minuet in G major, K. 545. The left system is labeled 'RONDO' and 'Mozart' and includes a blue highlighted section in the first measure. The right system is labeled '(1819)'. Both systems feature piano and bass staves with various annotations such as letters (a, b, c, d, e, g, h, i, k, m, n, o, q, s, t, u) and dynamic markings like 'piano' and 'cresc.'. The score is attributed to 'W. A. M. 545' at the bottom of each system.

Niveau 1 (a

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

The image displays two systems of musical notation for Mozart's Minuet in G major, K. 545. The first system on the left is labeled 'RONDO. Allegretto.' and includes measures 1 through 14. A blue rectangular highlight covers measures 3 through 6. Various letters (a, b, c, d, e, g, h, i, k) are placed below specific notes or groups of notes. The second system on the right covers measures 15 through 28 and includes the word 'Elegante' below the bass line. Letters (m, n, o, p, q, r, s, t, u) are placed below notes in this system. The composer's name 'W. A. M. 545.' is printed at the bottom of both systems.

Niveau 1 (ab)

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

Niveau 1 (aba')

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

The image displays two systems of musical notation for Mozart's Minuet in G major, K. 545. The left system is annotated with letters 'a' through 'k' and includes a blue highlighted section at the beginning. The right system is annotated with letters 'm' through 'u'. Both systems include treble and bass clefs, a 3/4 time signature, and a key signature of one sharp (F#). The score is labeled 'RONDO' and 'Mozart' at the top. The composer's name 'W. A. M. 545.' is visible at the bottom of both systems.

Niveau 1 (ab)(a')

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

W. A. M. 545.

W. A. M. 545.

Niveau 1 (ab)(a')  
Niveau 2 (a)

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

Niveau 1 (ab)(a'c)(a

Niveau 2 (a b

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

Niveau 1 (ab)(a'c)(ab)(a')

Niveau 2 (a b )(a

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

W. A. M. 545.

W. A. M. 545.

Niveau 1 (ab)(a'c)(ab)(a')

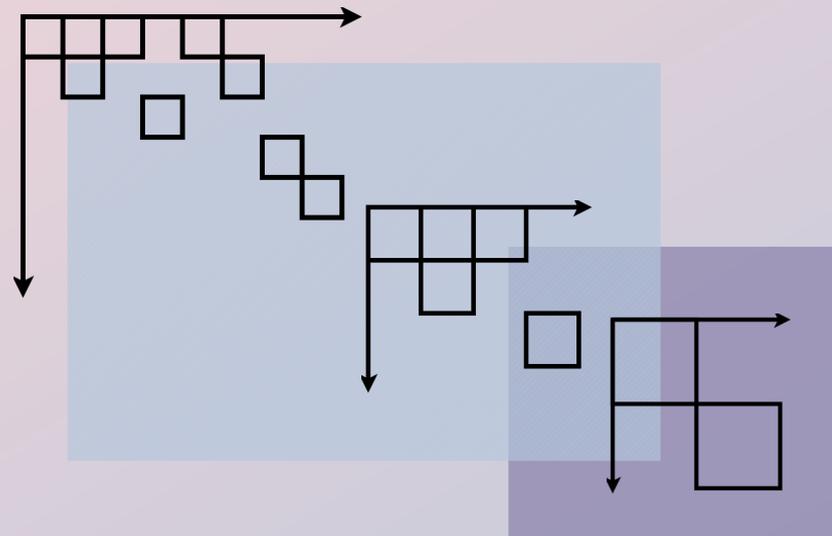
Niveau 2 (a b )(a

Niveau 3 A

# Algorithme Cognitif – Mozart K.545

- Niveau 1 (ab)(a'c)(ab)(a'c)(de)(a"b')(fg)(ab)(a'c)(hi)(jk)(lm)(h'i')(no)(pq) (ab)(a'c)(rs)(rs')(ttu)
- Niveau 2 (a b )(a b )(c a' d)(a b )(e f g )(e' h i )(a b )(k k l)
- Niveau 3 A (A B ) (A C D ) (A E )
- Niveau 4 (A ) (B ) (C )
- Niveau 5 (A )

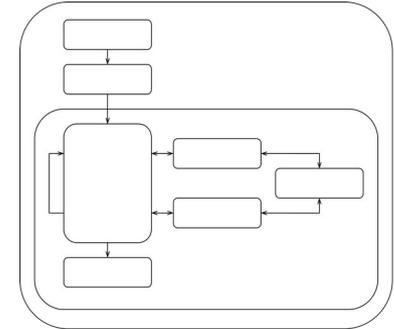
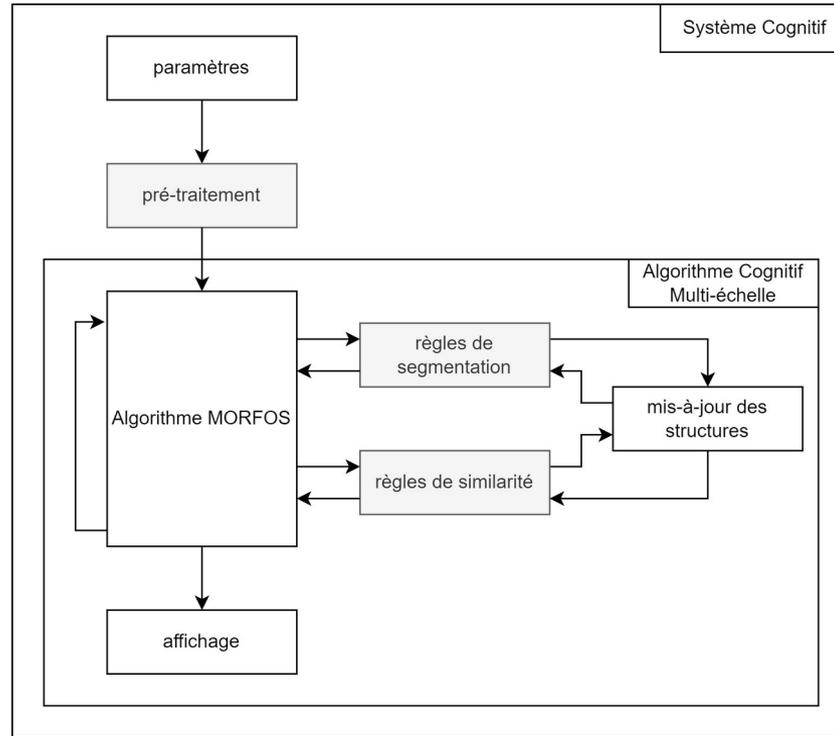
# CONTRIBUTION



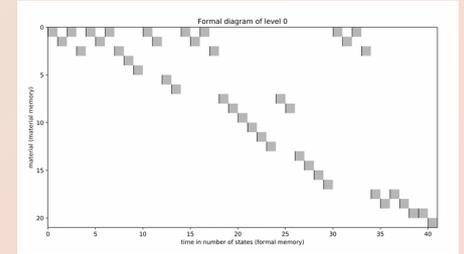
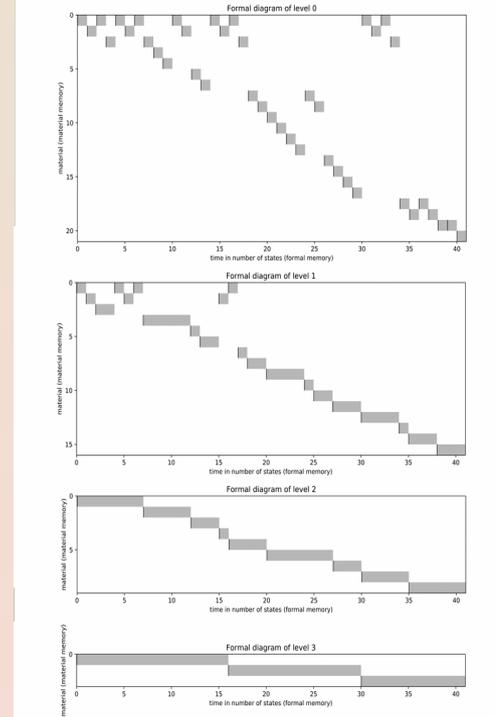
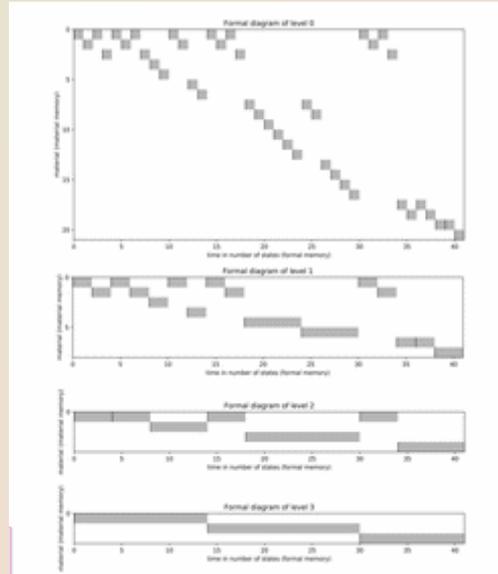
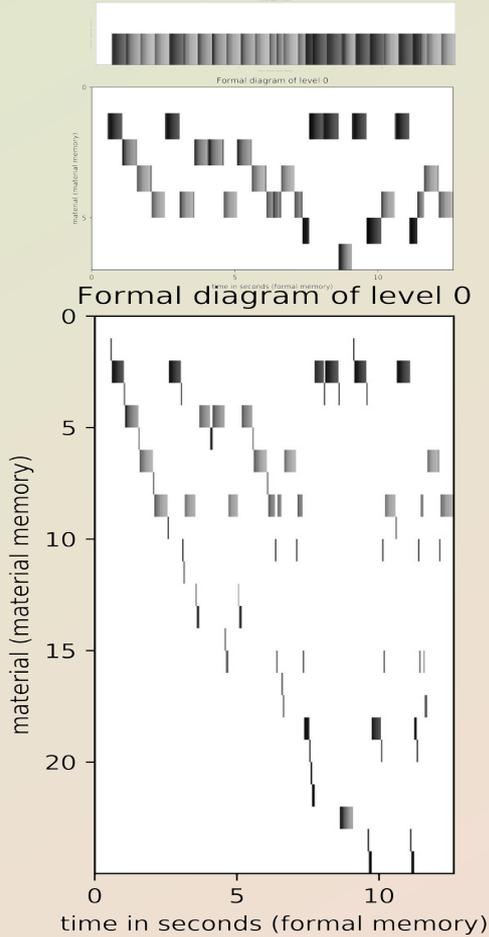
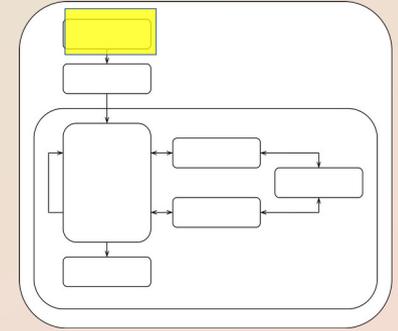
# MORFOS

