

« Qu'est-ce que le timbre? »

- ◆ **points de repère historiques**

- ◆ **outils d'analyse du timbre**

- **aspects « signal »**

- ◆ **physique des instruments**

- **modèle résonateur / excitateur**

- ◆ **timbre et perception**

Encyclopédie Diderot -d'Alembert (1751)

« il y a 3 choses à considérer dans le son:
1/ le degré d'élévation entre le grave et l'aigu;
2/ celui de véhémence entre le fort et le faible
3/ et la qualité du timbre qui est encore susceptible de comparaison du sourd à l'éclatant ou de l'aigre au doux »

1/ HAUTEUR

2/ INTENSITE

3/ TIMBRE a/ nature de la source sonore
b/ qualité du son

Pierre Schaeffer, ingénieur et musicien (1910 -1995) Musique concrète

Traité des objets musicaux (1966)

le timbre est: « *l'ensemble des caractères du son qui le réfèrent à un instrument donné* »

on peut parler: « *du timbre d'un son sans le rapporter clairement à un instrument déterminé mais plutôt en le considérant comme une caractéristique propre de ce son* »

Pierre Henry



Fourier (1822) Traité sur la chaleur

outil mathématique : décomposition d'un son périodique en ses harmoniques

Helmholtz (1877) On the Sensations of Tone



« les différences de timbre résultent principalement de la combinaison des différentes harmoniques d'un son avec différentes intensités »

**conception classique du timbre
= il dépend principalement du spectre en fréquence**

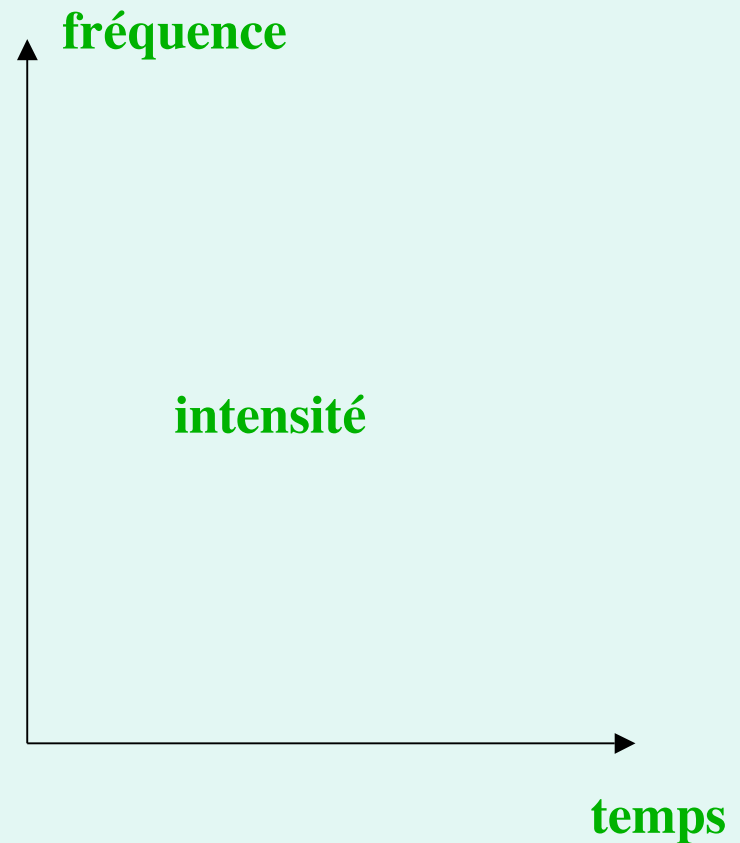
son musical = son périodique

importance de la partie stable du son

stabilité - « pureté » du son - hauteur

1940 *invention du sonographe*

outil de traitement du signal : visualisation de l'évolution des fréquences au cours du temps (signal de parole)





1960/80 synthèse numérique du son

Risset et Matthews (1969) timbre de cuivre - Morill (1977) timbre de trompette

Matthews (1973) timbre du violon - Chowning (1973) synthèse de timbres par FM

Transformée de Fourier à fenêtre 1940

FFT: Fast Fourier Transform 1965

Spectrogrammes numériques (1980)



Analyse Temps-Fréquence



caractéristiques physiques du timbre

- enveloppe temporelle (transitoires d'attaque)
- + enveloppe spectrale (formants)
- + répartition énergie spectrale
- + évolution des fréquences au cours du temps
- + micro-variations (modulations, distorsion,...)
- etc...

Etude psycho-acoustique du timbre

lien entre son physique (paramètres objectifs)
et son perçu (attributs subjectifs)

« Le timbre est l'attribut de la sensation auditive permettant de distinguer des instruments lorsque ceux-ci jouent la même note avec la même intensité et la même durée » (définition A.S.A)

- amélioration modèles de synthèse
- illusions acoustiques
- création de nouveaux timbres



J.S Bach

The left page of the musical manuscript contains six systems of staves. The top system consists of two staves: the upper staff has a treble clef and a key signature of one flat, with a melodic line featuring a red vertical line above the first measure and three green boxes highlighting specific notes. The lower staff has a bass clef and contains a bass line with similar green boxes. The second system also has two staves, with the upper staff showing a melodic line and the lower staff a bass line, both with green boxes. The third system continues this pattern. The fourth system features a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a bass line, including a red vertical line above the first measure and green boxes. The fifth system has a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a bass line, with green boxes. The sixth system has a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a bass line, with green boxes. The manuscript is written in a historical style with various ornaments and slurs.

A. C. 16837

The right page of the musical manuscript contains six systems of staves. The top system has two staves: the upper staff has a treble clef and a key signature of one flat, with a melodic line featuring a red vertical line above the first measure and three green boxes. The lower staff has a bass clef and contains a bass line with similar green boxes. The second system also has two staves, with the upper staff showing a melodic line and the lower staff a bass line, both with green boxes. The third system continues this pattern. The fourth system features a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a bass line, including a red vertical line above the first measure and green boxes. The fifth system has a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a bass line, with green boxes. The sixth system has a treble clef staff with a melodic line and a bass clef staff with a bass line, with green boxes. The manuscript is written in a historical style with various ornaments and slurs.

