

Synthèse de signaux percussifs

BACRY Emmanuel

BELARDI Stéphane, JODER Cyril

Sommaire

- Présentation du sujet et modélisation
- Réalisation pratique et algorithmique
- Nos résultats

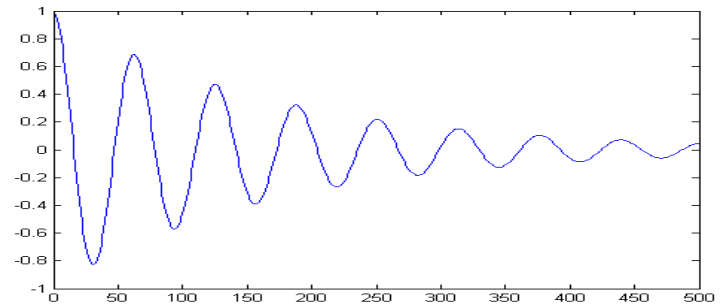
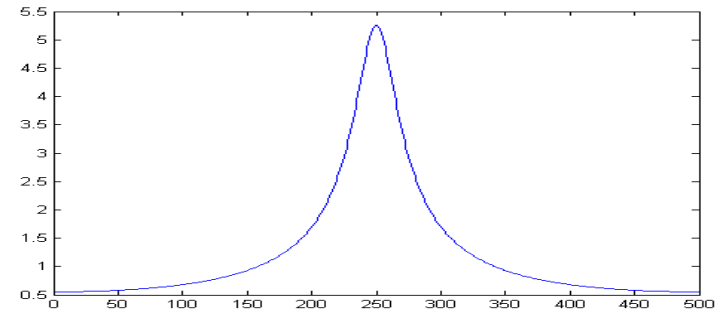
Présentation du sujet et modélisation

Présentation du sujet

- Percussions : instruments dont l'émission sonore résulte de la frappe ou du grattage d'une membrane ou d'un matériau résonant
- Modélisation : excitation (dirac) puis résonance (filtre)

Modélisation des résonnances

- Fréquence de résonance → filtre passe-bande sélectif
- Amplitude « amortie »
- ✚ Filtre AR(2)



Filtres AR(2)

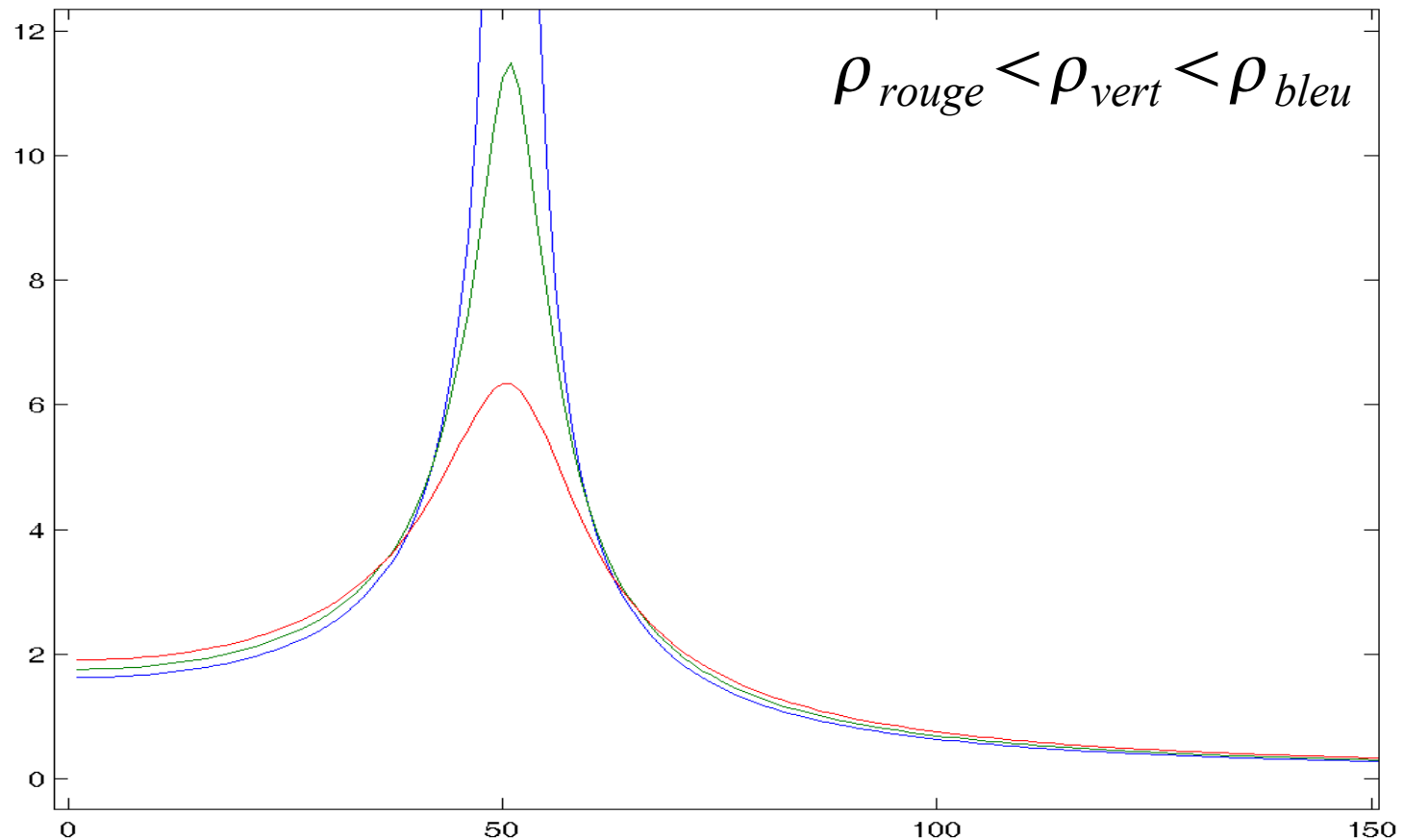
- Filtres autorégressifs d'ordre 2 :

$$s[n] = a_1 s[n-1] + a_2 s[n-2] + A g[n]$$

- Fonction de transfert :

$$\hat{h}(e^{i\omega}) = \frac{A}{1 - a_1 e^{-i\omega} - a_2 e^{-2i\omega}} = \frac{A}{(e^{i\omega} - \rho e^{i\omega_0})(e^{i\omega} - \rho e^{-i\omega_0})}$$

Fonctions de transfert de filtres AR(2)