(Multiscale Oracle Representations For Organized Sounds)

## Architecture



# Agenda



- Seuils
- Règles de similarité
- **Règles de segmentation**
- Calcul de (pré)traitement

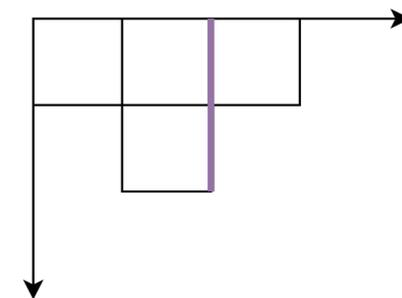
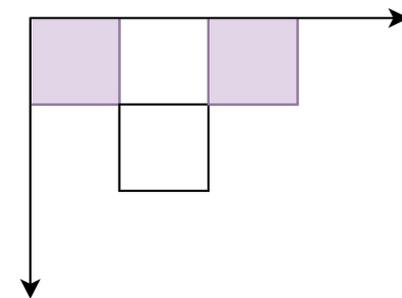
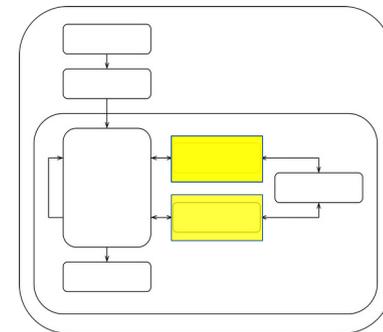
# Règles de similarité et de segmentation

- **Modulaire** : volonté d'ajouter/modifier les règle

`classification_regle_n(objet_a, objet_b) : flottant`

`segmentation_regle_n(mso, objet) : booleen`

- Audio, symbolique
- **Classement** :  
→ descripteurs existants
- **Segmentation** : hiérarchisation  
→ proposition d'un certain nombre de règles de grammaire pour le symbolique
  - Seg obligatoire, interdite, les deux
  - Gestionnaire de règles : booleen



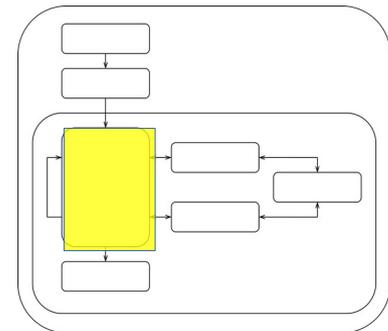
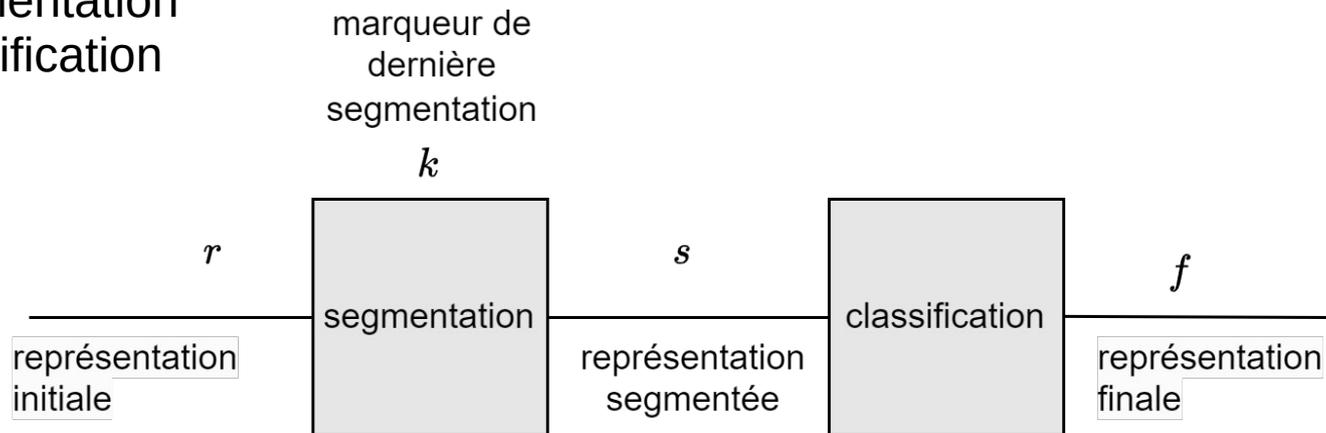
# Formalisation temps-réel

Soit le **diagramme formel**  $X$

$X = (r, s, f, k)$  initialisé par  $(\epsilon, \epsilon, \epsilon, 0)$

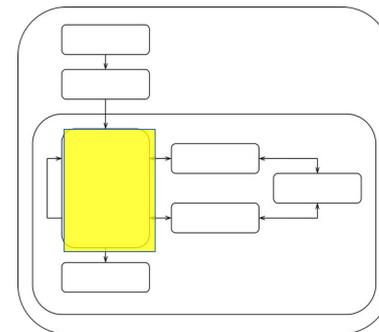
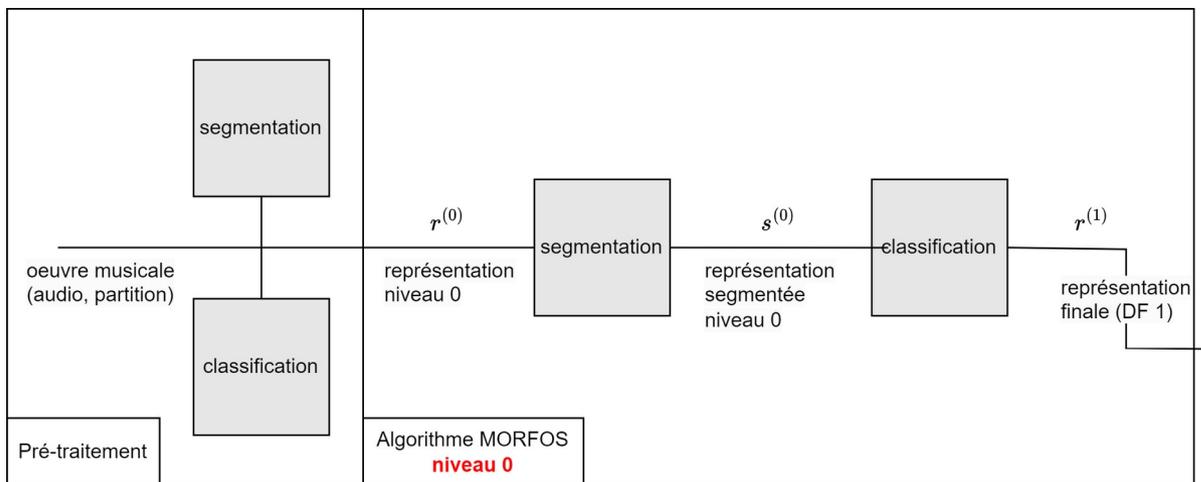
peut changer d'état en fonction de trois opérations distinctes:

- l'acquisition
- la segmentation
- la classification



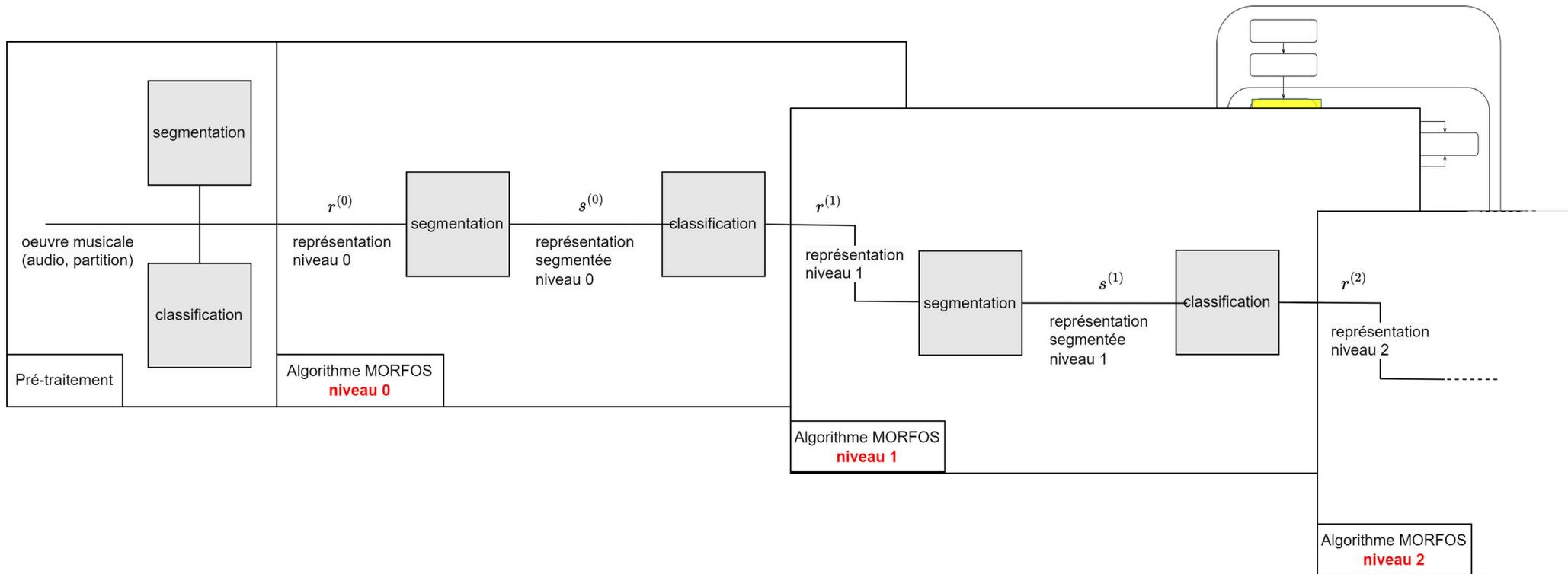
# Algorithme MORFOS

## Hiérarchisation



# Algorithme MORFOS

## Hiérarchisation



# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel de niveau j**  $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

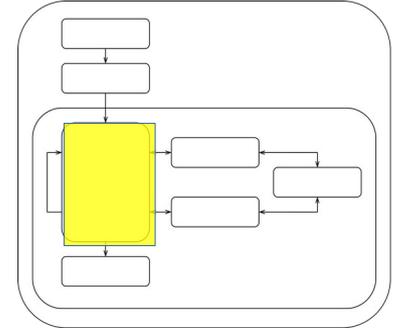
On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0.X_1\dots X_n$$

Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

- la création d'un nouveau niveau
- l'acquisition
- la segmentation de *niveau n*
- la classification de *niveau n*



# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel** de niveau  $j$   $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

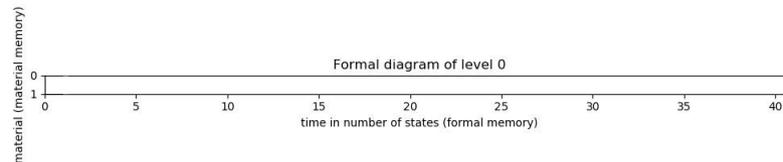
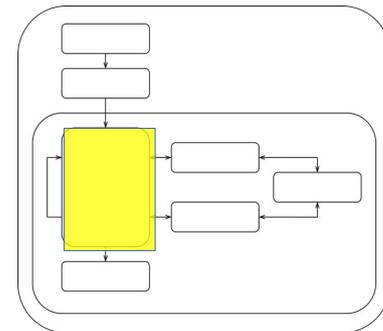
On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0 \cdot X_1 \dots X_n$$

Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations** permettent de changer l'état de  $R$ :

$$\epsilon \xrightarrow{cnn} (\epsilon, \epsilon, 0)$$



# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel** de **niveau j**  $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0.X_1...X_n$$

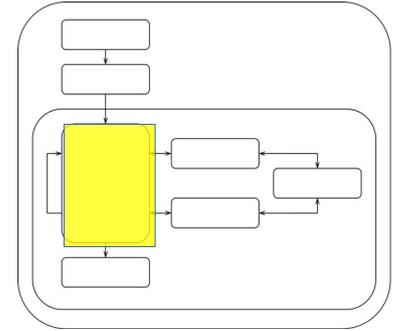
Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

- la création d'un nouveau niveau  $cnn$

$$X_n = (\epsilon, \epsilon, 0)$$

$$X_0.X_1...X_{n-1} \xrightarrow{cnn} X_0.X_1...X_{n-1}.(\epsilon, \epsilon, 0)$$



# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel** de niveau  $j$   $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

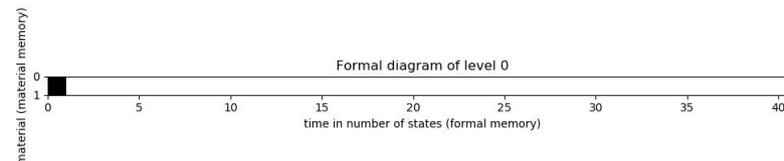
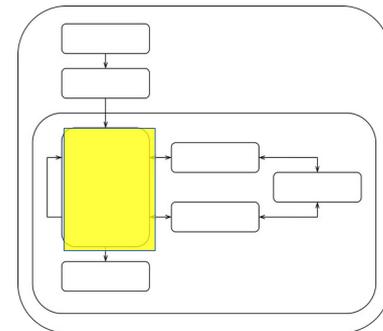
$$R = X_0 \cdot X_1 \dots X_n$$

Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations** permettent de changer l'état de  $R$ :

$$\epsilon \xrightarrow{cnn} (\epsilon, \epsilon, 0)$$

$$\xrightarrow[a]{atr} (a, \epsilon, 0)$$



# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel de niveau j**  $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

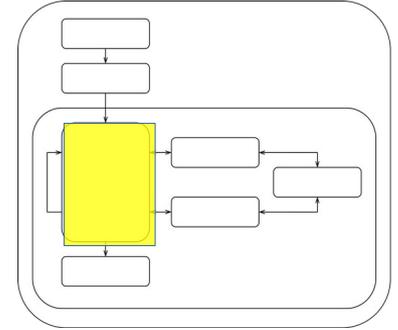
On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0.X_1...X_n$$

Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

- la création d'un nouveau niveau *cnn*
- l'acquisition *atr*



$$X_0.X_1...X_n = (r^{(0)}, s^{(0)}, k^{(0)}).X_1...X_n \xrightarrow[x]{atr} (r^{(0)}.x, s^{(0)}, k^{(0)}).X_1...X_n$$

# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel** de niveau  $j$   $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0.X_1\dots X_n$$

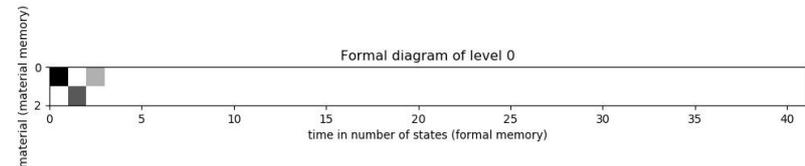
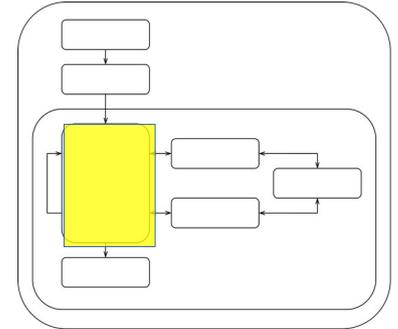
Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

$$\epsilon \xrightarrow{cnn} (\epsilon, \epsilon, 0)$$

$$\xrightarrow[a]{atr} (a, \epsilon, 0) \xrightarrow[b]{atr} (ab, \epsilon, 0) \xrightarrow[a]{atr} (aba, \epsilon, 0)$$

$$\xrightarrow{str(0)} (aba, (ab), 3)$$



# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel de niveau j**  $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