A. C. 16837



complexité des relations entre paramètres physiques

temps et fréquence

répartition spectrale et intensité

altérations/modifications: quels sont les paramètres ou relations indispensables pour conserver/reproduire un timbre donné?



quel est le rôle de la perception (acquis/culturel)?

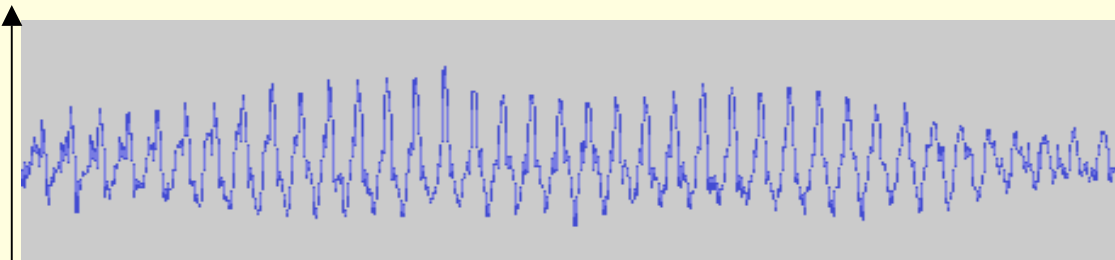


aspects « signal »

