

école
normale
supérieure
de lyon



ENS
LYON

représenter les sons

Patrick Flandrin

CNRS - Laboratoire de Physique

quelques questions autour des sons I

enregistrer

nature physique

reproduire

synthèse, perception

transmettre

codage, compression

comprendre

analyse, transcription, ré-éducation

modifier

traitement, débruitage, extraction

représentations des objets sonores I

objectif : disposer de représentations

interprétables

formalisables

calculables

comment atteindre cet objectif ? élaborer des outils basés sur des approches

physiques

mathématiques

informatiques

(+ perceptives, cognitives...)

un peu de physique I

production d'un son

vibrations de l'air

tuyaux

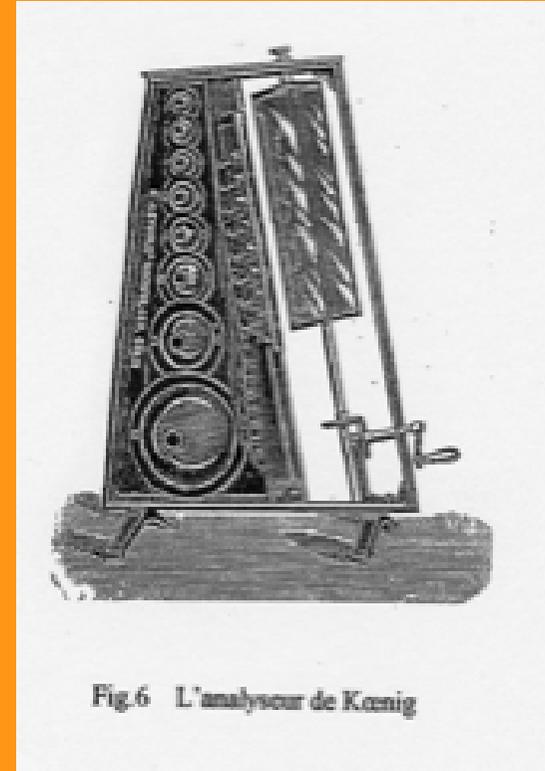
cordes (vocales)

excitation

amplification

analyse

résonateurs



un peu de maths I

son « pur »

fréquence

hauteur de note

amplitude

intensité, volume

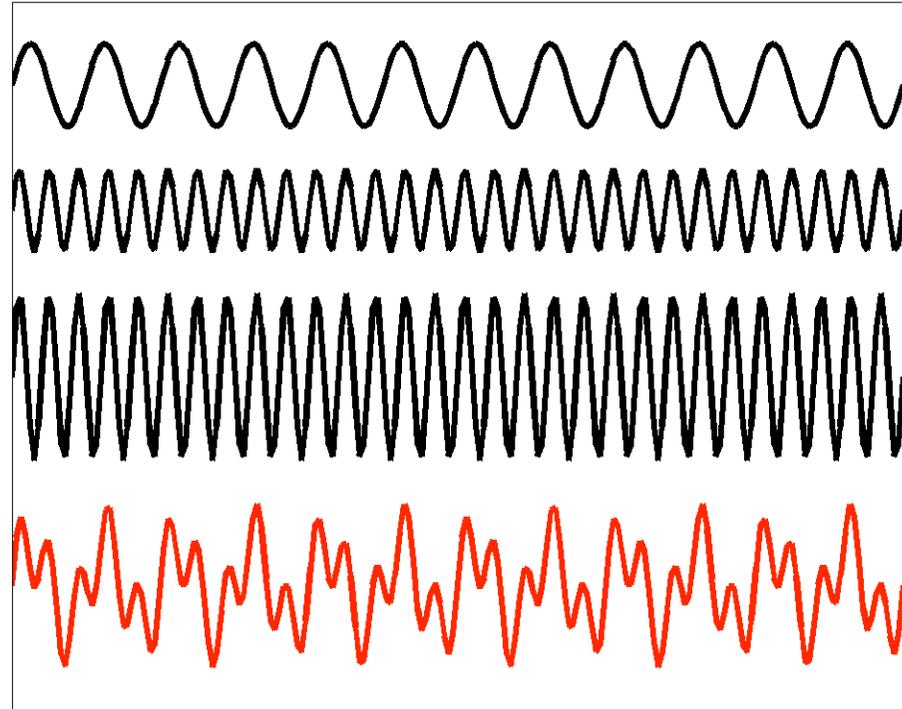
son « réaliste »

timbre

structure harmonique

accord

notes multiples



représentation fréquentielle I

son « pur »

fréquence

hauteur de note

amplitude

intensité, volume

son « réaliste »

timbre

structure harmonique

accord

notes multiples



J.B. Fourier (1822) :

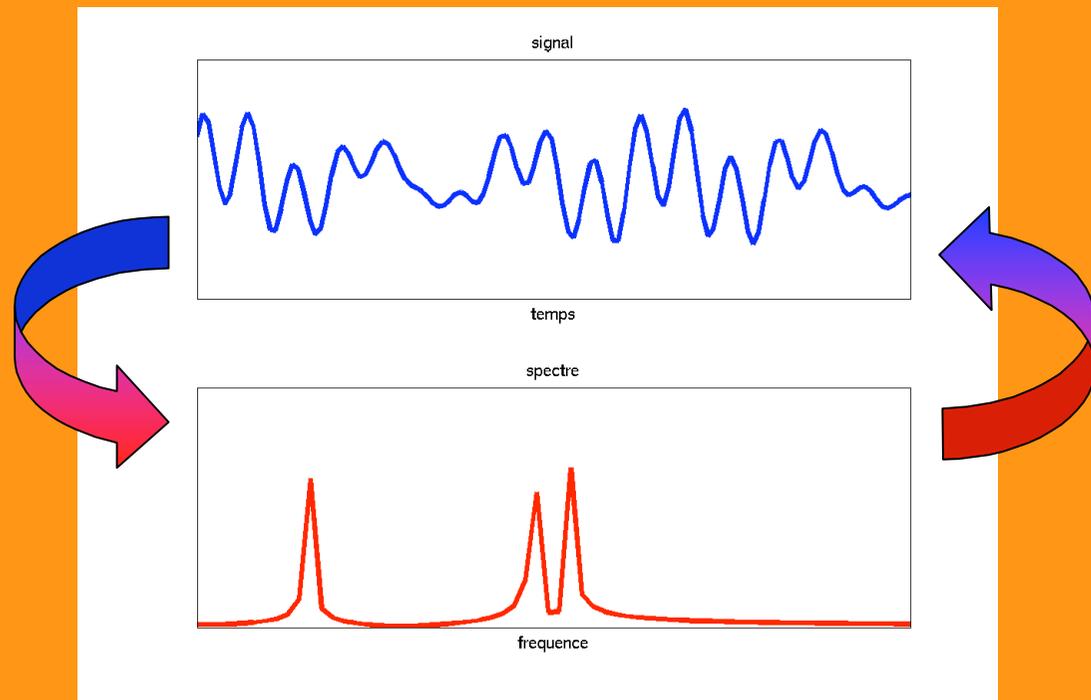
« *tout* signal (ou son) réaliste

peut se représenter comme une superposition de sons purs »

