

Transformation et stockage du son numérique

S. Natkin
Mai 2003

1

Plan

- Extension de la gamme dynamique
- Filtres
- Effets de retards et la réverbération
- Spatialisation
- Ré-échantillonnage
- Formats audio numériques

2

Extension de la gamme dynamique

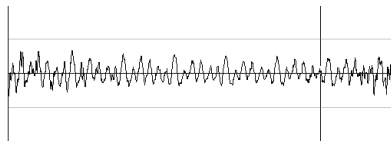
Modifier l'enveloppe d'amplitude d'un son pour

- Nettoyer ce son (suppression du bruit)
- L'adapter à un dispositif de restitution
- Produire certains effets (morphing sonore, saturation)

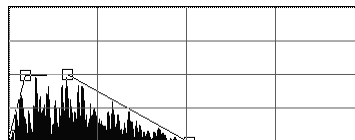
3

Un exemple

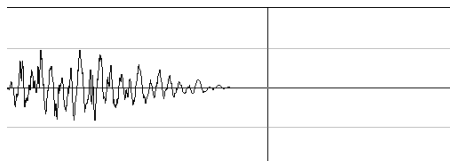
- Les Rolling Stone
- Un petit bout



- Une enveloppe d'amplitude

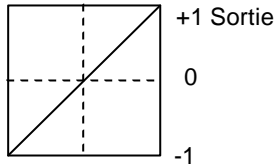


- Le résultat

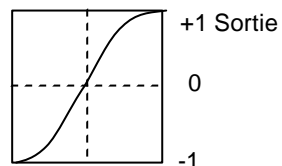
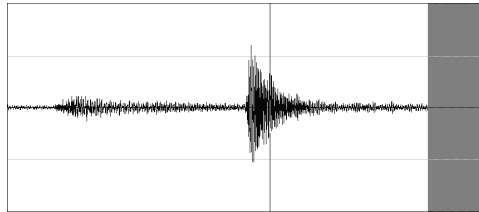


4

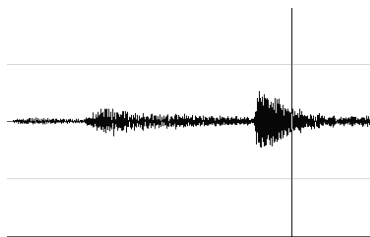
Compresseur/Extenseurs



Entrée -1 0 +1

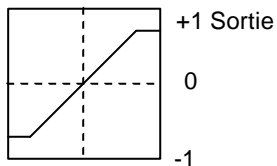


Entrée -1 0 +1

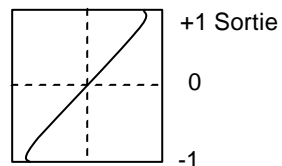
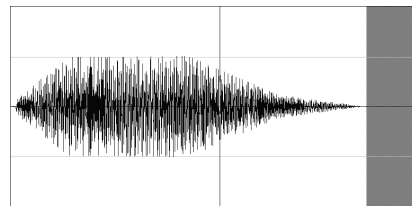


5

Compresseur/Extenseurs



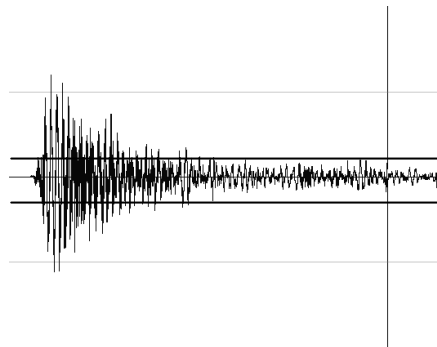
Entrée -1 0 +1



Entrée -1 0 +1

6

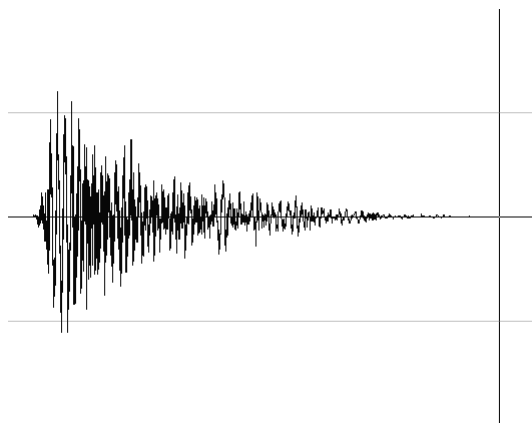
Réduction du bruit: Extension avec seuil (noise gate)



