

**Formalisation des relations temporelles  
entre  
une partition et une performance musicale  
dans un contexte  
d'accompagnement automatique**

Stratégies de synchronisation et gestion des erreurs

**José Echeveste** - Arshia Cont

Jean-Louis Giavitto - Florent Jacquemard



# Introduction

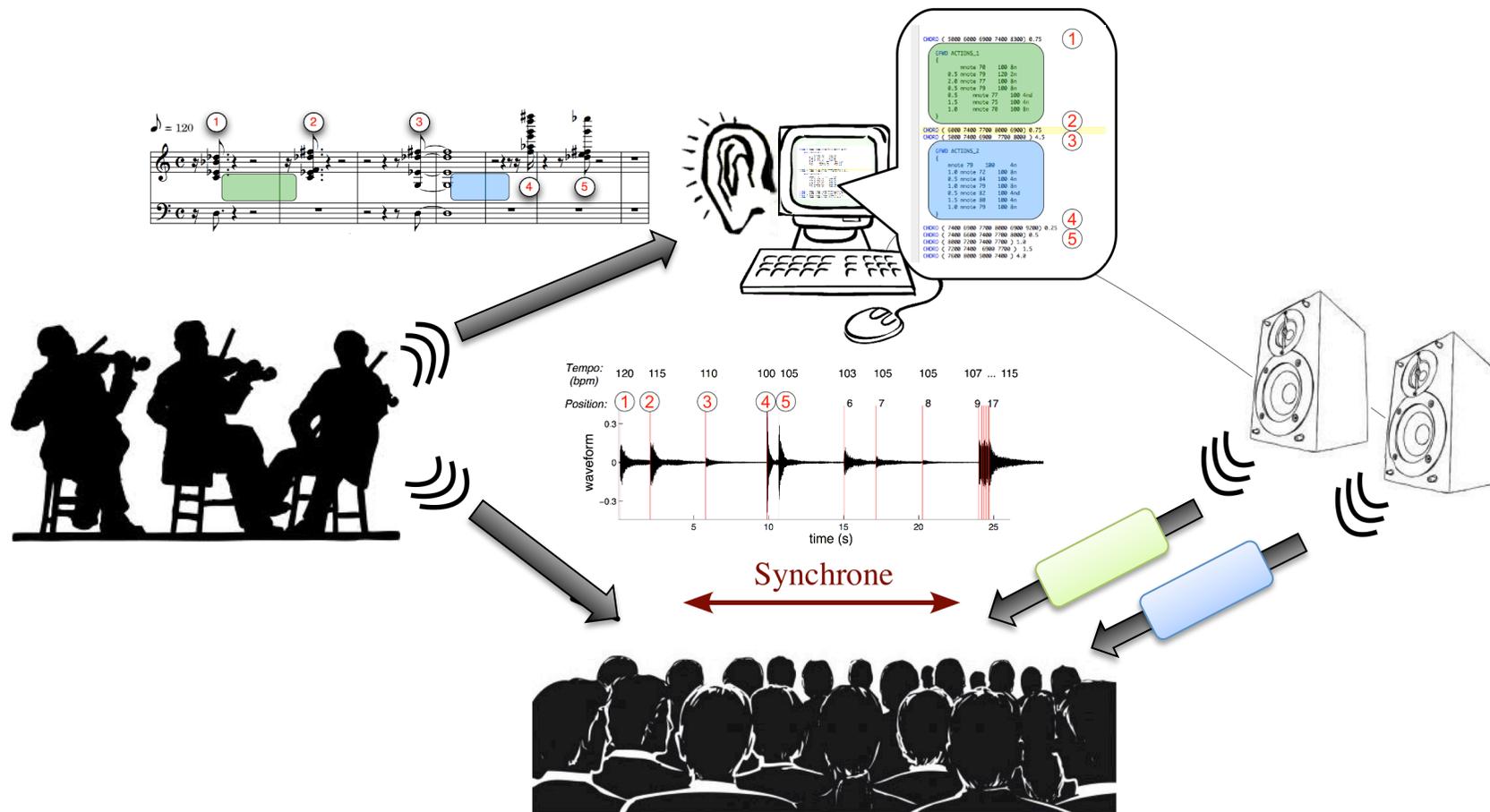
- **Antescofo** : synchroniser un accompagnement musical sur le jeu d'un musicien en temps réel
- Un **langage** pour décrire l'interaction musicien machine
- Gestion particulière de la **temporalité** et des **erreurs** pour que le système réagisse de façon musicale
- **Formalisation** du problème pour raisonner sur une partition et vérifier des propriétés

