

Matthias Robine

matthias.robine@labri.fr

Maître de Conférences à l'Université de Bordeaux 1
LaBRI, Docteur en informatique musicale



COMMENT LA MUSIQUE EST DEVENUE NUMÉRIQUE

Histoire, principes et applications de
l'informatique musicale

COMMENT LA MUSIQUE EST DEVENUE NUMÉRIQUE

- I. Histoire de l'informatique musicale
- II. L'identité du son numérique
- III. Quelques applications actuelles

I. HISTOIRE DE L'INFORMATIQUE MUSICALE

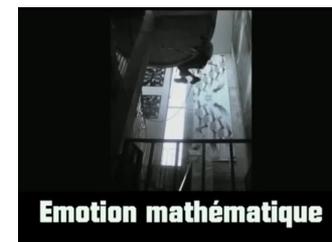
1. Musique et Science
2. 1950 : Contexte musical
3. 1957 : La révolution numérique
4. Recherche et création musicale
5. Le domaine aujourd'hui

MUSIQUE ET SCIENCE

- Depuis toujours...
- Dans l'antiquité : Aristoxène, Pythagore
- 1850 : Premier programme
 - Ada Lovelace, règles d'harmonies pour la machine de C. Babbage
- 1875 : Premier enregistrement
 - L'**objet** sonore
- Avancées techniques
 - Mécanique
 - Téléphonie
 - Radio

1950 : LE CONTEXTE MUSICAL

- De nombreux courants artistiques
 - Notamment en France : Pierre Schaeffer, Pierre Boulez, Iannis Xenakis, Pierre Barbaud, Jean-Claude Risset, Edgard Varese (USA), ...
- Technologies : téléphone (voix, signal électrique), radio (bandes, enregistrements), ordinateur (calculs)
 - Radio : Musique concrète, objet sonore
 - Ordinateur : Composition musicale assistée
 - 1956 : *The Illiac Suite for String Quartet*, L.Hiller et L. Issacson
 - Exemple en France : René Louis Baron
musique algorithmique



1957 : LA RÉVOLUTION NUMÉRIQUE

○ Le son numérique

- Pulsed Code Modulation + Théorie de l'information
- Max V. Mathews, Bell Laboratories
- Logiciel *Music*



Max V. Mathews

○ 1957 : Premières compositions

🔊 « The Silver Scale », Newman Guttman

○ 1961 : Premier chant synthétique

- « Daisy Bell »

par un ordinateur IBM 704 (7094)



1967 : LA SYNTHÈSE FM

- Technique radio
- Fréquences porteuse et modulante proches
- Son complexe avec peu de calculs
- John Chowning, CCRMA Stanford
- Publication dans le journal de l'AES en 1973
- Synthétiseur Yamaha DX7 en 1983



John Chowning

RECHERCHE ET CRÉATION MUSICALE

- 1958 : GRM - Groupe de Recherches Musicales : *P. Schaeffer*, musique concrète, ORTF
- 1966 : EMAMu - Equipe de Mathématiques et Automatique Musicale
I. Xenakis, ordinateur pour la synthèse sonore
- 1968-70 : CIRM (Paris) / GMEM (Marseille) / GMEB (Bourges)
- 1974 : IRCAM - Institut de Recherche et Coordination Acoustique/
Musique : *P. Boulez*
- 1975 (USA) : CCRMA - Center for Computer Research in Music and
Acoustics : *J. Chowning*
- ACROE (Grenoble, 1976), GRAME (Lyon, 1982), SCRIME (Bordeaux,
1996), ...

LE DOMAINE AUJOURD'HUI

○ Conférence internationale ISMIR

International Society for Music Information Retrieval Conference

Topics – not limited to the following :

content-based querying and **retrieval** / database systems, indexing, and query / **fingerprinting** and digital rights management / music transcription and **annotation** / music **signal processing** / score following and audio alignment / optical music recognition / **melody** and motives / **rhythm**, beat, tempo, and form / **harmony**, chords, and tonality / **timbre**, instrumentation and voice / performance analysis / modification and transformation of music data / computational **musicology** / music perception and cognition / emotion and aesthetics / applications of MIR to the **performing arts** and multimedia / automatic classification / genre, style, and mood analysis / similarity metrics / music summarization / user interfaces and user models / music recommendation and **playlist generation** / text and web mining / knowledge representation, social tags, and metadata / **libraries**, archives and digital collections / evaluation and annotation issues / methodological and philosophical issues / social, legal, ethical, and business issues / applications to **non-Western music**

LES CENTRES DE RECHERCHE ET DE FORMATION EN FRANCE

- **ACROE** : Association pour la Création et la Recherche sur les Outils d'Expression, Grenoble
- **CICM** : Centre de recherche en Informatique et Création Musicale (CICM), Université Paris VIII
- **CIRM** : Centre International de Recherche Musicale, Nice, France
- **GRAME** : Centre National de Création Musicale, Lyon
- **IRCAM** : **Institut de Recherche et Coordination Acoustique/Musique Paris**
- **IRISA – Metiss** : Modélisation et expérimentation pour le traitement des informations et des signaux sonores, Rennes
- **IRIT – Samova** : Structuration, Analyse et **MO**délisation de documents Vidéo et Audio, Toulouse
- **LAM** : Laboratoire d'Acoustique Musicale, Paris
- **LABRI – IS** : **Recherche et création en informatique musicale, Bordeaux**
- **SONY CSL** : Sony Computer Science Laboratory, Paris
- **LMA-IM** : Equipe Informatique Musicale du Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique (CNRS), Marseille
- **Télécom ParisTech** : Traitement du Signal et des Images, Paris

COMMENT LA MUSIQUE EST DEVENUE NUMÉRIQUE

- I. Histoire de l'informatique musicale
- II. L'identité du son numérique
- III. Quelques applications actuelles