Mesures physiques sur l'onde sonore

Intensité, hauteur

Variations pression air

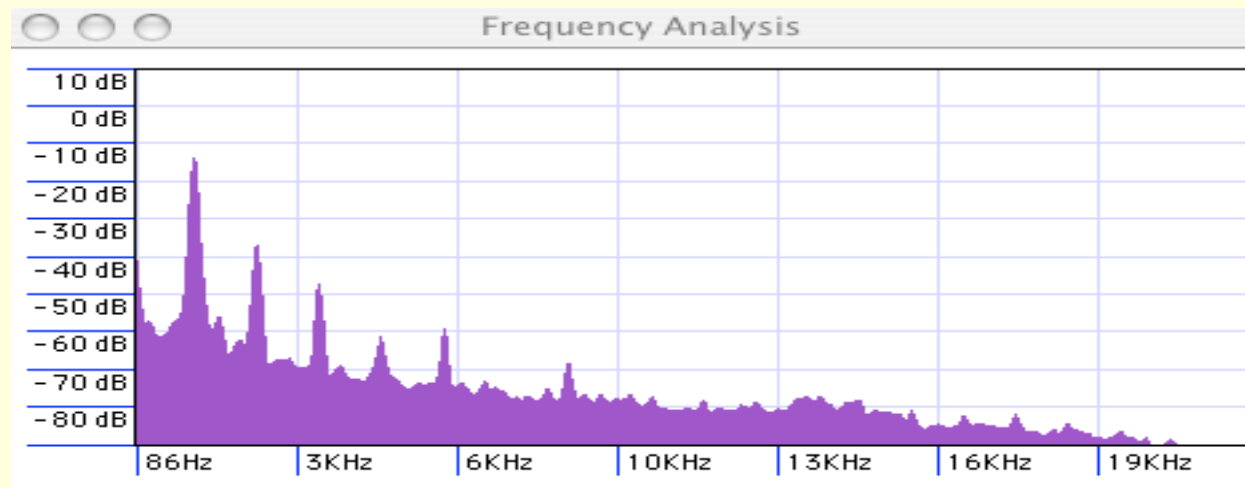


temps

Analyse mathématique du signal

Décomposition selon les fréquences

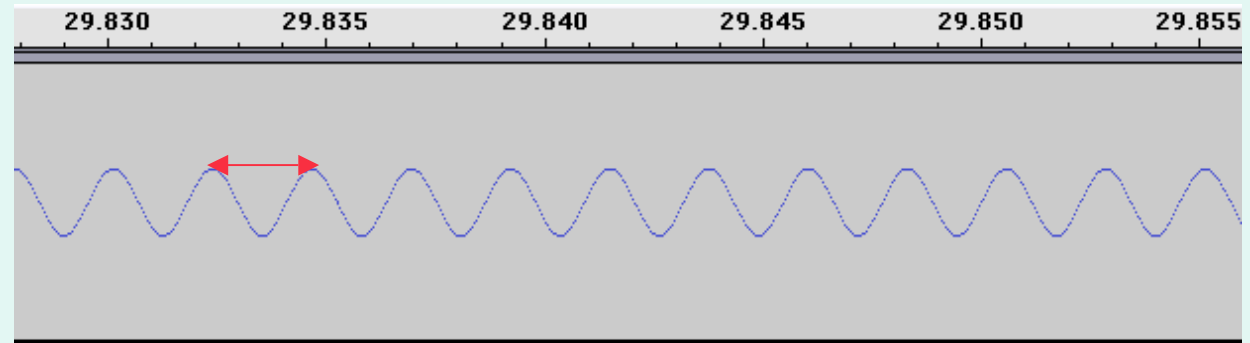
SPECTRE



1ère caractérisation: périodicité et composition spectrale

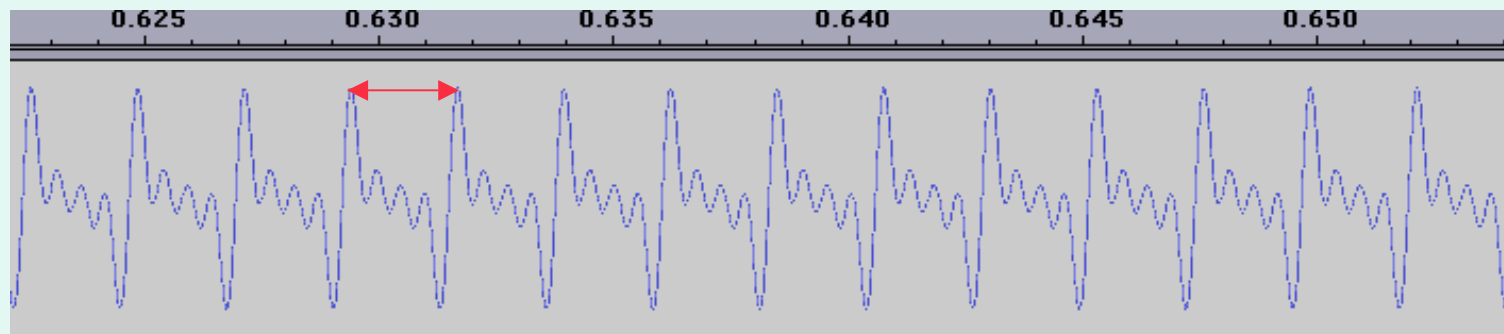
I. Aspects temporels

1/ Fréquence pure 440 Hz



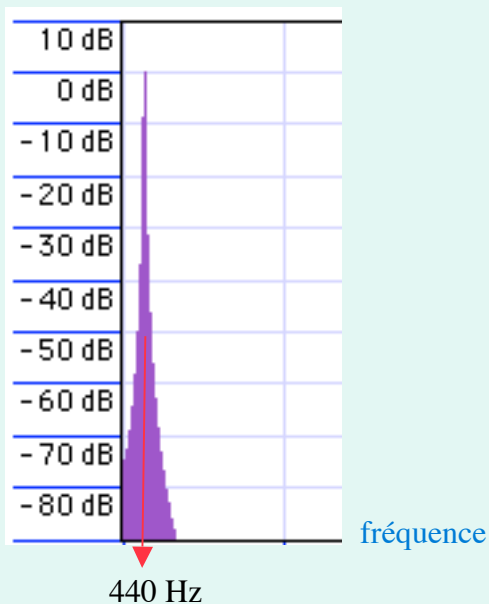
2/ Sons composés périodiques

Fréquence fondamentale: 440 Hz + des harmoniques de fréquence = $n \cdot 440 \text{ Hz}$ avec n entier

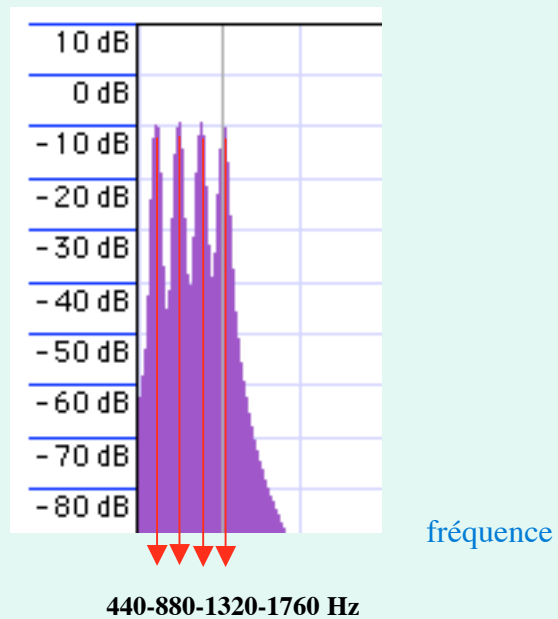


II. Aspects fréquentiels

amplitude

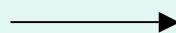


amplitude



1/Répartition spectrale: amplitude/fréquence obtenu à partir d'une analyse de Fourier