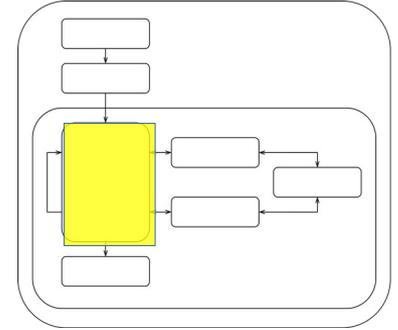
On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0.X_1...X_n$$

Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

- la création d'un nouveau niveau  $cnn$
- l'acquisition  $atr$
- la segmentation de niveau  $n$   $str(n)$



$$X_0... (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)}) ... X_n \xrightarrow{str^{(j)}} X_0... (r^{(j)}, s^{(j)}, ([r^{(j)}]_{k,l-1}), l) ... X_n$$

# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel de niveau j**  $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0.X_1\dots X_n$$

Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

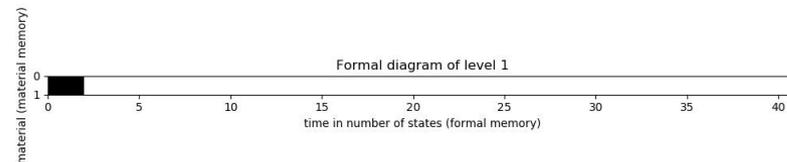
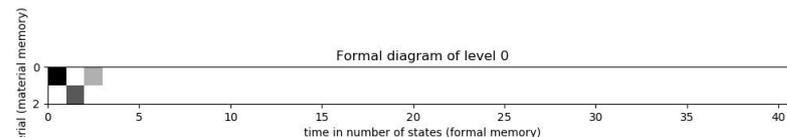
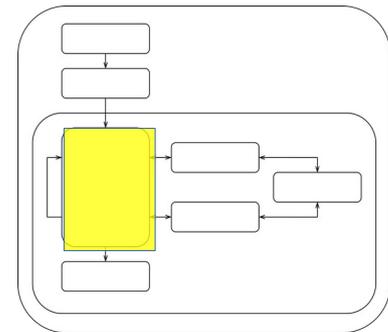
**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

$$\epsilon \xrightarrow{cnn} (\epsilon, \epsilon, 0)$$

$$\xrightarrow[a]{atr} (a, \epsilon, 0) \xrightarrow[b]{atr} (ab, \epsilon, 0) \xrightarrow[a]{atr} (aba, \epsilon, 0)$$

$$\xrightarrow{str(0)} (aba, (ab), 3) \xrightarrow{cnn} (aba, (ab), 3).(\epsilon, \epsilon, 0)$$

$$\xrightarrow{cls(0)} (aba, (ab), 3).(A, \epsilon, 0)$$



# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel** de **niveau j**  $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

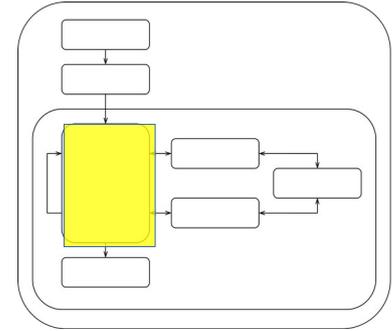
On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0.X_1...X_n$$

Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

- la création d'un nouveau niveau  $cnn$
- l'acquisition  $atr$
- la segmentation de niveau  $n$   $str(n)$
- la classification de niveau  $n$   $ctr(n)$



$$X_0... (r^{(j)}, s^{(j)}.w, k^{(j)}) . (r^{(j+1)}, s^{(j+1)}, k^{(j+1)}) ... X_n$$

$$\xrightarrow{ctr^{(j)}} X_0... (r^{(j)}, s^{(j)}.w, k^{(j)}) . (r^{(j+1)}.ctr(w), k^{(j+1)}) ... X_n$$

# Formalisation temps-réel

## Hiérarchisation

Soit le **diagramme formel** de **niveau j**  $X_j = (r^{(j)}, s^{(j)}, k^{(j)})$

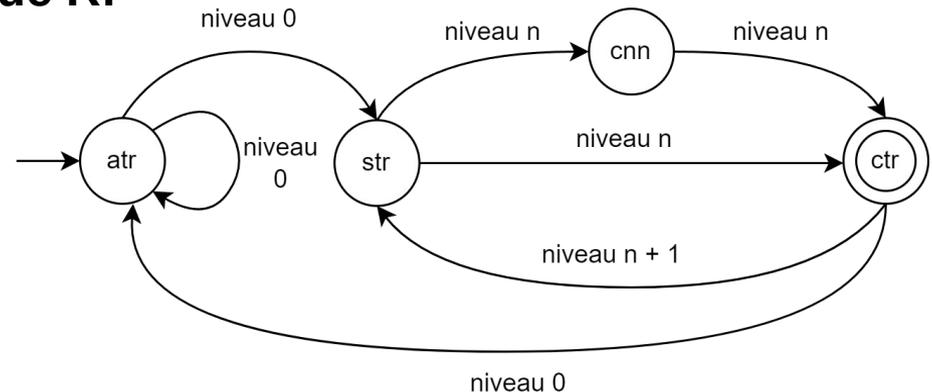
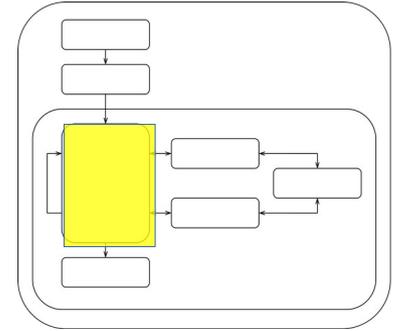
On pose  $R$  le diagramme formel multi-échelle tel que

$$R = X_0 \cdot X_1 \dots X_n$$

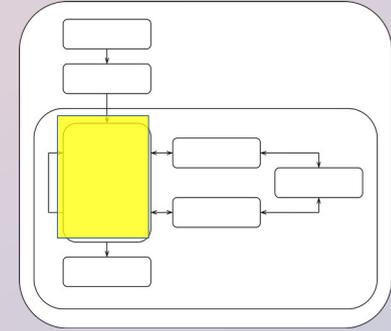
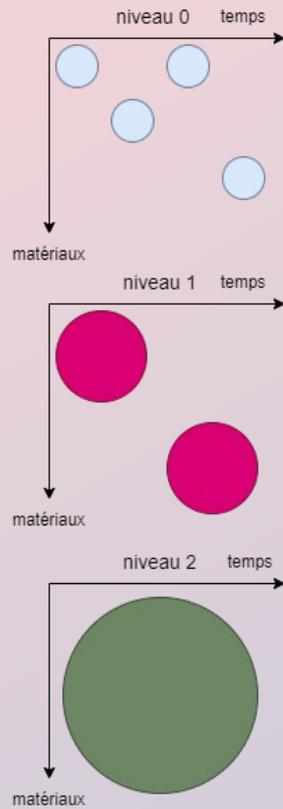
Initialement, on présente le mot vide  $R = \epsilon$

**4 opérations permettent de changer l'état de R:**

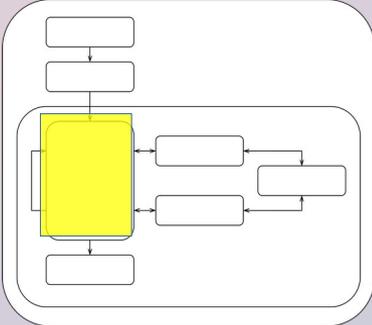
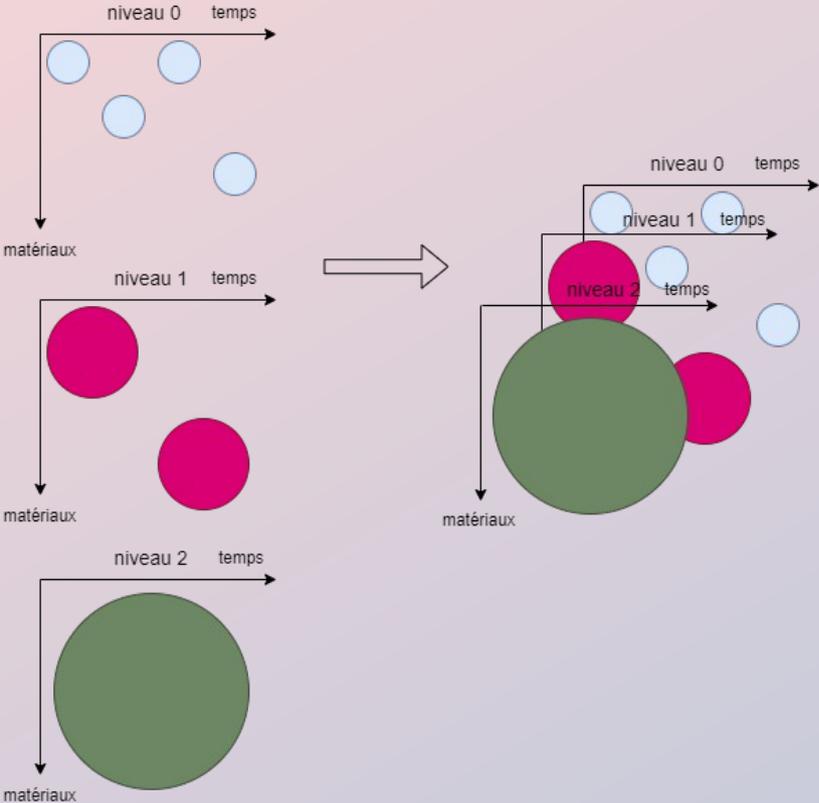
- la création d'un nouveau niveau  $cnn$
- l'acquisition  $atr$
- la segmentation de niveau  $n$   $str(n)$
- la classification de niveau  $n$   $ctr(n)$



