

# Soutenance

## Apprentissage par renforcement pour l'improvisation musicale automatique

INRIA

Rémi Decelle

22 Septembre 2017

*Encadrants :*

**Emmanuel VINCENT**  
**Ken DEGUERNE**

# Introduction

**1950** : Début Création Assistée par Ordinateur (CAO)

Simple création  $\neq$  Improvisation avec des musiciens

Improvisation  $\rightarrow$

- Contexte**
- + **Interaction**
- + **Temps réel**
- + **Simultanéité**


*Possible de créer un agent numérique capable d'improviser ?*

# Introduction

3


Projet ANR DYCI2 : IHM pour l'improvisation

## MOTIVATIONS

Comportement Humain  Improvisation + Interactif + Cohérent  
Musique  Même comportement + Simultané

## AGENT

**OMax n'apprend qu'à partir des données fournies**

Encore des **erreurs**  fausses notes

***Est-il possible que l'agent détecte ses fausses notes ?  
Si oui, peut-il apprendre à ne plus les commettre ?***

# Plan

## Introduction

- I. Etat de l'art : *OMax*
  - A. Paradigme *OMax*
  - B. Oracle des facteurs
- II. Quelques notions
  - A. La fausse note
  - B. Réseau de neurones
- III. Modèles
  - A. Représentation d'une note
  - B. L'apprentissage
- IV. Résultats

