

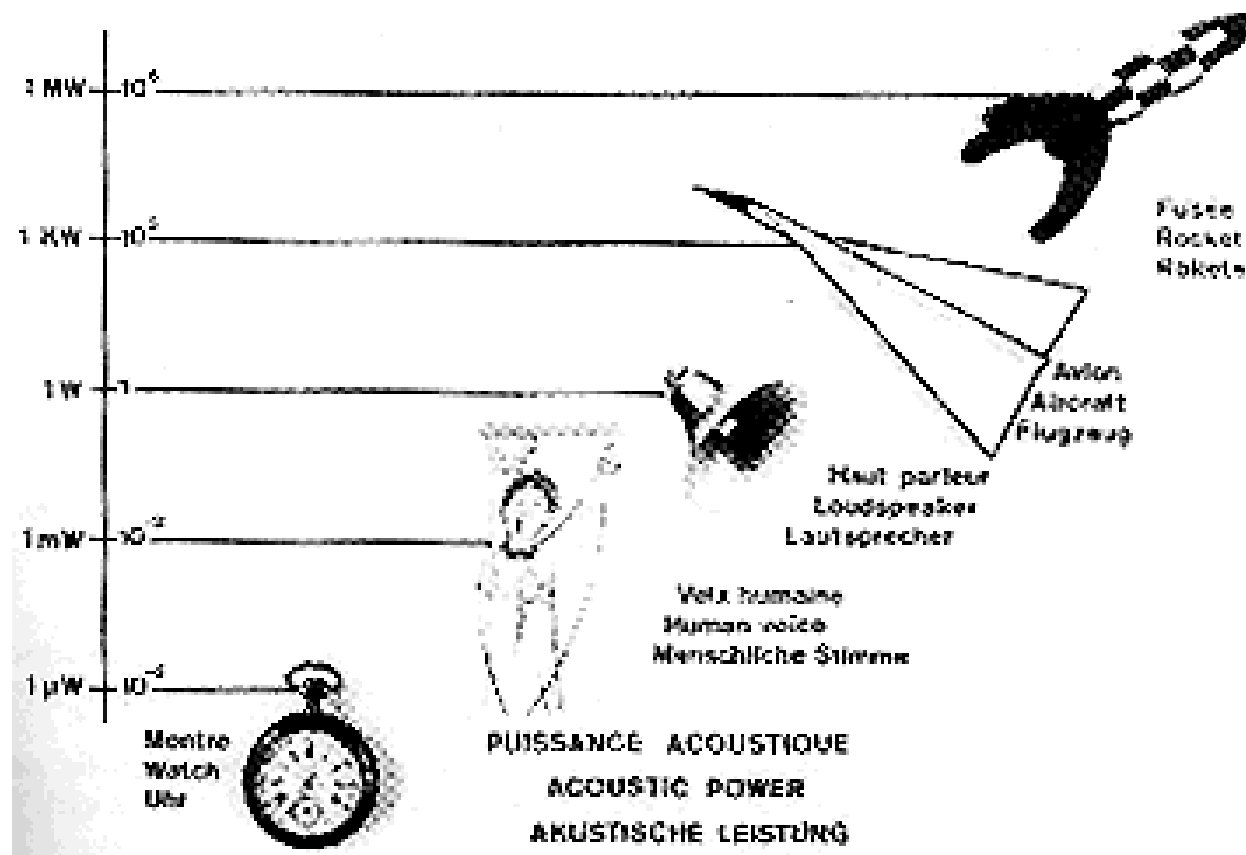
# Enregistrement et transformation du son

S. Natkin

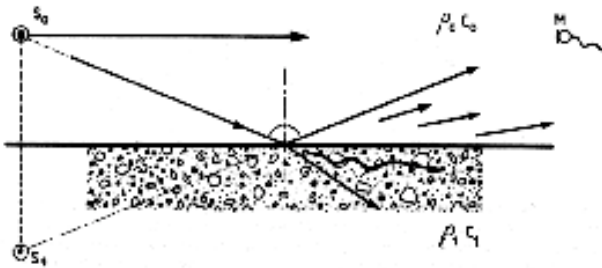
Novembre 2001

# Éléments d 'acoustique

# Dynamique de la puissance sonore



# Acoustique géométrique: effets de diffusion et de diffraction des ondes sonores

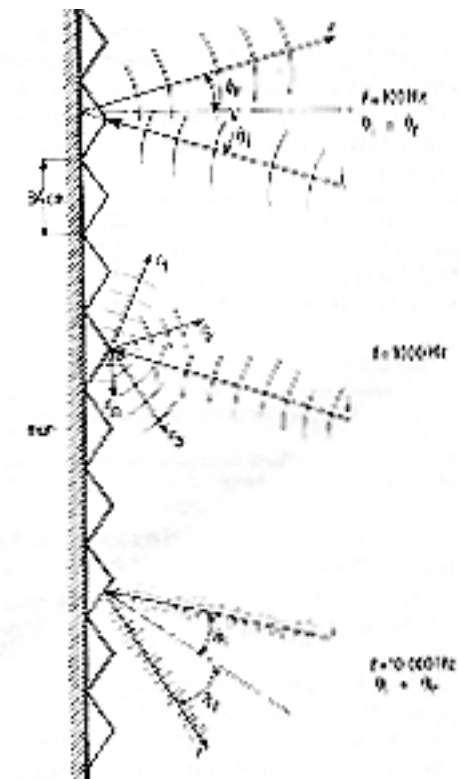


Réflexion et diffusion  
Sur une paroi (TS)

$\omega \tau = 100 \text{ Hz}$  : réflexion sur le pan du mur.

$\omega \tau = 1000 \text{ Hz}$  : réflexion diffuse.

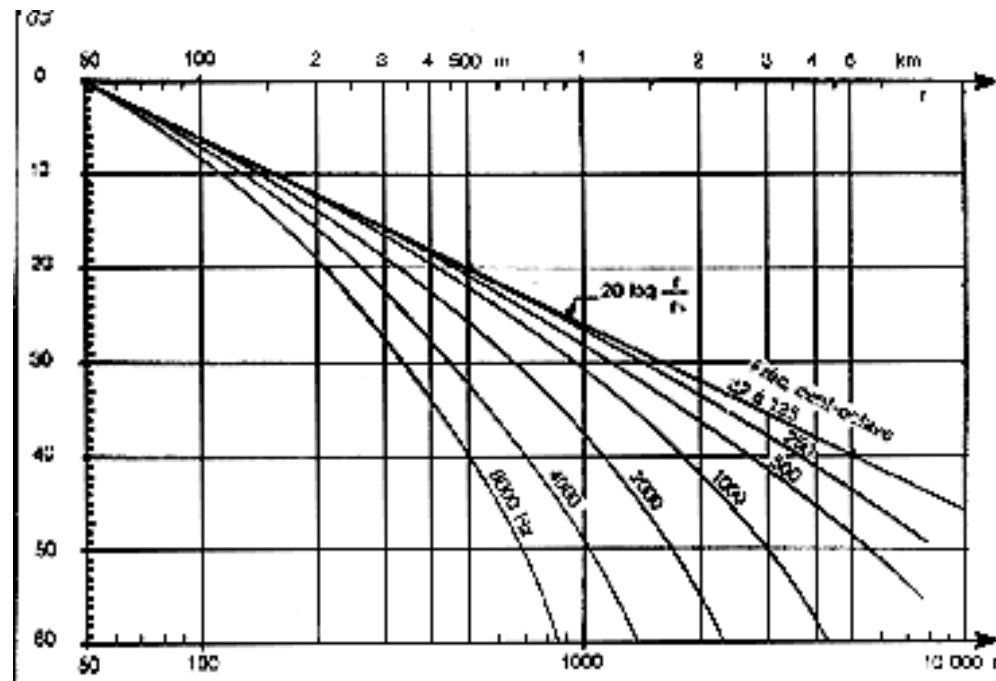
$\omega \tau = 10000 \text{ Hz}$  : réflexion sur la partie inclinée de l'accident de surface.