analyse de Fourier I

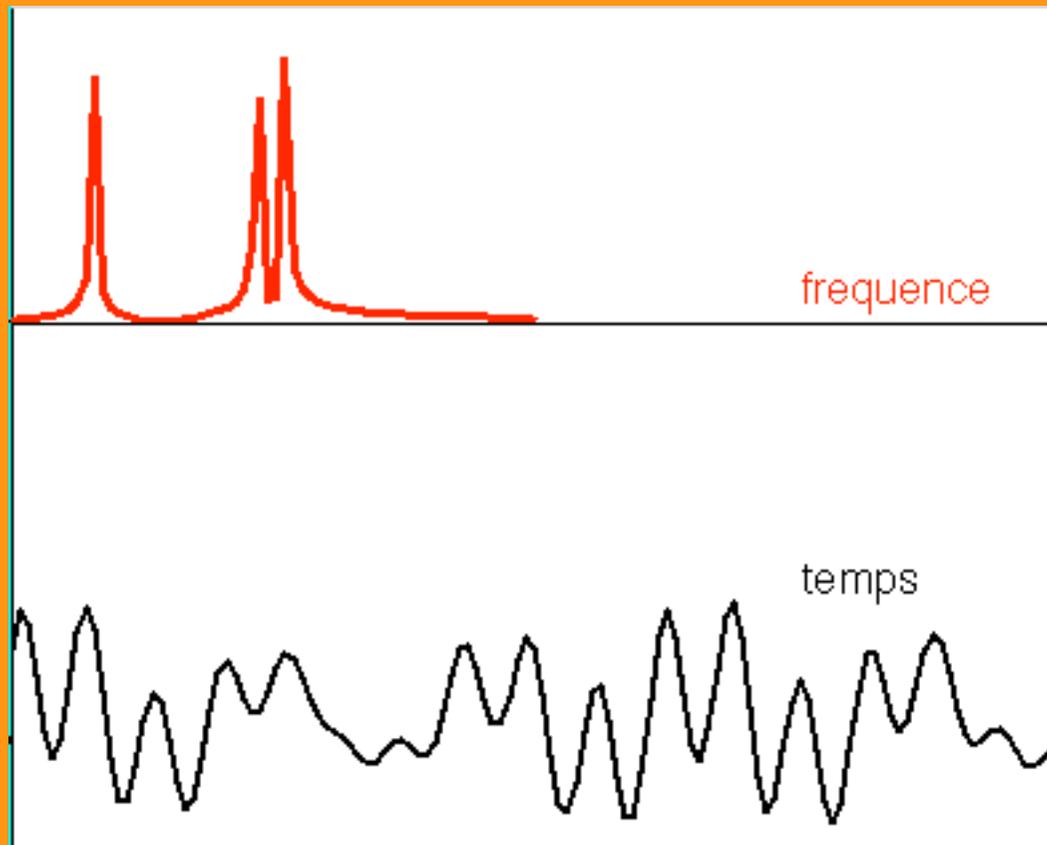
associe à une suite d'événements dans le temps (*signal*) une collection de fréquences (son *spectre*)

... et vice-versa !



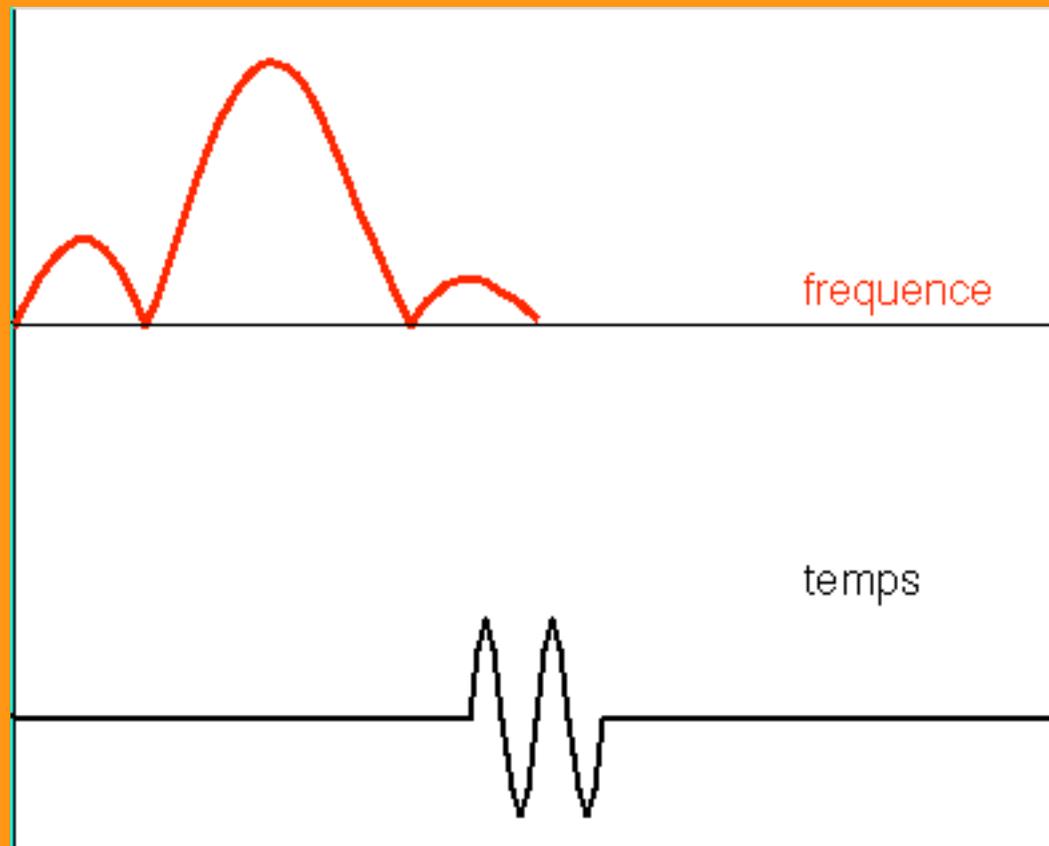
analyse de Fourier - exemple « + » |

son pluri-harmonique



analyse de Fourier - exemple « - » |

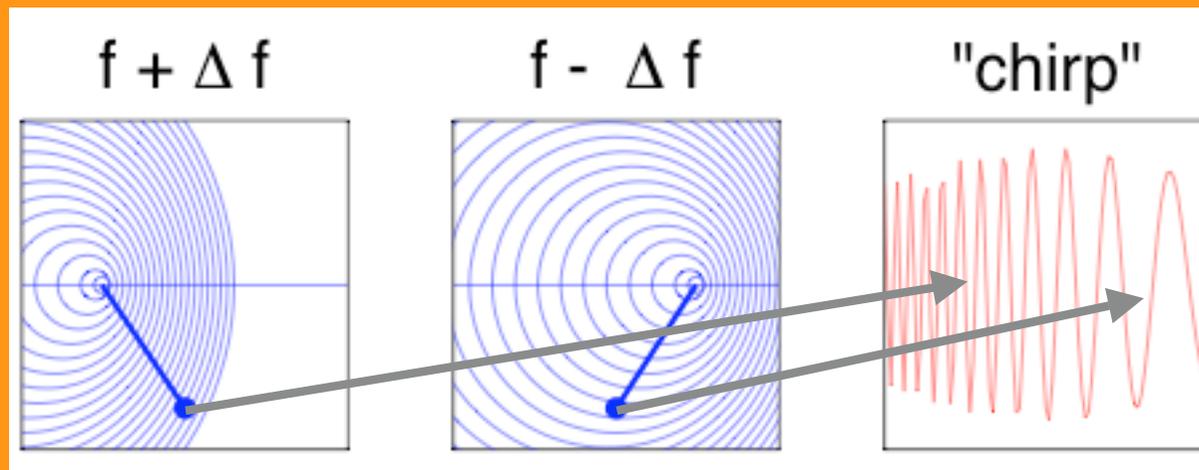
son transitoire (signal *non stationnaire*)