Bruit dans le signal
A détection du seuil
Lorsque le signal se fond
Dans le bruit l'extenseur
se déclenche et ramène
Le signal dans le silence

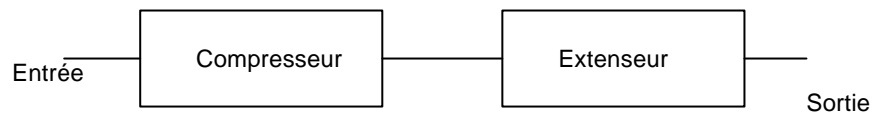
7

Extension avec seuil (noise gate)(2)



8

Schéma général d'une unité de réduction du bruit



Le compresseur réduit les transitoires et amplifie le signal d'entrée de façon artificielle, l'extenseur restaure la dynamique originale en « effaçant le bruit ».

9

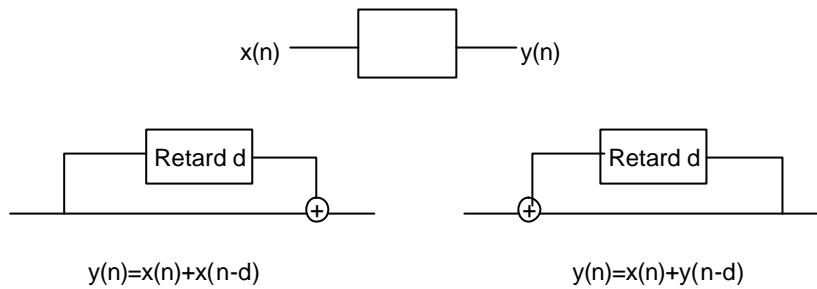
Filtres numériques

10

Filtrage numérique

Très nombreuses techniques de transformation portant soit sur le signal temporel soit sur le spectre