## **Accompagnement musical automatique adapté à l'interprétation du musicien**

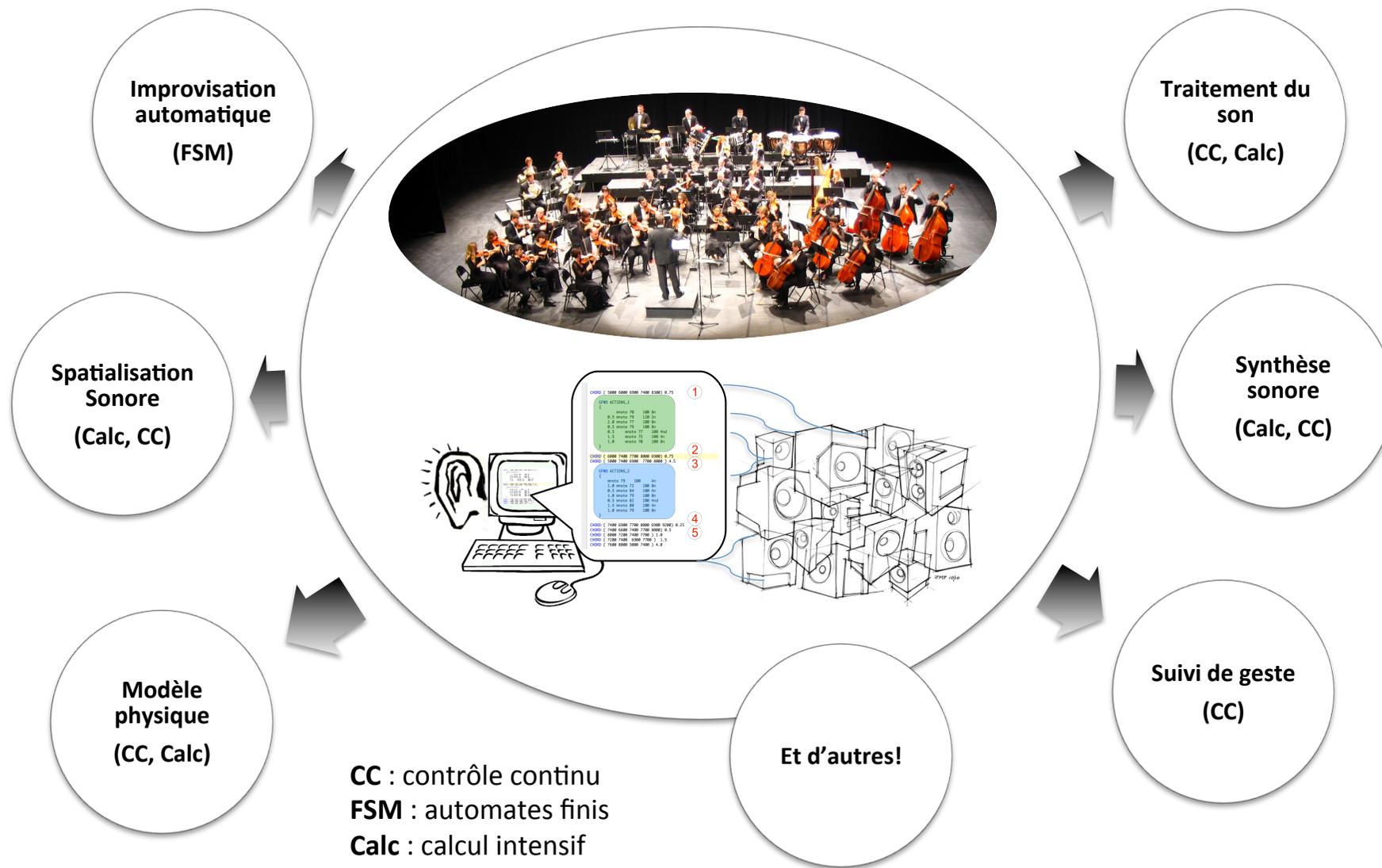
- Vidéo accessible à l'adresse suivante :