Réponse impulsionnelle

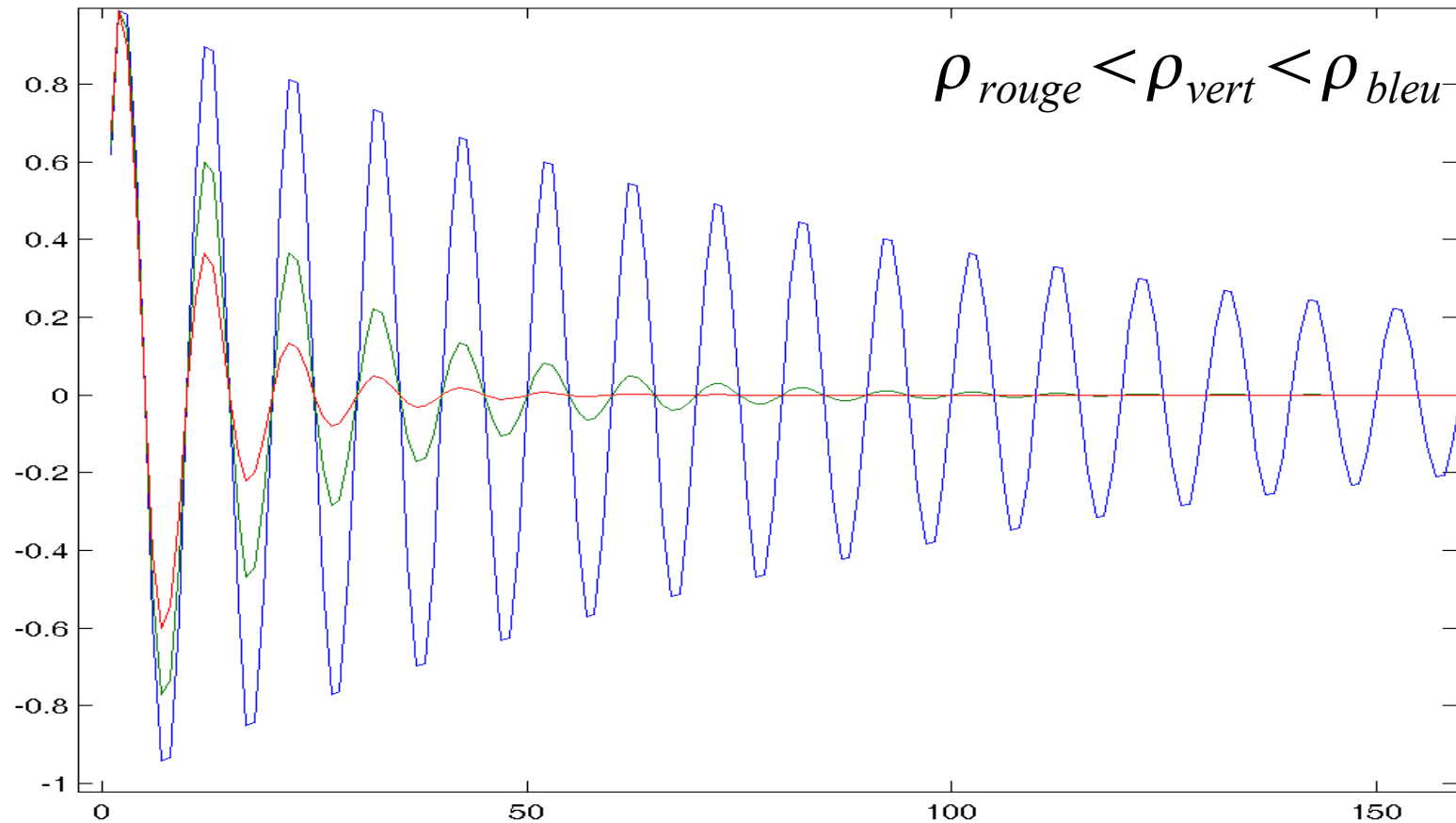
$$\forall n \geq 0, h[n] = \frac{A}{\sin(\omega)} \rho^n \sin(\omega(n+1))$$

Où $\rho e^{i\omega}$ et $\rho e^{-i\omega}$ sont les solutions complexes conjuguées de l'équation :

$$1 - a_1 z^{-1} - a_2 z^{-2} = 0$$

avec $\rho < 1$ (condition de causalité-stabilité)

Réponse impulsionnelle



Réalisation pratique et algorithmique

Plan de l'algorithme

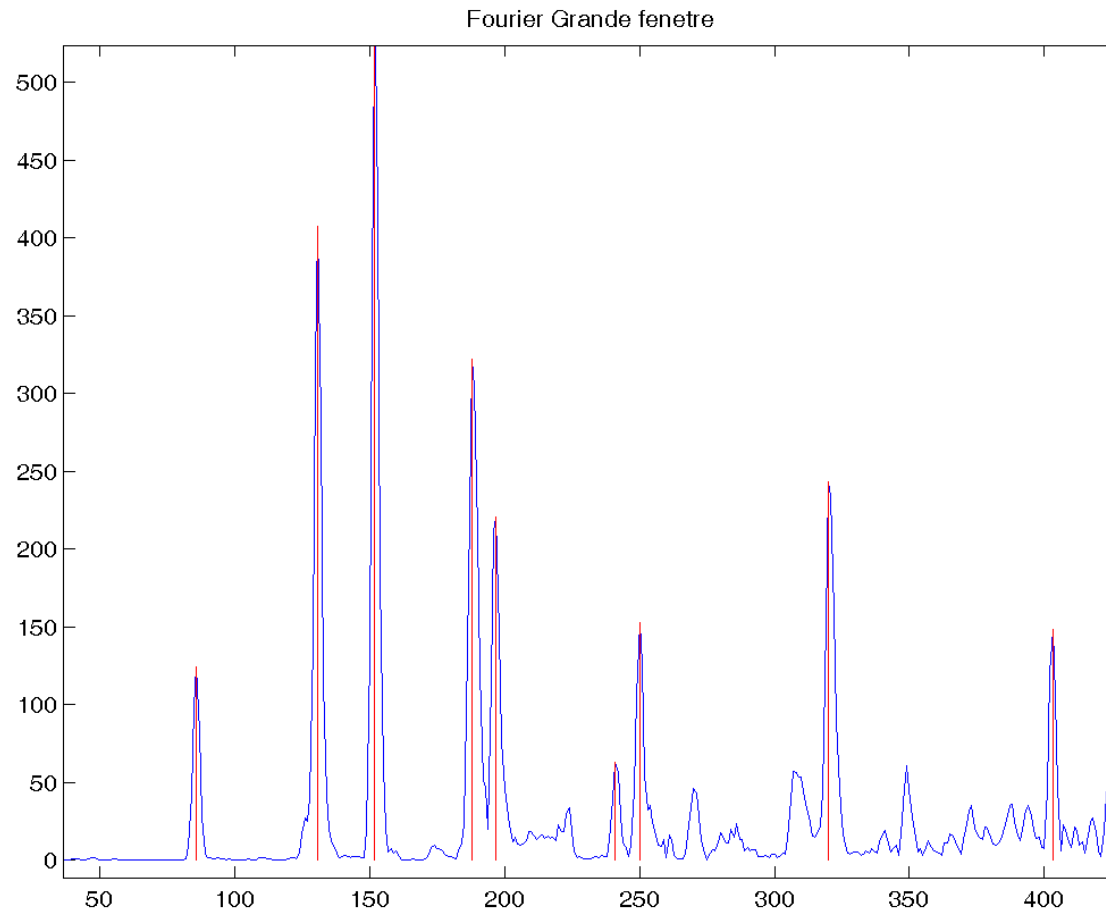
- Synthèse : nécessite quelques paramètres
- Ces paramètres seront le coeur du projet
- Pour obtenir coefficients à partir d'un son :
 - Fréquences ω_i qui le composent
 - Evolution de l'amplitude de chaque fréquence
 - Régression de cette évolution
- Après, synthèse à partir de ces coefficients

