

Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

Combinaison
du temps et
du son

De l'écriture à
l'analyse

Modélisation de la forme et de la structure musicales : de la composition à l'analyse

Myriam Desainte-Catherine

Université de Bordeaux, LaBRI, Bordeaux INP, SCRIME

*Journées d'étude sur l'analyse musicale et la modélisation
informatique des activités cognitives*

Paris Sorbonne - 14 et 15 novembre 2019

Modélisation de la forme et de la structure musicales : de la composition à l'analyse

Questions

- Quelle est la spécificité de la dimension temporelle en musique ?
- Comment combiner le temps et les autres dimensions musicales ?
- Comment structurer le temps ?
- Comment jouer avec le temps ?

Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

Combinaison
du temps et
du son

De l'écriture à
l'analyse

Plan

- 1 Représentation du temps musical
- 2 Combinaison du temps avec les autres dimensions musicales
- 3 Spécificité de la dimension musicale
- 4 Combinaison du temps et du son
- 5 De l'écriture à l'analyse

Représentation du temps musical

Premiers travaux - Music Structures

- Mira Balaban's Music Structures typed functional language
- Starting date.
- Ending date.
- List of musical sub-pieces (possibly empty) and their Occurrence date.

p = $\{-30, 80, [p1, -20], [p2, -5], [p3, 50]\}$

$p1$ = $\{-10, 55, a1, \dots, ak\}$

$p2$ = $\{5, 55, b1, \dots, bk2\}$

$p3$ = $\{0, 30, g1, \dots, gk3\}$

- « *Music Structures : a Temporal Hierarchical Representation for Music* », Mira Balaban, Musikometrika, vol.2 pp1-50, 1989
- « *Time structures : A temporal Ontology based on Interleaving Time and Hierarchy* », 1991
- « *Hierarchy, Time and Inheritance in Music Modelling* », 1992, Mira Balaban

Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

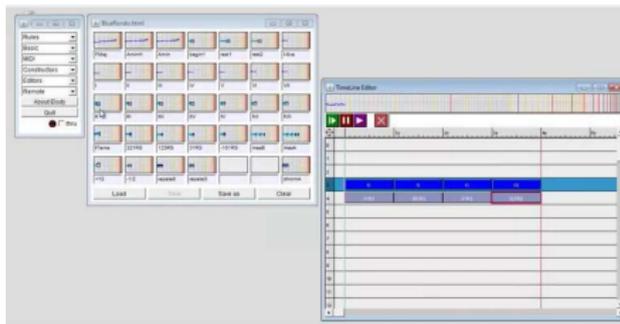
Combinaison
du temps et
du son

De l'écriture à
l'analyse

Représentation du temps musical

Premiers travaux - Composition musicale

- GRAME : ELody – JIM'97 – approche langage
- IRCAM : Patchwork, Open Music (JIM'97)– approche langage fonctionnel, orienté objets et visuel
- SCRIME
 - Édition versus programmation
 - Modèle du temps : hiérarchie temporelle versus pistes
 - Contraintes temporelles versus opérateurs temporels



Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

Combinaison
du temps et
du son

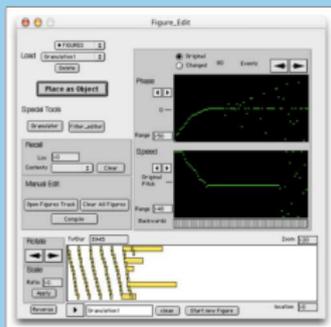
De l'écriture à
l'analyse

Représentation du temps musical

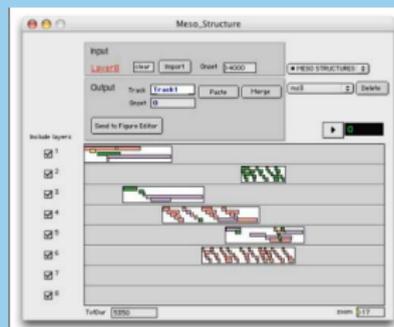
Premiers travaux - Composition musicale

- Musique acousmatique : approche temporelle
- Approche hors pistes et multiéchelle – travail sur la forme

Carlos Cairas « Micromontage in Graphical Sound Editing and Mixing Tool » 2004



Éditeur de figures



Éditeur mésostructures

Représentation du temps musical

Mira Balaban's Music Structures

Structuration au moyen d'opérateurs temporels

Soient $p1$ et $p2$ deux structures musicales.