[http://www.youtube.com/watch?v=iN9MmiSIBj0&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=iN9MmiSIBj0&feature=player_embedded)

# Principe du suivi de partition pour accompagnement automatique



# Œuvre musicale interactive



# Problématiques de l'interaction musicale temps réel

- Algorithme de reconnaissance

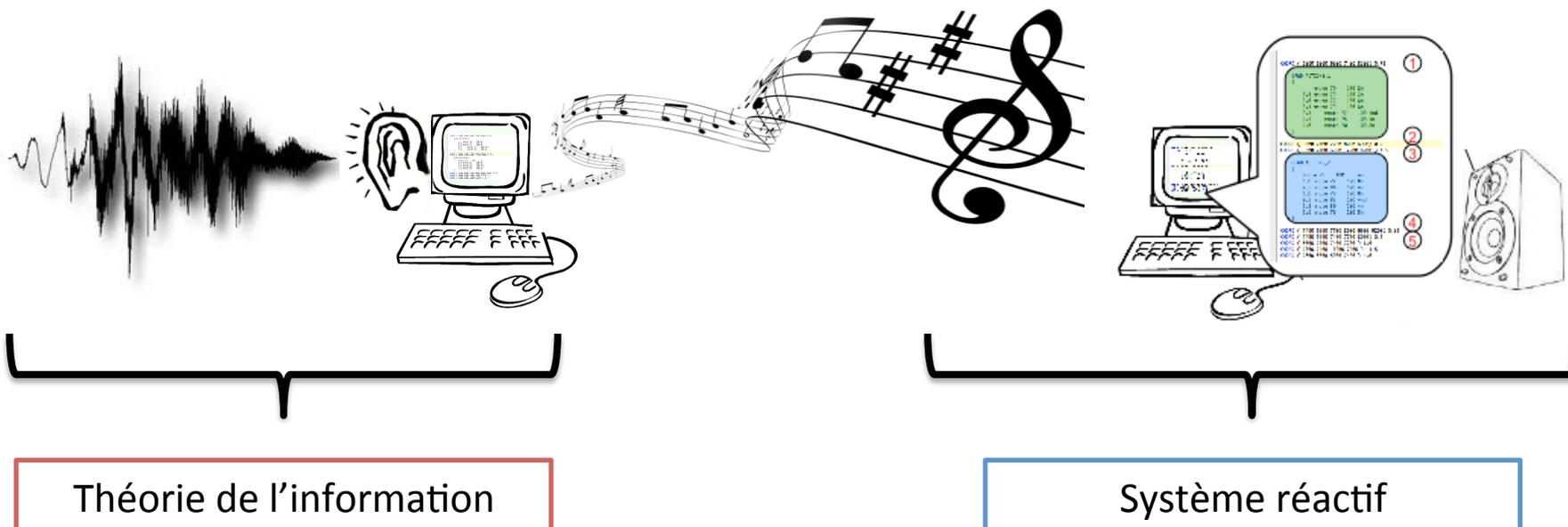
➔ du signal au symbole

Position

Tempo

- **Spécification** de l'interaction  
**Génération** des actions électroniques :

- Écriture de l'**interaction** musicien-machine
- Adaptation au **non déterminisme** dû à l'**interprétation**
- Gestion des **erreurs**