II. L'IDENTITÉ DU SON... NUMÉRIQUE

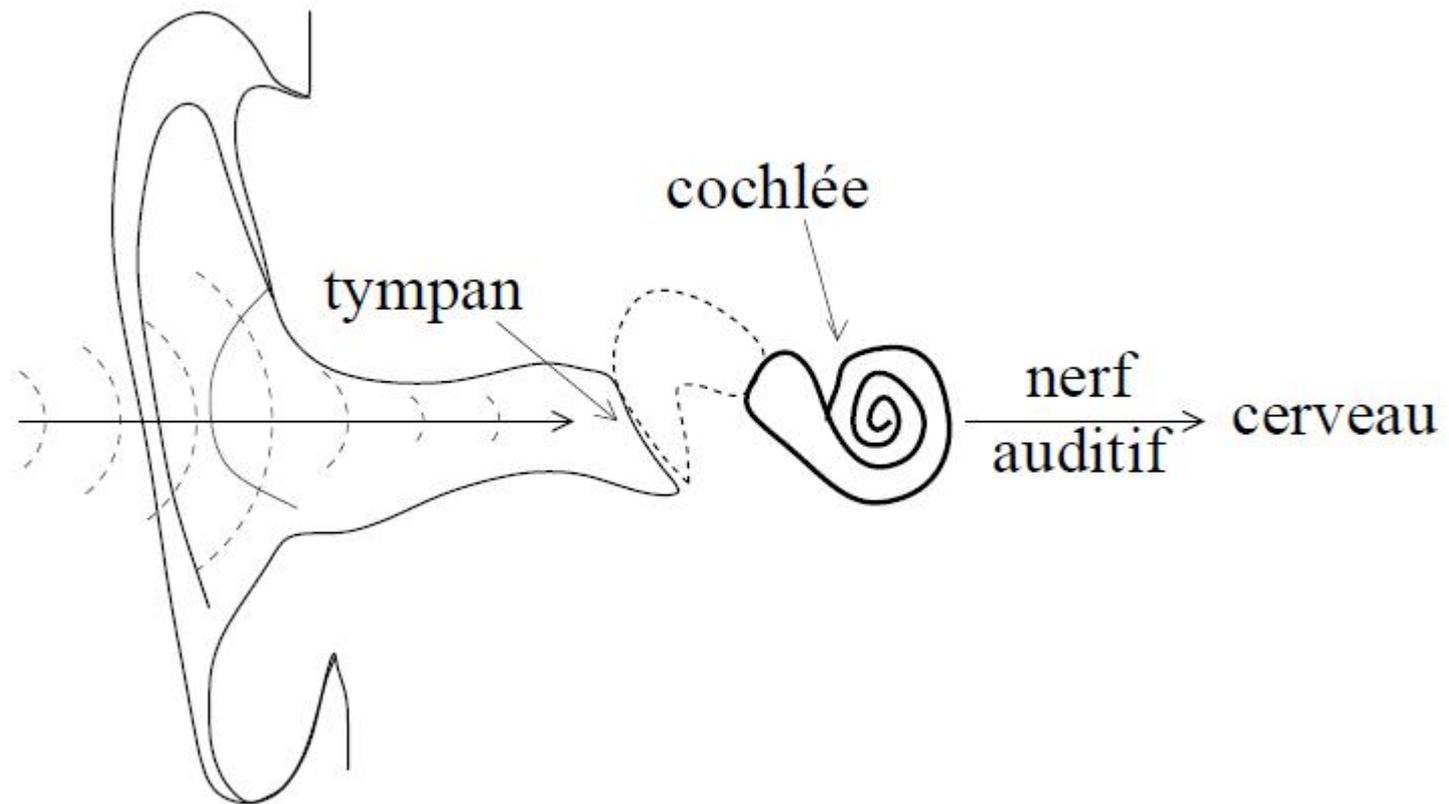
1. De l'onde sonore au son numérique
2. Paramètres du son et Analyse
3. Transformations / Effets
4. Synthèse sonore

ONDE SONORE

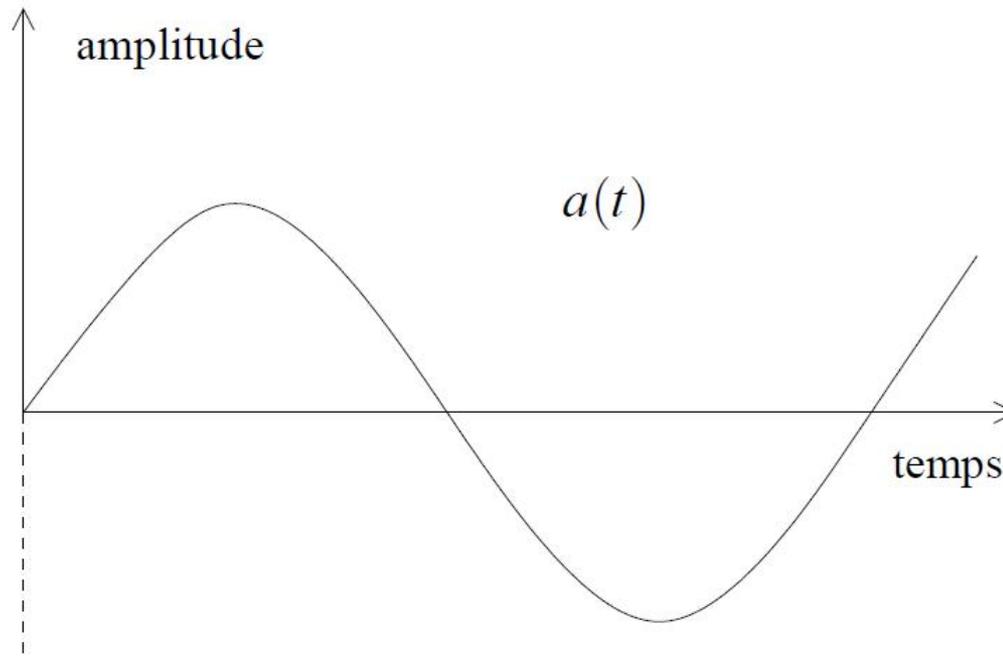
- Vibration mécanique d'un support
- Dépressions (variations de pression) d'air se propageant dans l'espace
 - Oreilles sensibles à ces variations
 - Pas de sons dans le vide

« *Dans l'espace, personne ne vous entend crier* » Alien, 1979.
« *Il n'y a pas d'air sur la lune, donc pas de son* » Tintin, 1954.