Principales transformations basées sur le filtrage numérique linéaire

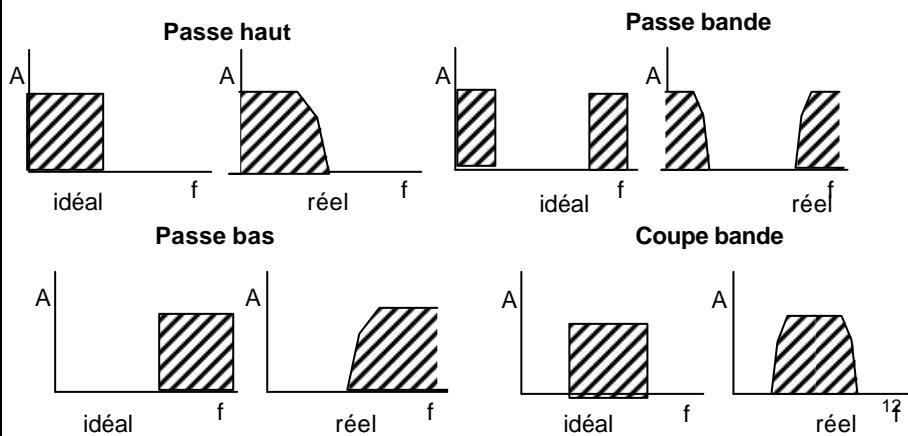


Exemples de base d'un filtre FIR et IIR

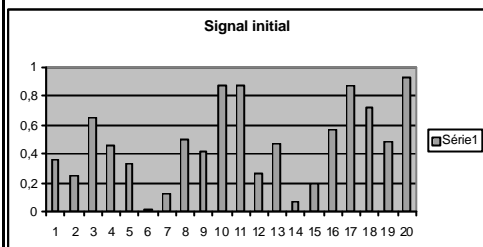
11

Effet d'un filtre sur le spectre d'un signal

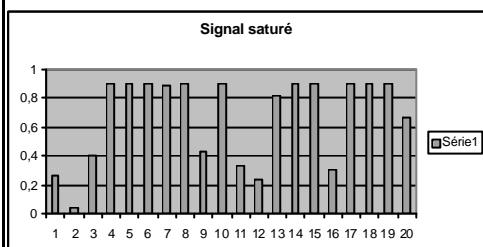
- Modifie la phase (effet de retard)
- Modifie le spectre d'amplitude



Un filtre non linéaire: effet de saturation

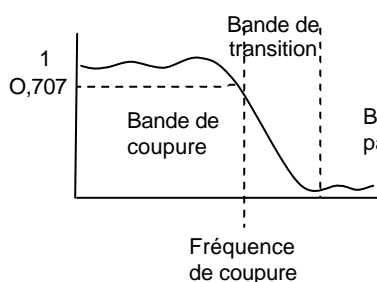


$$y(n) = \min(1,5 \cdot s(n), 0,9)$$



13

Caractéristique d'un filtre

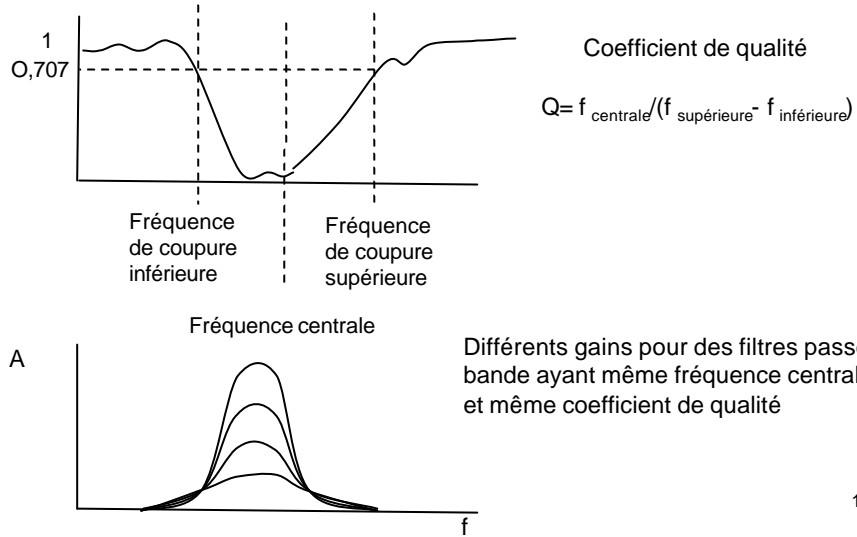


A la fréquence de coupure l'amplitude est réduite de 0,707 et la puissance (carré de l'amplitude par 1/2), correspondant à une perte de puissance de $10 \log(0,5) \approx -3 \text{ dB}$

La pente du filtre est mesurée en dB/octave
Ex 6dB/octave => atténuation lente, 90 dB/octave=> Coupure sèche