## Conclusion

# I. Etat de l'art : *O*Max

## Introduction

### I. Etat de l'art : *O*Max

#### A. Paradigme *O*Max

#### B. Oracle des facteurs

### II. Quelques notions

#### A. La fausse note

#### B. Réseau de neurones

### III. Modèles

#### A. Représentation d'une note

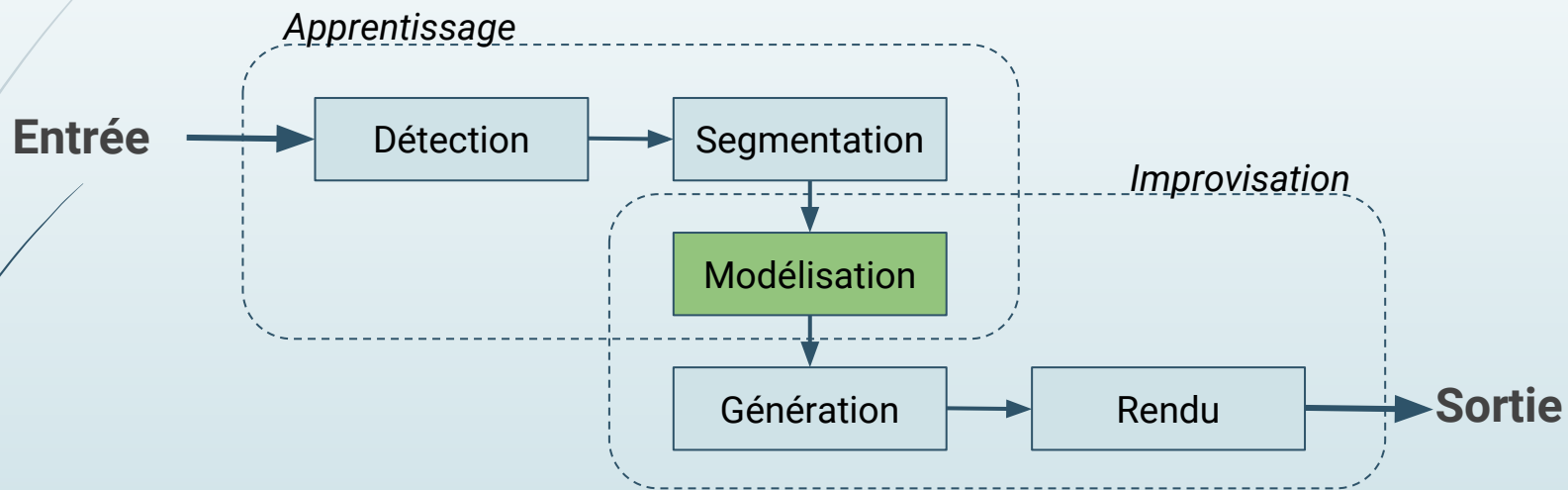
#### B. L'apprentissage

### IV. Résultats

## Conclusion

# I.A Paradigme OMax

## Architecture générale



**Entrée** : Scène sonore / mélodie des musiciens

**Sortie** : Une improvisation

# I.B Oracle des facteurs

## Oracle des facteurs

**Automate** qui reconnaît **au moins tous** les **facteurs** d'un **mot**

### Composition d'une langue

Symboles

Do, Ré, Mi, Fa, Sol, La, Si

### Alphabet

Ensemble des symboles

{Do; Ré; Mi; Fa; Sol; La; Si}

### Mot

Suite de lettres

DoDoDoRéMi

### Facteur

Partie d'un mot

DoRé / DoRéMi / DoDo

# I.B Oracle des facteurs

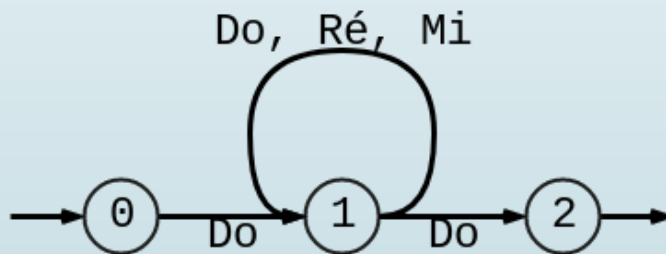
## Automate

### Composition

Alphabet, États, États initiaux, États finaux

Transitions : Possibilité d'aller d'un état vers un autre

### Exemple





## I.B Oracle des facteurs

### Propriétés

Déterministe : Transitions de chaque état sont uniques

Linéaire : Pour  $n$  notes, il faut  $n$  étapes et  $n+1$  états

Homogène : Chaque transition vers un état possède la même lettre

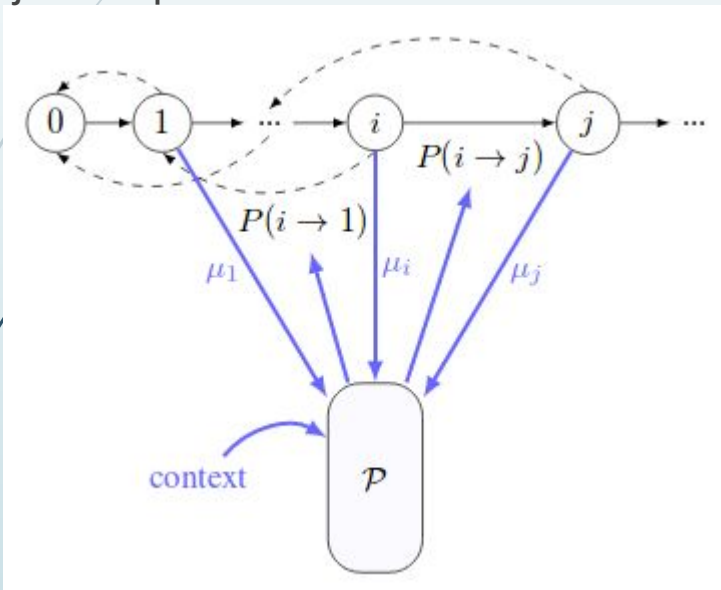
*En ligne* : Ajout d'un état rapide et simple

↳ **Temps réel**

# I.B Oracle des facteurs

## Modèle probabiliste

Ajout de probabilités sur les transitions



Calcul probabilité :

- Modèle  $P(M_t | X_{1:t})$
- Division en sous-modèles
- Interpolation

En pratique 2 sous-modèles :

- $P(M_t | M_{t-1})$  Bigramme Note-Note
- $P(M_t | C_t)$  Bigramme Note-Harmonie