PERCEPTION



REPRÉSENTATION TEMPORELLE



$a(t)$: amplitude de l'onde en fonction du temps

- Périodicité (hauteur)
- Amplitude maximale (volume)
- Forme d'onde (timbre)

REPRÉSENTATION INFORMATIQUE

- Nombres binaires
- Espace mémoire fini
- Chaîne de traitement du son :
 - Signal analogique -> électrique : microphone
 - Conversion électrique -> numérique
 - Traitements du son numérique
 - Conversion numérique -> électrique
 - Signal électrique -> analogique : haut-parleurs

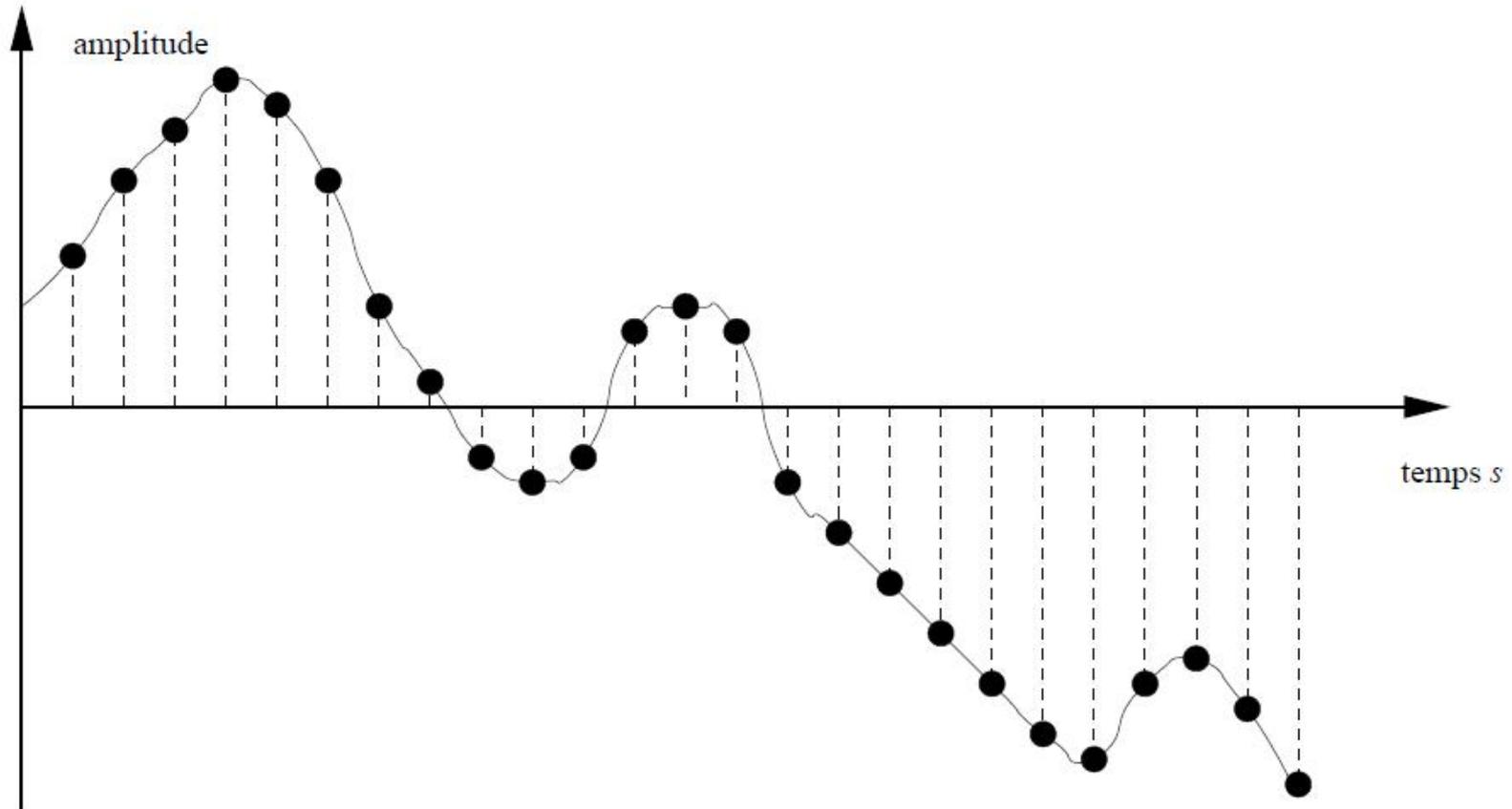
NUMÉRISATION DU SON

- Au format PCM (1957)
- Echantillonnage : discrétisation du temps
 - Contraintes perceptives
 - Théorie de l'information
- Quantification : discrétisation des amplitudes
- (Représentation en machine : formats)
- (Compression)