# Transformation du son

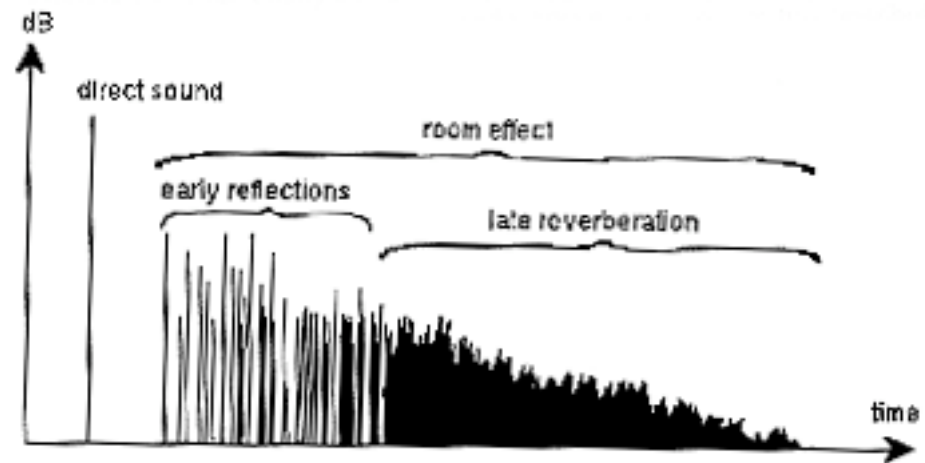
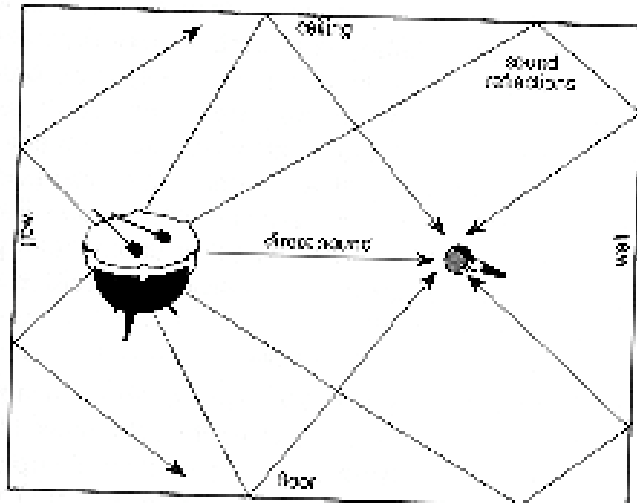
Une vibration initiale d'un objet est transformée par:

- des phénomènes d'ondes stationnaires
- des relations entre le son initial et les fréquences propres de "la salle"
- l'affaiblissement lié à la propagation dans l'air



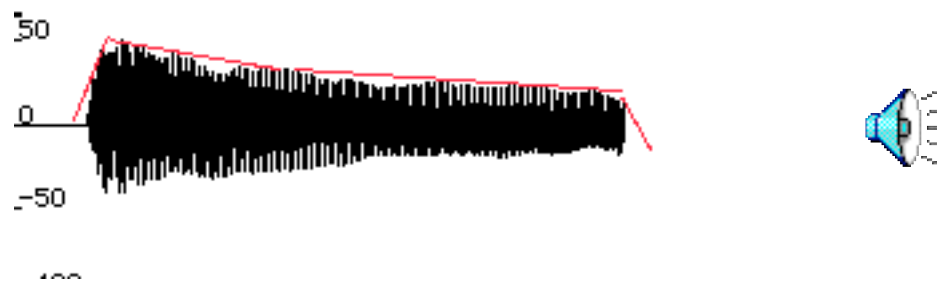
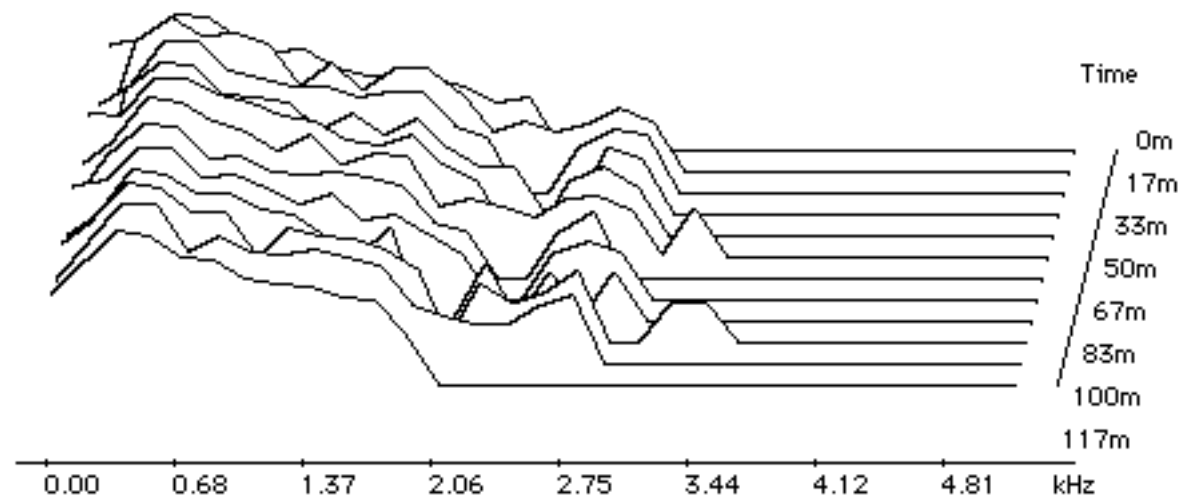
Courbes d'atténuation de la puissance sonore en fonction de la distance (TS)

# Exemple: Effet de réverbération

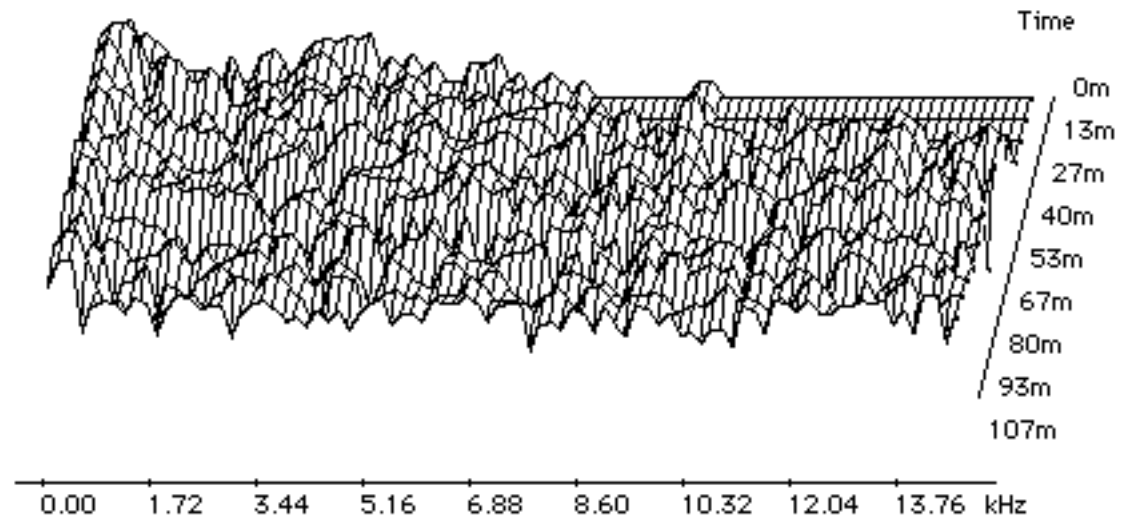
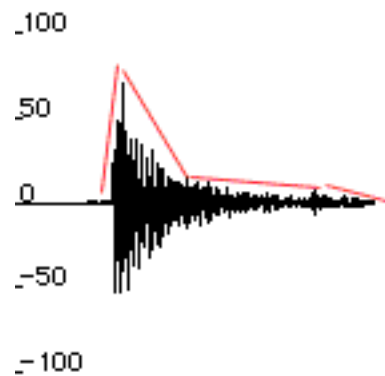


Spectre du signal réverbéré (JMJ)