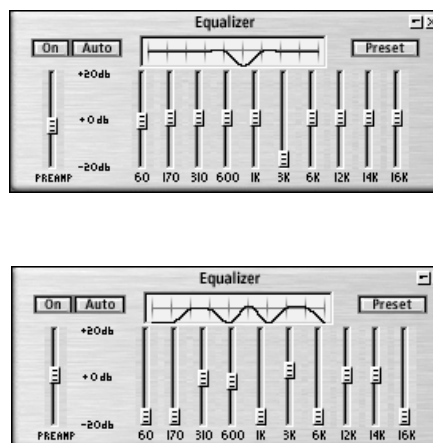
14

Caractéristique d'un filtre Coefficient de qualité et gain



15

Banques de filtres: Egaliseurs

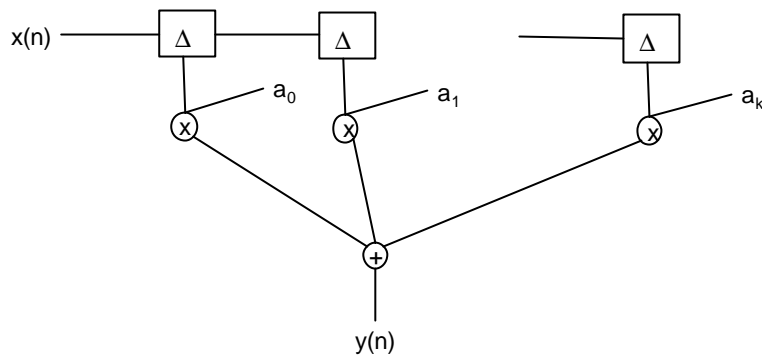


16

Filtres linéaires à réponse impulsionnelle (FIR) finie généraux

Equation générale

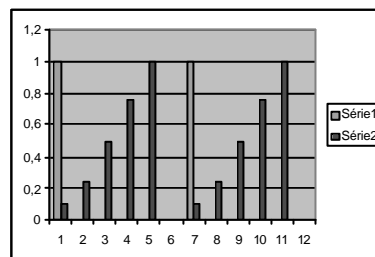
$$y(n) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1) + \dots + a_k x(n-k)$$



17

Réponse Impulsionnelle d'un FIR

- On injecte un signal très bref dans le filtre (en théorie infiniment bref) et on observe la réponse

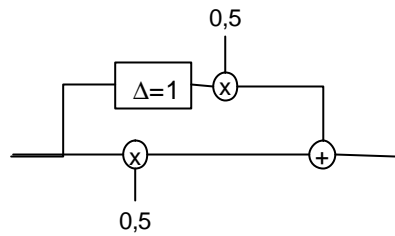


$$y(n) = x(n) * 0,1 + x(n-1) * 0,25 + 0,5 * x(n-2) + 0,75 * x(n-3) + x(n-4)$$

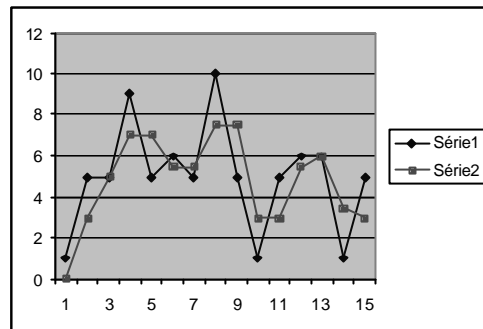
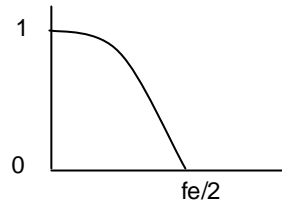
La réponse impulsionnelle d'un FIR est un signal à support borné
La réponse d'un FIR à un signal à support borné est un signal à support borné

18

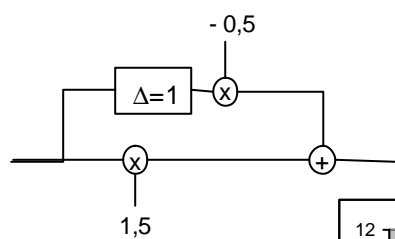
Un filtre passe bas simple



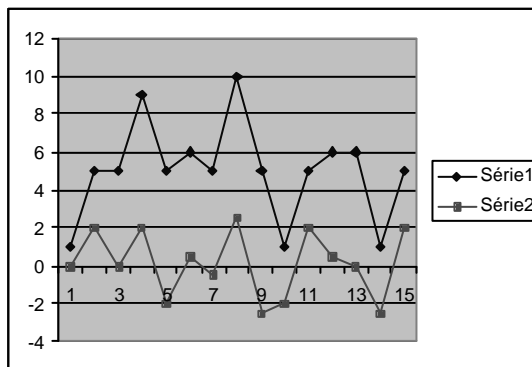
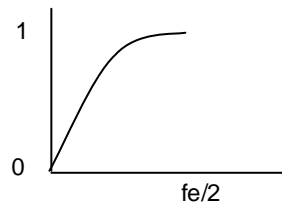
$$y(n) = 0,5 \cdot x(n) + 0,5 \cdot x(n-1]$$