ECHANTILLONNAGE

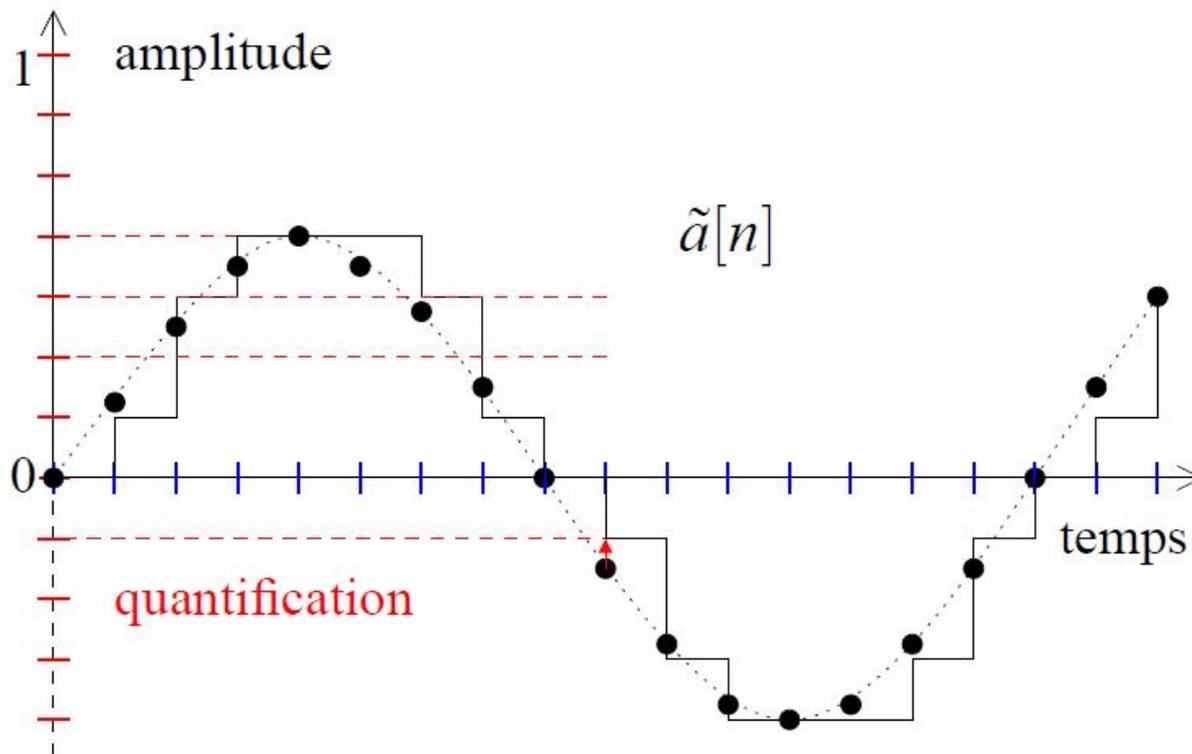
- Passage d'un signal à temps continu vers une suite de valeurs
- Mesures des valeurs d'amplitude à intervalles réguliers : échantillonnage uniforme
- La fréquence d'échantillonnage (nombre d'échantillons par seconde) se choisit en fonction de l'information à encoder et de la perception
- CD : FE = 44100 Hz

ECHANTILLONNAGE

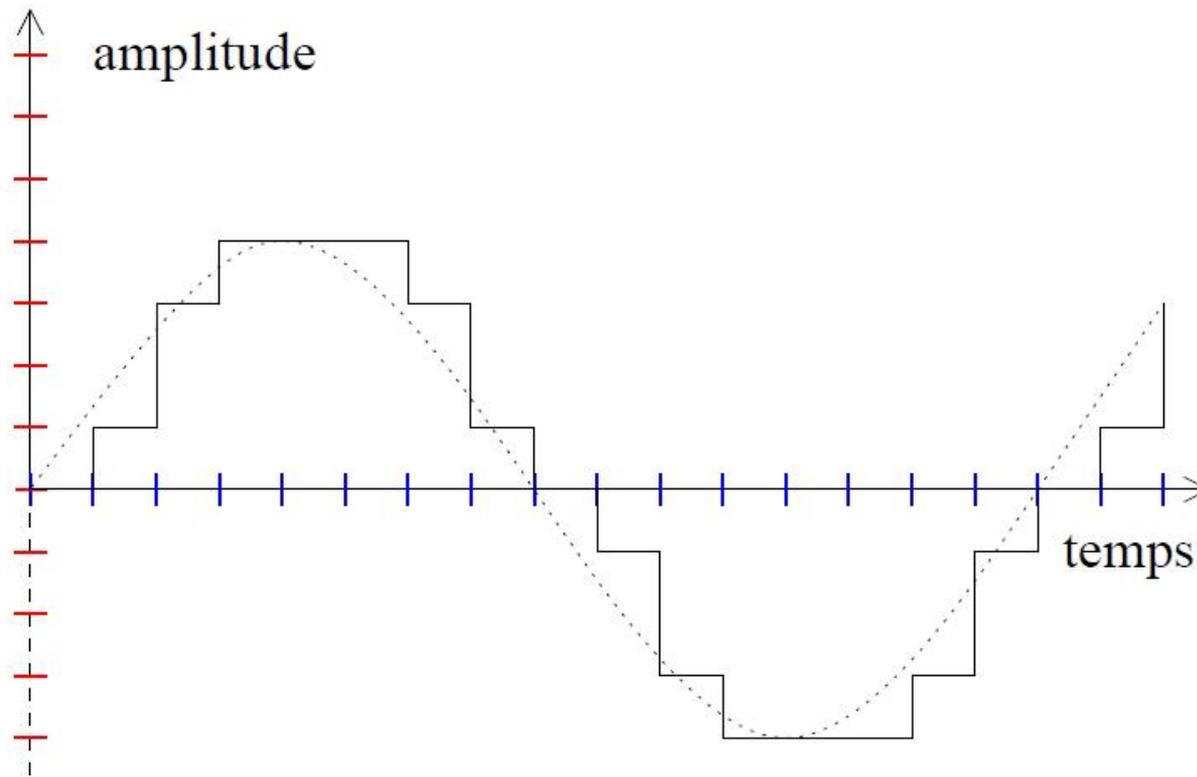


QUANTIFICATION

- Discrétisation des amplitudes
- La précision est fonction du nombre de bits utilisé pour coder les valeurs d'amplitude