Son périodique



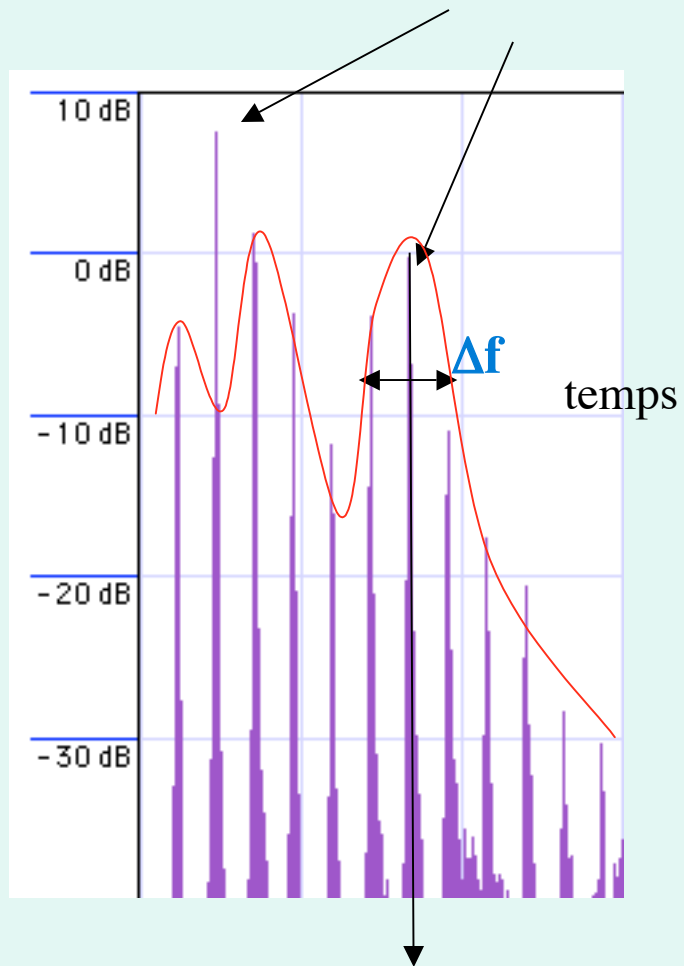
spectre harmonique

période T_0

$f_0, 2f_0, 3f_0, 4f_0, 5f_0, \dots$

2/ Enveloppe spectrale

Formants = maxima de l'enveloppe spectrale

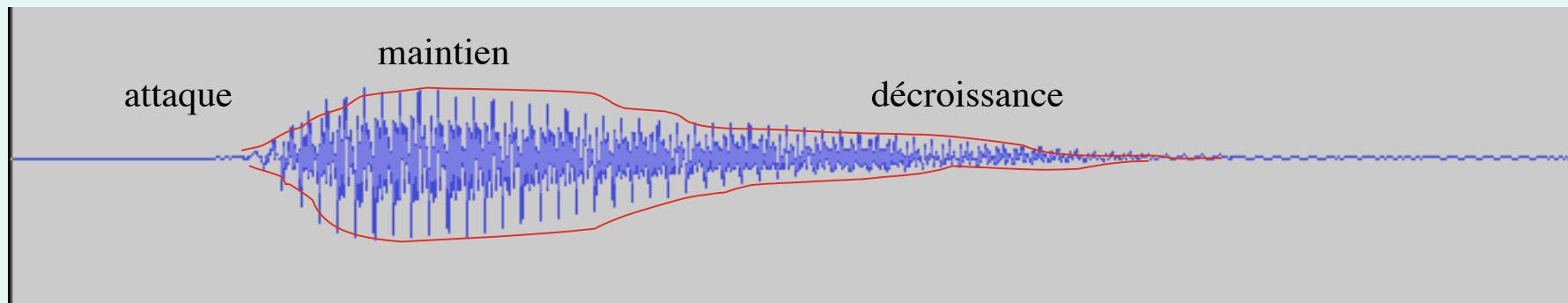


$f_c = \text{fréquence centrale}$

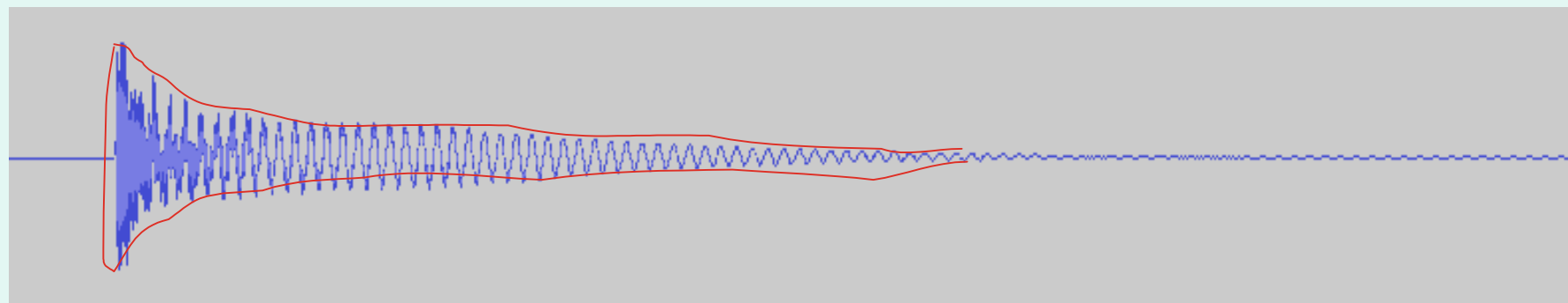
Flûte traversière (do grave)



2^{ème} caractérisation: enveloppe temporelle: importance des transitoires



clarinette



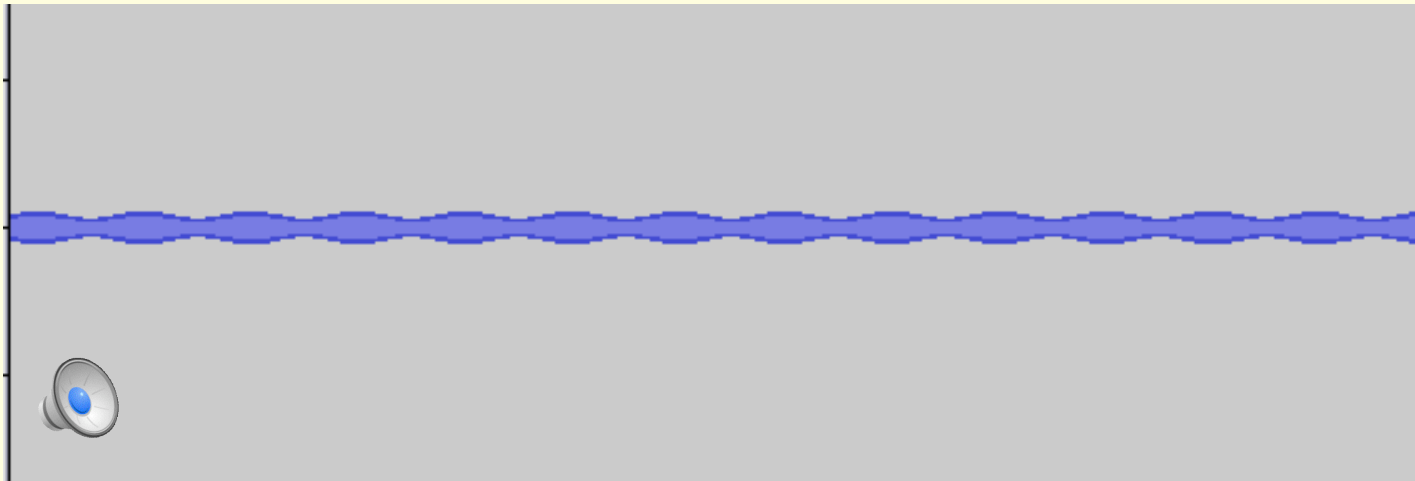
?