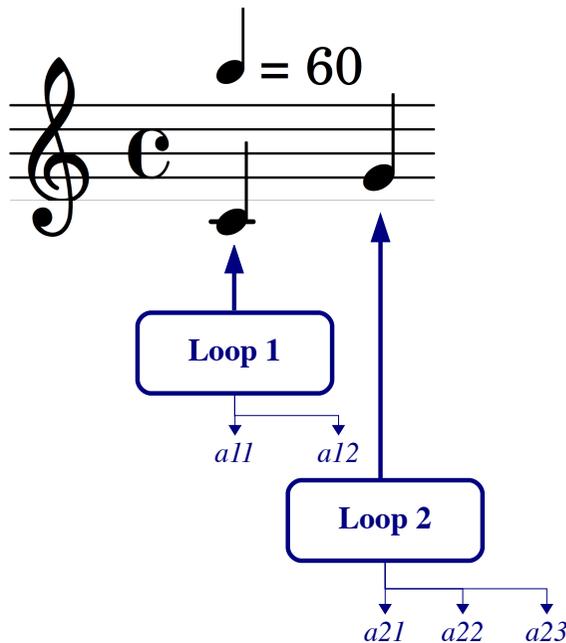


## « Analogie »

<b>Accompagnement musical automatique, écriture de l'interaction musicale</b>	<b>Paradigme synchrone</b>
Partition	Programme
Partition instrumentale	Entrée attendue
Jeu du musicien	Entrée réelle
Partition électronique	Sortie attendue
Accompagnement généré	Sortie réelle
Gestion du temps musical	Contraintes temporelles

# Antescofo : Un langage pour l'écriture de l'interaction Musicien / Machine

- **Évènements** reconnaissables : NOTE, CHORD, TRILL
- **Actions** à exécuter : actions élémentaires (messages), **Groupes d'actions**, **Boucles**
- Durées et délais en **temps** absolu ou **relatif** ( / tempo)



```
BPM 60
NOTE 60 1.0 note1
Loop Loop1 1.0
{ a11
  0.5 a12 }
NOTE 67 1.0 note2
Loop Loop2 1.0
{ a21
  1/3 a22
  1/3 a23 }
```

# Exemple de partition interactive

*energico, affilato*  
♩ = c. 96

pizz. arco

Violin

06.88"

1.000 GFWD  
test1

0.000 GFWD  
Harm

0.250 GFWD  
test2

0.170 slide

10110

click2 bang  
0.5 click2 bang  
0.5 click2 bang  
0.33 click2 bang  
0.5 click2 7 8 color 78 15 29  
click2 bang  
0.33 click2 bang

← Partition instrumentale

Partition électronique  
(actions discrètes)

← Partition électronique  
(actions continues)

# S'adapter à l'interprétation

*energico, affilato*  
♩ = c. 96

Violin

pizz. arco

06.88"

The image shows a musical score for violin in 2/4 time, marked 'energico, affilato' with a tempo of approximately 96 beats per minute. The score includes dynamic markings 'pizz.' and 'arco'. Below the score is a MIDI piano roll with green bars representing notes and a red line for pitch. Annotations include 'test1', 'test2', 'Harm', and 'slide'. A tooltip for 'test2' lists MIDI events: 'click2 bang', '0.5 click2 bang', '0.5 click2 bang', '0.33 click2 bang', '0.5 click2 7 8 color 78 15 29', 'click2 bang', and '0.33 click2 bang'. A large black equals sign is positioned to the right of the piano roll.



## Position courante

Quelle note est jouée?