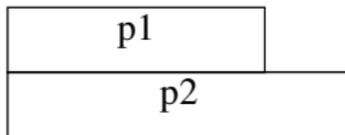
$$p1 = \{s1, c1, o11, o12, \dots, o1n\}$$

$$p2 = \{s2, c2, o21, o22, \dots, o2m\}$$

- *Horizontal concatenation* : $p1 - p2 = \{s,c,[p1,0],[p2,c1]\}$



- *Vertical concatenation* : $p1 \mid p2 = \{s,c,[p1,0],[p2,0]\}$



Les opérateurs lient leurs arguments dans un terme, ainsi la structure temporelle est préservée lors de l'édition d'un des arguments.

Représentation du temps musical

Édition de structures musicales

Représentation avec des opérateurs

{ab5, 1/4} - {g5, 1/4} -
{f5, 1/4} - {g5, 1/4} -
{d5, 1/4} - {eb5, 1/4} -
{b4, 1/4} - {c5, 1/4}



{ab5, 1/4} - {g5, 1/4} -
{f5, 1/4} - {g5, 1/2} -
{d5, 1/4} - {eb5, 1/4} -
{b4, 1/4} - {c5, 1/4}



Représentation en listes

{0, 2, [0, 1/4, ab5], [1/4, 1/4, g5], [1/2, 1/4, f5], [3/4, 1/4, g5], [1, 1/4, d5], [5/4, 1/4, eb5], [3/2, 1/4, b4], [2, 1/4, c5],}

{0, 2, [0, 1/2, ab5], [1/4, 1/4, g5], [1/2, 1/4, f5], [3/4, 1/2, g5], [1, 1/4, d5], [5/4, 1/4, eb5], [3/2, 1/4, b4], [2, 1/4, c5],}



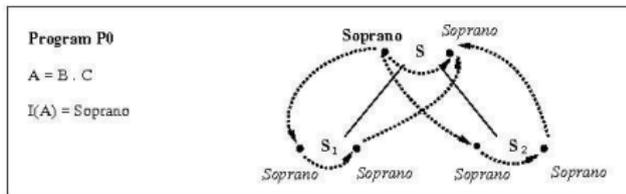
Le résultat de la modification des contenus dépend de la représentation temporelle

Combinaison du temps avec les autres dimensions musicales

Une première approche : grammaires d'opérateurs temporels

- Opérateurs de concaténation et superposition
- Hiérarchies musicales avec règles sémantiques et attributs musicaux
- Spécification : programme équationnel

$$\begin{aligned} S \longrightarrow S.S \quad & \text{if } l_1(S) \text{ is set then } l_2(S) = l_1(S) \\ & l_1(S_1) = l_1(S) \\ & l_1(S_2) = l_1(S) \\ & \text{else } l_2(S) = \{l_2(S_1), l_2(S_2)\} \end{aligned}$$



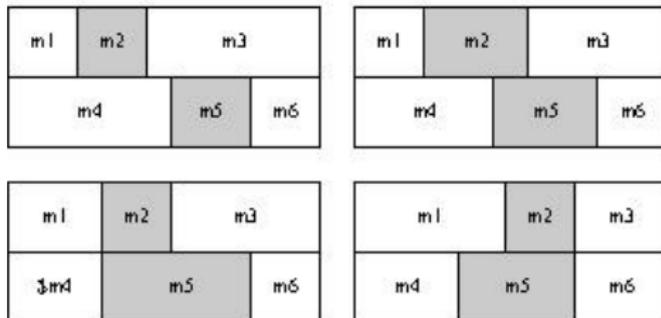
Combinaison du temps avec les autres dimensions musicales

Les opérateurs temporels

- La sémantique des concaténations horizontales et verticales ne peut pas exprimer toutes les relations temporelles possibles.
- Par exemple la relation *overlap*

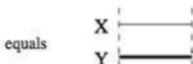
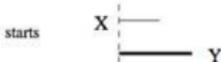
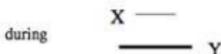
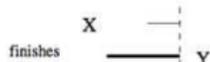
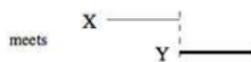
$$(m1 - m2 - m3) \mid (m4 - m5 - m6)$$

- La structure arborescente impose des relations temporelles liées à la structure pour chaque noeud. Dans l'exemple, il est impossible de relier $m2$ et $m5$.



Combinaison du temps avec les autres dimensions musicales

Les relations temporelles



Relations d'intervalles

- Variable de durées : X, Y, Z, \dots
- Relations de Allen :
 - Y meets Z
 - X starts Y
 - ...