## II. Quelques notions

### Introduction

- I. Etat de l'art : *OMax*
  - A. Paradigme *OMax*
  - B. Oracle des facteurs

### **II. Quelques notions**

#### **A. La fausse note**

#### **B. Réseau de neurones**

### III. Modèles

- A. Représentation d'une note
- B. L'apprentissage

### IV. Résultats

### Conclusion

## II.A La fausse note

### Notion de fausse note

Note fausse si **éloignée** de son **contexte**

### Contexte

Mélodie + Harmonie + Rythme

### Eloignement

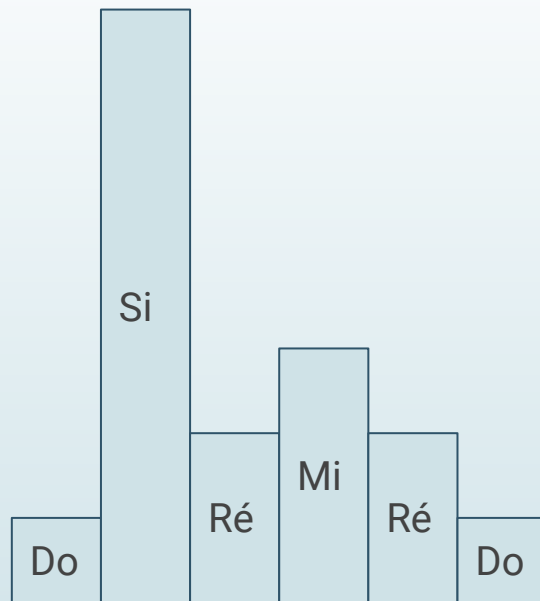
Une note **qui se démarque** de la distribution des données

**Aucune théorie musicale possible !**

## II.A La fausse note



Mélodie originale



Mélodie modifiée

Si se démarque = une fausse note ?

## II.A La fausse note

### Hauteurs

Do-Ré-Mi-Fa-Sol-La-Si

### Altérations possibles

dièse # et bémol ♭

12 notes

+ **Silence**

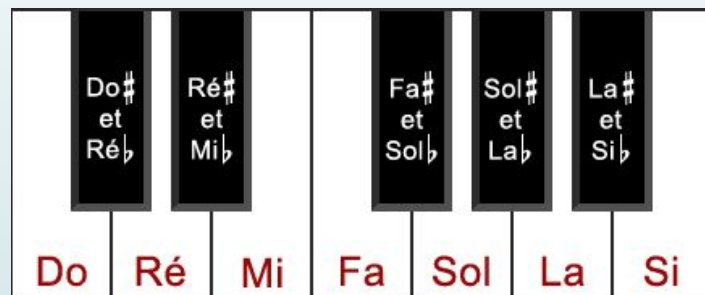
13 notes distinctes

### Harmonie

Ensemble de notes jouées simultanément

*Exemple* : Accord de Do Majeur = Do + Mi + Sol

### Convention



## II.A La fausse note

### Le rythme à travers un exemple

Note	Durée <i>Usuelle</i>
Noire	1
Croche	1/2
Triolet (Croche)	1/3
Double Croche	1/4

Note	Durée en tatum
Noire	12
Croche	6
Triolet	4
Double Croche	3

### Time QuAntUM

Plus petite division pour exprimer l'intégralité des rythmes **dans un morceau**

## II.B Réseau de neurones

### Objectif

Détecter les fausses notes dans une séquence de notes

### Données en entrée

Une séquence de notes

### En Sortie

Deux sorties :

1. Représente la probabilité qu'il y ait une fausse note
2. Représente la probabilité qu'il n'y ait pas de fausses notes



## II.B Réseau de neurones

**Qu'est-ce qu'un neurone ?** Une unité de calcul

**Besoins : Entrée du neurone**

- Entrées :  $x$
- Poids :  $w$
- Biais :  $b$
- Fonction d'activation :  $f$

**Calcul : Sortie du neurone**

$$y = f(xw^T + b)$$

**Apprentissage : fonction d'erreur**

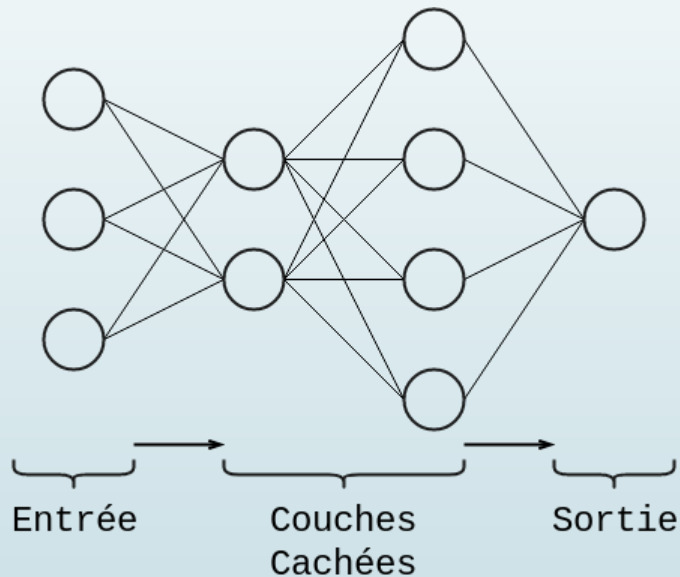
$$E(y_{\text{attendue}}, y_{\text{réelle}})$$