autre exemple de non-stationnarité I

l'effet Doppler

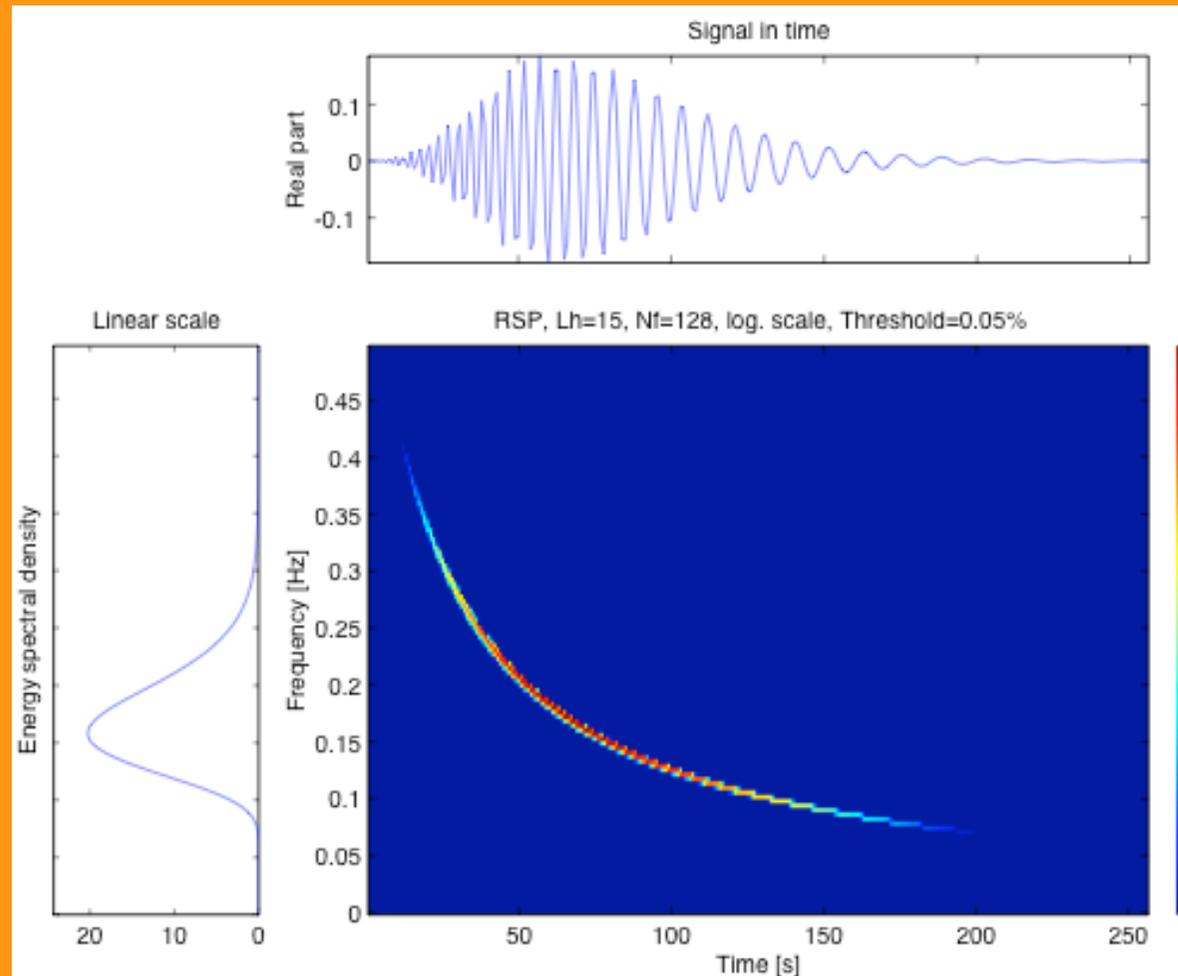
source en mouvement relatif
par rapport à un observateur :
glissement de fréquence



fréquence « instantanée »

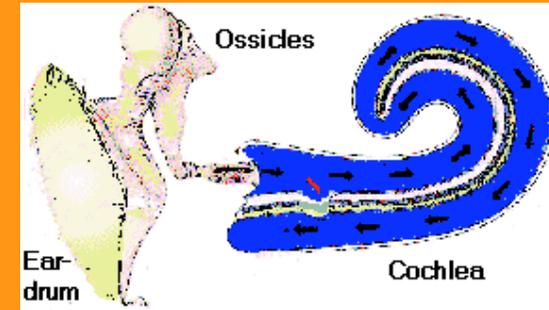
au-delà de Fourier I

« bonne » représentation = temps-fréquence

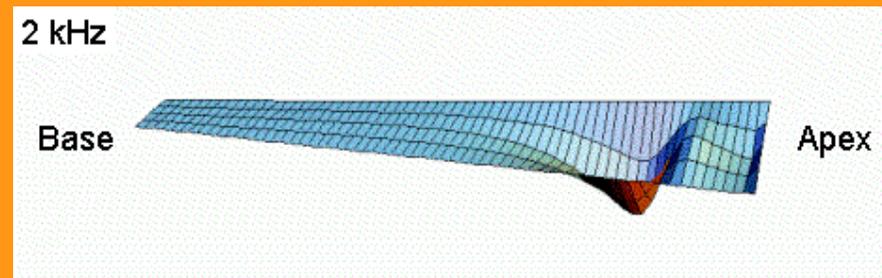
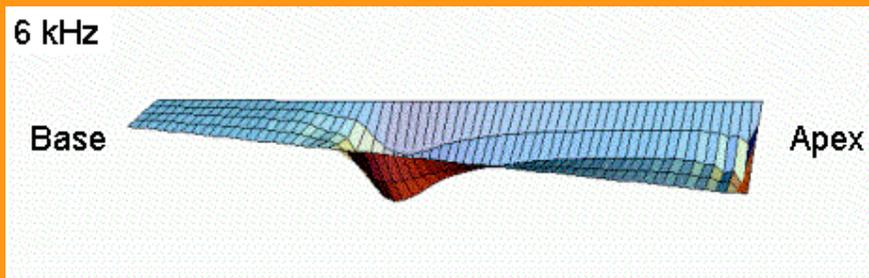


observation : l'oreille comme filtre |

oreille interne (cochlée)
propagation
sélectivité fréquentielle



<http://members.aol.com/tonyjeffs/text/dia.htm>



http://www.wadalab.mech.tohoku.ac.jp/FEM_BM-e.html

codage temps *et* fréquence

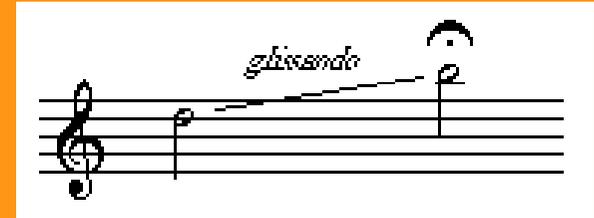
temps-fréquence : intuition I

l'exemple de la notation musicale

hauteur des notes (fréquence)

durée (temps)

intensité



une portée mathématique ?