# Envelope d' amplitude: piano



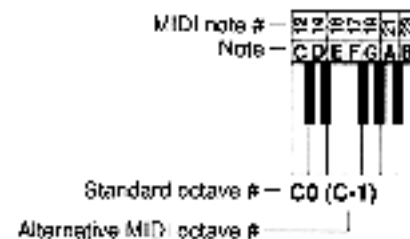
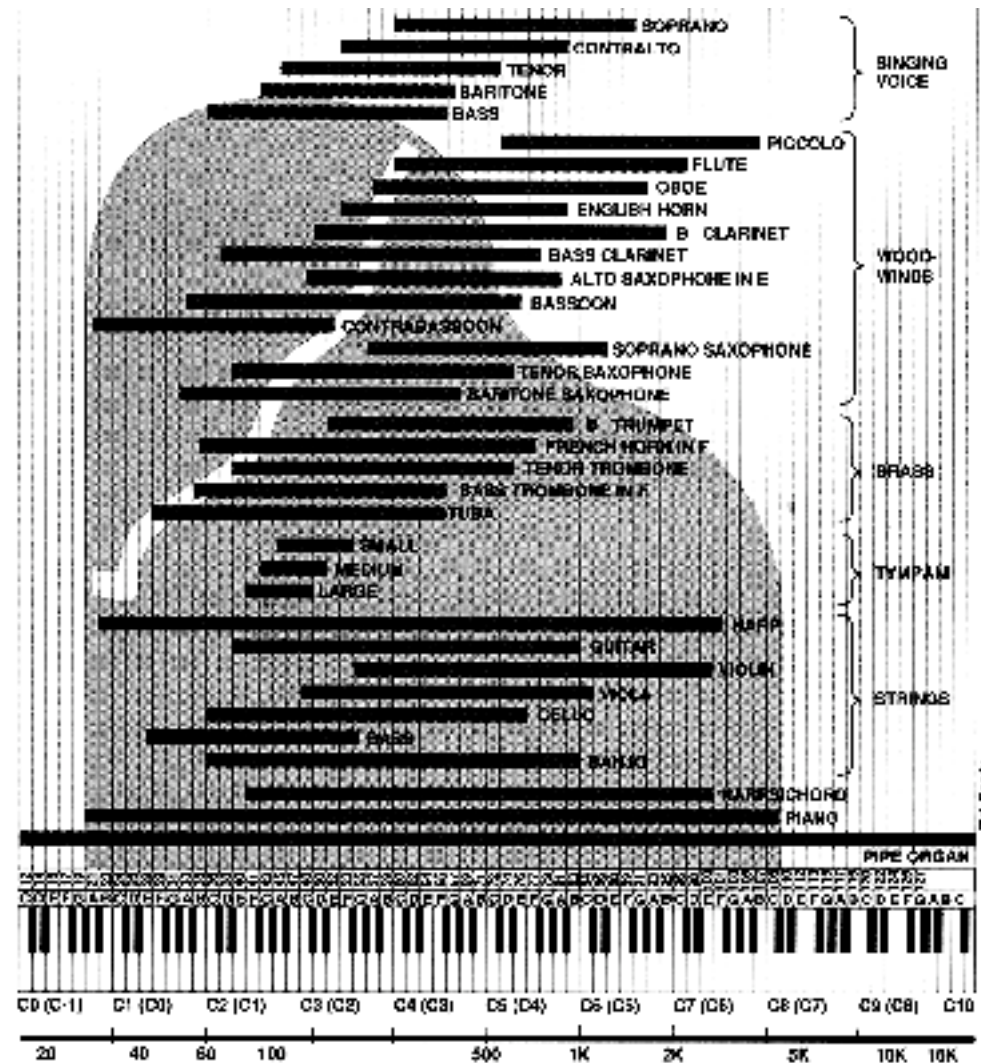
# Enveloppe d'amplitude: caisse claire





# Spectre des instruments de musique

(fondamentale (JB))



# Bande passante de l'oreille humaine

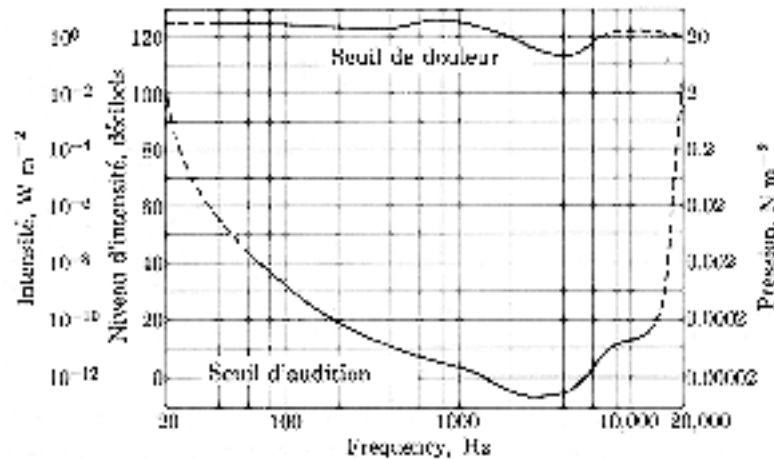
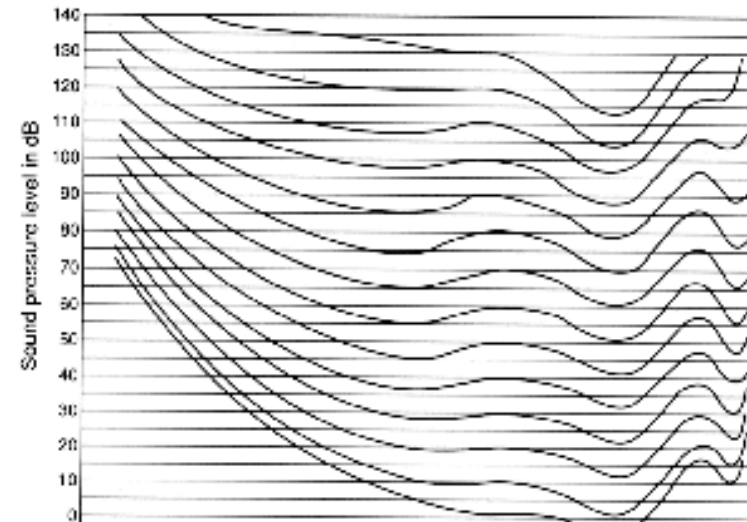
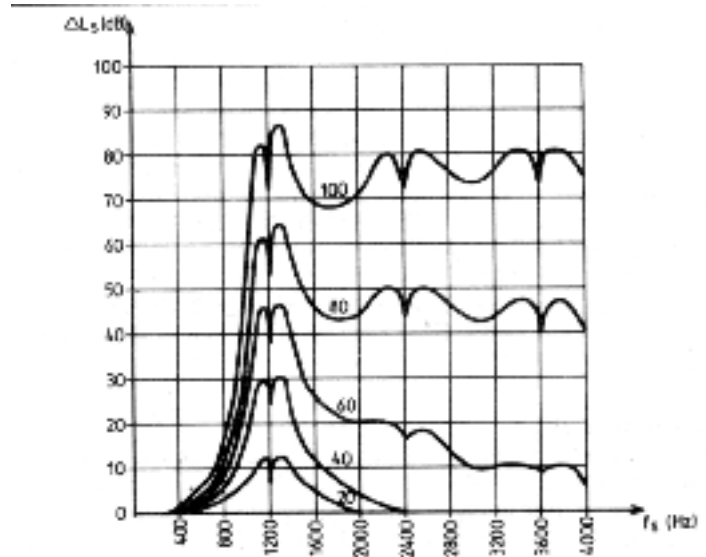


Fig. 1B-23. Domaine moyen d'audition de l'oreille humaine. (AF)



Abaques de Fletcher-Muson de sensibilité de l'oreille (JB))



Effet de Masquage d'un son à 1200 Hz (TS)

# Intervalles musicaux

Base de la construction des gammes dans la musique occidentale

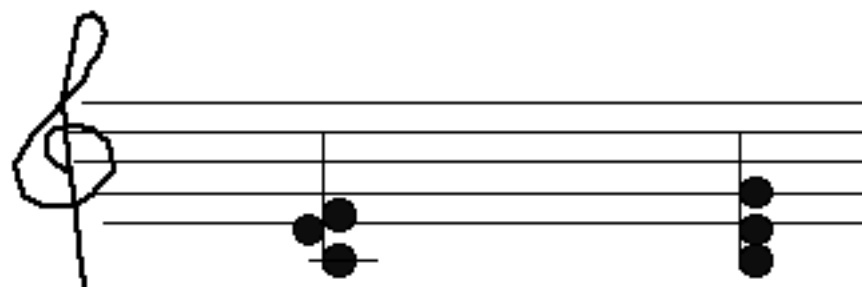
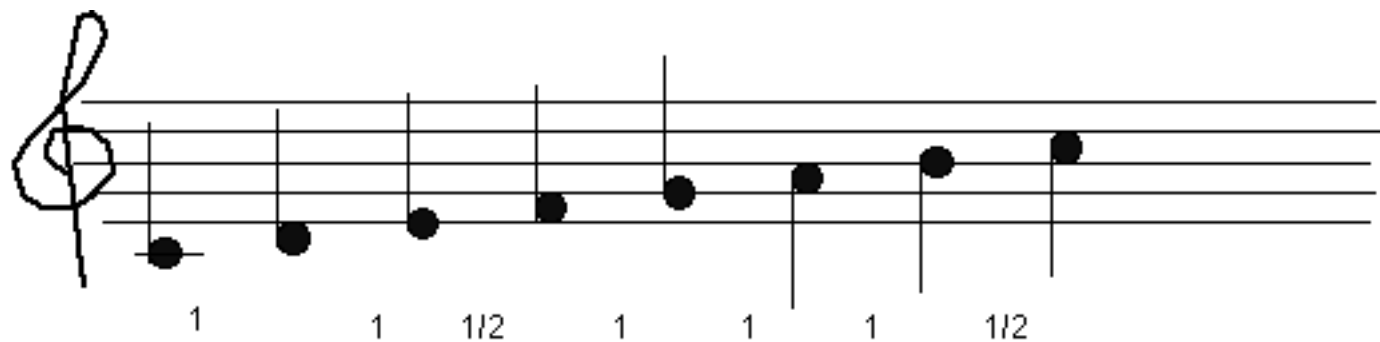
Un octave= multiplication par 2 de la fréquence