Réalisation pratique

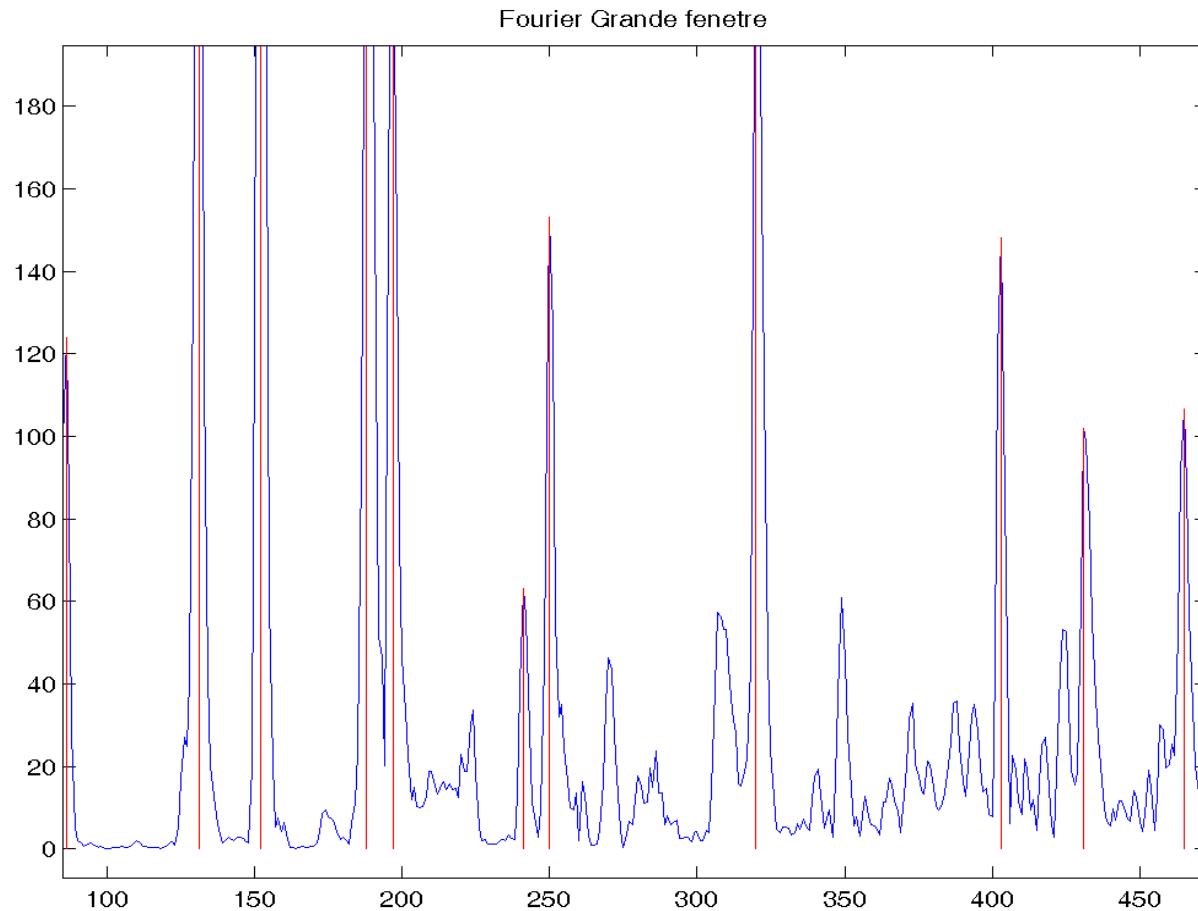
Etape 1 : Détermination des ω_i

- Elaboration d'un algorithme de détection de pics :
basé sur la comparaison avec « l'écart-type local »
- Avant, fenêtrage du signal (sur 8 *ou* 16.2^{10} points)

Etape 1 : Détermination des ω_i



Etape 1 : Détermination des ω_i



Etape 2 : Détermination des ρ_i

- Pour une fréquence ω_i , on a :

$$h_i[n] = A_i \rho_i^n \sin(\omega_i(n+1))$$

- Approximation sur une courte durée :

$$h_i[n] = A_i \rho_i^{n_j} \sin(\omega_i(n+1))$$

- Fourier sur petite fenêtre (taille $N = pT = \frac{p}{2\pi\omega_i}$) :

$$|\hat{h}_i[k_i]| = N A_i \rho_i^{n_j}$$

Etape 2 : Détermination des ρ_i

- Décalage entre les fenêtres : $\delta = q \frac{T}{2} = \frac{q}{4\pi\omega}$
- Si l'approximation est abusive :

$$|\hat{h}_i^{j+1}[k_i]| = \left| \sum_{n=n_j+\delta}^{n_j+\delta+N-1} A_i \rho_i^n \sin(\omega_i(n+1)) e^{i \frac{2\pi}{k_i} n} \right|$$

$$|\hat{h}_i^{j+1}[k_i]| = |(-1)^q \sum_{n=n_j}^{n_j+N-1} A_i \rho_i^{n+\delta} \sin(\omega_i(n+1)) e^{i \frac{2\pi}{k_i} n}| = \rho^\delta |h_i^j[k_i]|$$