décomposer sur des « grains » localisés en temps
et en fréquence

« déployer » l'intensité spectrale au cours du
temps

« grains » temps-fréquence I

principe

expliquer un signal compliqué comme
superposition de signaux élémentaires

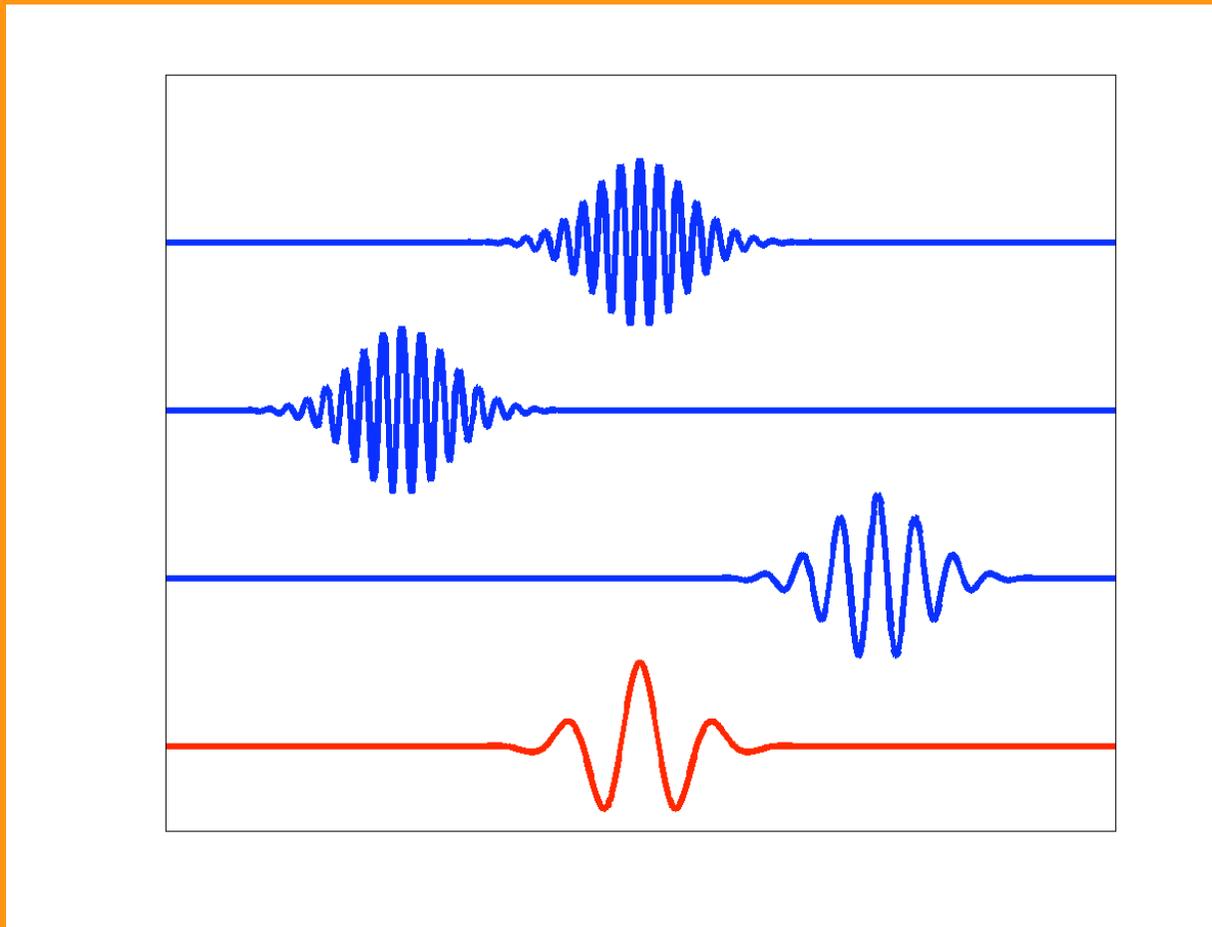
analogie physique

molécules construites à partir d'atomes
« grains » = atomes temps-fréquence

analyse

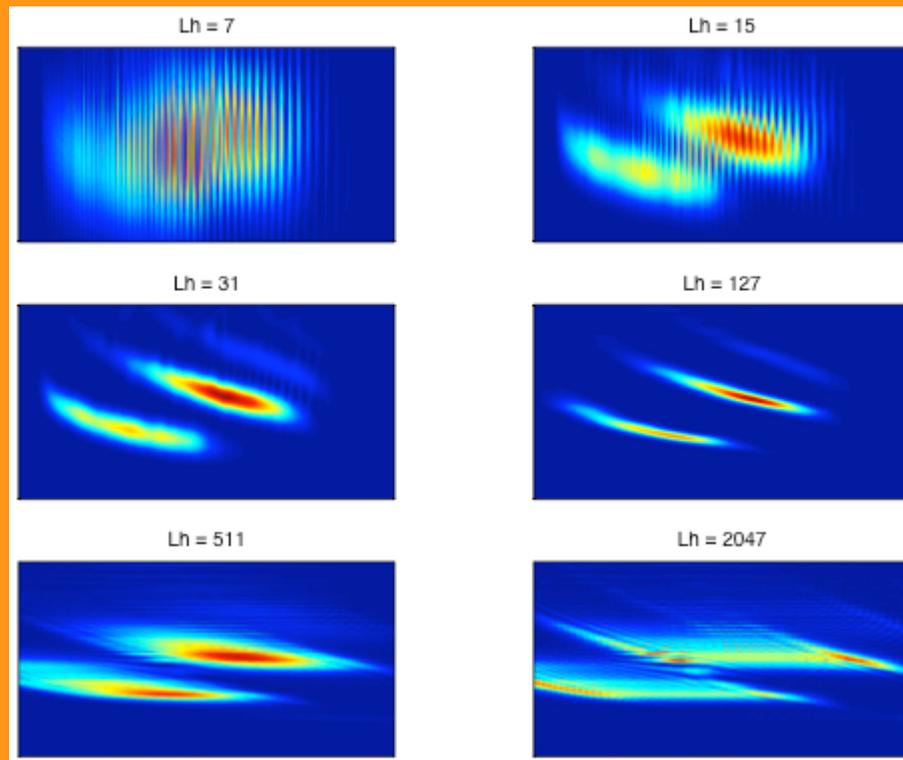
identifier les grains constitutifs
comparer le signal à tous les grains possibles et
mesurer le degré de ressemblance

« grains » temps-fréquence



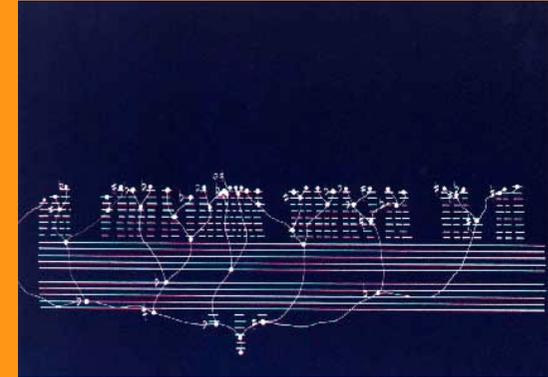
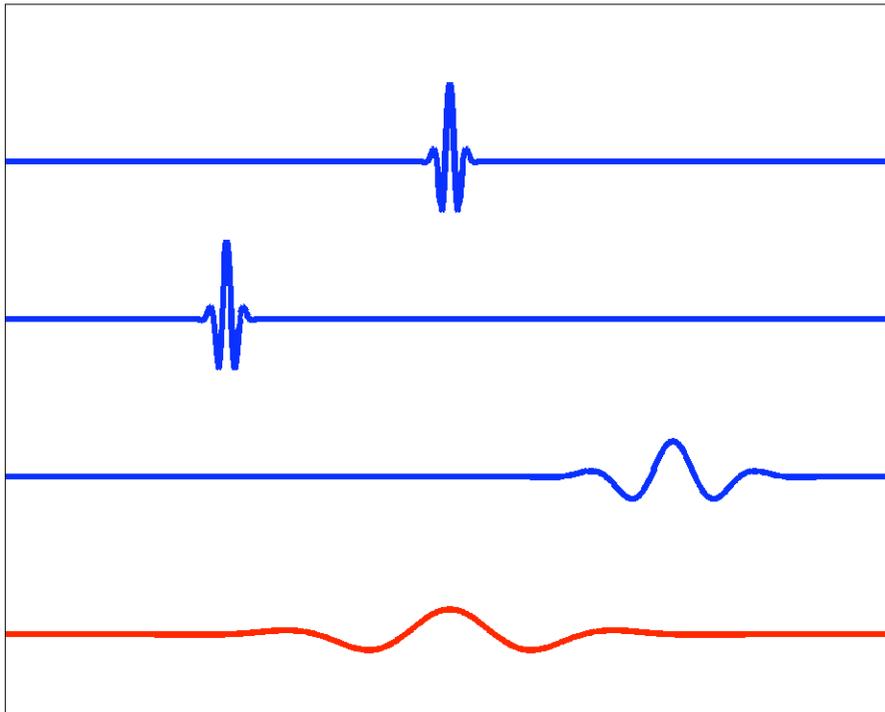
limitation