Un filtre passe haut simple



$$y(n) = 0,5 \cdot x(n) - 0,5 \cdot x(n-1]$$



Filtres linéaires à réponse impulsionnelle (IIR) infinie généraux

Equation générale

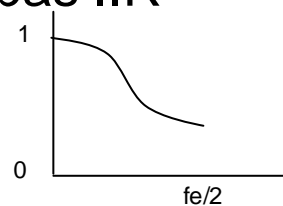
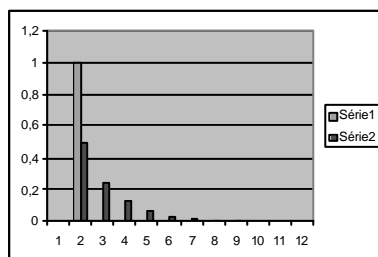
$$y(n) = a_0 x(n) + a_1 x(n-1) + \dots + a_k x(n-k) + b_1 y(n-1) + \dots + b_t y(n-t)$$

21

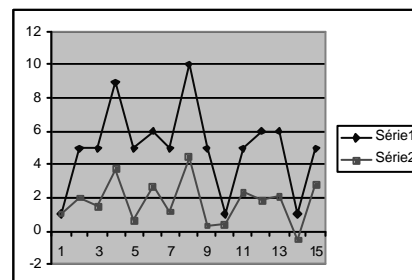
Réponse impulsionnelle d'un filtre passe bas IIR

$$y(n) = 0,5x(n) + 0,5y(n-1)$$

La réponse est infinie

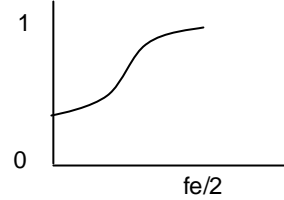


Réponse pour le signal de l'exemple
Passe bas FIR

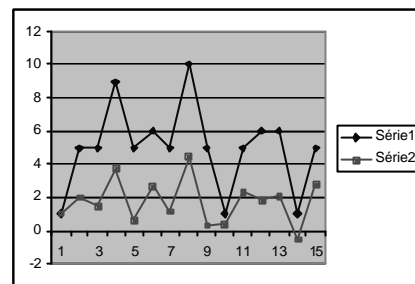
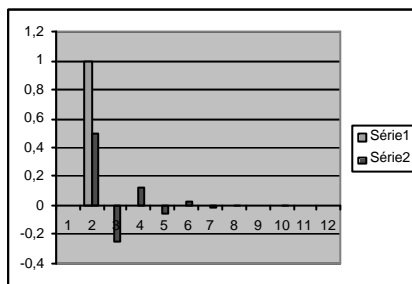


Réponse impulsionnelle d' filtre passe haut IIR

$$y(n) = 0,5 \cdot x(n) - 0,5 \cdot y(n-1)$$

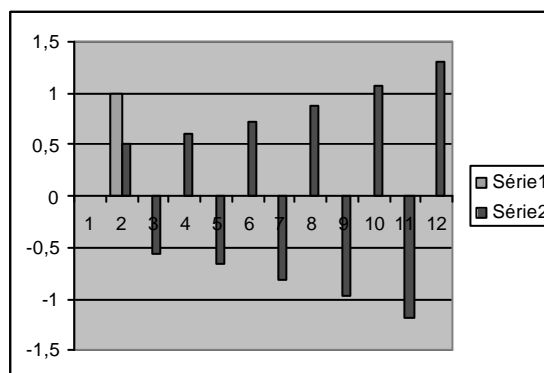


Réponse pour le signal de l'exemple
Passe haut FIR



Instabilité des filtres IIR

$$y(n) = x(n) \cdot 0,5 - y(n-1) \cdot 1,1$$



Filtres en peigne

Les filtres en peigne permettent de sélectionner une suite infinie de bande de fréquence