xylophone

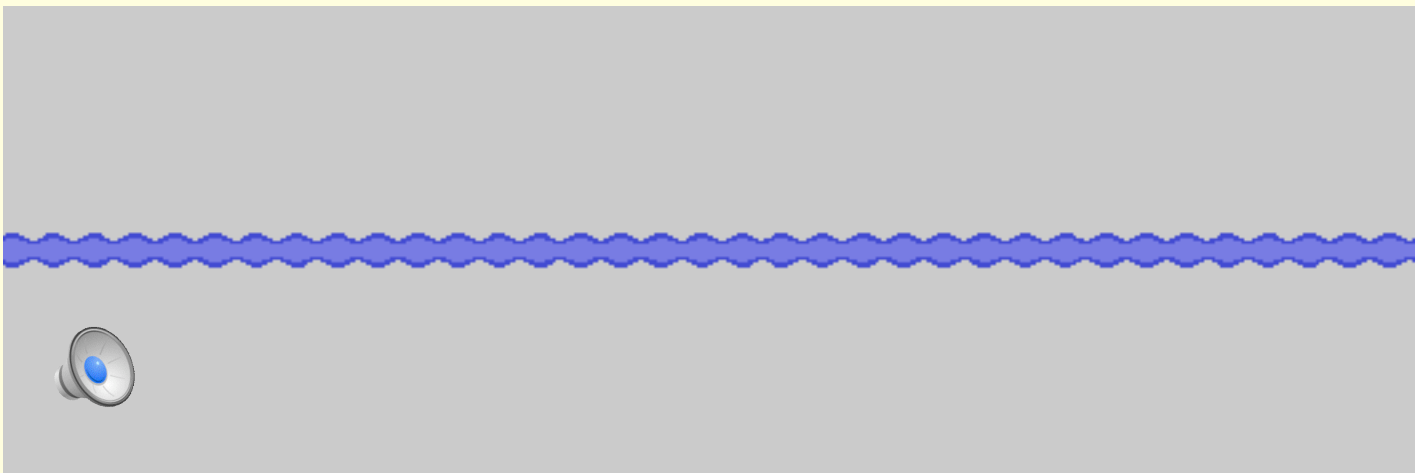
3^{ème} caractérisation: modulations, fluctuations

Modulation d'amplitude : battements ou sensation de vibrato

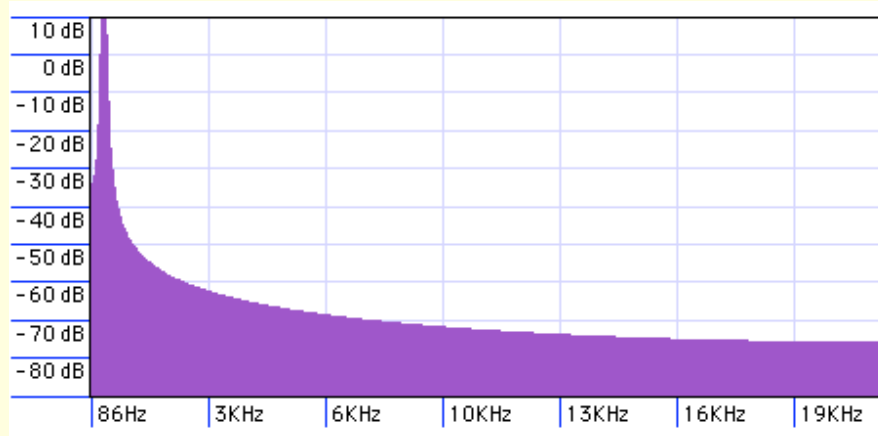
2 Hz



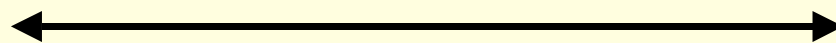
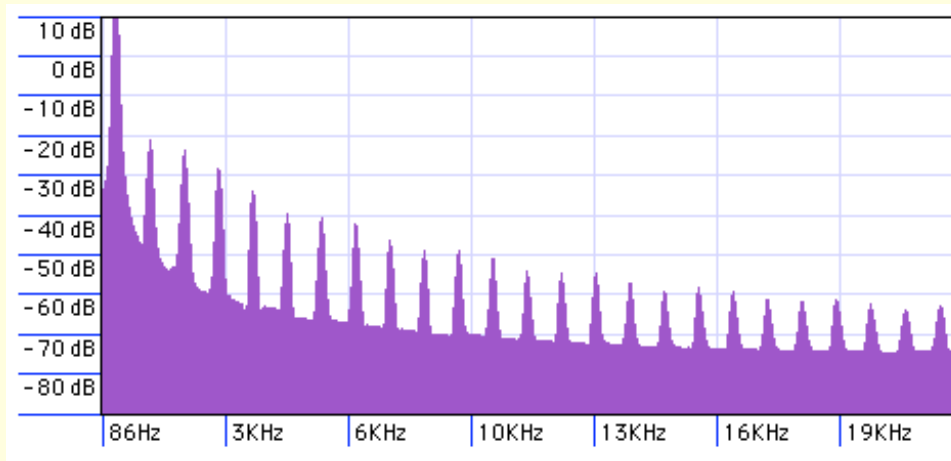
6 Hz



Modulations de fréquence ou distorsion : enrichissement du spectre



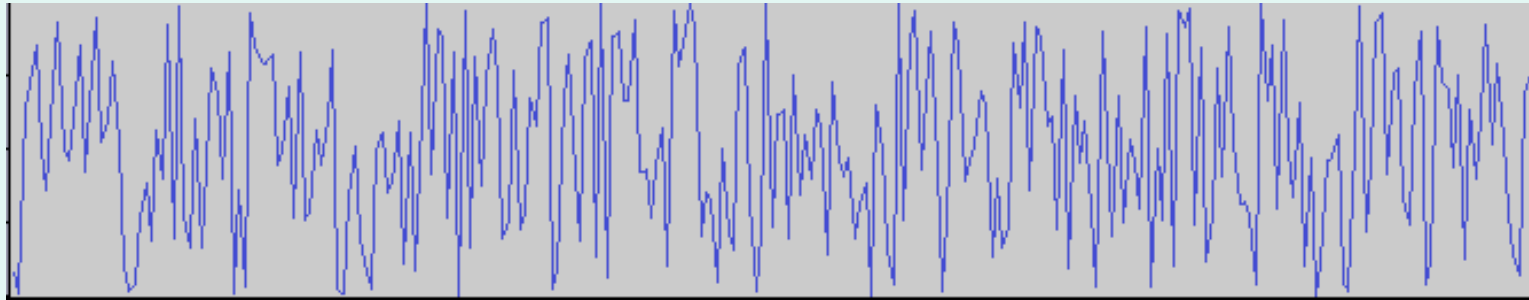
1/« vie » du son
2/ relation
intensité/étalement spectral