« principe d'incertitude »
compromis temps-fréquence



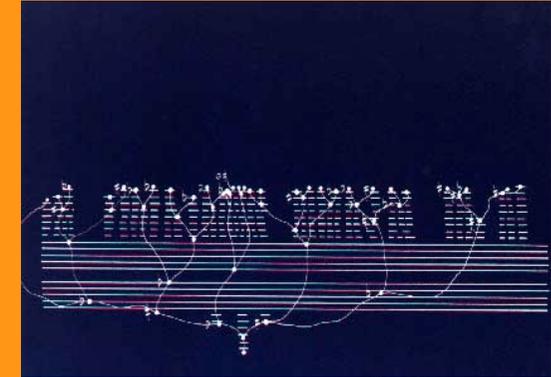
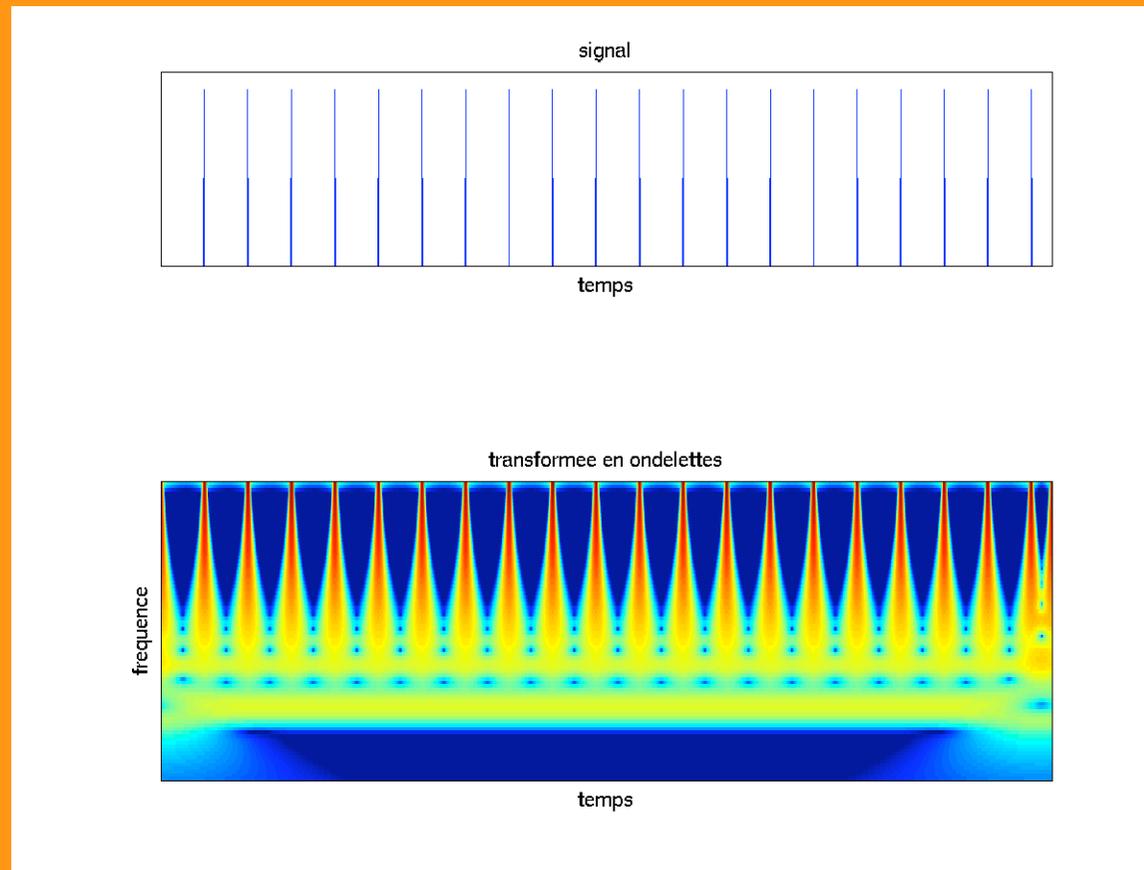
variation : ondelettes |

« grains » temps-fréquence
adaptant la durée à la fréquence

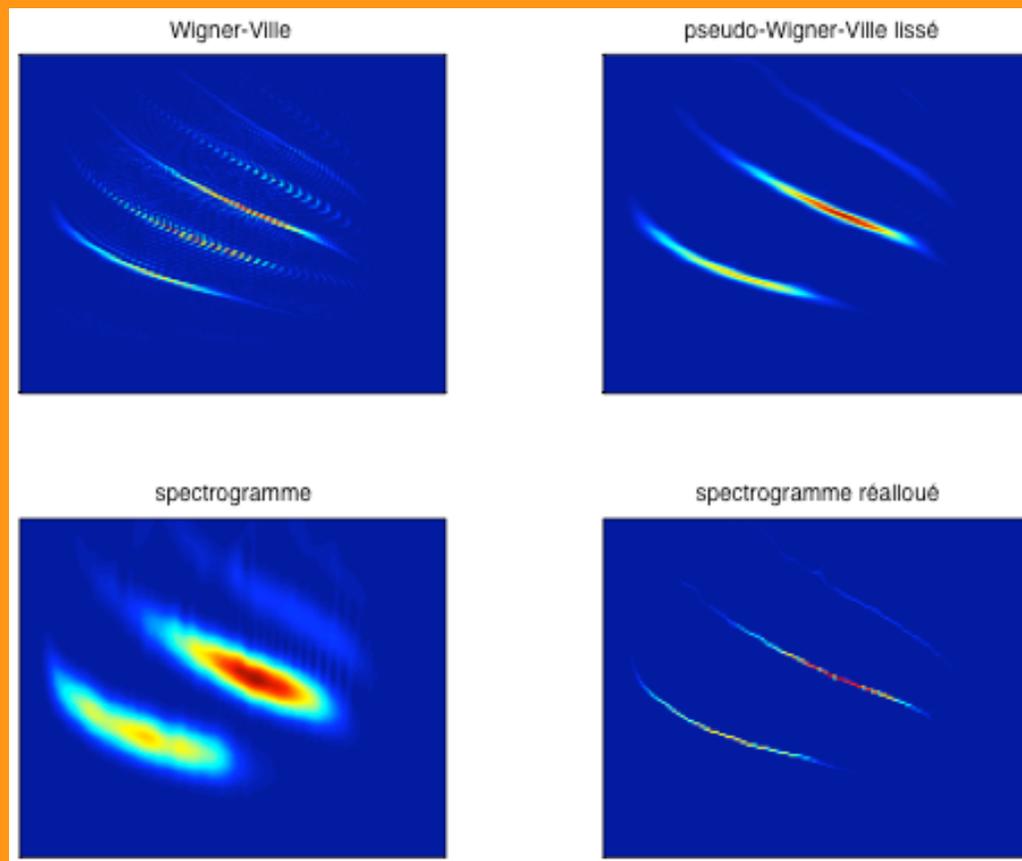


variation : ondelettes |

« grains » temps-fréquence
adaptant la durée à la fréquence



analogie avec la mécanique (quantique) temps-fréquence / position-vitesse



quelle méthode choisir ? |

théorie : pas d'unicité

(pessimiste) problème mal posé

(optimiste) multiplicité de points de vue

(pragmatique) unicité sous contraintes partielles

en pratique

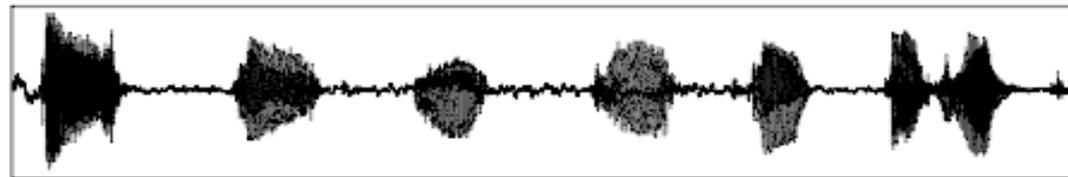
adaptation au contexte

considération conjointe « théorie - algorithmes -
interprétation »