**Rétropropagation : Méthode d'apprentissage**

## II.B Réseau de neurones

### Réseau de neurones

Ensemble de neurones construit par couche



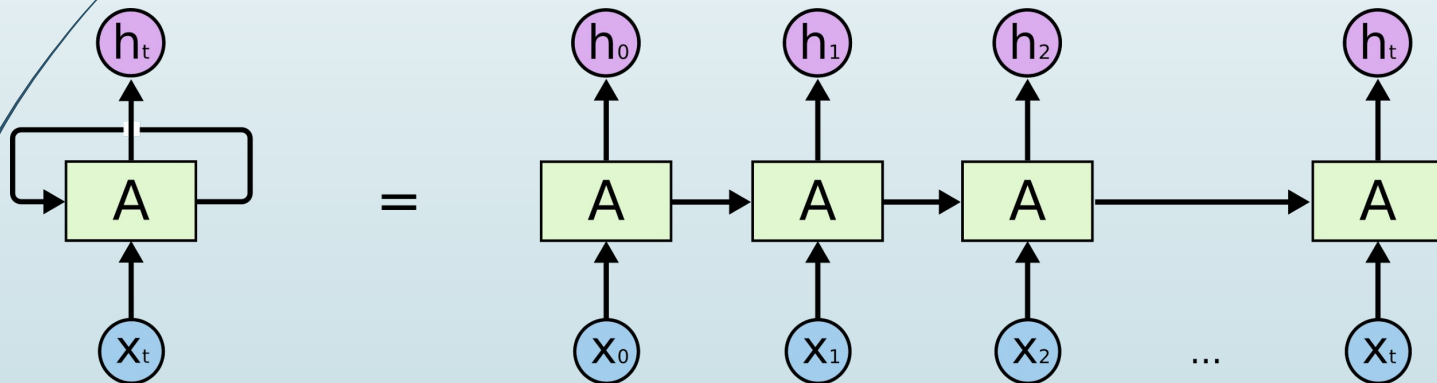
## II.B Réseau de neurones

Mélodie / Musique → Notion de temps

**Comment représenter ce « temps » ?**

Réseau de neurones récurrent

Un en particulier : Long short term memory (LSTM)



# III. Modèles

## Introduction

- I. Etat de l'art : *OMax*
  - A. Paradigme *OMax*
  - B. Oracle des facteurs

- II. Quelques notions
  - A. La fausse note
  - B. Réseau de neurones

### **III. Modèles**

- A. Représentation d'une note**
- B. L'apprentissage**

- IV. Résultats

## Conclusion

# III.A Représentation d'une note

Note : **Hauteur** + **Octave** + **Rythme** + **Harmonie**

Encodage de la **hauteur** (one-hot)

<b>Do</b>	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Do#</b>	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Ré</b>	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tous les vecteurs sont à la **même distance** des autres vecteurs

Encodage **octave** (limite à 5 octaves)

Idem

## III.A Représentation d'une note

### Encodage du Rythme

#### Problème

Tatum différents à chaque morceau

#### Solution

Fixer une valeur de tatum

#### Comment ?

Trouver la valeur pour exprimer un ensemble de rythmes donnés (rythmes usuels)

#### Valeur

60 tatum pour une noire

Encodage avec **vecteur de taille 60**

## III.A Représentation d'une note

### Encodage du Rythme

#### Problème

Que faire des valeurs supérieurs à ce seuil ?

#### Solution

Décomposer ces rythmes en rythmes plus petits

#### Encodage One-hot

Uniquement l'attaque de la note dans un temps

- 1<sup>er</sup> indice* - *début d'un temps*
- 30<sup>e</sup> indice* - *milieu d'un temps*
- 59<sup>e</sup> indice* - *fin d'un temps*

# III.A Représentation d'une note

## Encodage de l'harmonie

### Problème

Comment encoder plusieurs notes ?