SON NUMÉRIQUE



discrétisation (numérisation) =
échantillonnage + quantification

[0, 1, 3, 4, 4, 4, 3, 1, 0, -1, -3, -4, -4, -4, -3, -1, 0, 1, 3]

2. ANALYSE

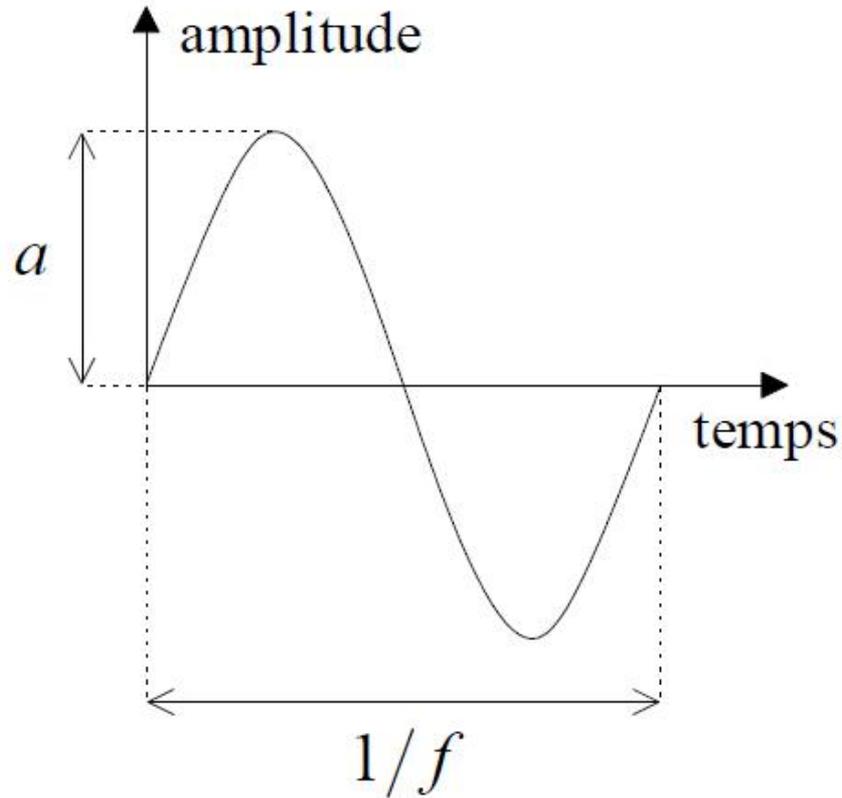
- Paramètres physiques
 - Amplitude
 - Fréquence
 - Durée
 - Forme d'onde
- Paramètres perceptifs
 - Volume
 - Hauteur
 - Timbre
- Paramètres psycho-acoustiques
 - Illusions de J.C. Risset



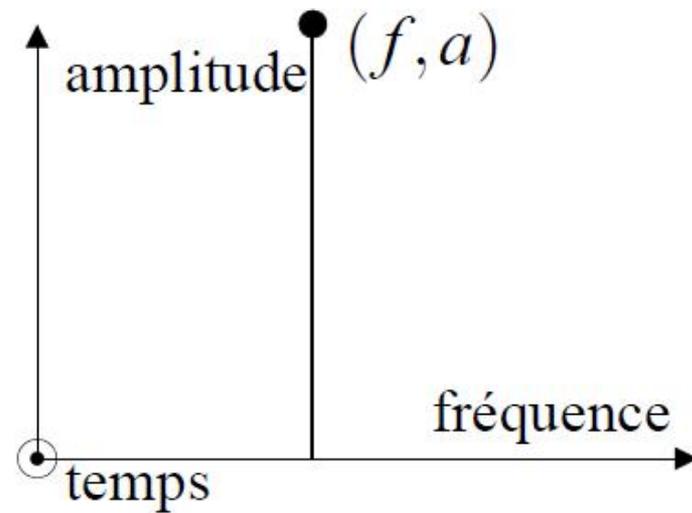
REPRÉSENTATION FRÉQUENTIELLE

- Analyse des fréquences élémentaires présentes dans le son
- Transformée de Fourier
- Conditions théoriques non respectées :
 - Support discret
 - Support fini
 - Non stationnaire