- La détermination de ρ_i reste le même (mais pas celle de A_i)

Etape 2 : Détermination des ρ_i

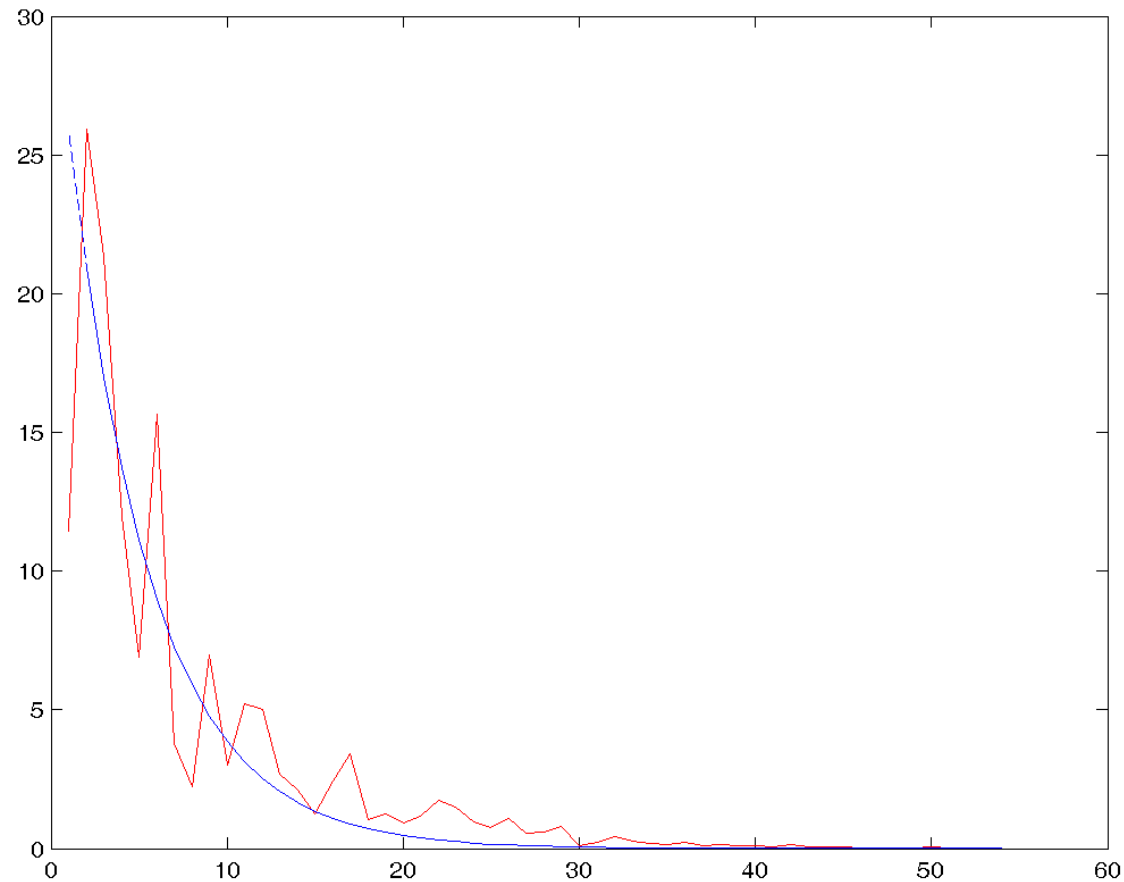
- Régression exponentielle :
 - Régression linéaire sur le log => mauvais
 - Minimisation d'une norme avec