Relations de points

- Variables de dates : $x, y, z \dots$
- Inégalités, égalités
 - $x \leq y$
 - $x = z$
 - ...

Combinaison du temps avec les autres dimensions musicales

Gestion de l'incertitude

Modélisation du processus de composition

- Conception incrémentale : bottom-up ou top-down
- Processus de composition : modélisé par l'ensemble des pièces potentielles
- Restriction de l'ensemble des pièces par les choix du compositeur
- Ensemble de pièces représenté par les solutions d'un problème
 - Un ensemble de variables temporelles (dates, durées)
 - Un ensemble de contraintes temporelles (Allen ou points)

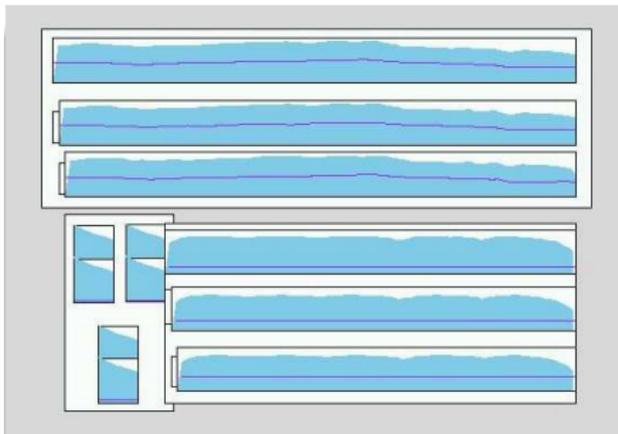
Système d'édition

- Types d'éditions
 - Affectations de variables temporelles
 - Modifications de relations temporelles
- Système d'édition : résolution de contraintes
- Maintenance de la cohérence temporelle : ordre partiel

Combinaison du temps avec les autres dimensions musicales

La solution BOXES

- Objets temporels : variables de date et de durée
- Contraintes temporelles : Allen, relations de durées
- Hiérarchie de boîtes avec contraintes temporelles et sons spectraux
- Cadre multiéchelle pour exprimer les relations entre grandeurs et objets musicaux : hauteurs et volumes



Anthony Beurivé « *Un logiciel de composition musicale combinant un modèle spectral, des structures hiérarchiques et des contraintes*, JIM 2000, Bordeaux

Spécificité de la dimension temporelle

Le métapiano



Jean Haury

- Clavier réduit et partition dans l'ordinateur
- Mélange instrument et partition : mélange de deux paradigmes temporels

Interprétation

- Variations dynamiques, accentuations, articulations, variations agogiques.

Jean Haury, Jean Schmutz « *La Puce à l'Oreille : l'orchestre contre silence* », JIM'98, Lalonde les Maures

Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

Combinaison
du temps et
du son

De l'écriture à
l'analyse

Spécificité de la dimension temporelle

Deux paradigmes du monde opposés

Héraclite

- Fleuve : flot des événements
- Orientation de l'amont vers l'aval
- Dynamique : changements
- Monde sans objets

Parménide

- Flèche orientée du passé vers le futur
- Irréversibilité : chronologie
- Statique : propriétés éternelles
- Monde sans changements

Spécificité de la dimension temporelle

Deux paradigmes du monde opposés

Heraclite – Exécution

- Fleuve : flot des événements
- Orientation de l'amont vers l'aval
- Dynamique : changements
- Monde sans objets

Parmenides – Écriture

- Flèche orientée du passé vers le futur
- Irréversibilité : chronologie
- Statique : propriétés éternelles
- Monde sans changements

Spécificité de la dimension temporelle

La partition musicale

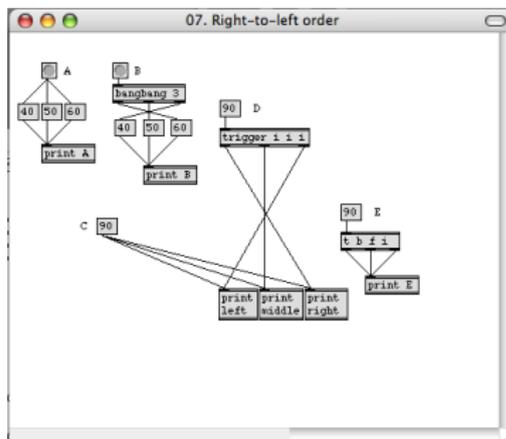
- Paradigme de la flèche (Time-line) : chronologie et relations temporelles
- La partition est statique
- Notation structurant des objets musicaux (notes, mesures, etc.)
- Relations éternelles à respecter lors de l'interprétation