choix itératif (validation de modèle)

des exemples I

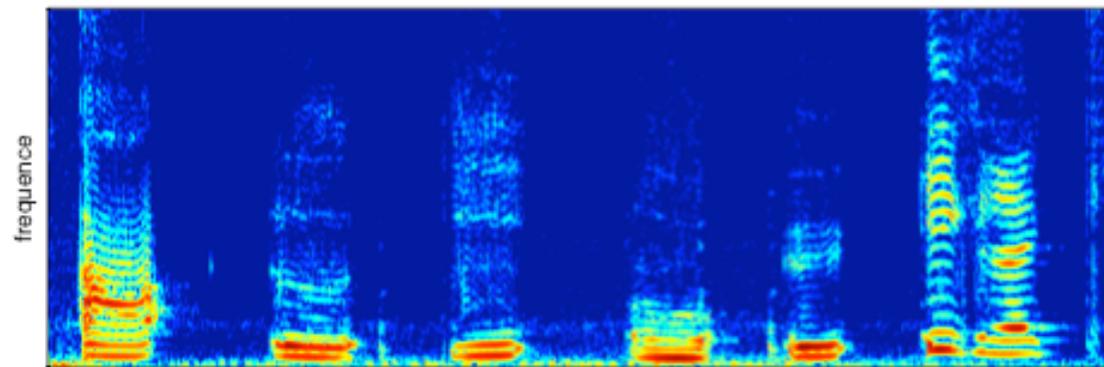
parole



signal



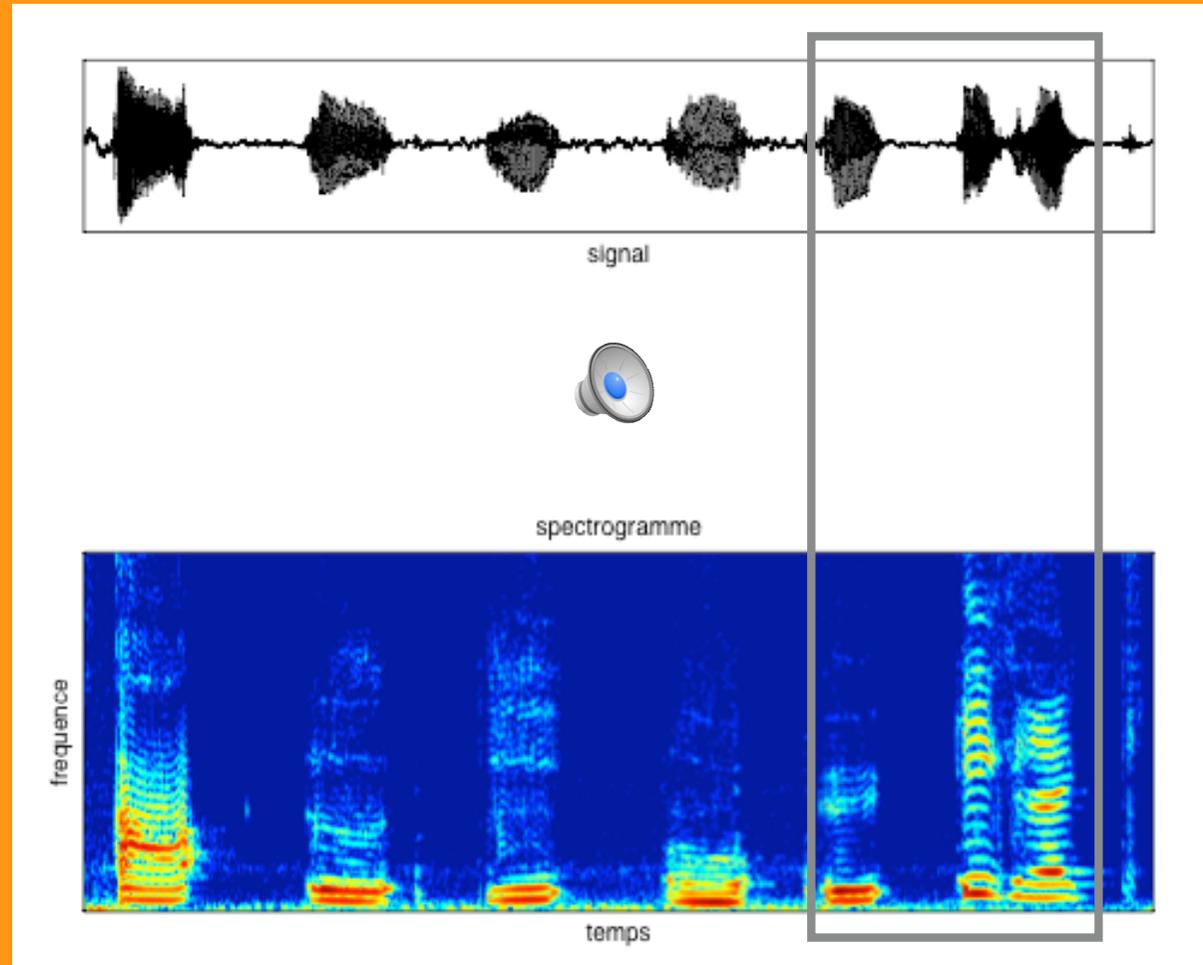
spectrogramme



temps

des exemples I

parole



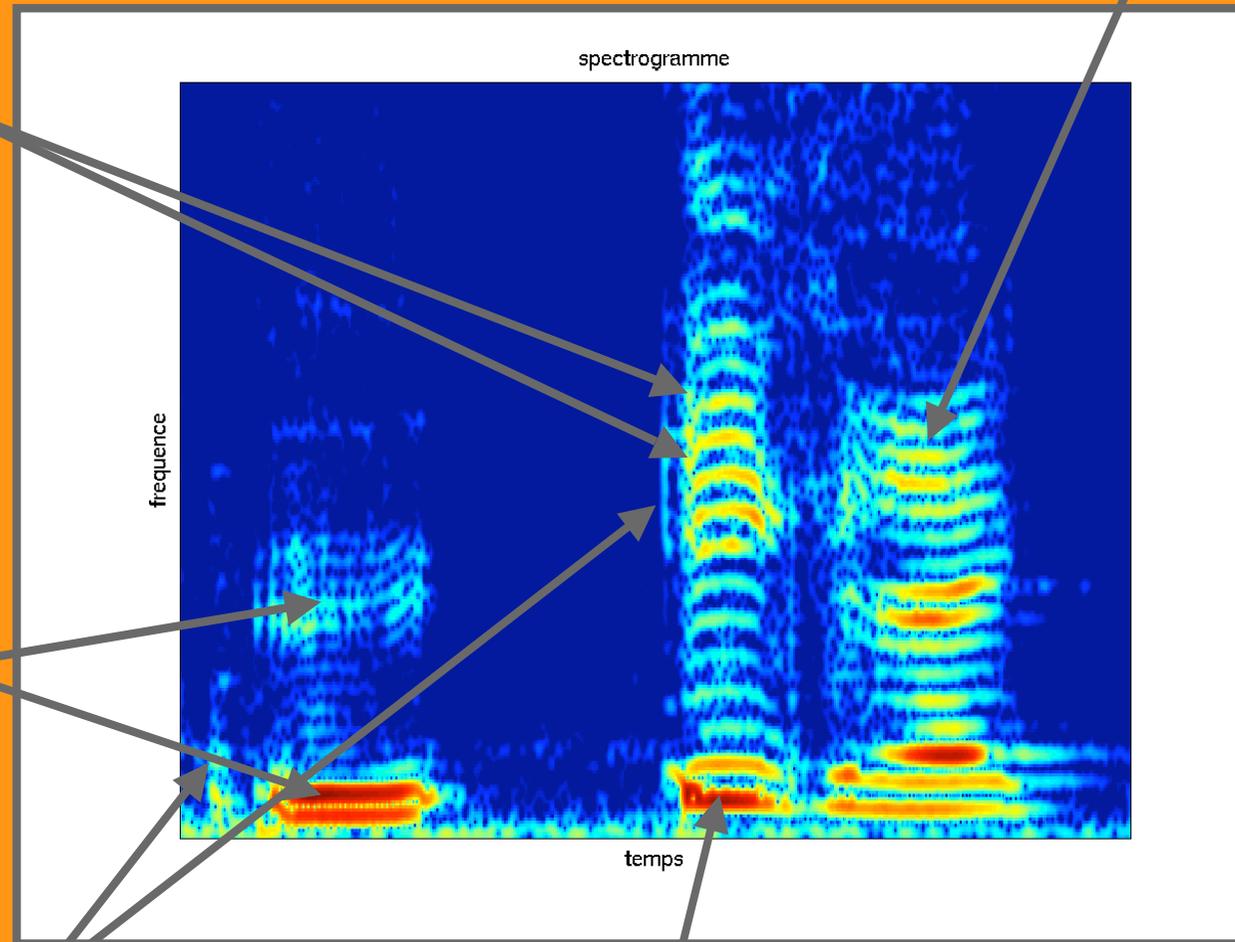
évolutions

harmoniques

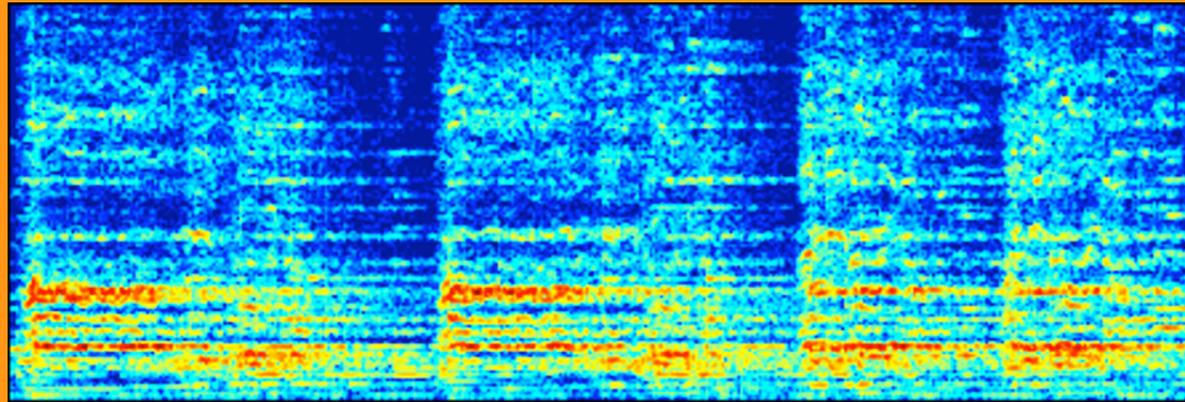
formants

transitoires

fondamental



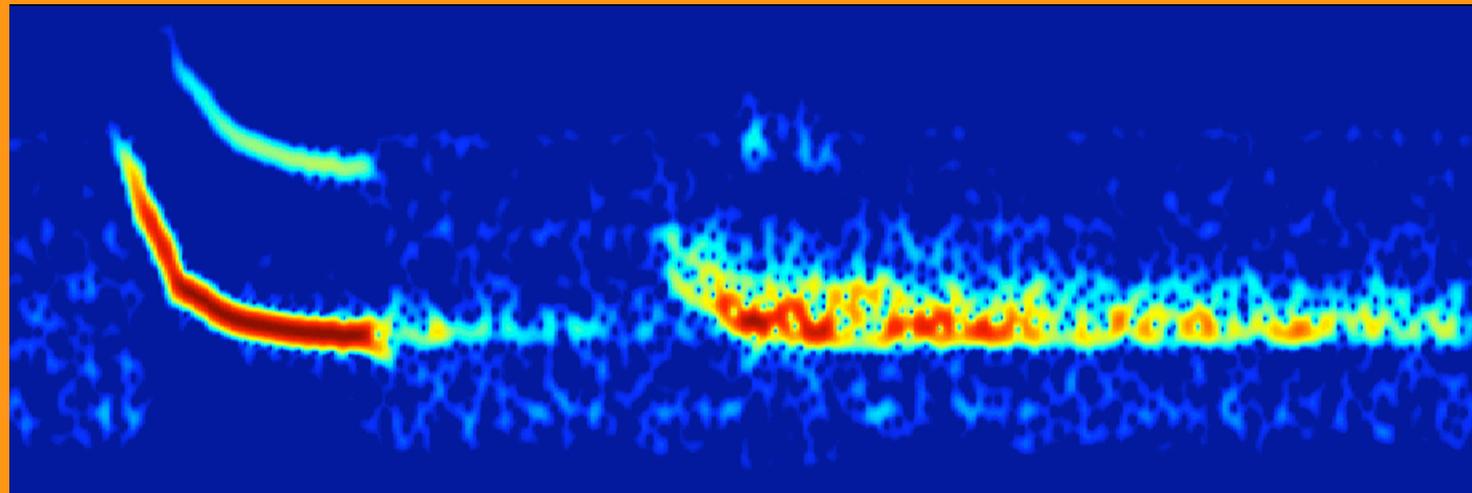
musique



écholocation de la chauve-souris

détection/estimation