$$\sum_n f(n) w(n)$$

où $w(n)$ est de la forme $\frac{1}{n^p}, e^{-n}$

Résultats meilleurs

Etape 2 : Détermination des ρ_i



Etape 3 : Synthèse

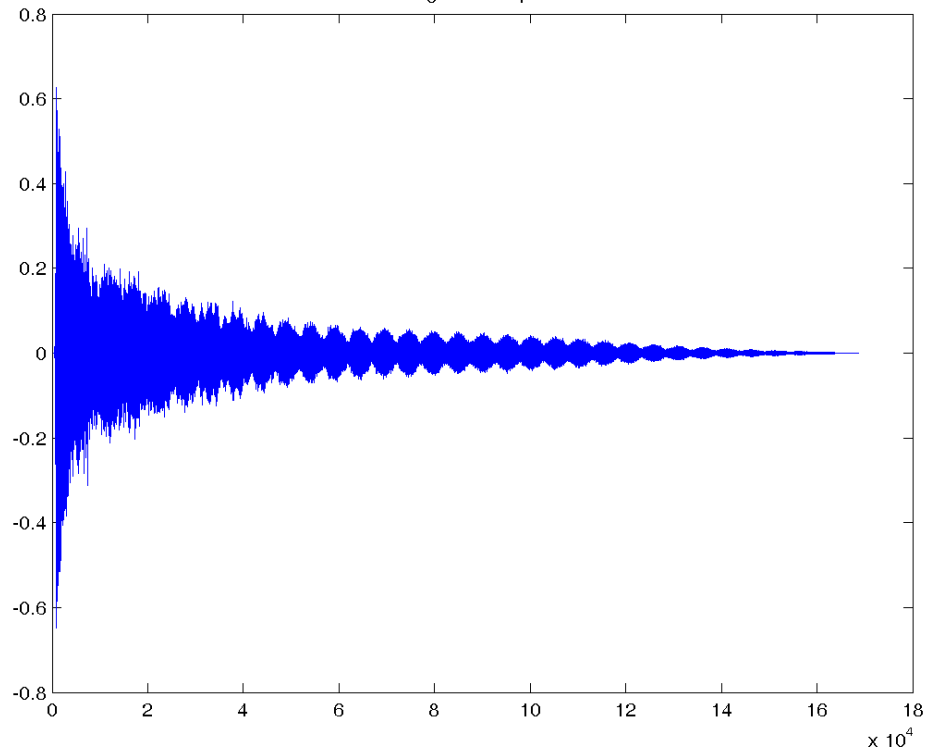
- Aucune difficulté

$$h[n] = \sum_i A_i \rho_i^n \sin(\omega_i(n+1))$$

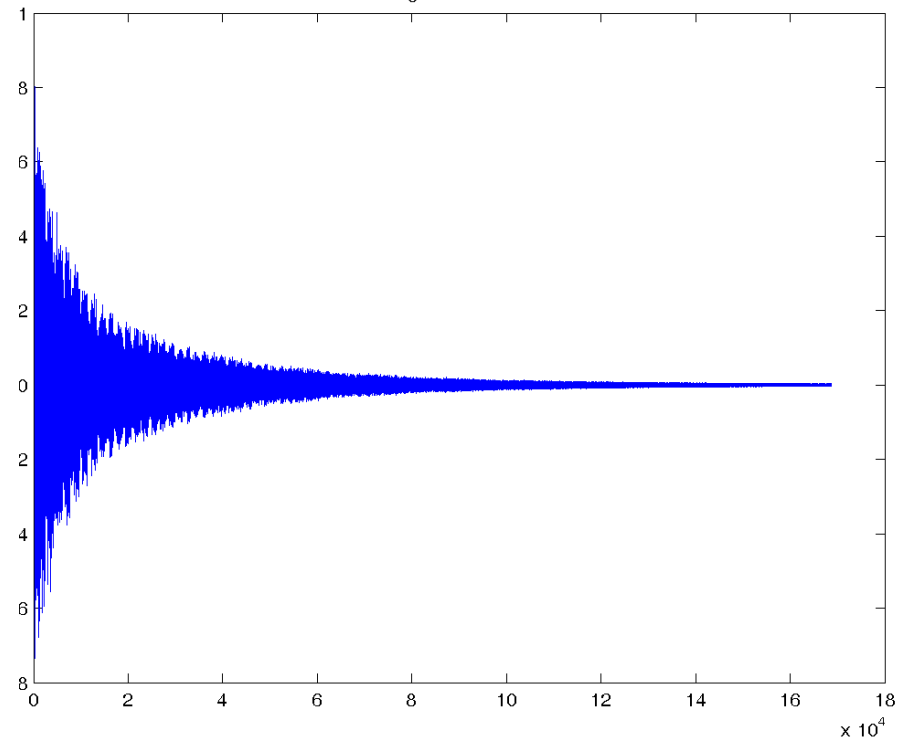
Les résultats obtenus

Résultats : Triangle

Signal de départ

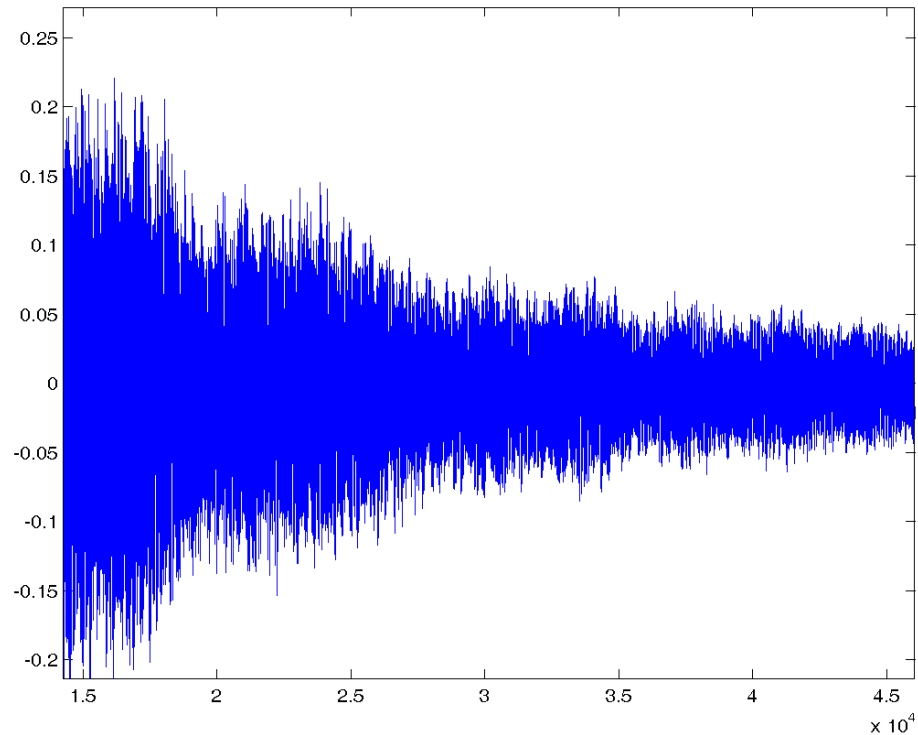


Signal de sortie