## Tempo

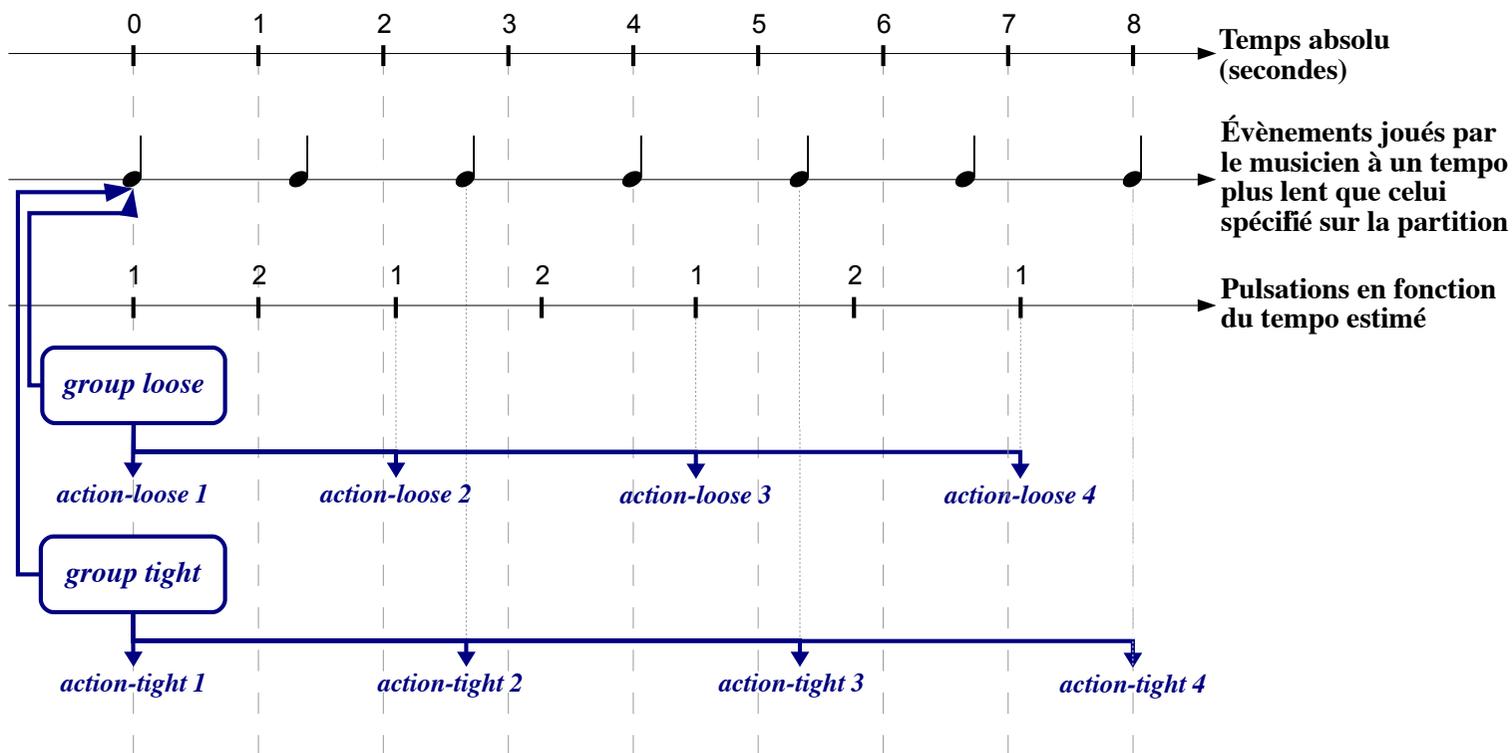
À quelle vitesse sont jouées les notes ?

## Erreurs

Quelle note n'est pas jouée ?

# Stratégies de synchronisation

1. groupe ou boucle **loose** : se synchronise avec le **tempo estimé**
2. groupe ou boucle **tight** : se synchronise avec les **évènements**

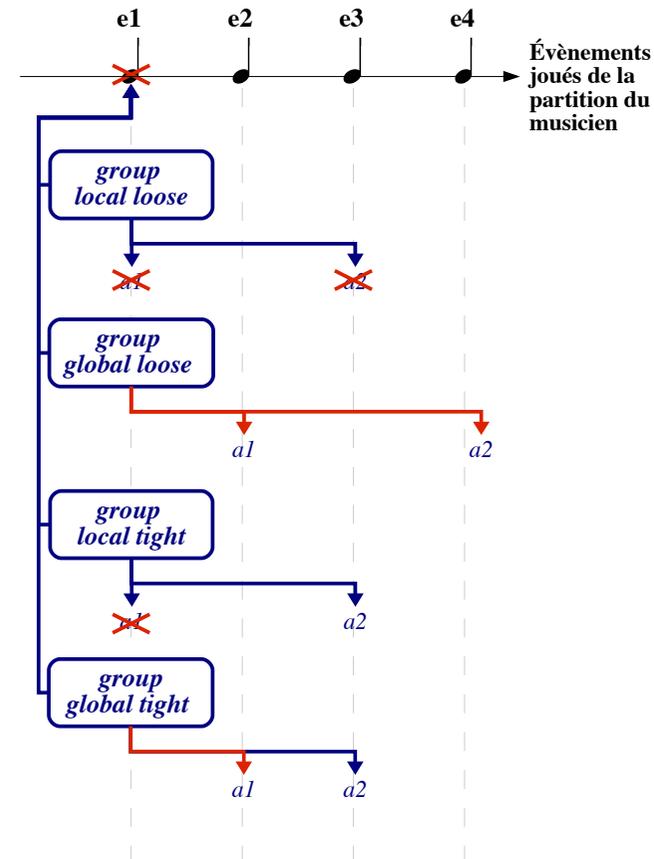


# Gestion des erreurs

- L'idée : une action associée à un événement non reconnu
  1. n'est pas exécutée si elle est **locale**
  2. est exécutée si elle est **globale**.