étalement spectral

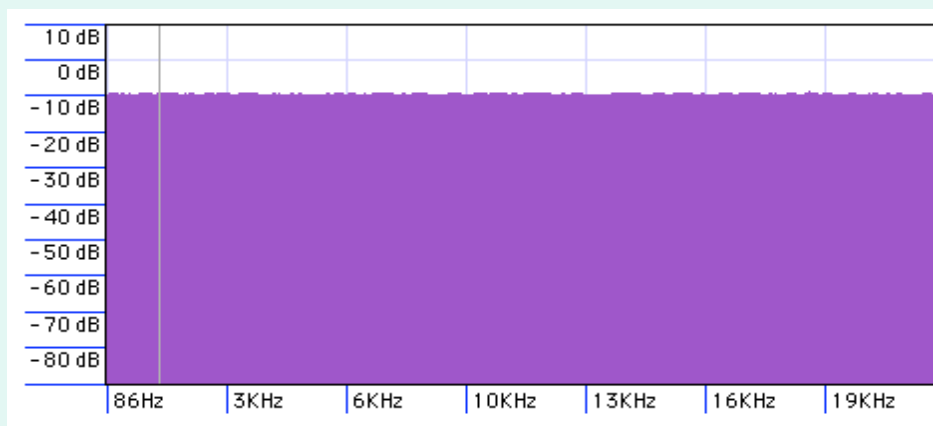
4ème caractérisation : taux de bruit

Bruit = signal n'ayant aucune périodicité dans le temps



Représentation temporelle

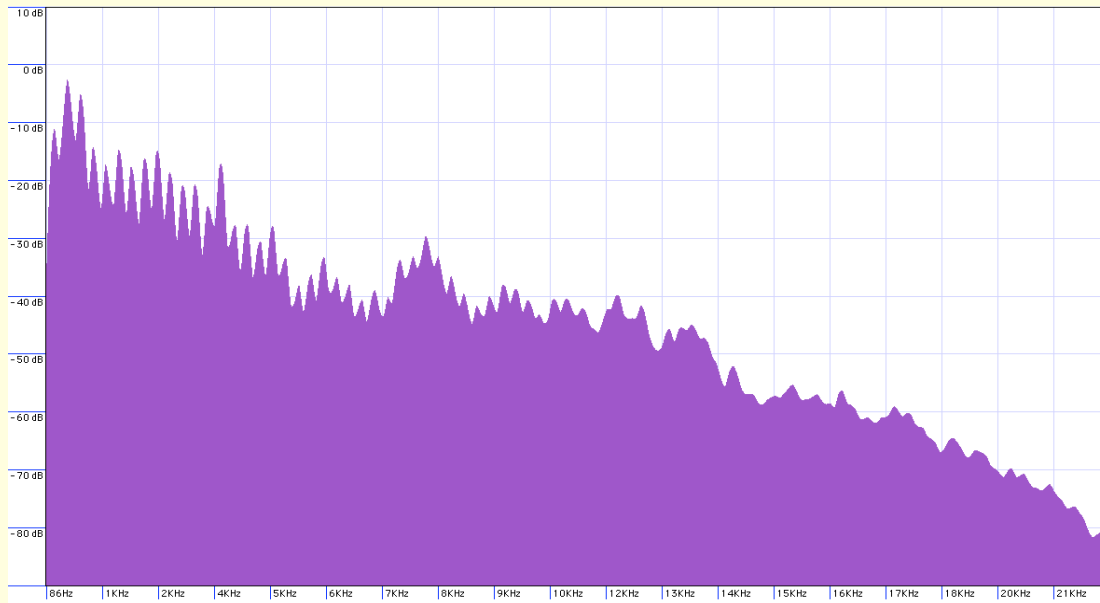
bruit blanc



Représentation spectrale

spectre « continu »

// spectre « discret »