Division d'une corde selon des proportions harmoniques  $1/2, 1/3, 1/4...$

(Les puissances de la quinte ( $3/2$ ) modulo l'octave (2))

Notes	Intervalle	Gamme nat.	Gamme temp.
Do-Re	Seconde majeure	$9/8=1,125$	$(1,059)^2=1,122$
Do-Mi	Tierce Majeure	$5/4=1,250$	$(1,059)^4=1,26$
Do-Fa	Quarte	$4/3=1,333$	$(1,059)^5=1,335$
Do-Sol	Quinte	$3/2=1,5$	$(1,059)^7=1,498$
Do-La	Sixte Majeure	$5/3=1,666$	$(1,059)^9=1,68$
Do-Si	Septième Majeure	$15/8=1,875$	$(1,059)^{11}=1,88$
Do-Do	Octave	2	$(1,059)^{12}=2$

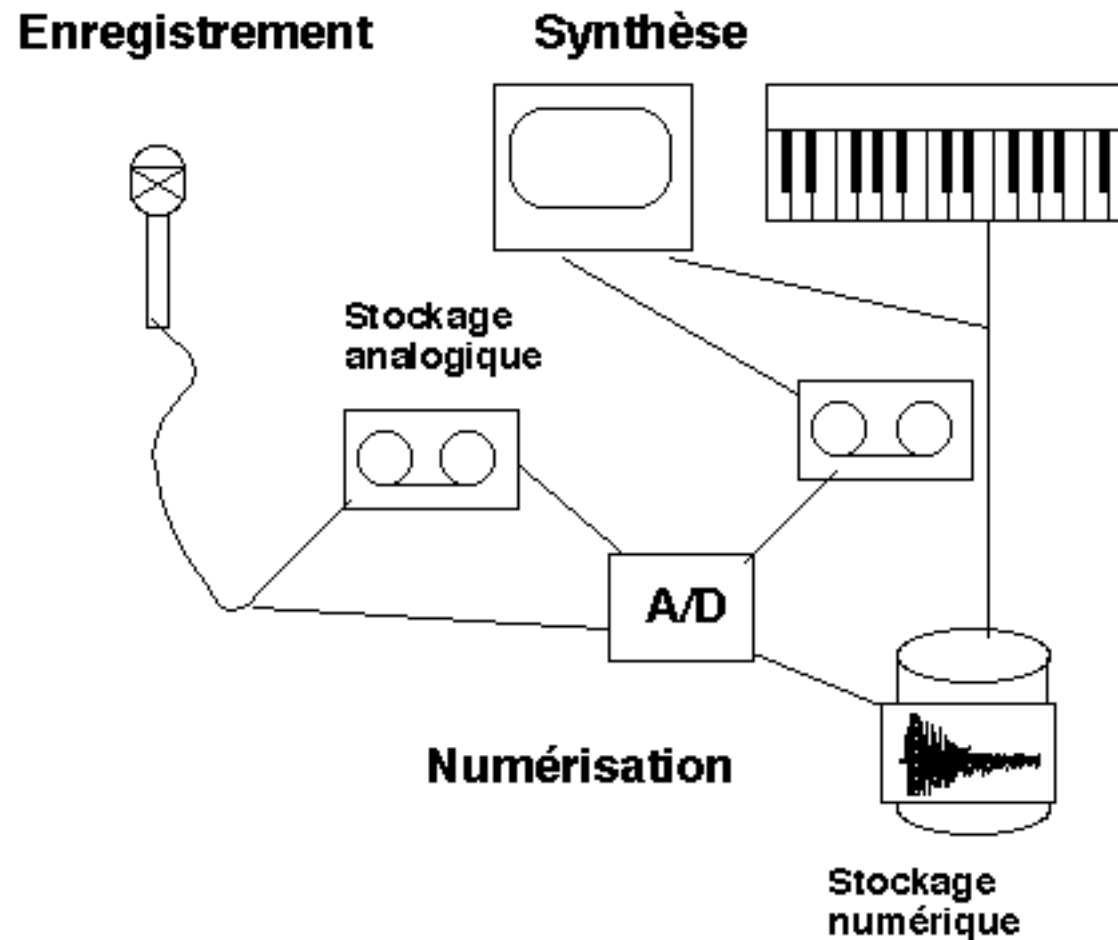
# Le système tonal



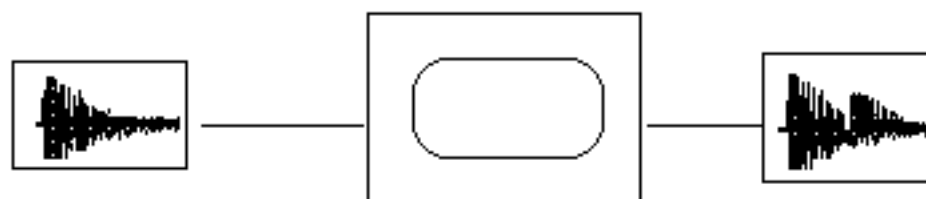
# Audio Numérique

- Introduction: la chaîne des outils audionumériques
- Numérisation du son
- Transformations et effets
- Exemple d'outils