REPRÉSENTATION FRÉQUENTIELLE

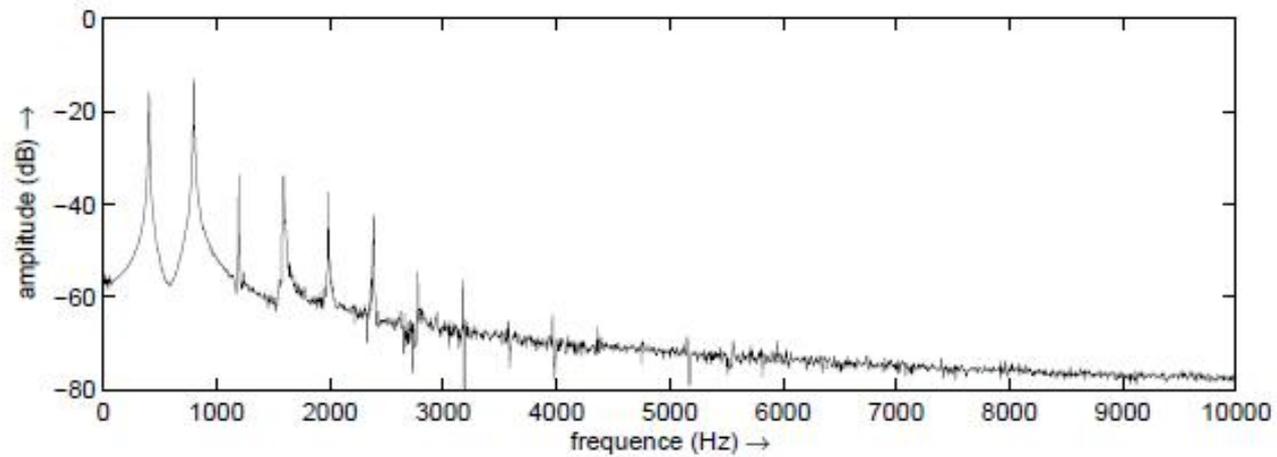
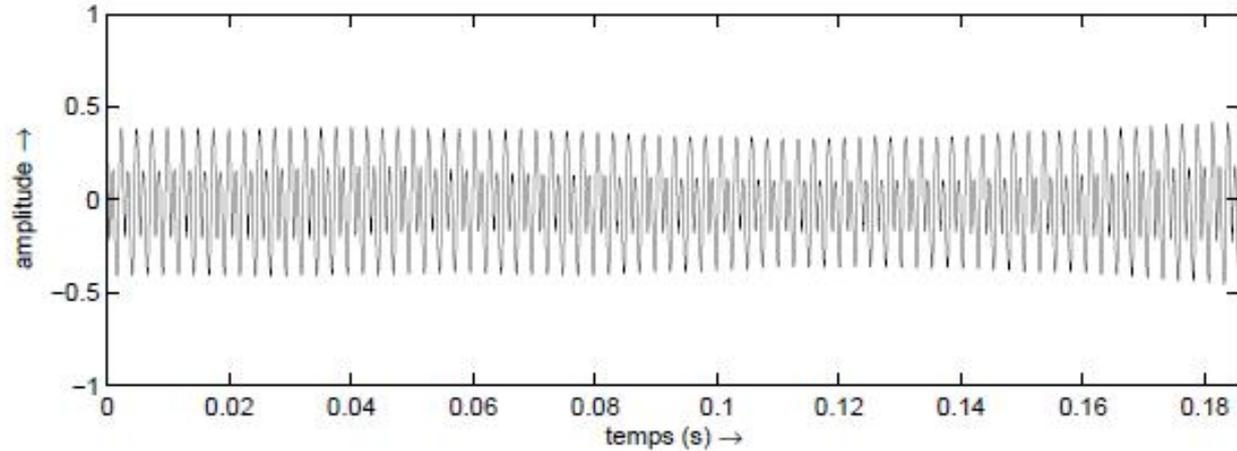


Représentation temporelle

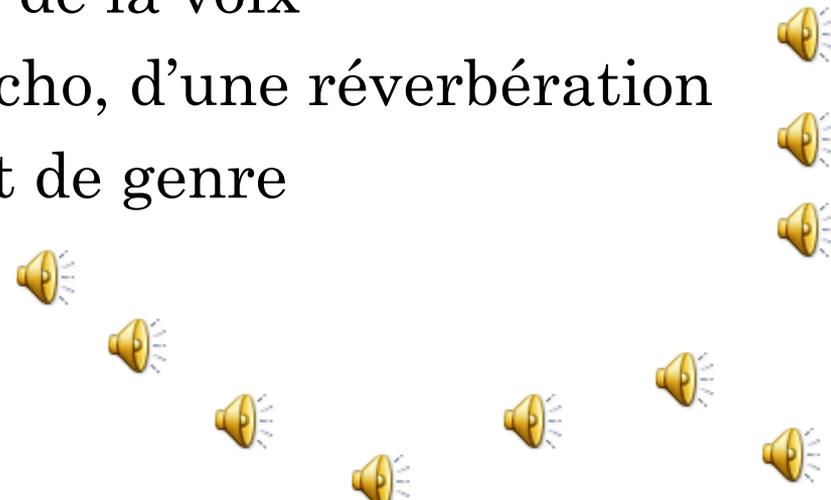


Représentation fréquentielle

REPRÉSENTATION FRÉQUENTIELLE

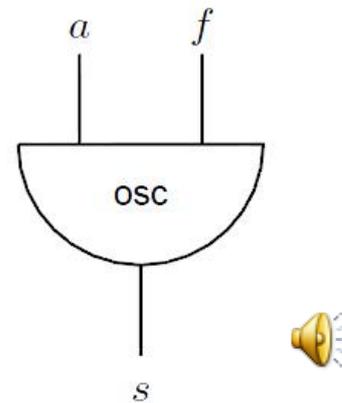


3. TRANSFORMATIONS

- Durée : étirement Coldplay 🗣️ rallenti 🗣️
 - Hauteur : transposition 🗣️
temporelle 🗣️ fréquentielle 🗣️ avec couleur 🗣️
 - Volume : amplification
 - Positions des sources : spatialisation
 - Suppression de la voix
 - Ajout d'un écho, d'une réverbération
 - Changement de genre
 - Morphing
- 
- A collection of speaker icons arranged in a grid pattern. There are 12 icons in total, arranged in 3 rows and 4 columns. The icons are yellow with black outlines and radiating lines, representing sound or audio.