reconnaissance/classification



principe

utiliser une transformation inversible
sommer des « grains » temps-fréquence

applications

transformations, manipulations (transposition,
débruitage, etc.)

transmission, codage, compression
(paramétrisation, reconstruction partielle)

ré-éducation

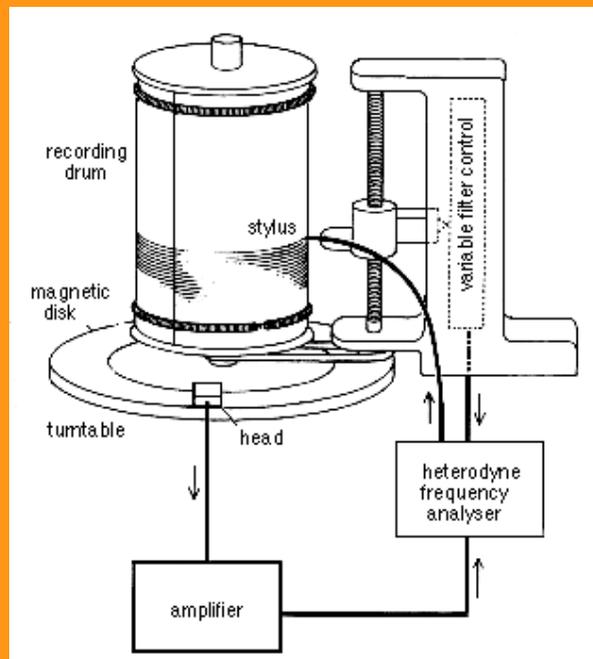
création d'artefacts

analyse/synthèse I

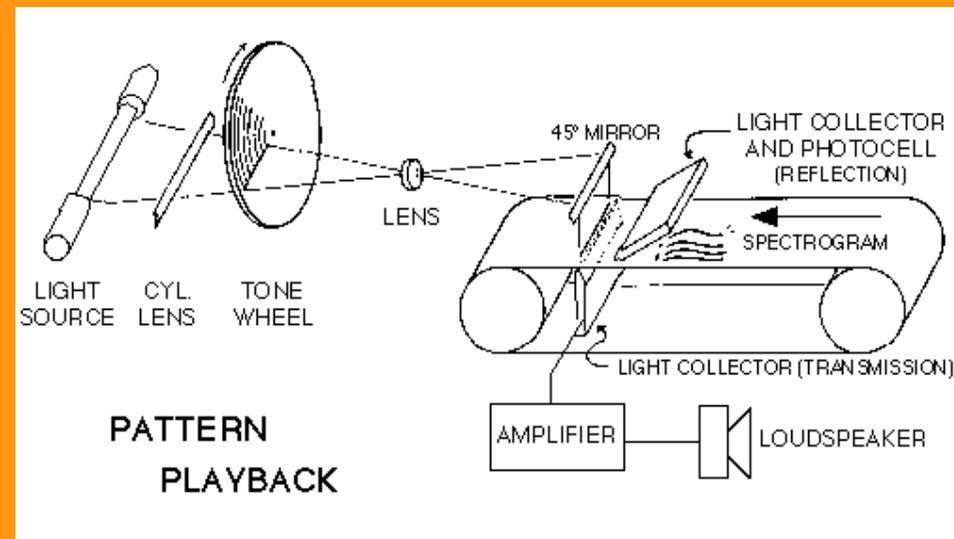
du signal à sa représentation, et vice-versa