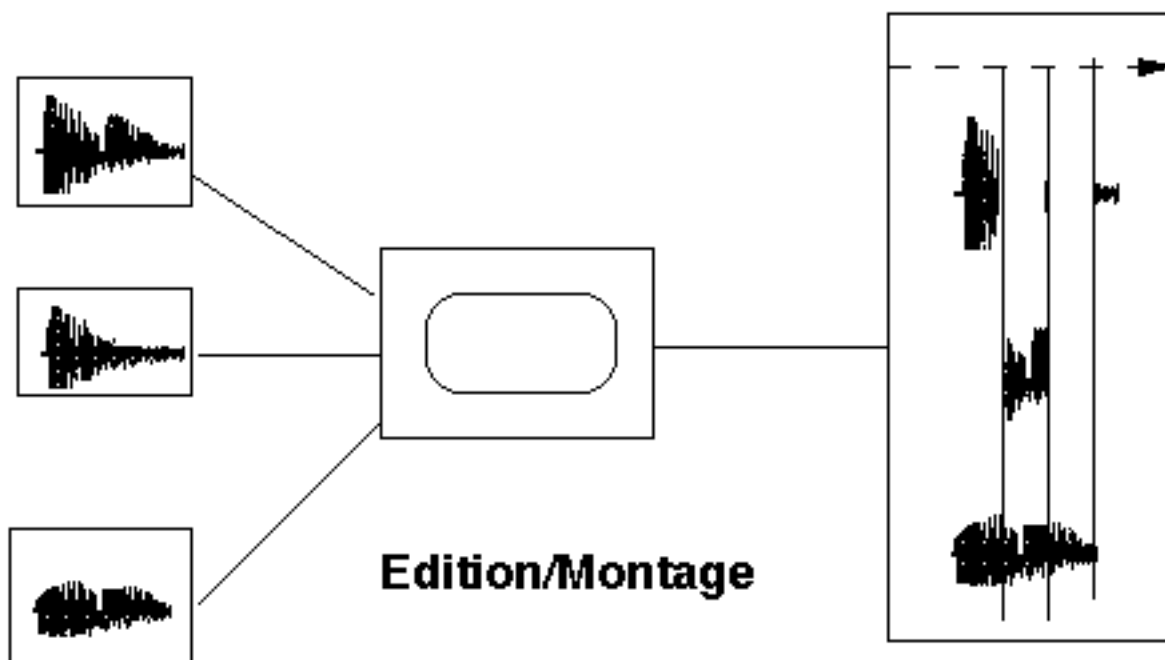
# La chaîne de traitement du son



# La chaîne de traitement du son (2)

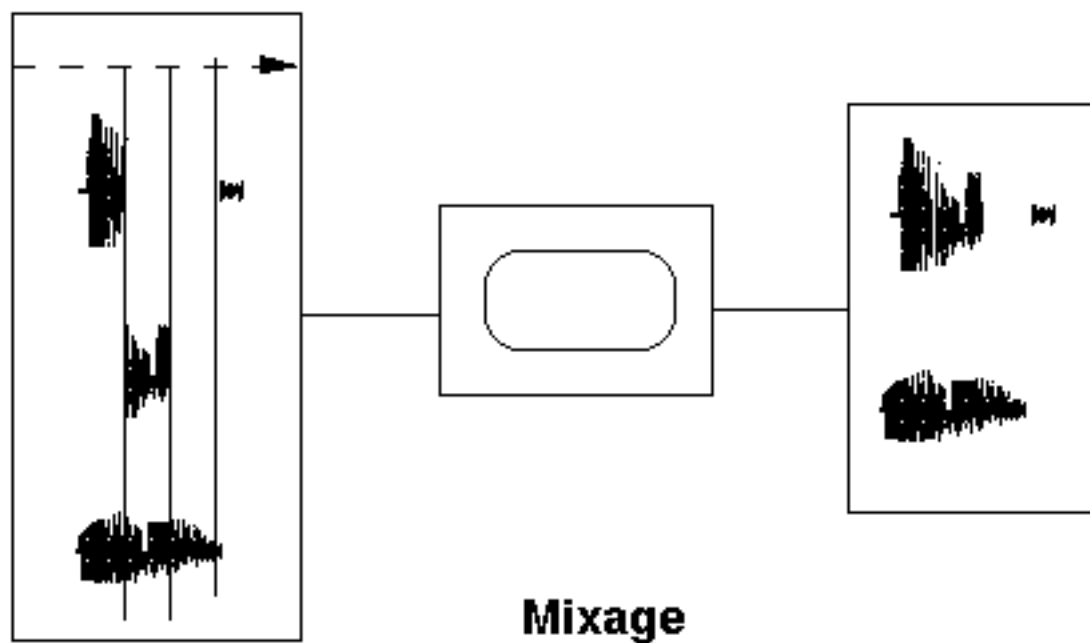


**Transformations/Effets**



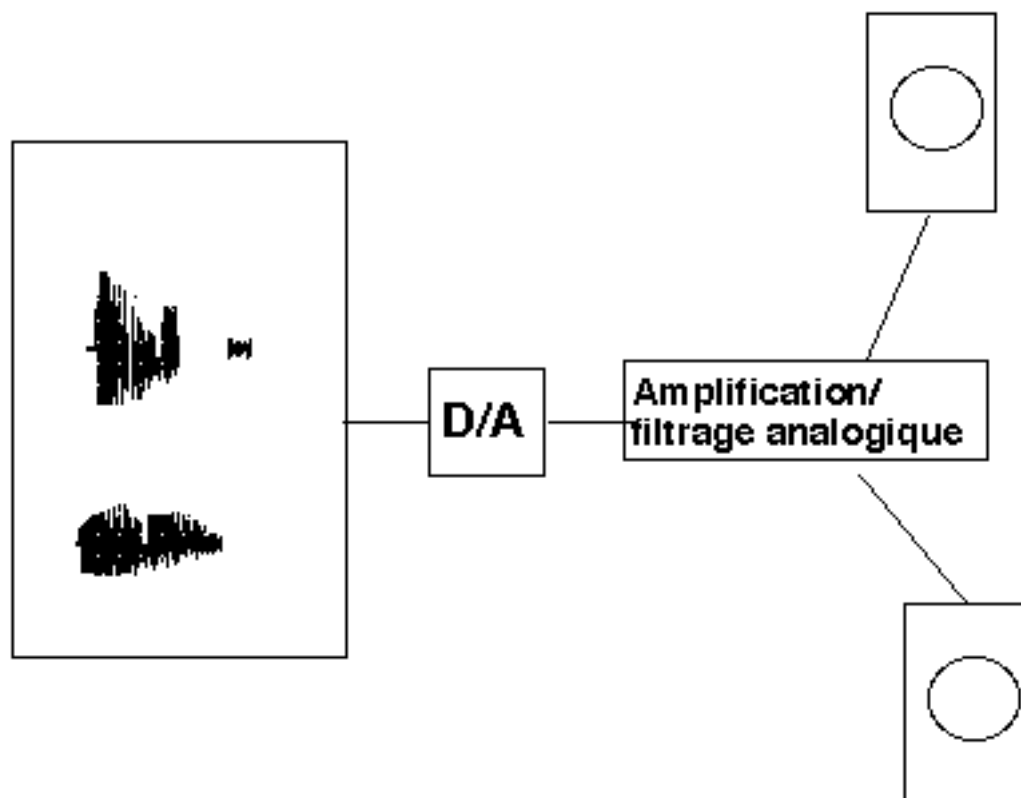
**Edition/Montage**

# La chaîne de traitement du son (3)





# La chaîne de traitement du son (4)



# Limites

Capacité de traitement

(Fft/convolution) => la réalisation des étapes complexes

en temps réel nécessite soit des processeurs dédiés (dsp), soit une capacité de traitement relativement importante

Capacité de stockage

1 s de son mono a 44.1 mpeg layer2 = 128kb

1h de son stéréo qualité cd=500 à 600 mo

# Codage numérique du son

## Exemple

# Eléments de codage

- Fréquence d'échantillonnage (2Khz-80 Khz)
- La loi de quantification (8-16 bits)
- La (les) algorithmes de compression
- La représentation binaire

Exemple : le codage sur un CD fréquence  
44.1 Khz échantillonnage sur 16 bits  
soit 700 kb/s

# Numérisation et codage du son

EXEMPLE1: LE CODAGE MIC (MODULATION PAR IMPULSIONS ET CODAGES) (PCM)

CODAGE UTILISE POUR LE TELEPHONE NUMERIQUE (RNIS)

BANDE PASSANTE DE 4000Hz

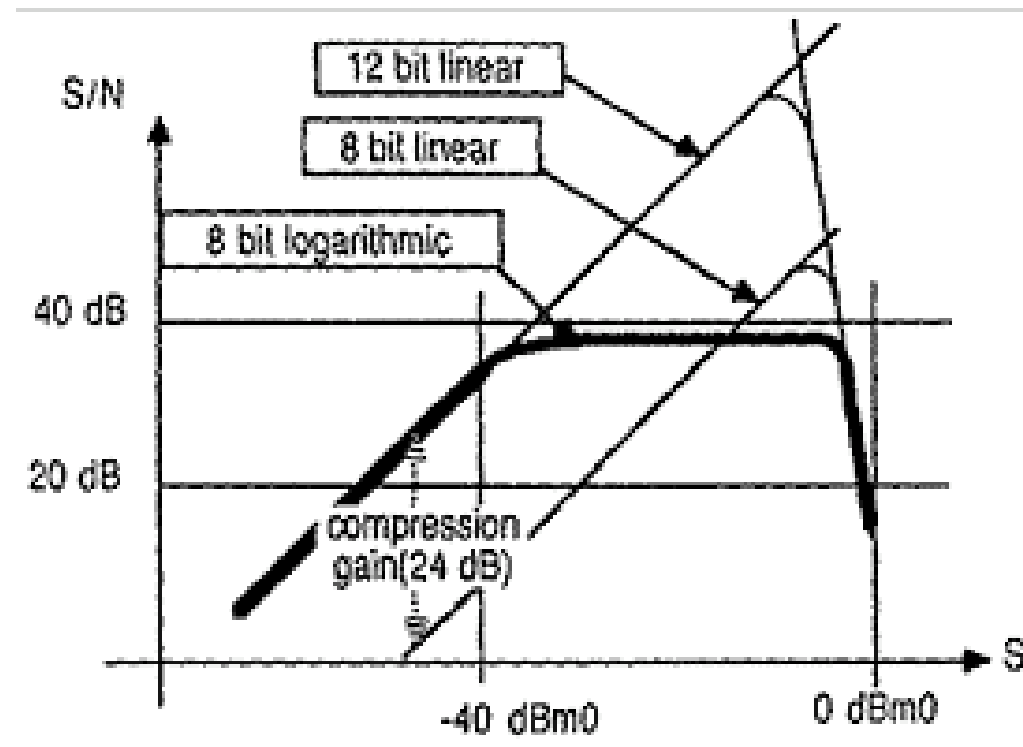
=> 8000 ECHANTILLONS PAR SECONDES (TH DE SHANNON)

UN ECHANTILON TOUTES LES 125 MICROSECONDES

UNE NUMERISATION SUR 8 BITS (LOI DE QUANTIFICATION NON LINERAIRE TENANT COMPTE DES SPECTRES D'AUDITION (MU LAW USA/ A LAW EN EUROPE)

DEBIT  $8000 \times 8 = 64 \text{Kb/s}$

# Lois de quantification mu et A



# MP3

MPEG3 EST UNE NORME DE TRANSMISSION DE VIDEO NUMERIQUE  
(IMAGE ANIMEE+ SON)