➔ Stratégies de synchronisation et de rattrapage d'erreurs **orthogonales**.

## 4 comportements possibles pour les blocs d'actions en cas d'erreur



Démo

# Besoin d'une formalisation

- Système **réactif**
- Système **distribué**
- Système **structuré** : groupes et boucles hiérarchiques
- Système **temporisé** (temps relatif)

Pour :

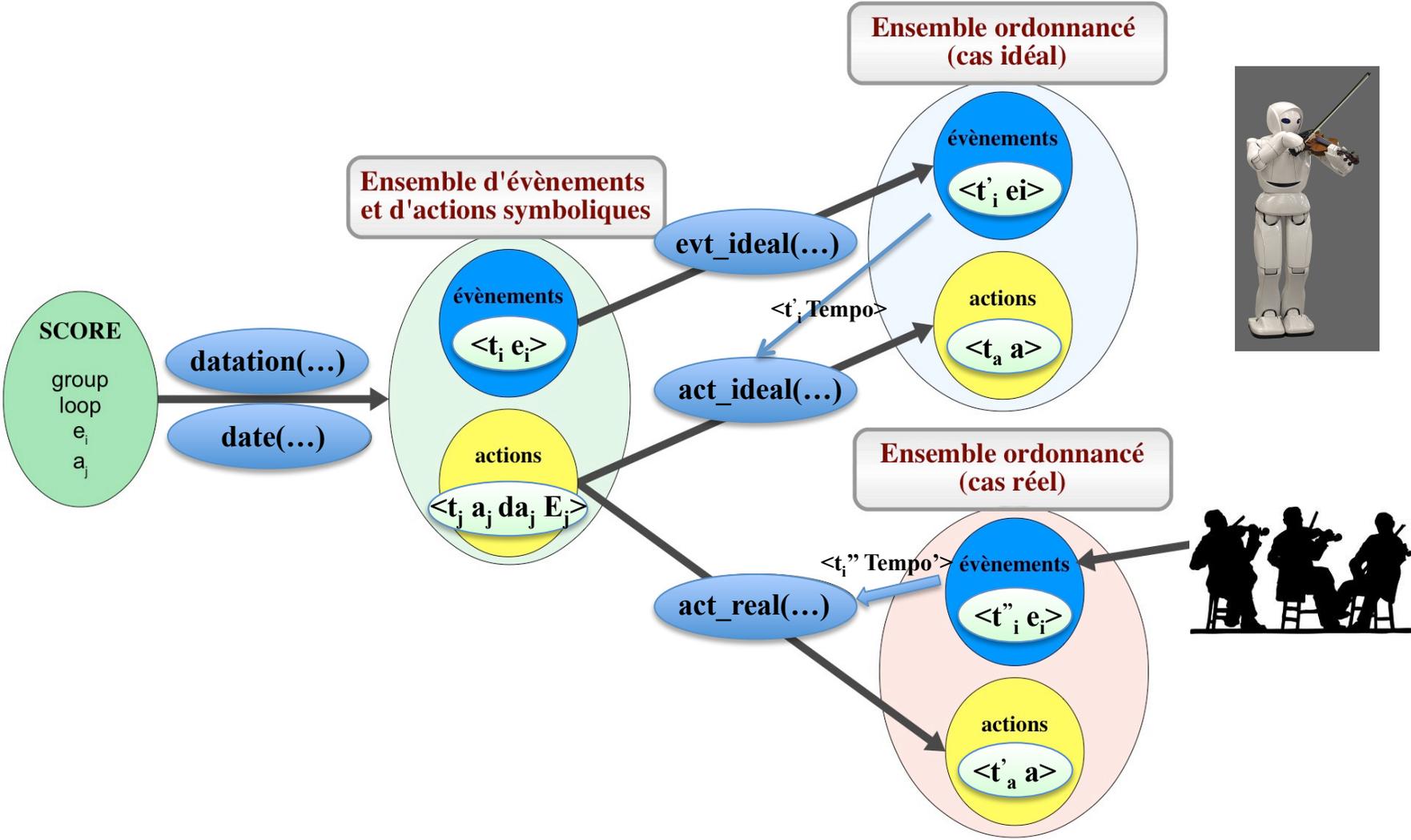
- Définir une sémantique de traces
- Analyser les différentes exécutions possibles
- Vérifier certaines propriétés