The image shows a musical score for Violino and Viola. The tempo is marked 'All:'. The Violino part starts with a treble clef and a key signature of one sharp (F#). The Viola part starts with an alto clef and the same key signature. The score is in 2/4 time. The Violino part features a complex rhythmic pattern with many sixteenth and thirty-second notes, including a fermata. The Viola part has a more rhythmic accompaniment with eighth and sixteenth notes. Dynamics like 'p' (piano) and 'f' (forte) are indicated throughout the score.

Spécificité de la dimension temporelle

Le patch MAX

- Paradigme du fleuve : calcul de haut en bas
- Chaque objet est plongé dans le fleuve
- Un patch MAX est dynamique
- Basé sur les changements : objets peu structurés



Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

Combinaison
du temps et
du son

De l'écriture à
l'analyse

Spécificité de la dimension temporelle

Structuration du temps musical

Les séries de Mc Taggart

- Série A : être passé, être présent, être futur ;
- Série B : être avant, être pendant, être après ;
- Série C : chronologique

Supports temporels

- Time-flow : série A, événements dynamiques ;
- Time-line : série B, événements statiques ;
- Temps granulaire : série C, tout événement ;

Mc Taggart « *The Unreality of Time* », journal Mind, volume 17, pp 457-474, 1908

Spécificité de la dimension temporelle

Combinaison des paradigmes

Événements	Phase de composition	Phase de performance
Statiques : Série B	Définis par le compositeur sur la time-line	Joués par l'ordinateur dans le time-flow
Dynamiques : Série A	Contraints par le compositeur sur la time-line	Définis par l'interprète Joués par l'interprète
Pièce musicale	Incomplète	Complétée par l'interprète
Modèle des évts	Time-line : Série C Contraintes : Série A - Série B	Time-line + Flot du temps Série A - Série B - Série

Brian Eno « *Unfinished pieces* », Philippe Manoury « *Virtual Pieces* »

Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

Combinaison
du temps et
du son

De l'écriture à
l'analyse

Spécificité de la dimension temporelle

Combinaison des paradigmes

Événements	Phase de composition	Phase de performance
Statiques : Série B Prédictibles	Définis par le compositeur sur la time-line	Joués par l'ordinateur dans le flot du temps
Dynamiques : Série A Non prédictibles	Contraints par le compositeur sur la time-line	Définis par l'interprète Joués par l'interprète
Pièce musicale	Incomplète	Complétée par l'interprète
Modèle des évts	Time-line : Série C Contraintes : Série A - Série B Ordre partiel	Time-line + Flot du temps Série A - Série B - Série B Ordre total

Brian Eno « *Unfinished pieces* », Philippe Manoury « *Virtual Pieces* »

Modélisation de la forme et de la structure musicales : de la composition à l'analyse

Myriam Desainte-Catherine

Représentation du temps musical

Combinaison du temps avec les autres dimensions musicales

Spécificité de la dimension musicale

Combinaison du temps et du son

De l'écriture à l'analyse

Spécificité de la dimension temporelle

Modélisation de l'écriture de l'interaction

Processus de composition

- Modélisé par l'ensemble des pièces potentielles
- Partition musicale : plusieurs interprétations possibles
- Espace de liberté pour le musicien
- Modélisation : problème de résolution de contraintes
- Une interprétation : une solution au problème

Aspects temporels

- Modifications agogiques
- Objets temporels : variables de date et de durée
- Contraintes temporelles : logiques de points, Allen

Modélisation
de la forme et
de la structure
musicales : de
la composition
à l'analyse

Myriam
Desainte-
Catherine

Représentation
du temps
musical

Combinaison
du temps avec
les autres
dimensions
musicales

Spécificité de
la dimension
musicale

Combinaison
du temps et
du son

De l'écriture à
l'analyse

Spécificité de la dimension temporelle

Unfinished pieces



Jean Haury

Partition numérique incomplète

- Contient hauteurs, relations temporelles et volumiques
- Manquent les volumes, les attaques et les durées de notes