INTEGRANT DIFFERENTES QUALITES SELON LES TYPES  
D'APPLICATION (VISIOPHONIE... VIDEO A LA DEMANDE)

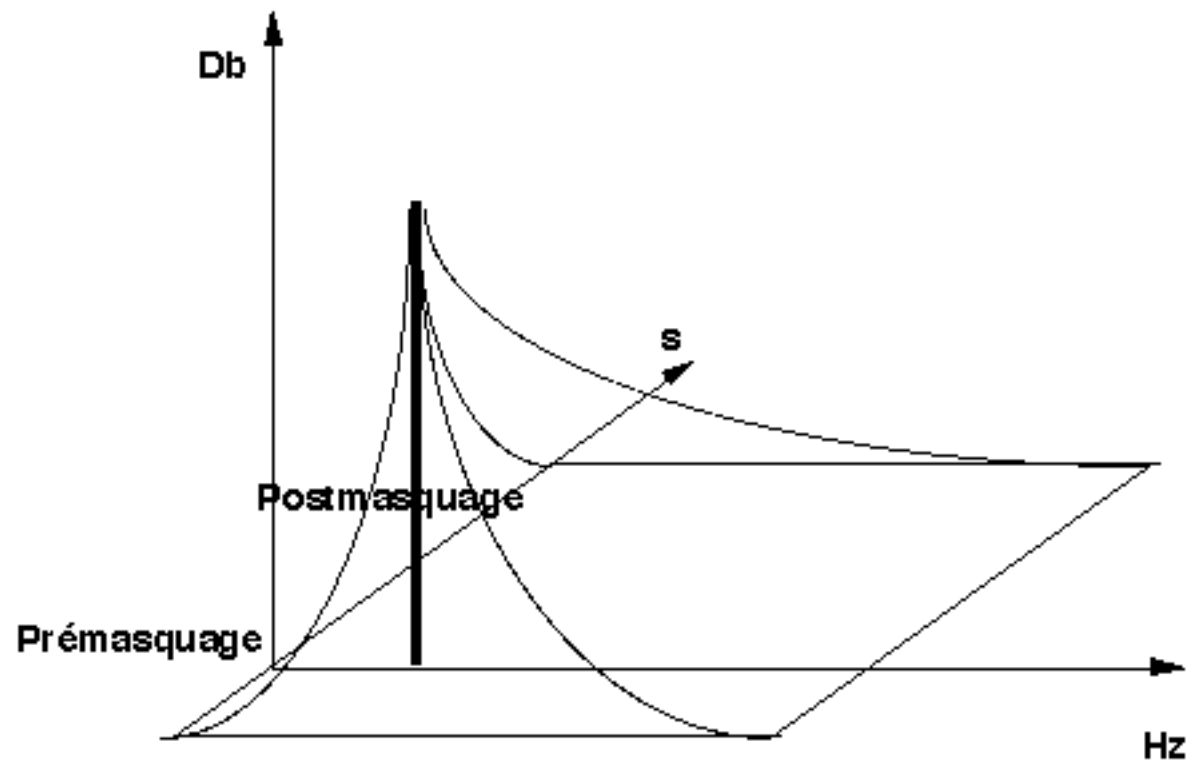
LE SON EST ECHANTILLONNE A 32, 44,1 kHz (FREQUENCE  
D'ECHANTILLONNAGE D'UN CD AUDIO) OU 48 kHz

POUR OBTENIR UNE QUALITE CD IL FAUDRAIT UNE  
QUANTIFICATION SUR 16 BITS SOIT UN DEBIT DE L'ORDRE DE 700  
Kb/s PAR CANAL

POUR OBTENIR UN DEBIT PLUS FAIBLE ON UTILISE UNE  
COMPRESSION NON CONSERVATIVE BASEE SUR LE MASQUAGE

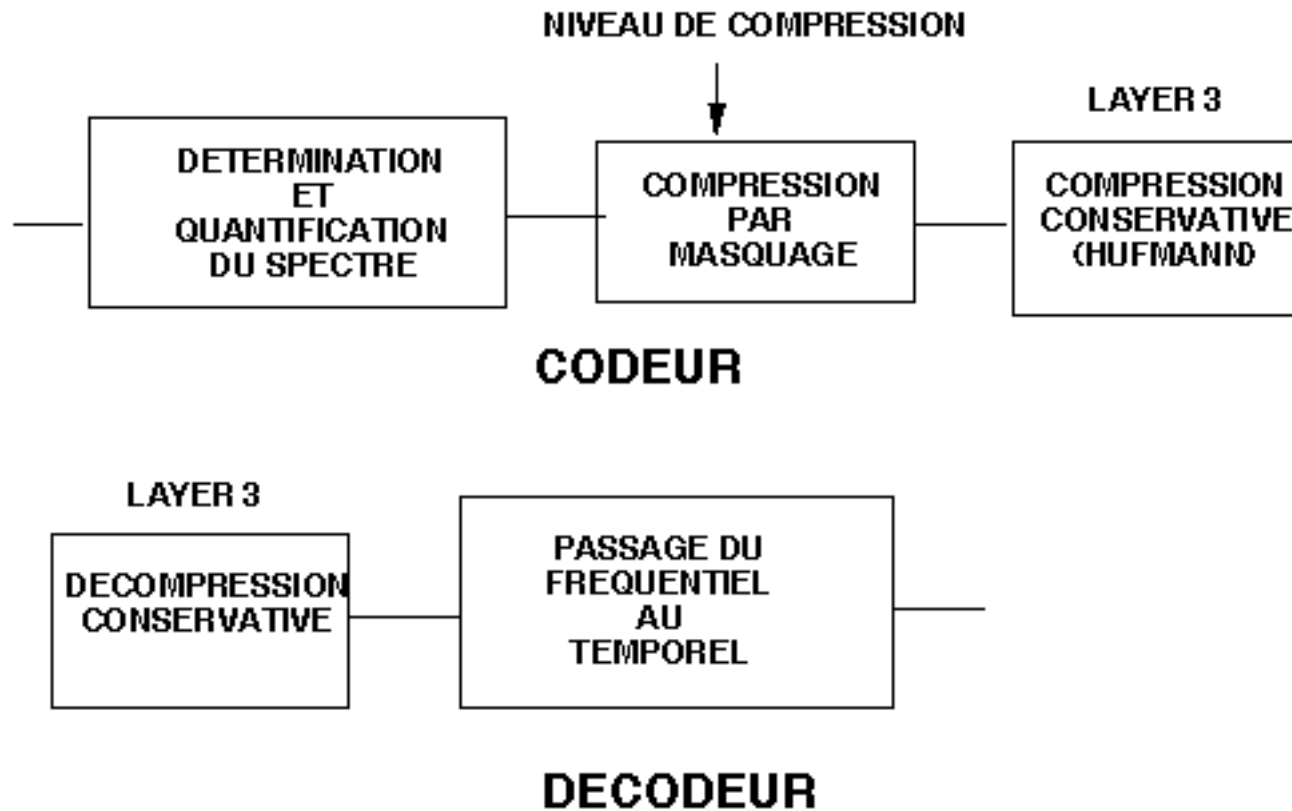
3 NIVEAUX AVEC DES CODEURS DE PLUS EN PLUS COMPLEXES EN  
FONCTION DE LA QUALITE DE SON VISEE

# Utilisation des effets de masquage





# Codeur MP3



# Compression dynamique de la voix

Mode de compression utilisé pour un traitement en temps réel de la voix sur un canal à faible débit (GSM, RealAudio...)

Basé sur un modèle acoustique de la gorge qui permet de caractériser le son initial et l'effet de résonance (formants)

# LPC: Linear Predictive coding

Les formants sont prédits par un filtre linéaire adaptatif qui induit le formant courant par rapport aux précédents.