## Syntaxe abstraite de la partition augmentée

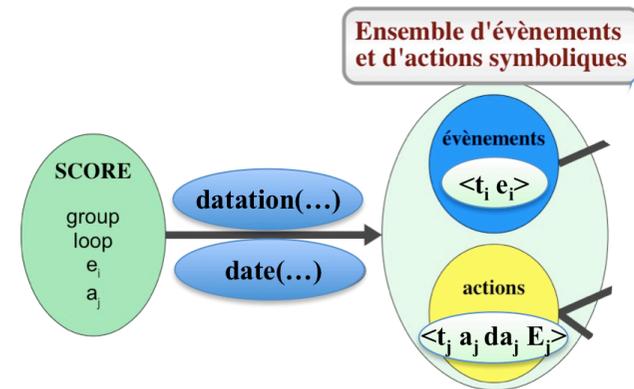
*score* :=  $\varepsilon$  | *event score* | (*d group*) *score* | (*d loop*) *score*  
*event* :=  $e_i$  avec  $e_i \in \mathcal{E}_S$   
*group* := Group *synchro error* (*d action*)<sup>+</sup>  
*loop* := Loop *synchro error p* (*d action*)<sup>+</sup>  
*action* :=  $a$  | *group* | *loop*

*synchro* = loose | tight  
*error* = global | local.

# Datation des évènements et des actions



# Vers une datation symbolique



$$\mathit{datation}[\mathit{score}] = \mathit{datation}_0[\mathit{score}]$$

$$\mathit{datation}_t[\varepsilon] = \emptyset$$

$$\mathit{datation}_t[e_i \mathit{score}] = \{\langle t_i, e_i \rangle\} \cup \mathit{datation}_{t_i}[\mathit{score}]$$

$$\mathit{datation}_t[(d \mathit{group}) \mathit{score}] = \mathit{date}_{(t, \emptyset)}[d \mathit{group}] \cup \mathit{datation}_t[\mathit{score}]$$

$$\mathit{datation}_t[(d \mathit{loop}) \mathit{score}] = \mathit{date}_{(t, \emptyset)}[d \mathit{loop}] \cup \mathit{datation}_t[\mathit{score}]$$

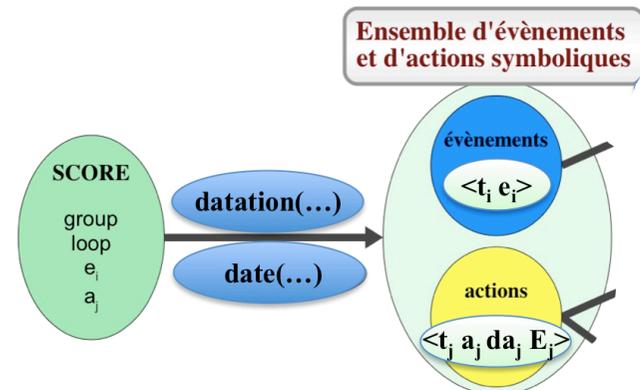
# Vers une datation symbolique II

(exemple pour un Groupe *tight*)

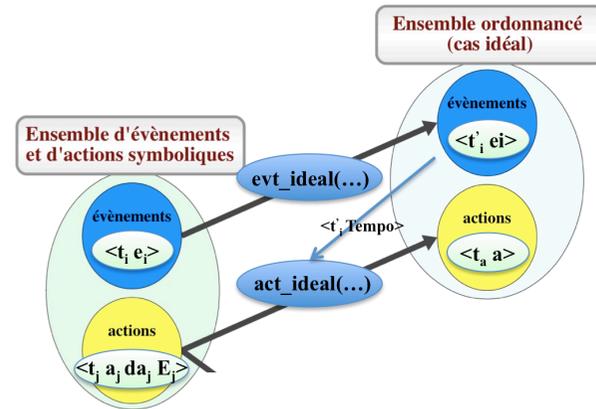
$$\mathbf{date}_{(t_i, E)} \llbracket d_G \text{ G tight } error_G (d_1 \text{ action}_1) \cdots (d_k \text{ action}_k) \rrbracket$$