Interprétation

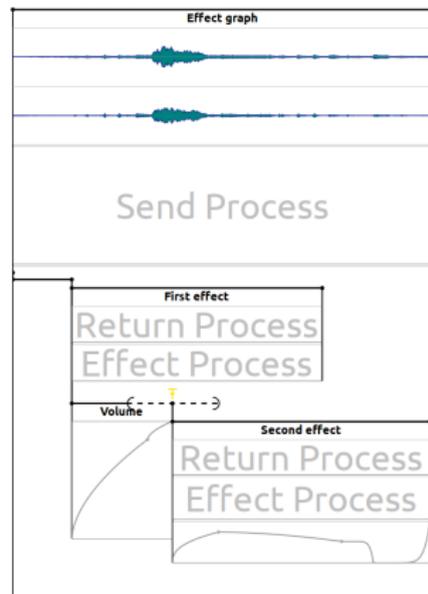
- Variations dynamiques, accentuations, articulations, variations agogiques.

Combinaison du temps et du son

Structuration hiérarchique de scénarios de calculs audio

i-score / LibAudioStream

- LibAudioStream : combinaison de streams
- i-score : Automations, interactivité, micromontage
- Hiérarchie : Groupes de streams audios
- Send and return streams audios
- Scénario audio
 - Sous-scénarios audio
 - Chaîne d'effets
 - Entrée son (input ou fichier)
 - Mixage : matrice de pourcentages



- Jean-Michaël Celerier, Jean-Michel Couturier
- Jean Bresson « *composition assistée par ordinateur : techniques et outils de programmation visuelle pour la création musicale* » HDR UPMC 2017.

Combinaison du temps et du son

Structuration temporelle des calculs audio

Dataflows et graphe temporel

- Organisation des compositions de fonctions dans le temps
- Scénarios temporels de calcul audio
- Composition fonctionnelle synchrone et asynchrone
- Proposition pour combiner
 - La macro-forme temporelle
 - Et le graphe de calcul

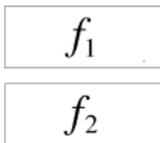
- Jaime Arias, Myriam Desainte-Catherine and Camilo Rueda, « *Modelling Data Processing for Interactive Scores Using Coloured Petri Nets* », in proceedings of the 14th International Conference on Application of Concurrency to System Design (ACSD), June 2014, Tunis (Tunisia).
- Projet ANR INEDIT, IRCAM, Grame, LaBRI – Florent Berthaut
- Jean-Michaël Celerier, Myriam Desainte-Catherine, Jean-Michel Couturier « *Extending dataflows with temporal graphs* », soumis.
- Jean-Marc Chauvel « *Le musicologue et l'algorithme : écoute et traitement de l'information* », Keynote JIM/16, Albi

Combinaison du temps et du son

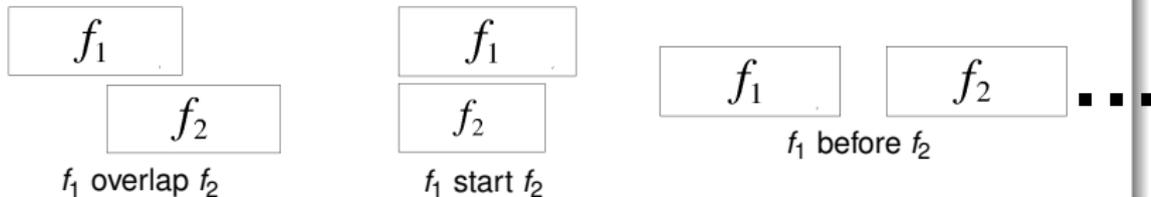
Graphes audios et temporels

Soient f_1 et f_2 deux process audio composés ($f_2 \circ f_1$)

Modèle Dataflow classique : une relation temporelle figée



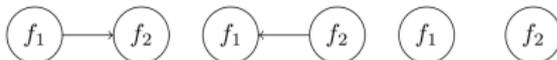
Extension temporelle : toutes les relations de Allen



Combinaison du temps et du son

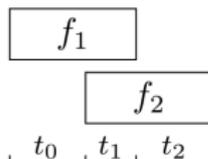
Graphes audios et temporels – Le calcul

Soient f_1 et f_2 deux process audio, dans le modèle étendu tous les graphes audio et toutes les relations de Allen sont exprimables



Exemple

- Soit le graphe audio : $(f_2 \circ f_1)$
- Soit la trace temporelle :