Une fois le formant calculé il est soustrait du signal initial ce qui donne le résidu qui doit en théorie contenir le son direct

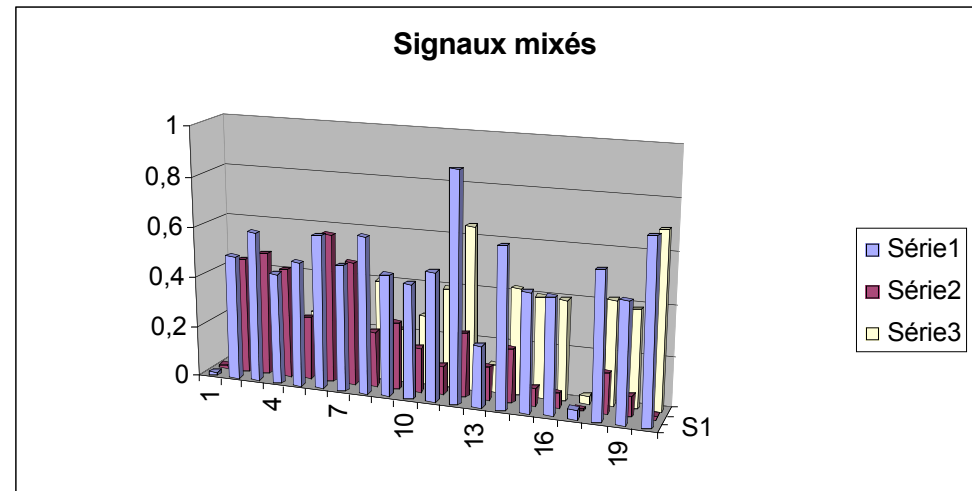
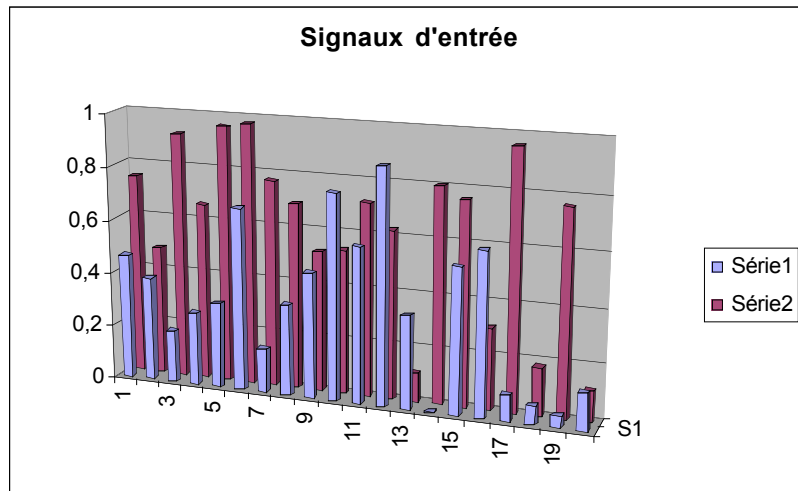
En pratique il faut transmettre une partie du formant ou une référence à un formant voisin (CELP : Coded Exited Linear Prediction)

# Effets et transformations

# Exemple de mixage

$$y(n) = s_1(n).a^n + s_2(n).(1 - a^n)$$

$$a < 1$$



# Filtrage numérique

TRES NOMBREUSES TECHNIQUES DE TRANSFORMATION PORTANT  
SOIT SUR LE SIGNAL TEMPOREL SOIT SUR LE SPECTRE

PRINCIPALES TRANSFORMATIONS BASEES SUR LE FILTRAGE  
NUMERIQUE LINEAIRE

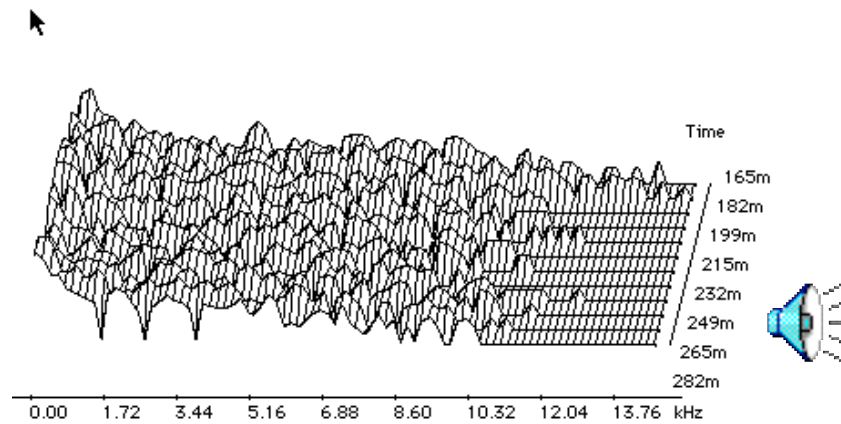


$$y(nt) = \sum_i a_i y(nt - it) + \sum_i b_i x(nt - it)$$

$$F(z) = \sum_i z^i f(it)$$

$$Y(z) = G(z)X(z)$$

# Filtrage numérique audio



**Parametric EQ**

Channel(s):  Left  
 Right  
 Both

Soundfile:

Filter Type: **Low Shelf**

Sample Rate: 44100 Hz

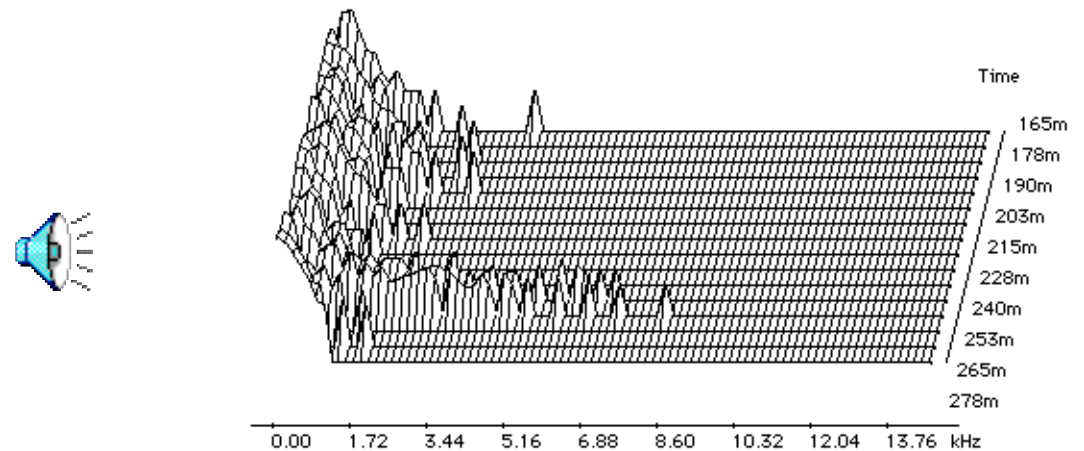
Corner Freq.  Hz

Boost/Cut:  dB

Use for playback  
 Bypass

**Vol**

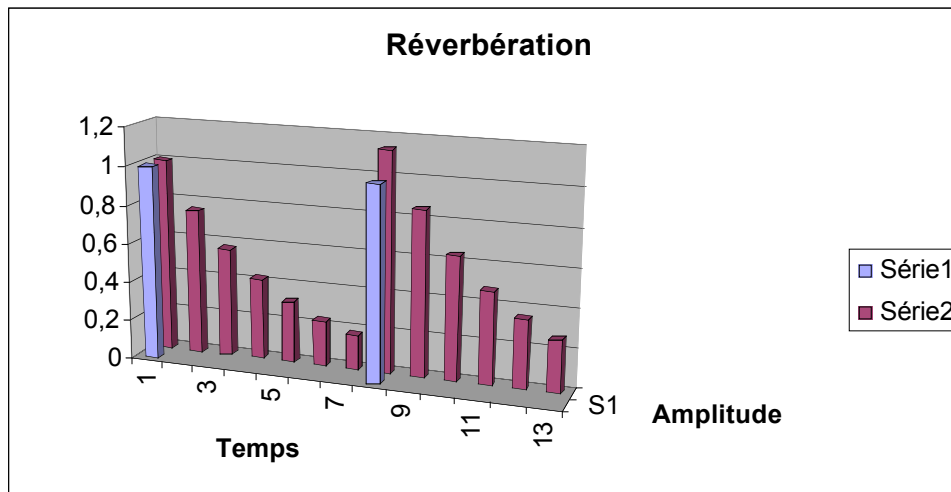
0k 5k 11k 16k 22k



# Exemple: un effet de réverbération élémentaire

$$y(n) = x(n) + g y(n - k)$$

$$g < 1$$



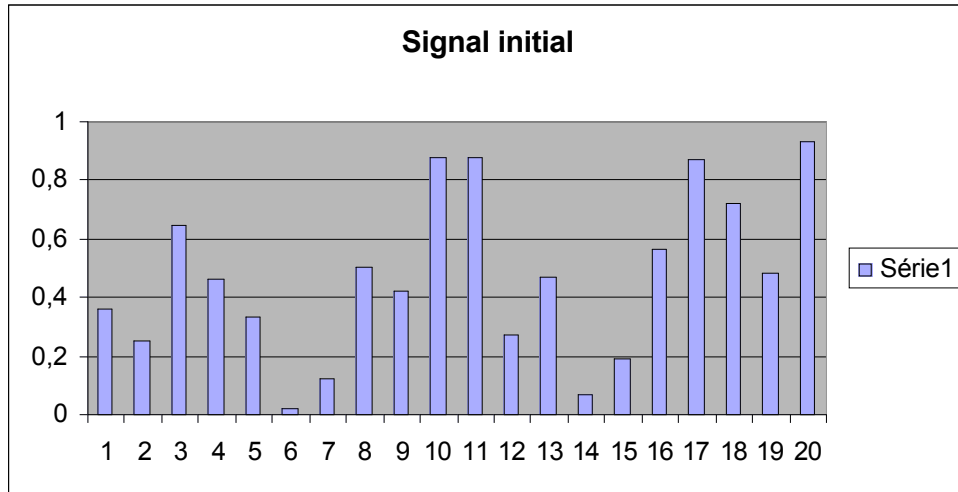
■ Signal d'entrée

■ Signal réverbéré

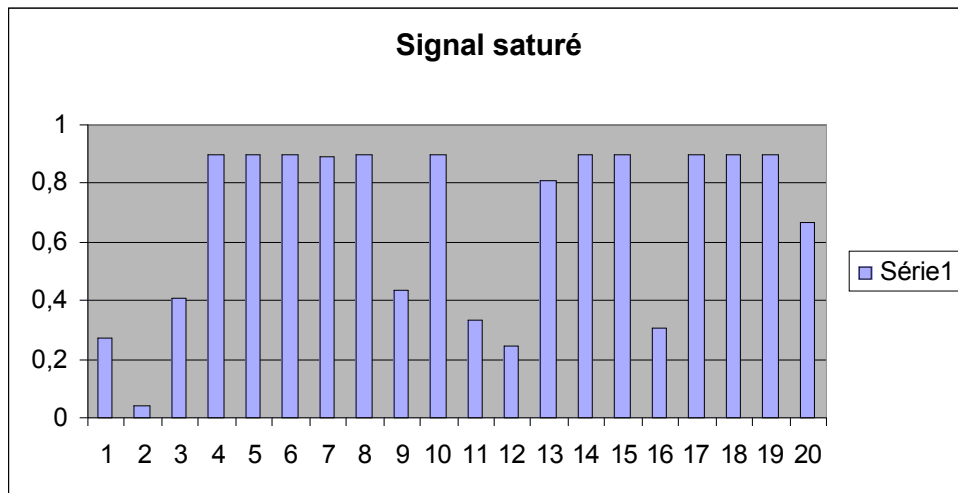
$$k=1, g=0,75$$



# Un filtre non linéaire: effet de saturation



$$y(n) = \min(1,5 \cdot s(n), 0,9)$$



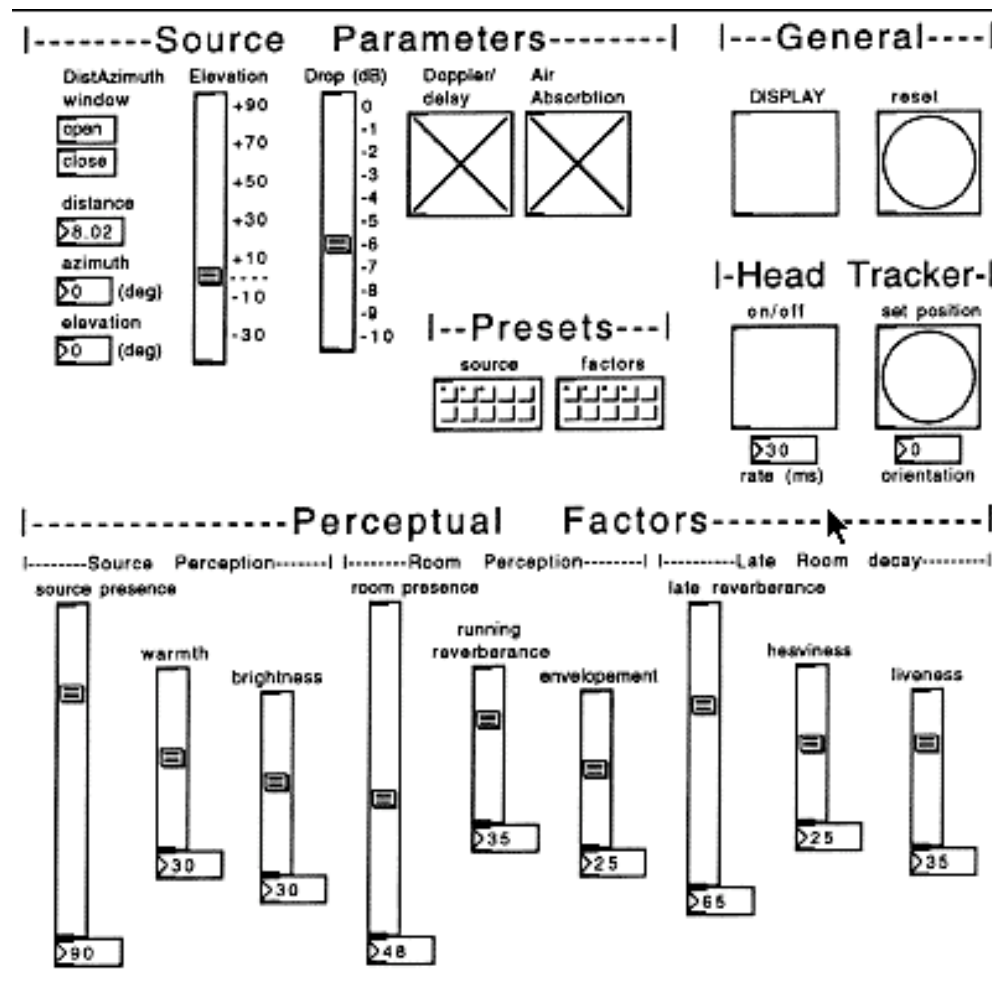
# Exemple d'un outil de montage: Protools

The screenshot displays the Pro Tools software interface. At the top, the menu bar includes 'File Edit Do Setups Options Windows Audio Help'. Below it, the transport controls show a timecode of 00:05:39:18 and a sequence name 'Sequence A'. The main workspace is divided into a track list on the left and a multi-track editing area on the right. The track list includes tracks 1 through 11, 18, and 19, with columns for 'RMS', 'Track', 'Len', 'Instrument', and 'Comment'. The editing area shows a timeline with various audio tracks and handwritten annotations in French, such as 'Phase du Guich 1', 'Inalenda', 'Cloche laund?', 'A.C. Medium', 'de John L', and 'TDI mix 1 2 3 4 5 6 A4/G'. The interface also shows a 'Replace' button and a 'Seq Sequence A' dropdown menu.

RMS	Track	Len	Instrument	Comment
S	Track 1	351	Audio-1	source 1
S	Track 2	307	Next-1	position 1
S	Track 3	294	Next-1	salle 1
S	Track 5	338	Audio-3	source 2
S	Track 6	268	Next-2	position 2
S	Track 7	198	Next-2	salle 2
S	Track 9	273	Next-3	position 3
S	Track 10	205	Next-3	salle 3
S	Track 11	250	Audio-5	source 2
S	Track 18	300	Audio-10	source 3 mix 1

# Exemple d'un outil de transformation:

## Le spatialisateur IRCAM



# Bibliographie

- (AF) M. ALONSO, E.J. FINN, PHYSIQUE GENERALE TOME II, ED DU RENOUVEAU PEDAGOGIQUE, 1970  
(JB) J.BURGER, THE DESKTOP MULTIMEDIA BIBLE, ADDISON - WESLEY, 1992  
(JM) J.M. JOT, "SYNTHESIZING TREE DIMENSIONNAL SOUND SCENE  
IN AUDIO AND MULTIMEDIA PRODUCTIONS AND INTERACTIVE  
HUMAN COMPUTER INTERFACES, 5 CONF INTERFACES  
DES MONDES REELS ET VIRTUELS, MONTPELLIER, MAI 1996  
<http://mediatheque.ircam.fr/articles/>  
(NB) H. BERRAUD, POUR COMPRENDRE LES MUSIQUES D'AUJOURD'HUI, SEUIL, 1972  
(AH) A. HECQUET, L'ESPRIT MIDI, ID MUSIC 1989  
(FB) F. BROWN, LA MUSIQUE PAR ORDINATEUR, QUE SAIS JE/PF, 1982  
(CR) C. ROADS, L 'AUDIONUMERIQUE, DUNOD 1998  
(JW) J. WALKINSON, THE ART OF DIGITAL AUDIO, Focal Press 1989  
(EM) E. R. MIRANDA: Computer dound synthesis for the electronic Musicain, Focal Press, 1998  
(RB) R. BESSON, Sono et Prise de son, Dunod 1999

Glossaire:[recordingeq.com/GlosPubAE.htm#sectA](http://recordingeq.com/GlosPubAE.htm#sectA)  
Site IRCAM: [www.ircam.fr](http://www.ircam.fr)