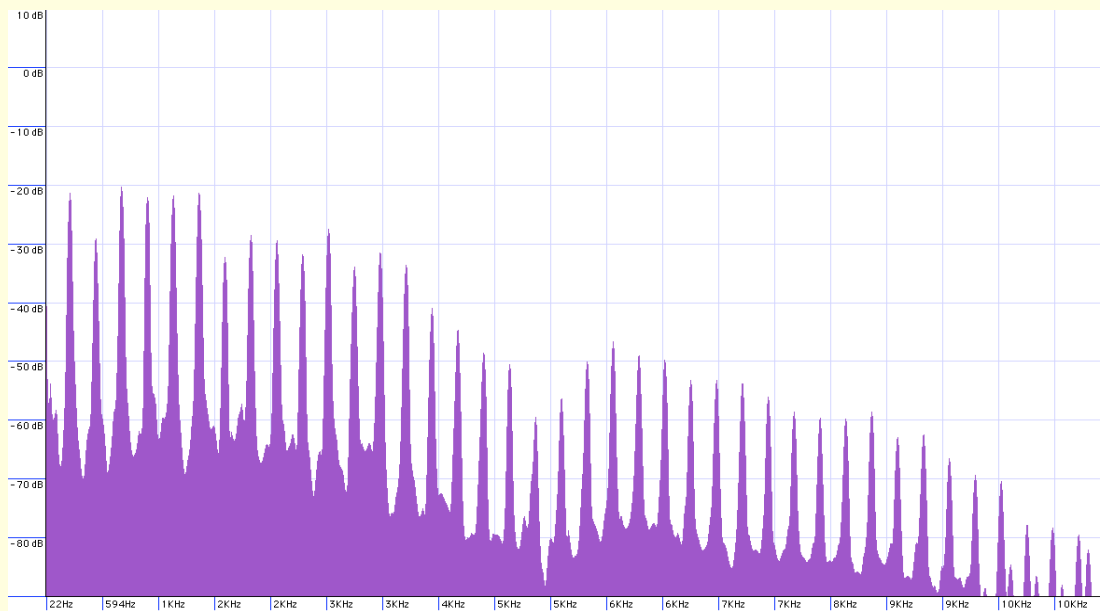


son de trompette /
son de violoncelle?



caractéristiques spectrales?

- harmonicité
- étalement spectral
- formants
- bruit



que peut-on en déduire
sur la façon dont a été
jouée la note?

Résonances, ondes, matériaux, excitateurs



marimba



violoncelle



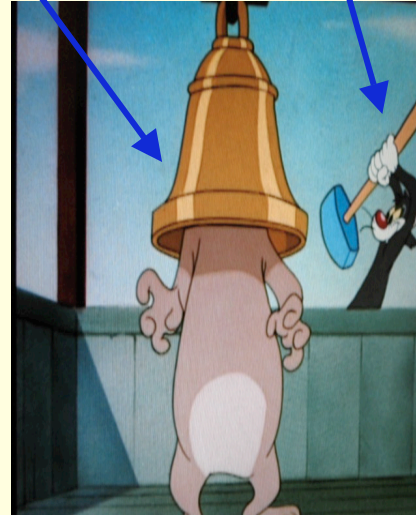
cor

modèle « résonateur/excitateur »

son = réponse du corps d'un instrument à une excitation donnée

**résonance = réponse du résonateur
(supposée invariante)
= formants du spectre**

**excitation = a/ unique (coup de marteau)
b/ répétitive (anche)**



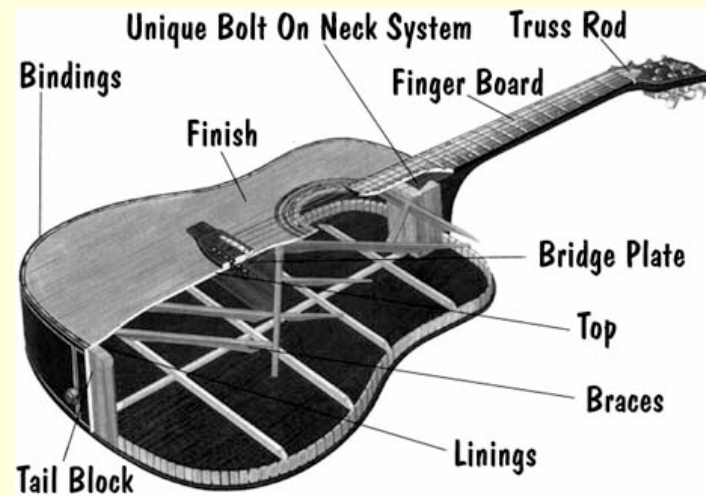


figures de Chladni

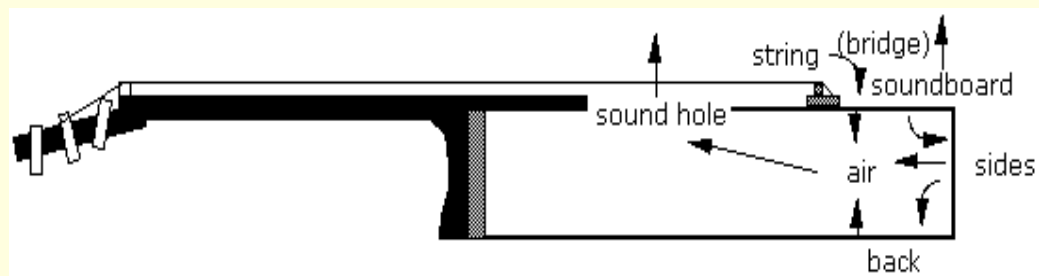
matériau
forme
volume



holographie laser



mise en équation de phénomènes complexes
et de leurs couplages



Modélisation physique

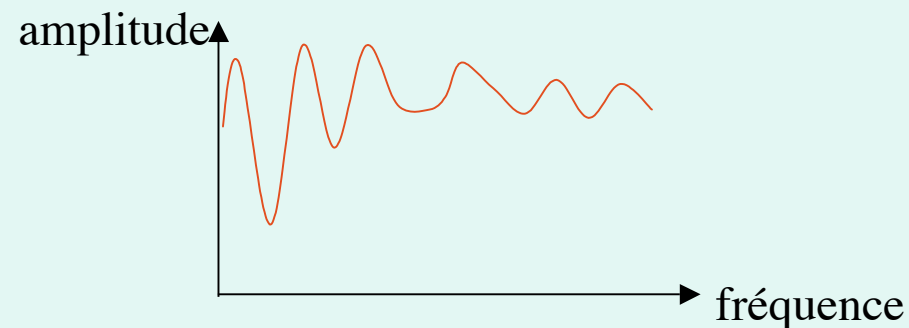
Modélisation physique « d'un point de vue signal »

modèle = filtrage d'un signal « excitation » par un filtre « résonant »

réponse impulsionnelle : réponse à une excitation « idéale » (Dirac)



réponse fréquentielle ou fonction de transfert: caractéristiques de l'enveloppe spectrale (modes de résonance)



non pris en compte:

variabilité dynamique des résonances, couplages non-linéaires...



Classification des instruments

quels sont les critères d'une famille?