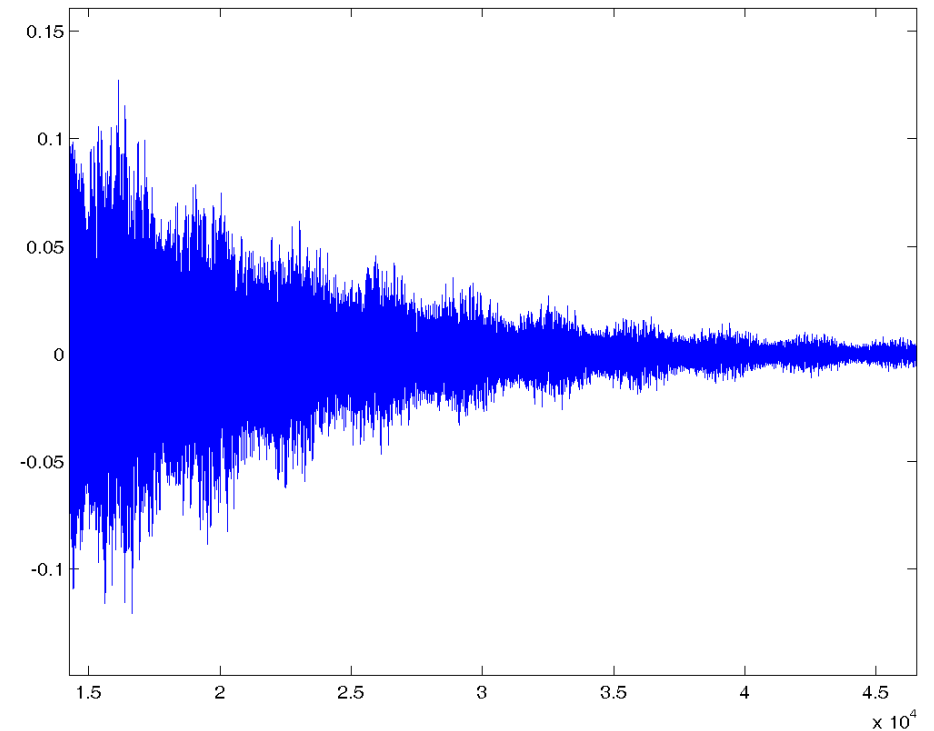


Résultats : Cloche

Signal de départ



Signal de sortie

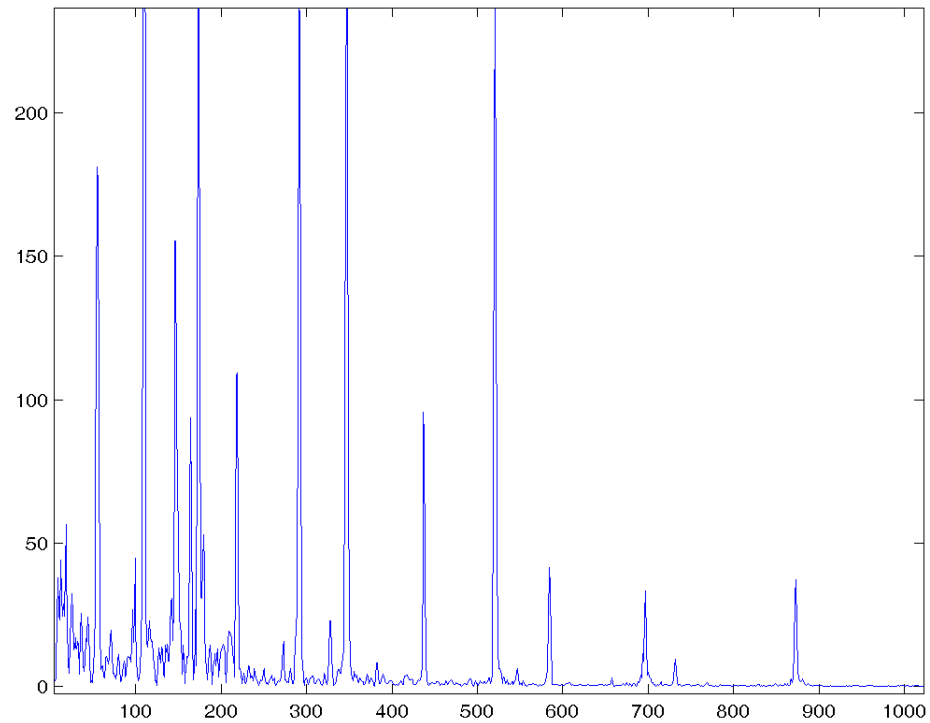


Résultats

- Triangle, cloche, piano donnent de bons ou très bons résultats
- Séparation très forte des fréquences
- Battement peu représenté : décroissance exponentielle imposée par le modèle

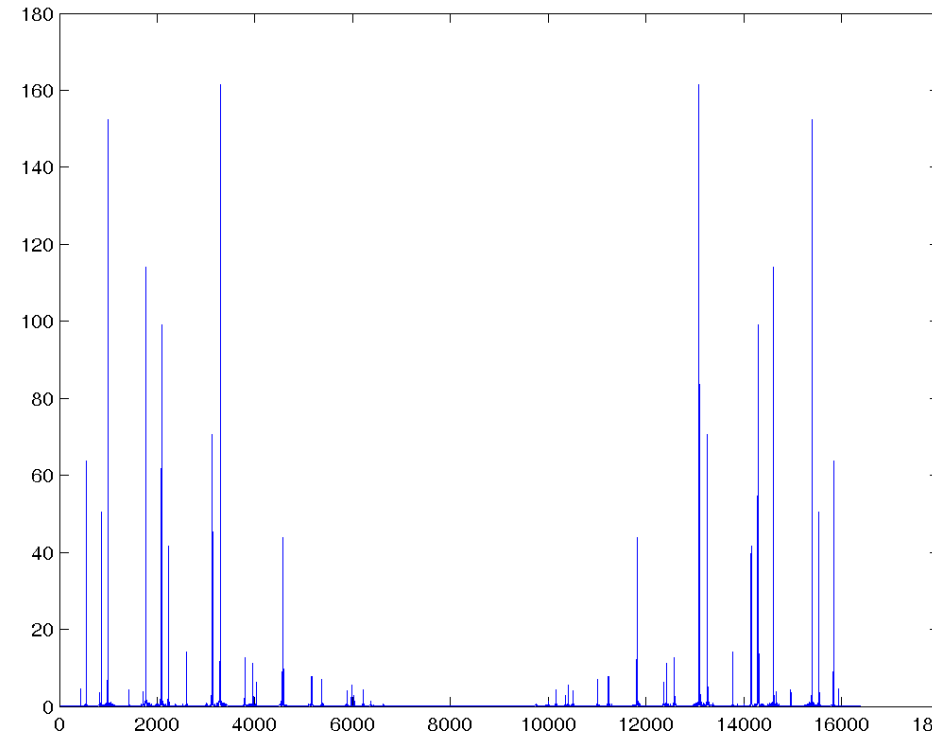
Résultats

Fourier Grande fenetre



Piano (agrandissement)