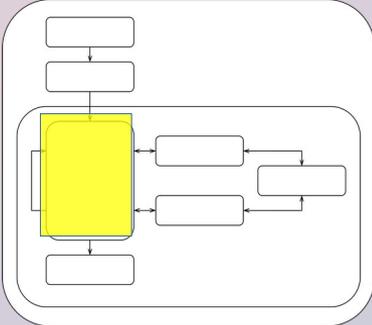
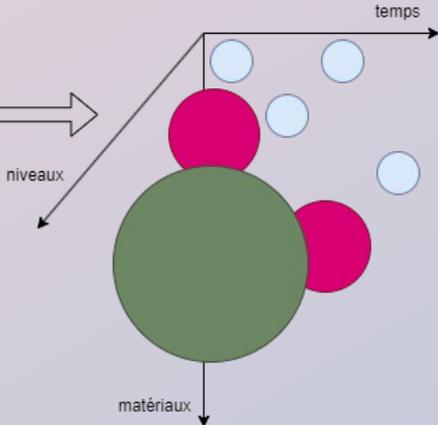
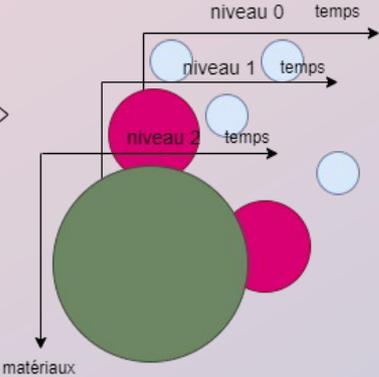
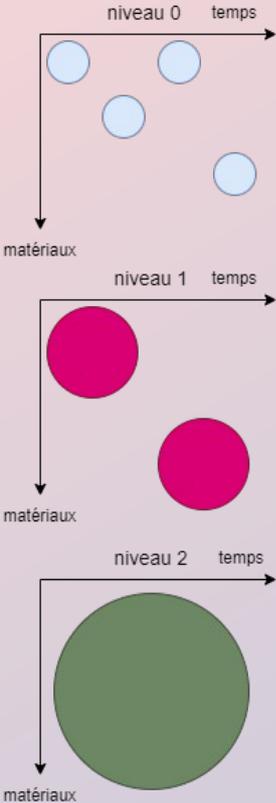
# 3 axes



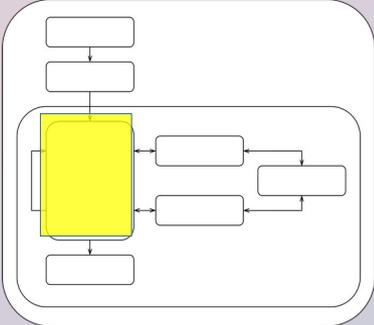
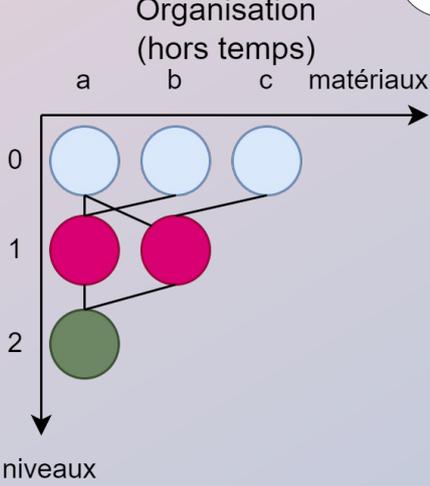
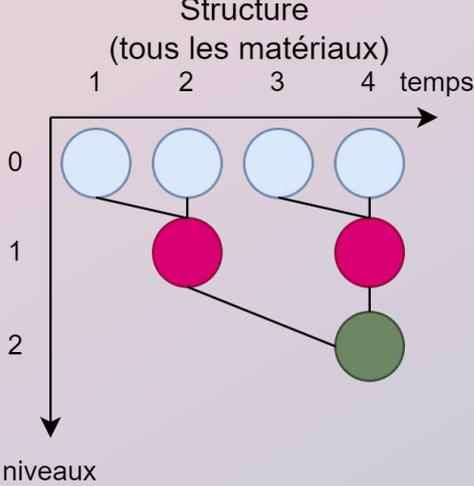
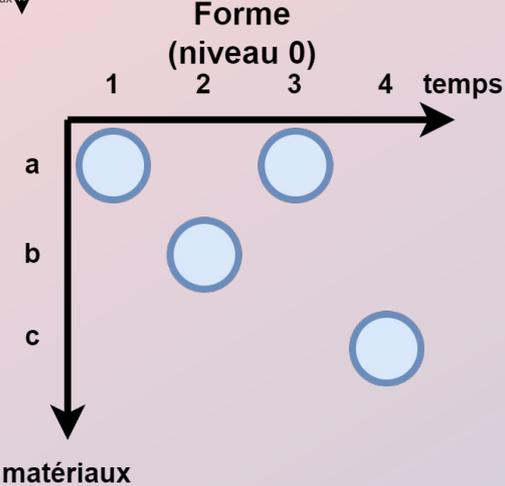
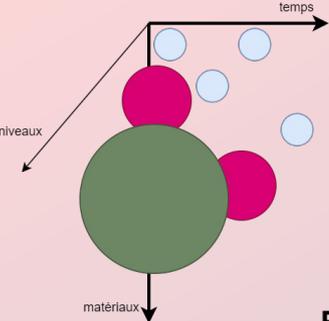
# 3 axes



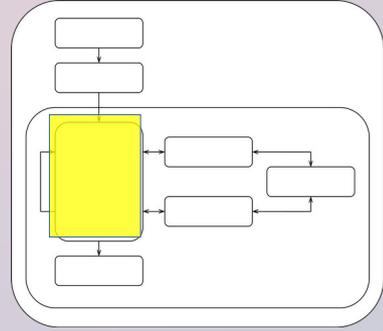
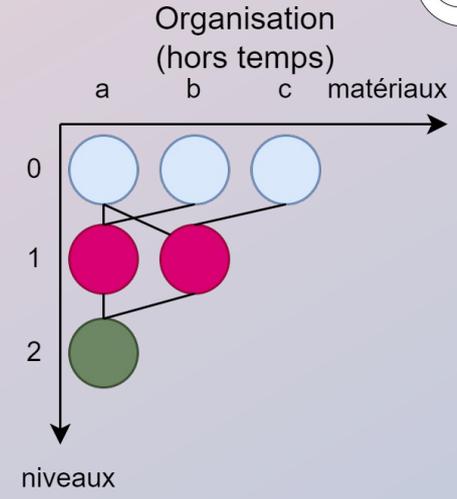
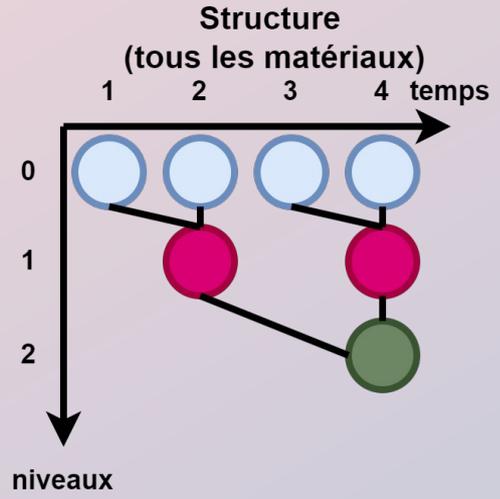
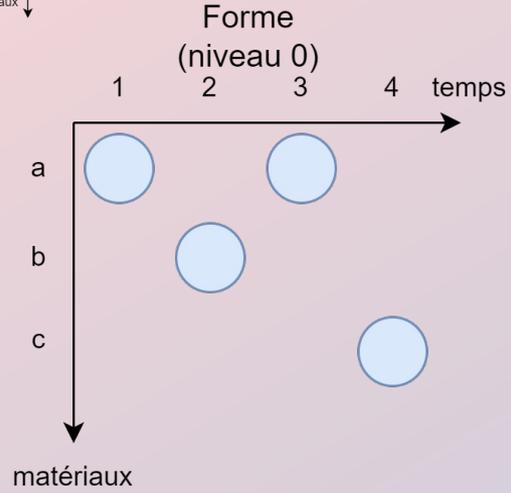
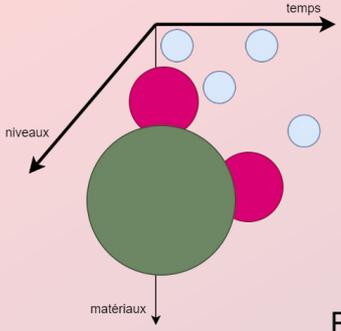
# 3 axes