4. SYNTHÈSE

- Transformée inverse de Fourier
- Synthèse linéaire : somme d'oscillateurs
- Synthèse non linéaire

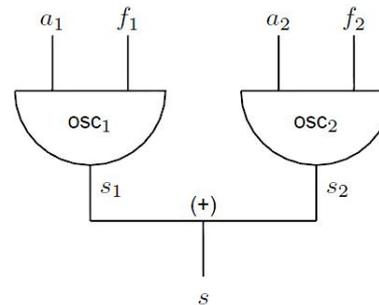


$$s(t) = a \sin(2\pi ft)$$

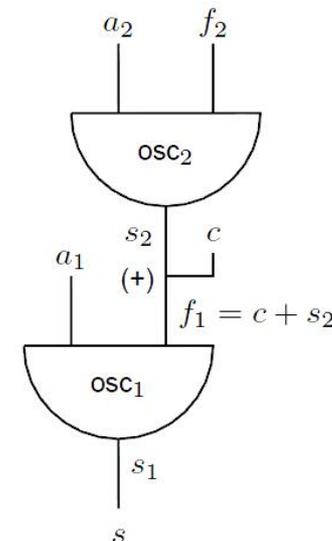
SYNTHÈSE NON LINÉAIRE

- Produire un grand nombre de partiels...
à l'aide d'un nombre d'oscillateurs réduits

- Somme d'oscillateurs



- Modulation de fréquence :
synthèse FM



$$s = a_1 \sin(2\pi(c + a_2 \sin(2\pi f_2 t))t)$$

SYNTHÈSE NON LINÉAIRE : LE DX7

- Tubular Bells 
- Tube Rise 
- Gong 
- Best Bass 
- Plucked Bass 
- Jarre 1 
- Take Off 
- A monster 
- Rasta Buzz 
- Space show 
- Airy 

6 oscillateurs combinés
selon 32 algorithmes

COMMENT LA MUSIQUE EST DEVENUE NUMÉRIQUE

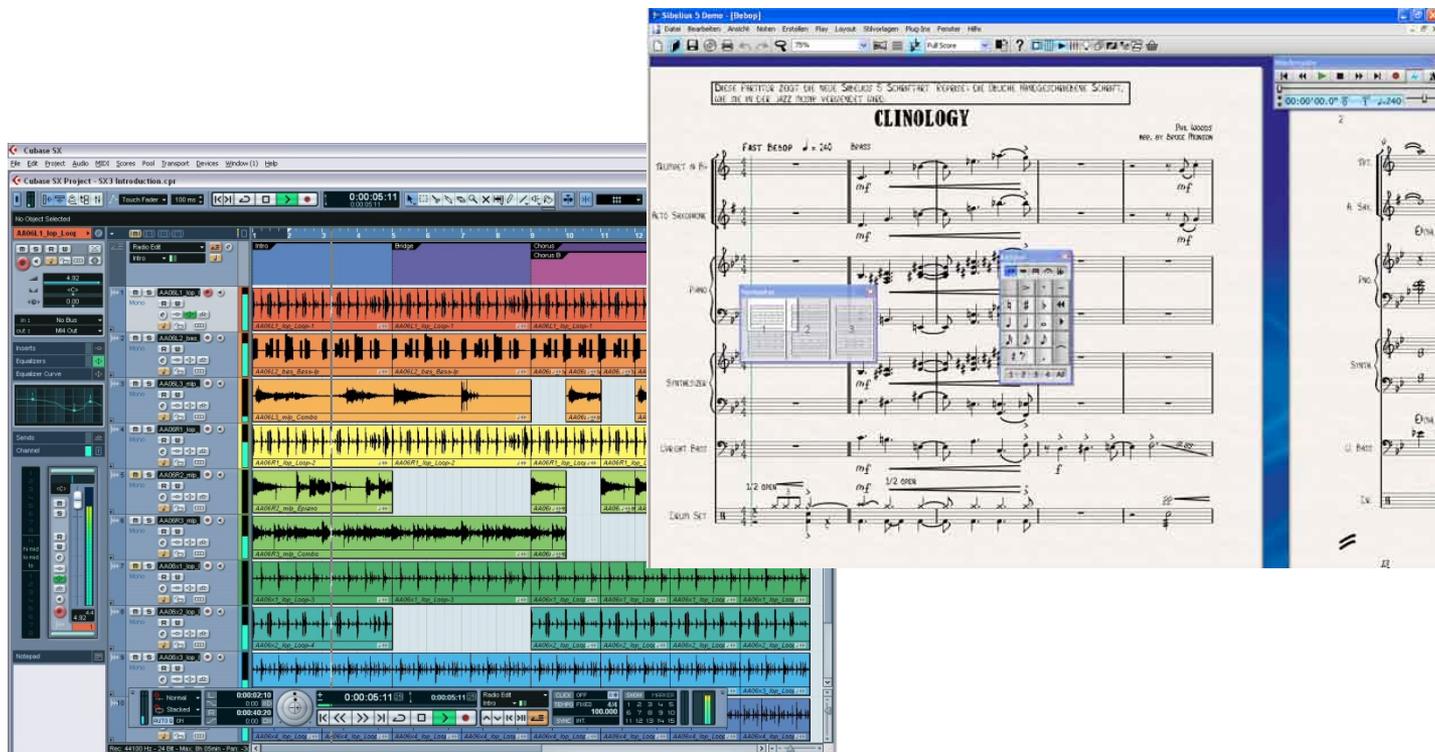
- I. Histoire de l'informatique musicale
- II. L'identité du son numérique
- III. Quelques applications actuelles

III. QUELQUES APPLICATIONS ACTUELLES

1. Pour la composition
2. Pour la performance
3. Pour la pédagogie musicale
4. Applications grand public

POUR LA COMPOSITION

- Logiciels spécialisés
 - D'édition musicale multi-pistes : Cubase, Sibelius, ...