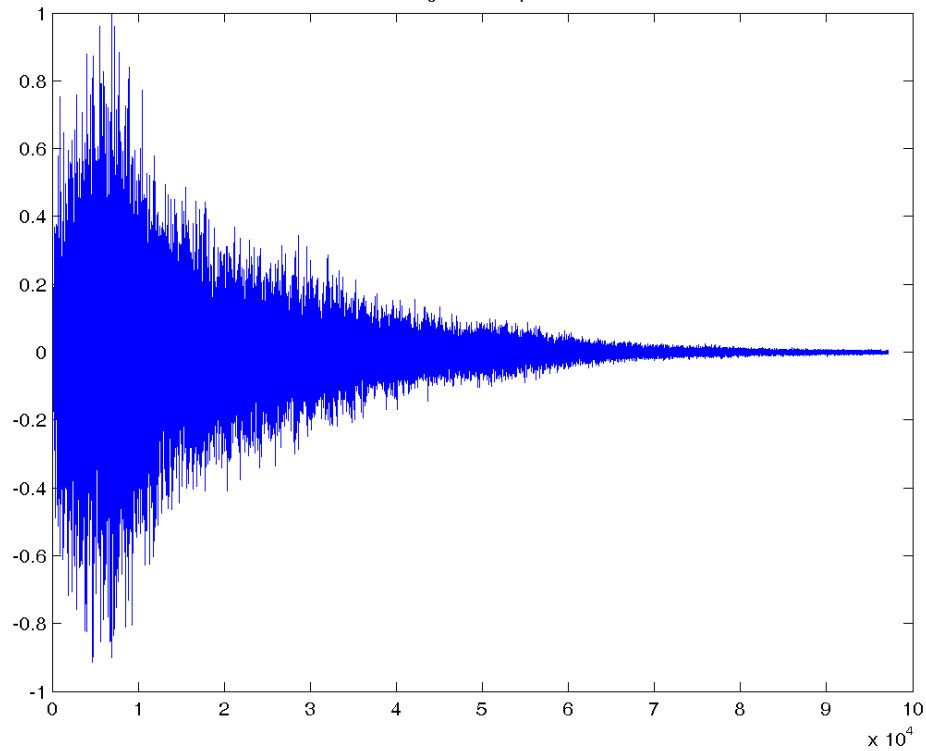
Fourier Grande fenetre



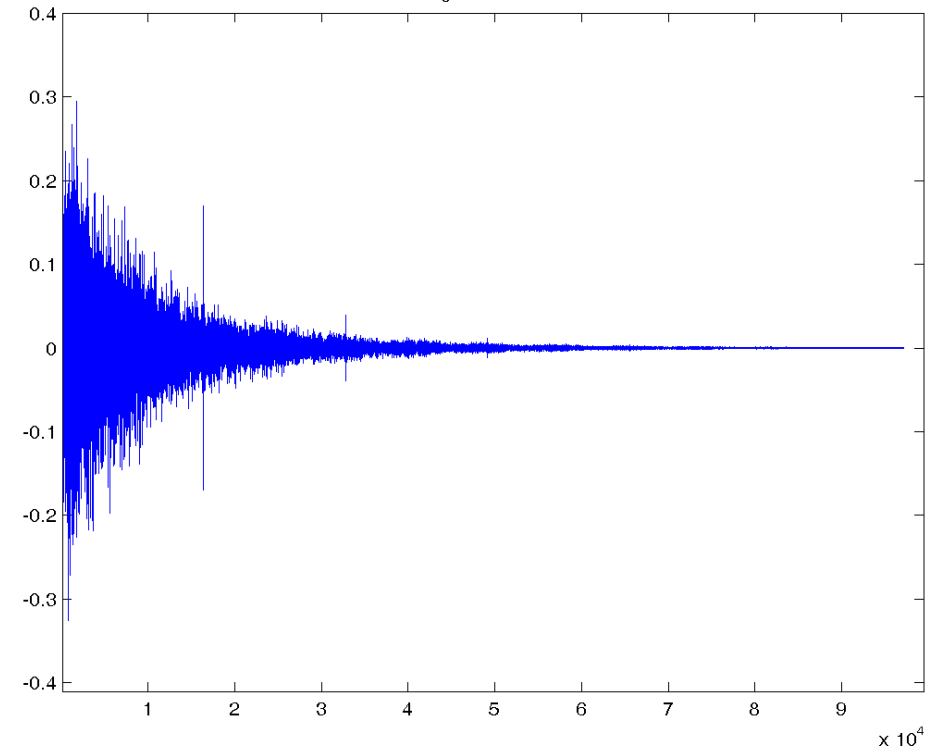
Triangle

Résultats : Cymbale

Signal de départ

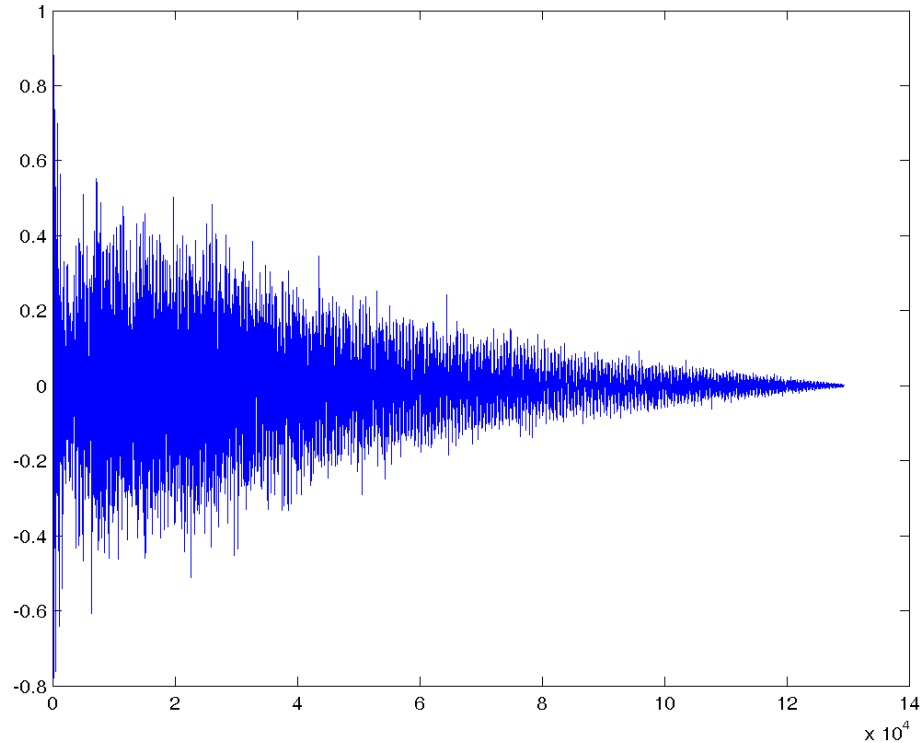


Signal de sortie

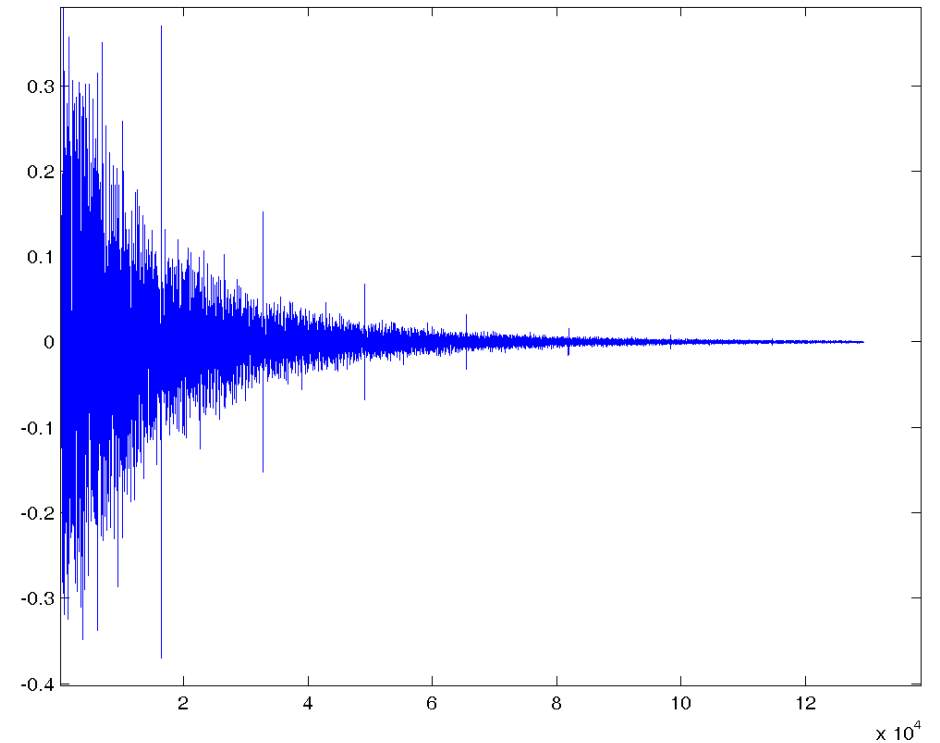


Résultats : Gong

Signal de départ



Signal de sortie

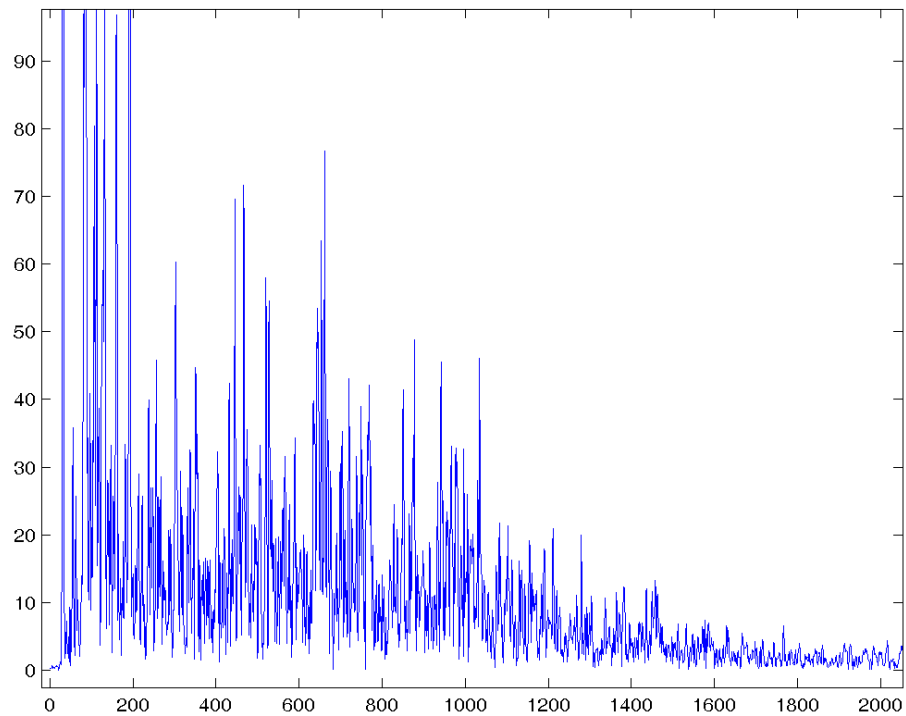


Résultats

- Résonance trop courte : régression exponentielle (sous-estime les basses amplitudes)
- Son métallique : fréquences (aigües) mal détectées, car trop proches

Résultats

Fourier Grande fenetre



fourier du signal synthétisé