Cordes Pincées/ Frottées/ Frappées
(guitare /violon / piano)

Vents Cuivres/ Bois/ autres
anche roseau simple ou double
(hautbois, harmonica)
anche d'air (flûte)
anche lippale (trompette)

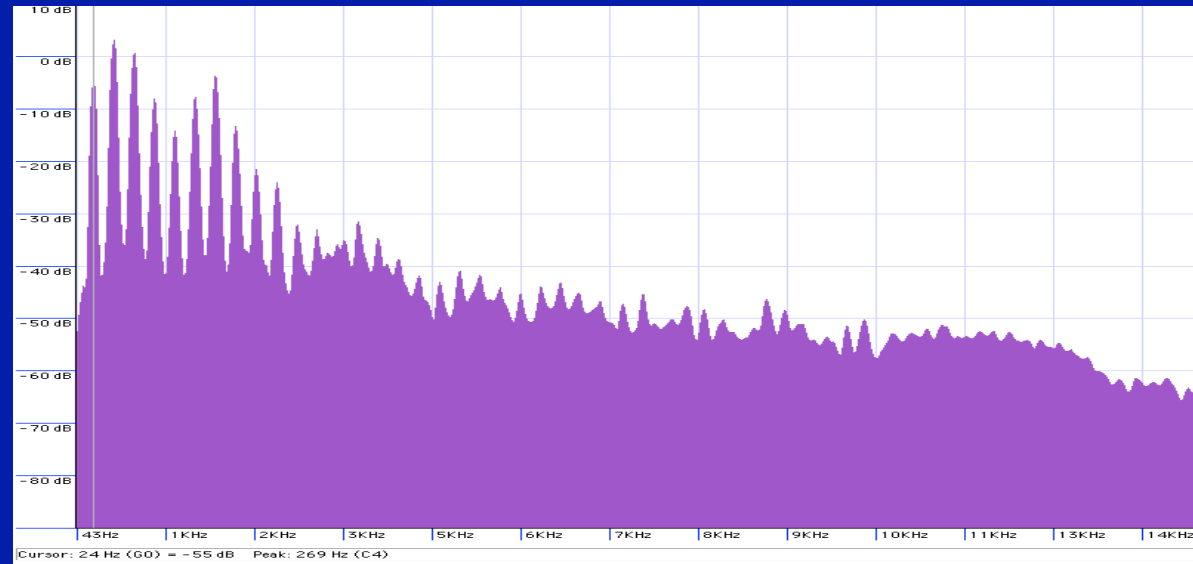
Percussions membranes/plaques/lames/autres
(tambour/ cymbales / xylophone)
mélodiques/non-mélodiques (cloche/batterie)

nature de l'excitation

matériau

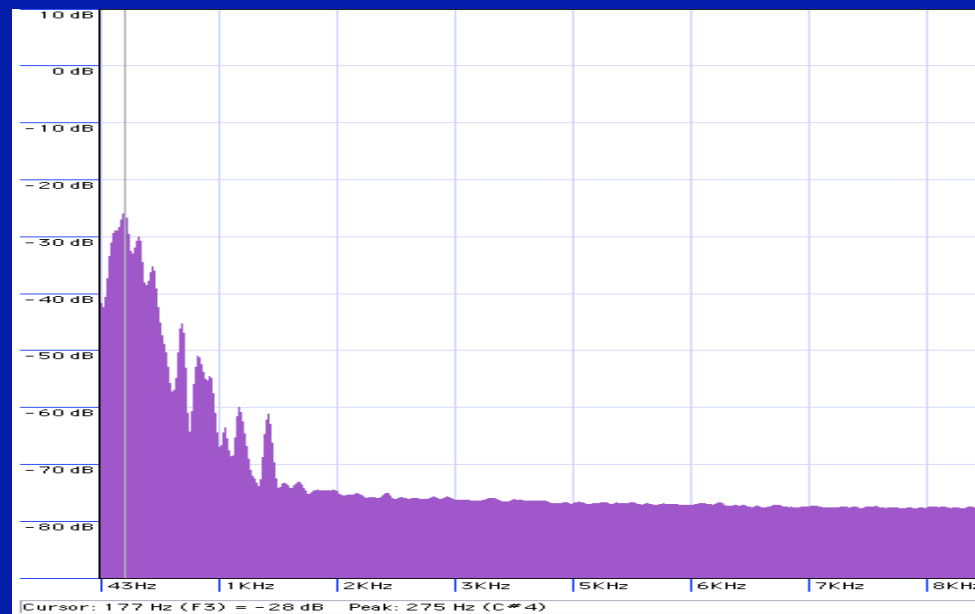
spectre

flûte ou piano?



détection des harmoniques - formants - bruit

problème des notes multiples!



cas des timbres instrumentaux « extra-européens »



luth arabe



luth chinois



flûte (shakuachi) japonaise

timbre instrumental → timbre musical



Grisey 1975 (s)



Xénakis 1979



Nono 1984



Ligeti 1990



Stravinsky 1913



Webern 1931



Varèse 1932



Boulez 1966

« Le son musical (musique, acoustique et informatique) », J.Pierce, Pour La Science Diffusion Belin, 1984

« Acoustique et Musique », E. Leipp, Masson, Paris, 1971/1984

« Le timbre, métaphore pour la composition », Christian Bourgois Editeur et IRCAM, 1991 notamment articles de:

JC. Risset « Timbre et synthèse des sons » pp 239-260

Y.Potard, P-F.Baisnée, J.B Barrière « Méthodologie de synthèse du timbre: l'exemple des modèles de résonance » pp 135-163

C.Cadoz « Timbre et causalité » pp 17-46

« Musique, pouvoir, écriture », H.Dufourt, Christian Bourgois Editeur, 1991 notamment: « *Hauteur et timbre* », pp 243-274

www.phys.unsw.edu.au/~jw/musical.html

www.inrp.fr/Acess/JIPSP/phymus/