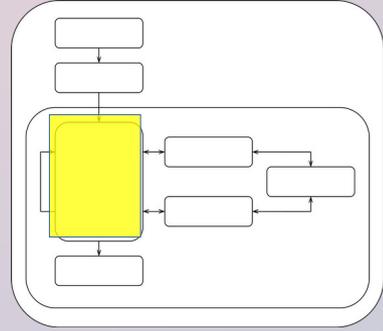
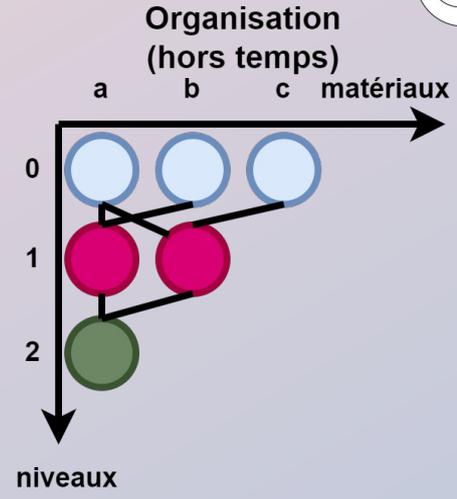
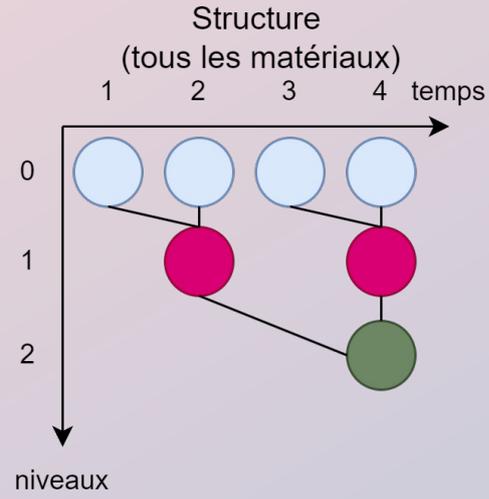
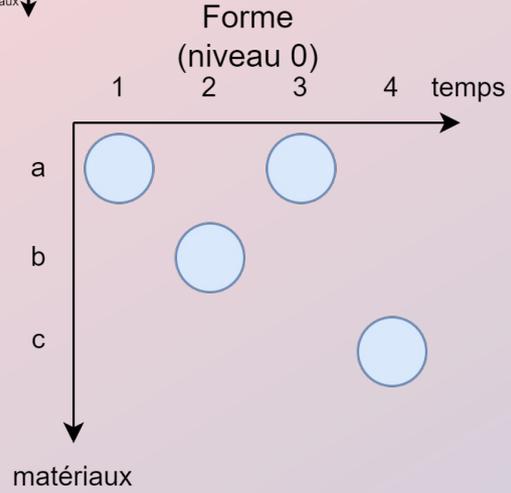
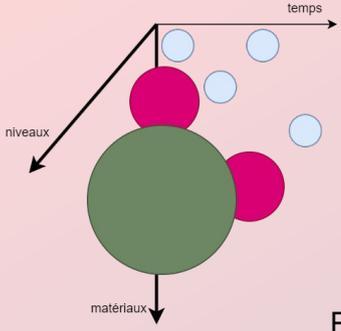
# 3 plans



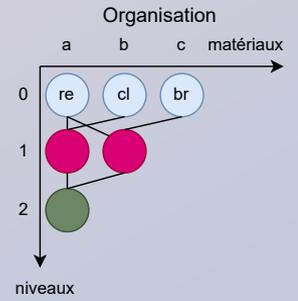
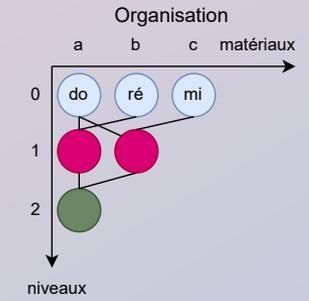
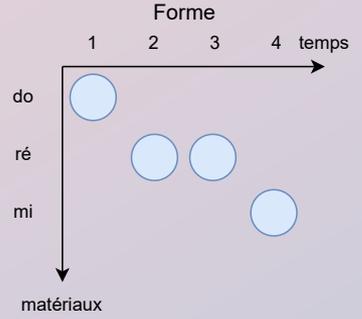
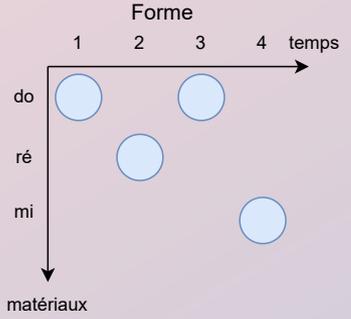
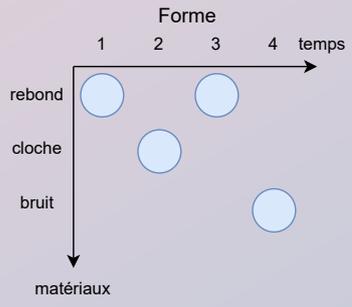
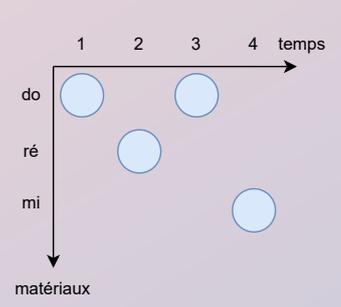
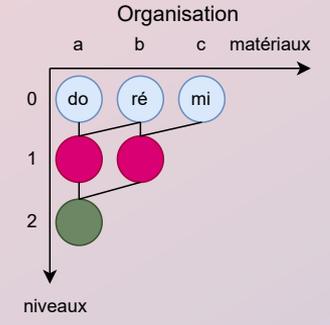
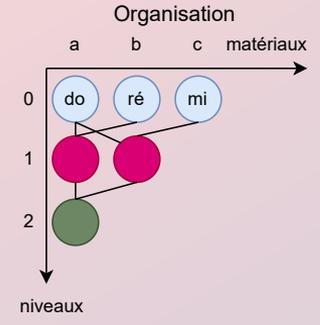
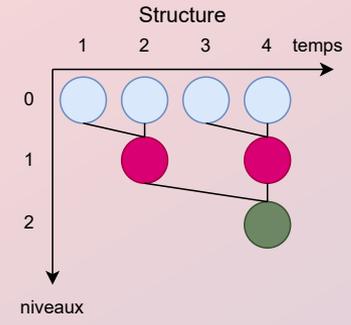
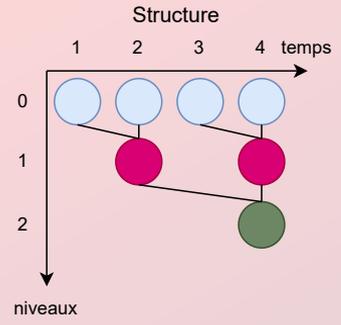
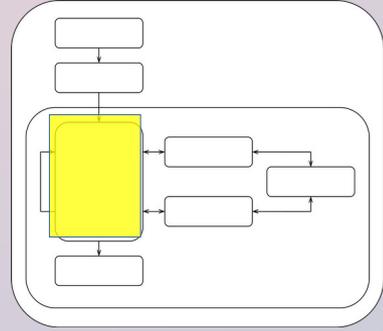
# 3 plans



# 3 plans



# 3 plans Opérations



Exemple musical 1

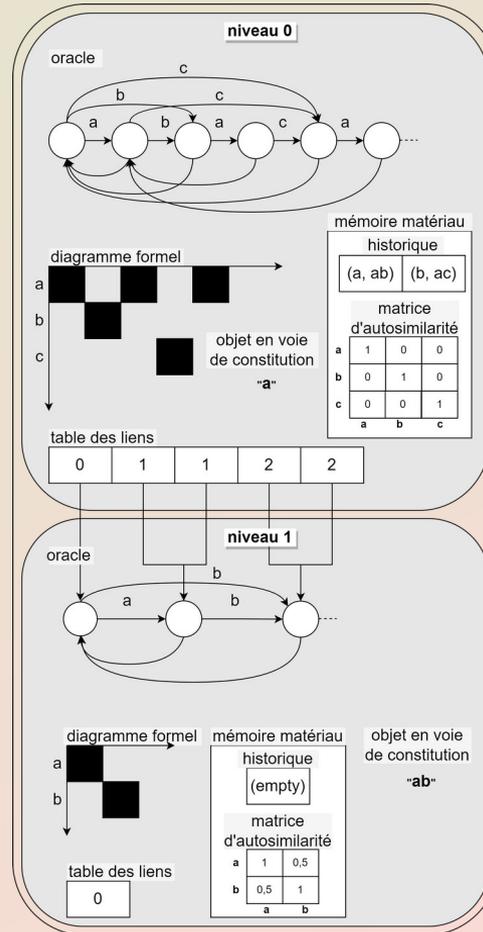
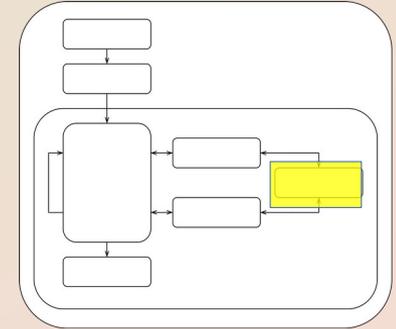
Exemple musical 2