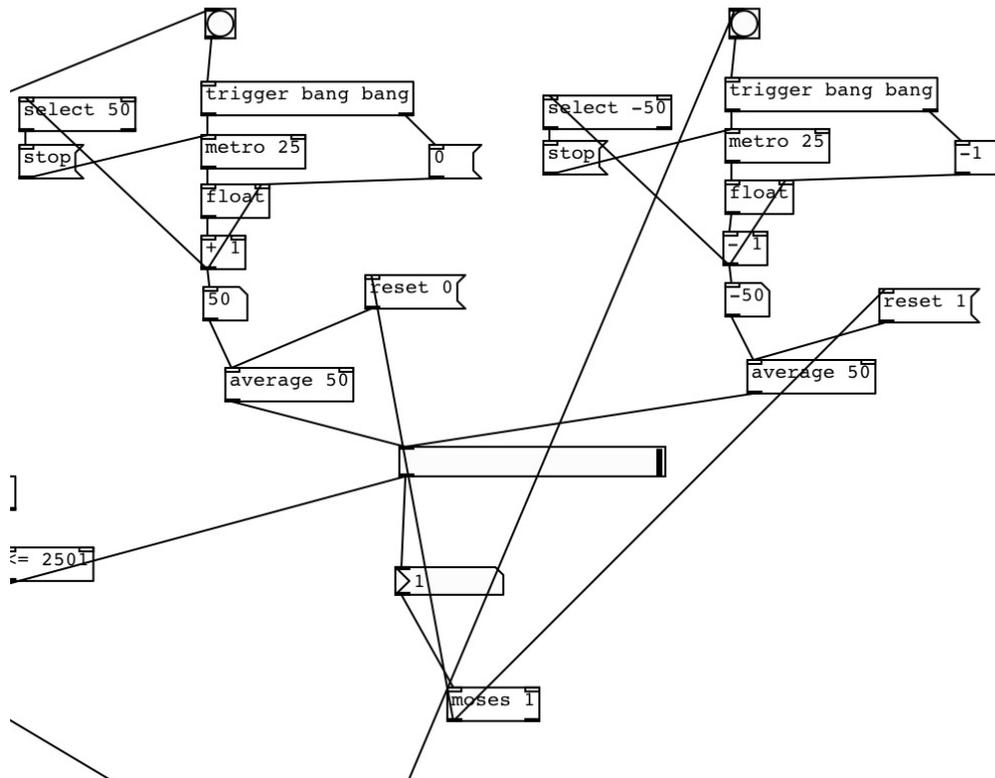
POUR LA COMPOSITION

- Logiciels spécialisés
 - De montage et composition : Protools, ...



POUR LA COMPOSITION

- Logiciels spécialisés
 - Interfaces créatives, synthèse modulaire : PureData, ...



POUR LA PERFORMANCE

- Reactable
 - Pompeu Fabra University



- Orchestre avec ordinateurs
 - Stanford laptop orchestra



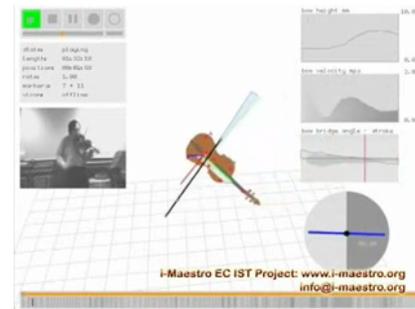
- Continuator, F. Pachet



POUR LA PÉDAGOGIE MUSICALE

○ I-Maestro, *Augmented Mirror*

- Analyse de la performance
- Posture instrumentale



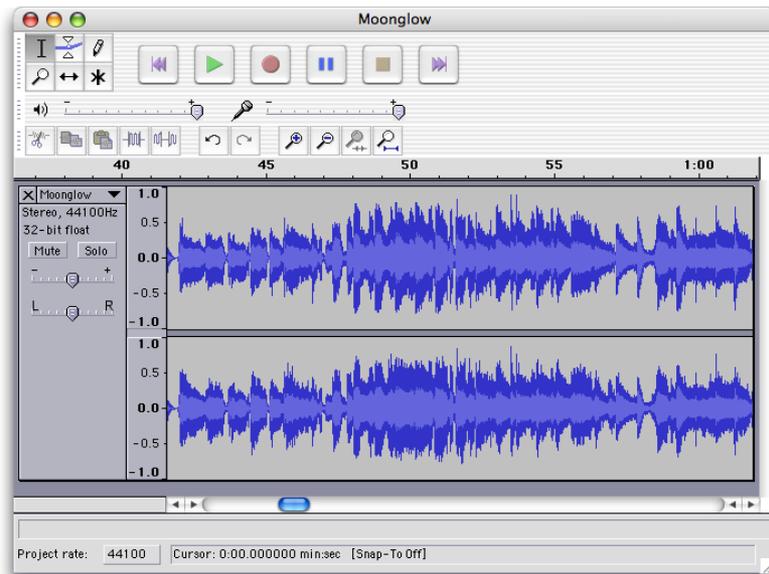
○ Antescofo (IRCAM)

- Suivi de partition
- Accompagnement automatique



APPLICATIONS GRAND PUBLIC

- Audacity : édition audio grand public
<http://audacity.sourceforge.net>



- Muffin : exemple de recommandation musicale



INDUSTRIE

CLIENTS



PHILIPS

YAMAHA

france telecom

Google™

the echonest

believe digital

bmat
music innovation

SoundHound

HITLAB.COM
DIGITAL MUSIC

SHAZAM®

makemusic®

steinberg

avid.com

SONY

WARNER MUSIC

UNIVERSAL

Arobas
MUSIC

MIXVIBES®

UBISOFT®

ACTIVISION®

Apple Music

DEEZER

Spotify™

BIBLIOGRAPHIE

- Anne Veitl : *La Chute des notes*, ed. Delatour France, 2010.
- Curtis Roads : *Computer Music Tutorial (L'audionumérique)*, ed. Dunod, 1998.
- Traité IC2, série Informatique et systèmes d'information : *Informatique musicale: du signal au signe musical*, ed. François Pachet et Jean-Pierre Briot, HERMES Sciences, 2004.
- Conférence signal audio DAFx : <http://www.dafx.de/>
- Conférence informatique musicale ISMIR : <http://www.ismir.net/>
- Blog Paul Lamere : Music Machinery : <http://musicmachinery.com/>
- Association Française d'Informatique Musicale : <http://www.afim-asso.org/>