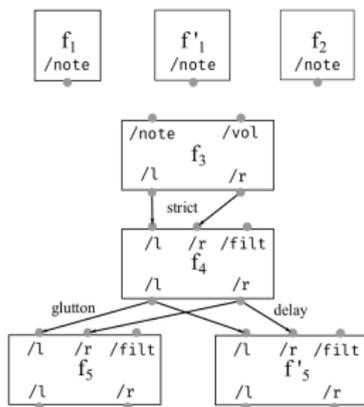


Relations de composition fonctionnelle temporelle

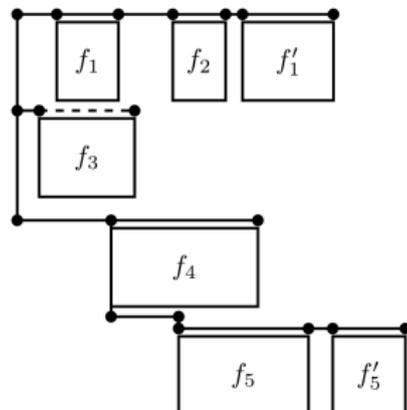
- Stricte : $(f_2 \circ f_1)$ durant t_1
- Gloutonne : f_1 durant t_0 , $(f_2 \circ f_1)$ durant t_1 , f_2 durant t_2
- Retardée : $f_2 \circ (\text{delay } f_1 \ t_0)$ durant t_1 et t_2

Combinaison du temps et du son

Exemple



Graphe audio



Graphe temporel

De l'écriture à l'analyse : problématique

Soit M une pièce musicale sous forme sonore ou une partition. L'objectif est de construire des classes d'équivalence d'objets proches perceptivement à plusieurs niveaux hiérarchiques. $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots\}$ où les a_{ij} sont des *matériaux*.

- Les matériaux ont des types variés : extraits sonores ou projections d'extraits selon une dimension musicale (profil dynamique, mélodique, rythmique, harmonique, timbral). Il y a une hiérarchie par type de matériau.
- Les contenus des feuilles sont des matériaux issus de segments de M (repérés par une date de début et une durée).
- Les contenus des niveaux supérieurs sont obtenus en agrégeant temporellement des matériaux du niveau inférieur.

Questions

- Les matériaux liés à une même dimension musicale peuvent-ils se chevaucher temporellement ?
- L'agrégation de matériaux à un niveau n de la hiérarchie est-elle homogène par rapport au type de matériaux ?
- Quelles relations structurelles sont recherchées ?
- Rôle de la prédiction : réduire le nombre des possibilités attendues
- Gestion de l'incertitude.

De l'écriture à l'analyse : formes temporelles

Soit p un profil et soient $A_1^p, A_2^p, \dots, A_n^p$ les classes d'équivalence obtenues pour ce profil à un niveau donné.

- Les représentants des classes A_i^p sont les lettres d'un alphabet permettant d'écrire la forme de la pièce M comme un mot. La pièce s'écrit donc sous la forme de plusieurs mots, un par type de profil considéré.
- Ces mots sont des **formes temporelles**. L'articulation des lettres et des mots de types différents peut s'exprimer au moyen des relations de Allen : concaténation (meets), liaisons (overlaps), détachés (before), etc.

Questions

- Quelle complexité de régularités faut-il repérer ? Considérons par exemple le motif $a_1 X a_1 X X$ dans le mot :

$$M = a_1 a_2 a_1 a_2 a_2 a_1 a_3 a_1 a_3 a_3$$

De l'écriture à l'analyse : un exemple



- Première mesure : $A_1 = \{a_1, a_2\}$, avec $t(a_1) = 0, t(a_2) = 1$
- Deuxième mesure :
 - Lecture de a_3 : $t(a_3) = 3$ et $a_3 = t_{-7}(a_1)$ – **Lien structurel entre matériaux**
 - Lecture de a_4 : $A_2 = \{a_3, a_4\}$, avec $t(a_3) = 3, t(a_4) = 4$
- Structuration temporelle :
 - $M = a_1 a_1 a_3 a_3$ avec $a_3 = t_{-7}(a_1)$
 - Soit a_1^1 la première occurrence de a_1 dans M (resp. a_1^2 la deuxième)
 - Soit $r(a_1) := (a_1^1 m a_1^2) \vee (a_1^1 o a_1^2) \vee (a_1^1 b a_1^2)$ – **Forme temporelle**
- Ordre supérieur : classe de formes
 - $A' = \{a'_1, a'_3\}$, où $a'_1 = r(a_1), a'_3 = r(a_3)$, avec $t(a'_1) = 0, t(a'_3) = 2, a'_3 = t_{-7}(a'_1)$ – **Lien structurel entre les formes**