analyse = « dessiner » le son

synthèse = « écouter » l'image temps-fréquence

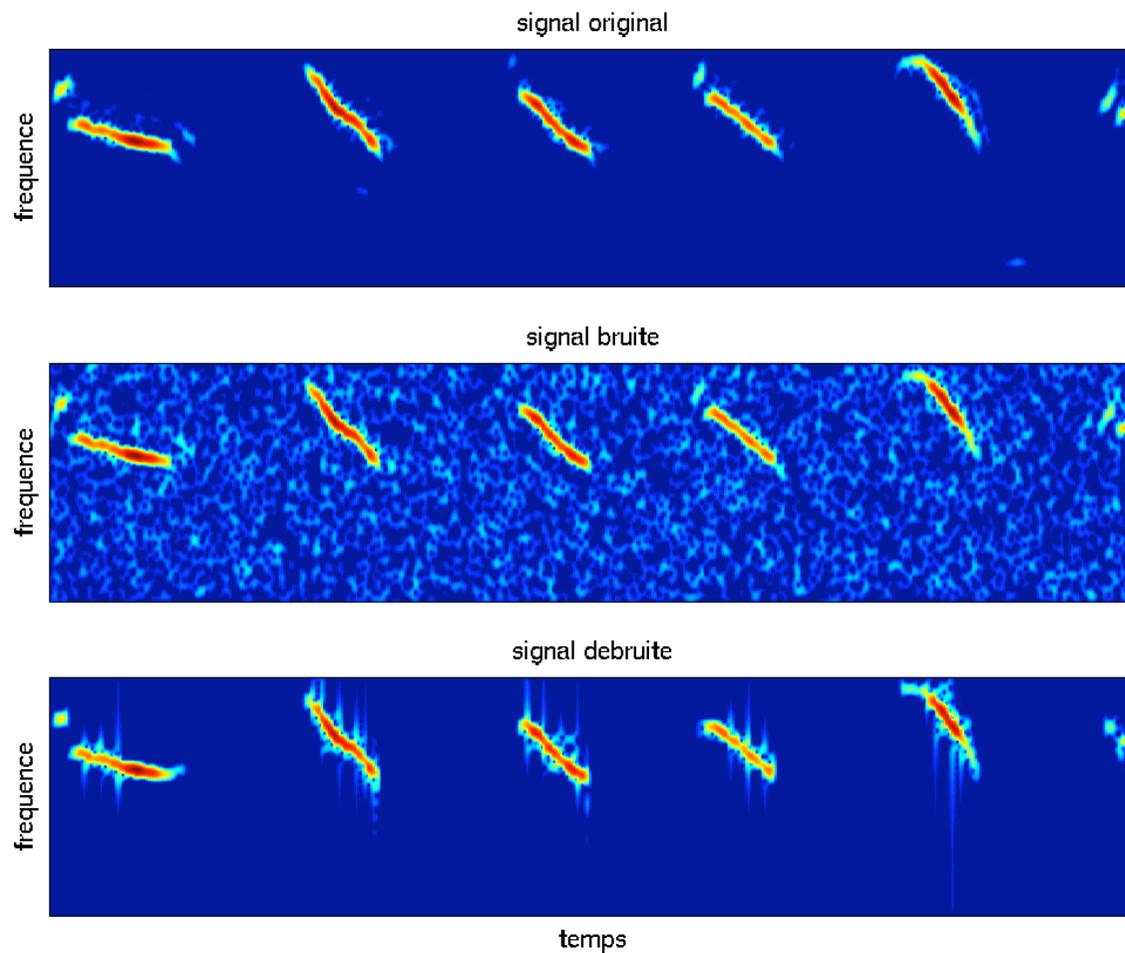


(Koenig et al., 1946)

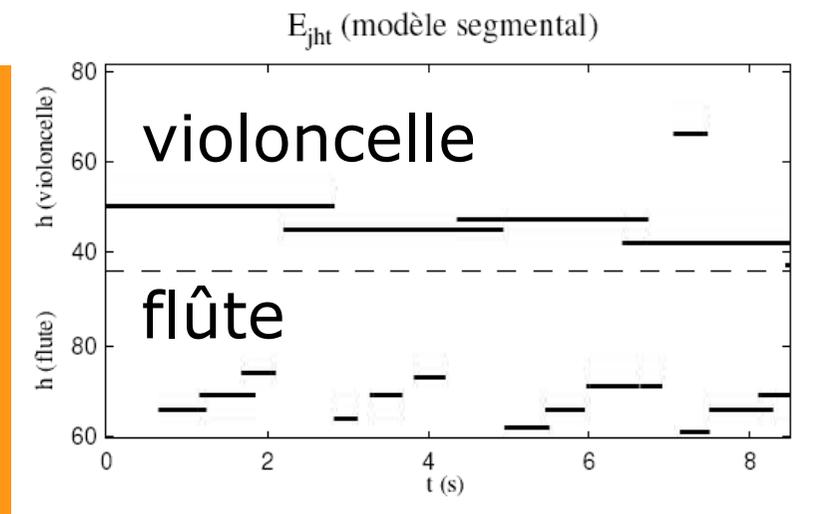
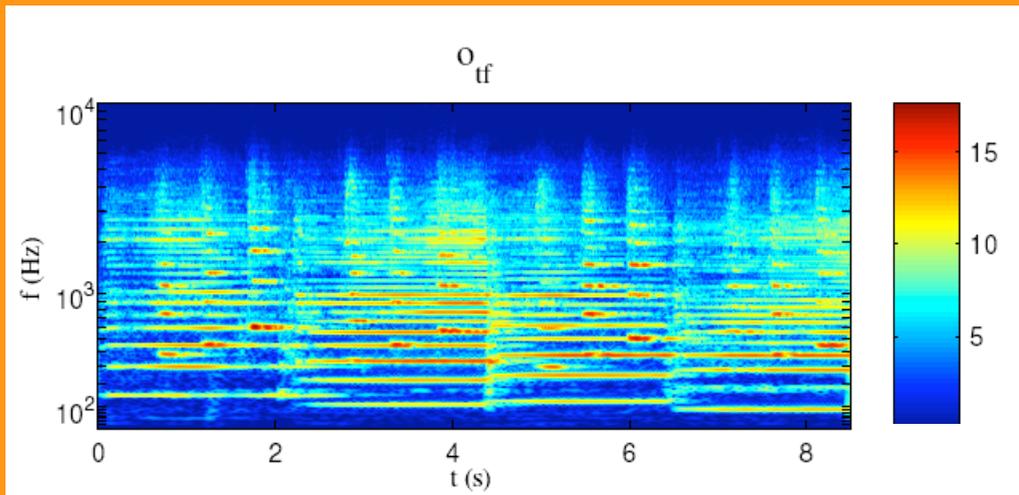


(Cooper, 1950)

débruitage I



séparation et transcription I



(Vincent, 2004)

compression I

	25 %	5 %	1 %
Fourier			
ondelettes			
paquets de cosinus			

le mot de la fin I