FIR $y(n)=x(n)+x(n-d)$

IIR $y(n)=a.x(n)+b.y(n-d)$

d doit être grand:

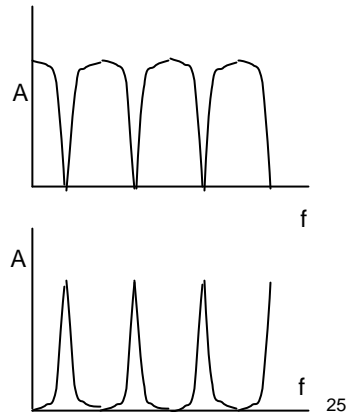
Si l'on désire avoir un pic à F on doit prendre

$D=fe/F$

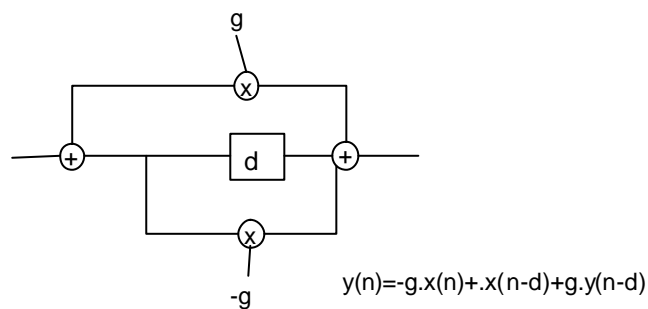
ou f_e est la fréquence d'échantillonnage

On obtient les pics suivants au fréquence $n.F$

Ceci permet par exemple de renforcer un son harmonique.



Filtre passe tout

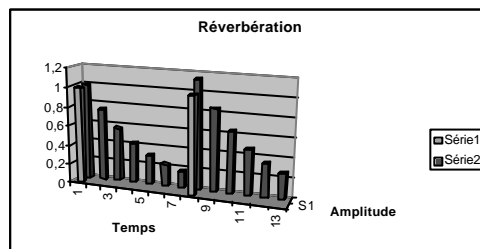


Provoque un effet de déphasage et une coloration du spectre

Application: un effet de réverbération élémentaire

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

$$g < 1$$



■ Signal d'entrée

■ Signal réverbéré

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

27

La convolution

Opération sur deux fonctions (ou une fonction et une distribution)

$$z(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} g(s).h(t-s).ds$$

pour les signaux échantillonnés

$$z(t) = \sum_{i=-\infty}^{i=+\infty} g(i).h(t-i)$$

28

Filtrage comme convolution

Le filtrage linéaire peut être vu comme une convolution
Par exemple pour un filtre FIR

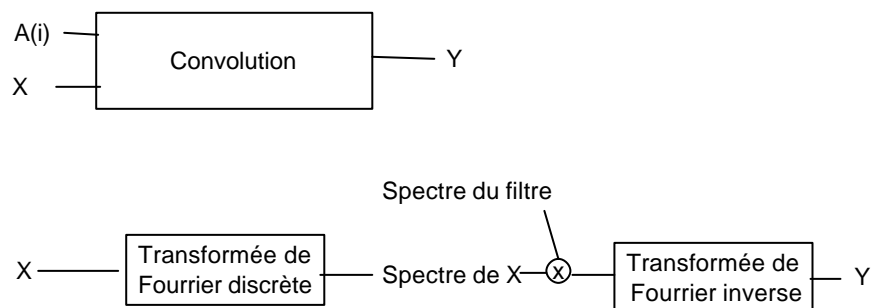
$$y(n) = a(0).x(n) + a(1)x(n-1) + \dots + a(n).x(0)$$

$$y(n) = \sum_{i=0}^{n-1} a(i).h(n-i)$$

29

Application: filtrage dans le domaine spectral

On montre que la convolution dans le domaine temporel correspond au produit dans le domaine spectral



30