$$\left\{ \begin{array}{l} = \mathbf{date}_{(t_i, E + \langle e_i, error_G, 0 \rangle)} \llbracket d' \text{ action}_1 \rrbracket \\ \\ \mathbf{U} \mathbf{date}_{((t_i, E))} \llbracket 0 \text{ Group tight } error_G (d'' \text{ action}_2) \cdots (d_k \text{ action}_k) \rrbracket \\ \quad \text{si } (t_i + d_G + d_1) < t_{i+1} \\ \\ = \mathbf{date}_{((t_{i+1}, E))} \llbracket 0 \text{ Group tight } error_G (d''' \text{ action}_1) \cdots (d_k \text{ action}_k) \rrbracket \\ \quad \text{sinon} \end{array} \right.$$

avec  $d' = d_G + d_1$   
 et  $d'' = d_G + d_1 + d_2$   
 et  $d''' = (t_{i+1} - t_i) - d_1 - d_G$



# Datation absolue d'une action élémentaire (exécution idéale)



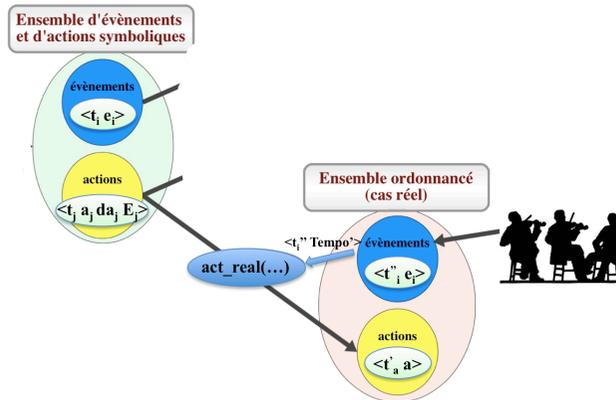
$act\_evali(\langle t_i, a, d, Error \rangle) =$

$$\begin{cases} evt\_evali(t_i) + d * T_i & \text{si } (t_i + d) < t_{i+1} \\ act\_evali(\langle t_{i+1}, a, (d - (t_{i+1} - t_i), Error \rangle) & \text{sinon} \end{cases}$$

# Datation absolue d'une action élémentaire (exécution réelle)

$$act\_evalr(\langle t, a, d_a, Error \rangle) = \begin{cases} \perp & \text{si } \exists \langle e, local, d \rangle \in Error \text{ et } e \in \mathcal{E}_{Err} \\ time\_evalr(t_x, d) \text{ avec } t \prec t_x & \text{sinon si } \exists \langle e, global, d \rangle \in Error \text{ et } e \in \mathcal{E}_{Err} \\ time\_evalr(t_x, d_a) \text{ avec } t \prec t_x & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\text{avec } time\_evalr(t_i, d) = \begin{cases} t'_i + d * T'_i & \text{si } t'_i + d * T'_i < t'_j \text{ avec } t'_i \prec t'_j \\ time\_evalr(t_j, d - \frac{t'_j - t'_i}{T'_i}) & \text{sinon} \end{cases}$$



# Conclusion

- **Antescofo** : Langage adopté par les compositeurs
  - Écriture du temps
  - Écriture de l'interaction
- **Spécificité** : s'adapter à l'interprétation du musicien
  - Tempo (temps relatif)
  - Erreurs
- **Perspectives**
  - Augmenter le langage de la partition (variables)
  - Analyse de partition
  - Utiliser des techniques de validation formelles pour établir des propriétés de l'œuvre désirables pour le compositeur/instrumentiste



Vid eo accessible   l'adresse suivante :

[http://www.youtube.com/watch?v=HSab\\_znc\\_y8&feature=player\\_embedded](http://www.youtube.com/watch?v=HSab_znc_y8&feature=player_embedded)

<http://repmus.ircam.fr/Antescofo/>