Exemple musical 1

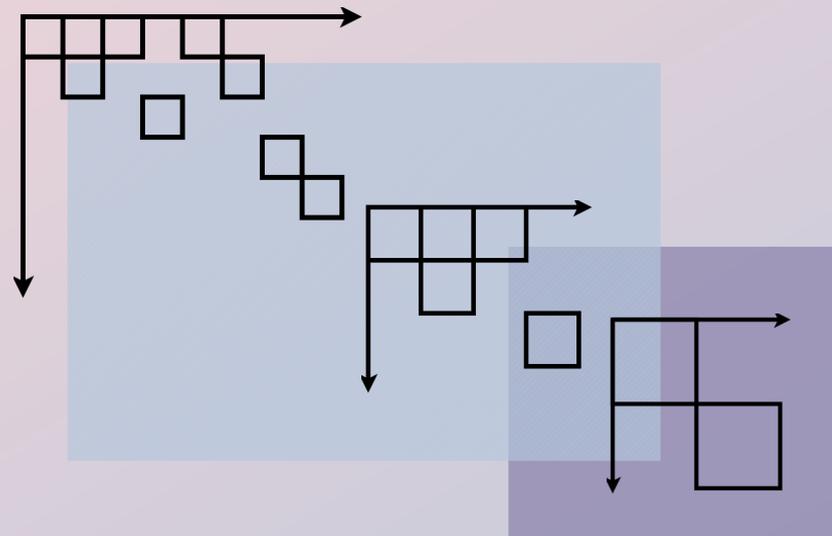
Exemple musical 2

# Oracle Multi-échelle

- **stocke** les matériaux et objets
- **liens** entre différents niveaux
  - hiérarchie
- **mémoire** de l'algorithme
  - accès optimisés
  - phénomènes d'attention



# EXAMPLES







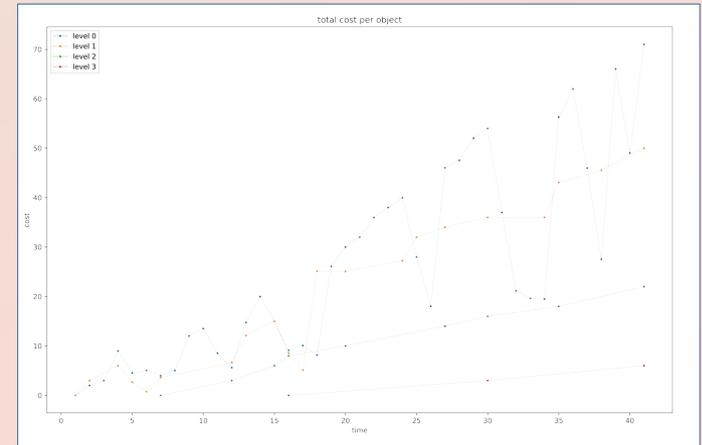
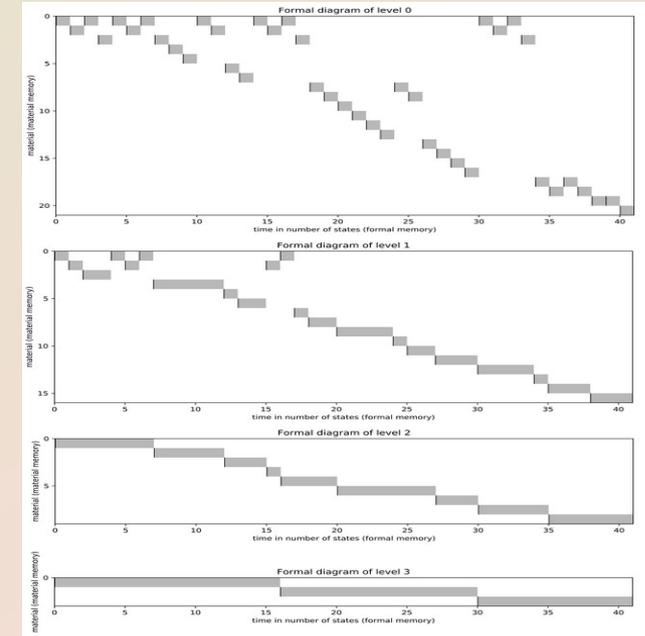
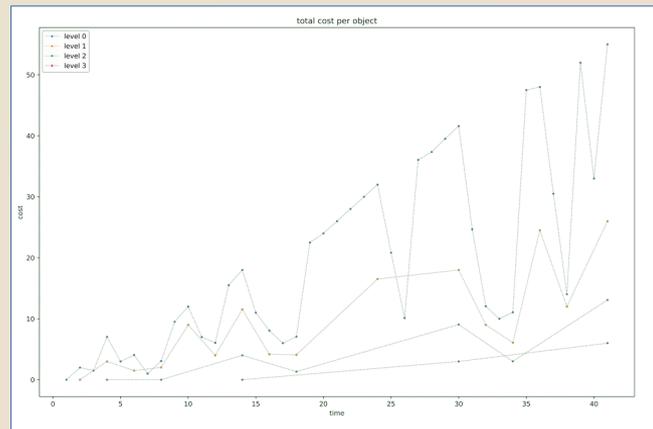
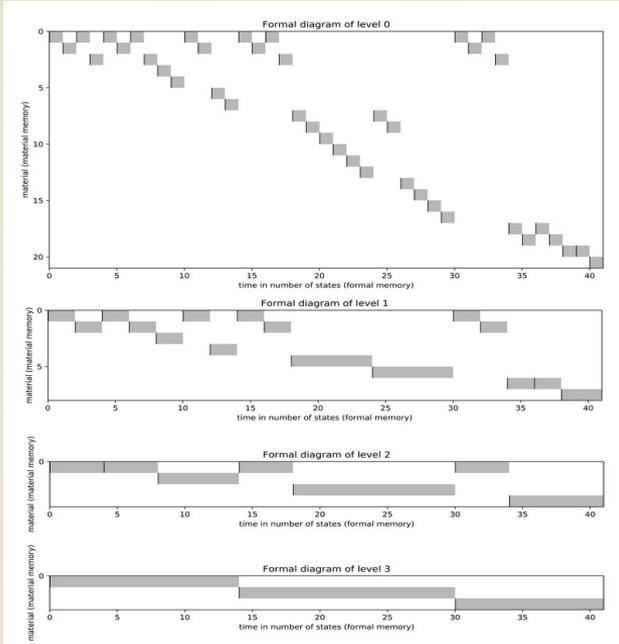


# Complexité

- complexité de Kolmogorov
- comparer à la charge cognitive
- mesurer la pertinence des segmentations