### Solution

Un vecteur représentant toutes les notes jouées

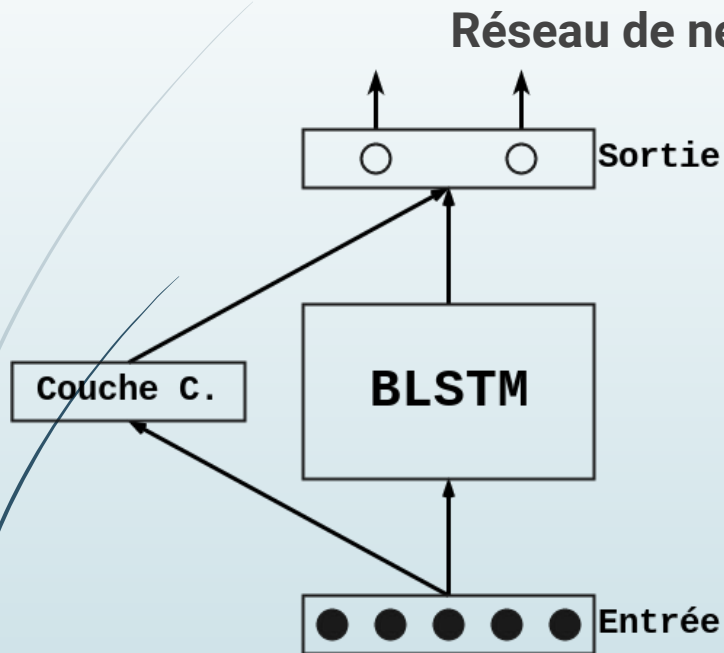
### Exemple d'encodage

Do Mi Sol

<b>Do</b>	Do#	Ré	Ré#	<b>Mi</b>	Fa	Fa#	<b>Sol</b>	Sol#	La	La#	Si
<b>1</b>	0	0	0	<b>1</b>	0	0	<b>1</b>	0	0	0	0



## III.B L'apprentissage



**Entrée**  
Séquence de **10** notes

**Sortie**  
Deux neurones

**BLSTM**  
Bidirectionnel LSTM  
instant **0** → instant **t**  
+ instant **t** → instant **0**

# IV. Résultats

## Introduction

- I. Etat de l'art : *OMax*
  - A. Paradigme *OMax*
  - B. Oracle de facteurs
- II. Quelques notions
  - A. La fausse note
  - B. L'apprentissage automatique
- III. Modèles
  - A. Détection de fausse note
  - B. Renforcement de l'oracle

## **IV. Résultats**

## Conclusion

# IV. Résultats

## Jeu de données

Obtenu par extraction de mélodies

**400** morceaux styles **variés**

**225347** notes

Modification **d'une** note dans la séquence

## Critères d'évaluation

**2 classes** : il y a une fausse note, il n'y en a pas

**Précision** - Pourcentage de réussite parmi les prédictions

**Rappel** - Pourcentage de réussite parmi les valeurs réelles

## IV. Résultats

Résultats obtenus Mardi 19-09-2017		Valeurs Prédites	
		Fausse note	RAS
Valeurs Réelles	Fausse note	1672	888
	RAS	889	1671

<b>Précision</b> (Fausse note)	65,29%
<b>Rappel</b> (Fausse note)	65,31%
Spécificité	65,27%
VPP	65,30%
F-Score	0,6529

# IV. Résultats

## Analyse des résultats

- **Mieux** que le hasard (50% de précision et de rappel)
- **Moins bien** que valeur maximum : 90% de précision

## Discussion

- **Supposé** que les mélodies sont **pertinentes**
- **Taille** du jeu de données **limités**
- **Représentation** des notes et **réseau de neurones**  
Prouvé leur **efficacité**
- **Aucune comparaison** avec une oreille humaine

# IV. Résultats

## Perspective

- **Jeu de données** avec des **morceaux issus de l'oracle**
- **Transposer** : **augmenter** la taille du jeu de données
- **Comparer** avec une **oreille** humaine
  
- **Mise en place** du renforcement

### *Première Approche*

1. Lister **toutes** les séquences **possibles** depuis un état
2. Les **évaluer** et en choisir **une** avec une **bonne qualité**

### **Problème**

Optimisation et non renforcement / apprentissage

### *Deuxième Approche*

**Aucune connaissance** du jeu des musiciens

**Estimer** le jeu **potentiel** des musiciens

# Conclusion

31

Voir **cet outil** comme un **nouvel instrument**

**Une solution** pour la détection de fausse note a été proposée  
LSTM ouvre la voie  
Modèle **plus performant** attendu

**Découverte** du monde de la **recherche**  
Problématique **informatique** et **musique** (improvisation)  
**Appréhension** du contexte et **réflexion** sur des écrits **scientifiques**