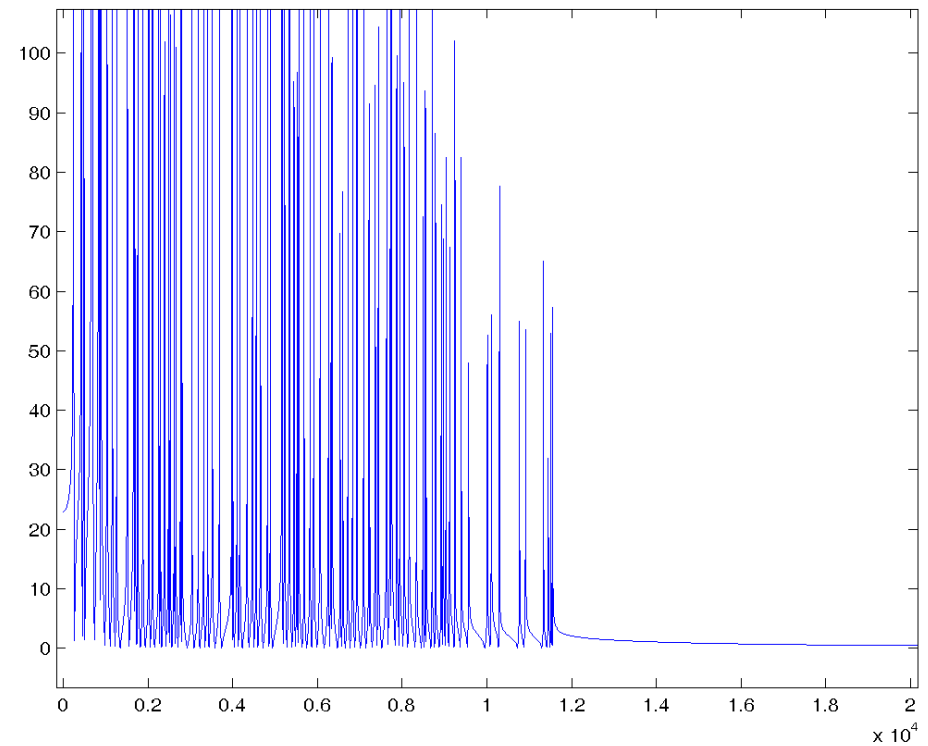


Diagramme de Fourier pour le son réel et synthétisé d'un gong

Améliorations possibles

- Fréquences aigües :
 - Amélioration de l'algorithme de détection de pics
 - Dans les hautes fréquences, prendre tous les maxima locaux (au lieu de seulement les pics) : trop long, trop coûteux, et peu d'intérêt

Améliorations possibles

- Modèle exponentiel :
 - Séparer en phase d'attaque, puis phase 'normale' : recollement trop difficile et filtre non stable en attaque
 - Exponentielle positive puis exponentielle négative : modèle compliqué