← règles de segmentations choisies

segmentation aléatoire →

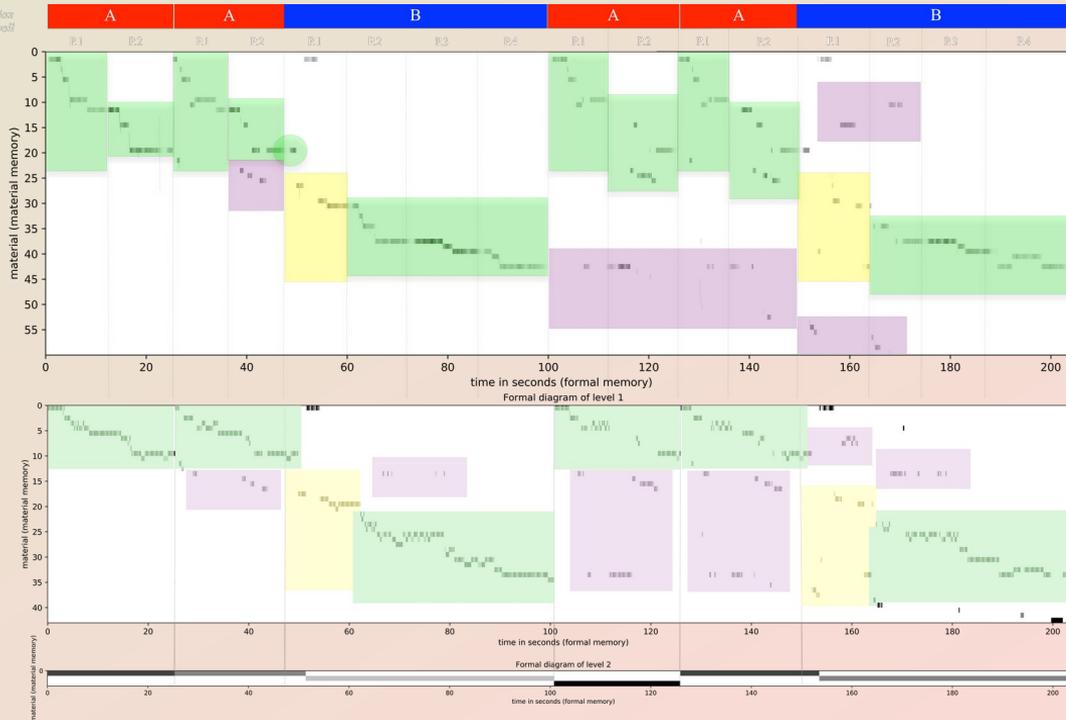


# J-S. Bach

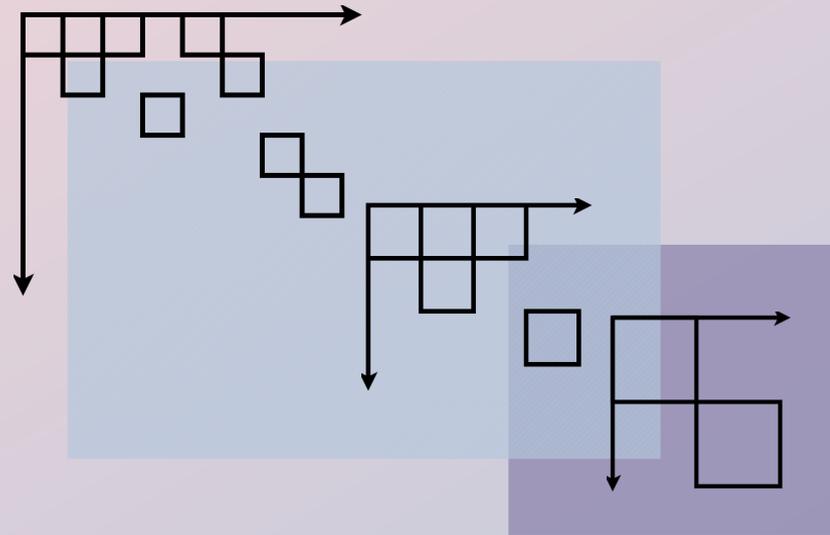
## Choral *O Haunt voll Blunt Wunden*

A								A							
A		A		B				A		A		B			
a	b	a	b	c	d	e	f	a	b	a	b	c	d	e	f

Bach : *Missa-Motette*  
 Choral : *O Haunt voll Blunt Wunden*  
 Steve Nivard



# CONCLUSION



## Contexte

- **Algorithme Cognitif**
- *Conduites types* d'écoute
- Règles paradigmatiques et syntagmatiques
- Diagrammes formels
- Formalisation musicologique
- Visualisation 2D
- Phases cognitives

## Contributions

- **MORFOS 2.0**
- Agenda
- Gestionnaire de règles
- Diagrammes formels multi-échelle et les 3 plans
- Oracle Multi-échelle
- Visualisations 3D et interface
- Calcul de complexité, implémentation des phases expérience cognitive

## Perspectives

- **Rythme, polyphonie, performances**
- Prise en main
- Règles de segmentation similarité morphologique
- Applications
- Factorisation, gestion de l'audio à tous les niveaux
- Expérience et retours utilisateurs
- Résultats à exploiter

## Contexte

- Algorithme Cognitif
- **Conduites types d'écoute**
- Règles paradigmatiques et syntagmatiques
- Diagrammes formels
- Formalisation musicologique
- Visualisation 2D
- Phases cognitives

## Contributions

- MORFOS 2.0
- **Agenda**
- Gestionnaire de règles
- Diagrammes formels multi-échelle et les 3 plans
- Oracle Multi-échelle
- Visualisations 3D et interface
- Calcul de complexité, implémentation des phases expérience cognitive

## Perspectives

- Rythme, polyphonie, performances
- **Prise en main**
- Règles de segmentation similarité morphologique
- Applications
- Factorisation, gestion de l'audio à tous les niveaux
- Expérience et retours utilisateurs
- Résultats à exploiter

## Contexte

- Algorithme Cognitif
- *Conduites types* d'écoute
- **Règles paradigmatiques et syntagmatiques**
- Diagrammes formels
- Formalisation musicologique
- Visualisation 2D
- Phases cognitives

## Contributions

- MORFOS 2.0
- Agenda
- **Gestionnaire de règles**
- Diagrammes formels multi-échelle et les 3 plans
- Oracle Multi-échelle
- Visualisations 3D et interface
- Calcul de complexité, implémentation des phases expérience cognitive

## Perspectives

- Rythme, polyphonie, performances
- Prise en main
- **Règles de segmentation similarité morphologique**
- Applications
- Factorisation, gestion de l'audio à tous les niveaux
- Expérience et retours utilisateurs
- Résultats à exploiter

## Contexte

- Algorithme Cognitif
- *Conduites types* d'écoute
- Règles paradigmatiques et syntagmatiques
- **Diagrammes formels**
- Formalisation musicologique
- Visualisation 2D
- Phases cognitives

## Contributions

- MORFOS 2.0
- Agenda
- Gestionnaire de règles
- **Diagrammes formels multi-échelle et les 3 plans**
- Oracle Multi-échelle
- Visualisations 3D et interface
- Calcul de complexité, implémentation des phases expérience cognitive

## Perspectives

- Rythme, polyphonie, performances
- Prise en main
- Règles de segmentation similarité morphologique
- **Applications**
- Factorisation, gestion de l'audio à tous les niveaux
- Expérience et retours utilisateurs
- Résultats à exploiter

## Contexte

- Algorithme Cognitif
- *Conduites types* d'écoute
- Règles paradigmatiques et syntagmatiques
- Diagrammes formels
- **Formalisation musicologique**
  - Visualisation 2D
  - Phases cognitives

## Contributions

- MORFOS 2.0
- Agenda
- Gestionnaire de règles
- Diagrammes formels multi-échelle et les 3 plans
- **Oracle Multi-échelle**
- Visualisations 3D et interface
- Calcul de complexité, implémentation des phases expérience cognitive

## Perspectives

- Rythme, polyphonie, performances
- Prise en main
- Règles de segmentation similarité morphologique
- Applications
- **Factorisation, gestion de l'audio à tous les niveaux**
- Expérience et retours utilisateurs
- Résultats à exploiter

## Contexte

- Algorithme Cognitif
- *Conduites types* d'écoute
- Règles paradigmatiques et syntagmatiques
- Diagrammes formels
- Formalisation musicologique
- **Visualisation 2D**
- Phases cognitives

## Contributions

- MORFOS 2.0
- Agenda
- Gestionnaire de règles
- Diagrammes formels multi-échelle et les 3 plans
- Oracle Multi-échelle
- **Visualisations 3D et interface**
- Calcul de complexité, implémentation des phases expérience cognitive

## Perspectives

- Rythme, polyphonie, performances
- Prise en main
- Règles de segmentation similarité morphologique
- Applications
- Factorisation, gestion de l'audio à tous les niveaux
- **Expérience et retours utilisateurs**
- Résultats à exploiter

## Contexte

- Algorithme Cognitif
- *Conduites types* d'écoute
- Règles paradigmatiques et syntagmatiques
- Diagrammes formels
- Formalisation musicologique
- Visualisation 2D
- **Phases cognitives**

## Contributions

- MORFOS 2.0
- Agenda
- Gestionnaire de règles
- Diagrammes formels multi-échelle et les 3 plans
- Oracle Multi-échelle
- Visualisations 3D et interface
- **Calcul de complexité, implémentation des phases expérience cognitive**

## Perspectives

- Rythme, polyphonie, performances
- Prise en main
- Règles de segmentation similarité morphologique
- Applications
- Factorisation, gestion de l'audio à tous les niveaux
- Expérience et retours utilisateurs
- **Résultats à exploiter**

# PUBLICATIONS

notes



## Articles dans des conférences évaluées par les pairs

- J. Calandra, J.M. Chouvel, and M. Desainte-Catherine. *Multi-scale oracle and automated representation of formal diagrams based on the cognitive algorithm*. In Int. Conf. On Technologies For Music Notation And Representation - TENOR 2021, 2021.
- J. Calandra, J.M. Chouvel, 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. Chouvel, M. Desainte-Catherine, and E. Michel. *Visualisation of multi-scale formal diagrams for music analysis*. In 2023 International Workshop on Multilayer Music Representation and Processing (MMRP), 2023.

## Posters

- J. Calandra, P. Hanna, P. Legrand, and M. Desainte-Catherine. *Pict2audio : Sound generation by hand-drawn images using convolutional neural networks*. In Linux Audio Conference (LAC), 2020.

Je vous remercie pour votre écoute

