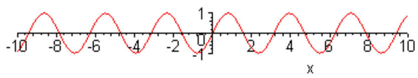
Sons purs et harmoniques

I - Son sinusoïdal

Le son le plus pur a une forme d'onde sinusoïdale :

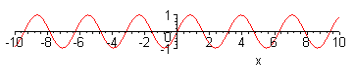
$P_{ac}(t) = P_1 \sin(2 \times \pi \times f \times t)$

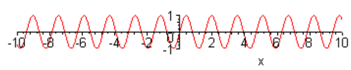
où $P_{ac}(t)$ est la pression acoustique variable dans le temps t, P_1 est l'amplitude du son et f la fréquence en Hertz du son. Rappel : $f = \frac{1}{T}$, où T est la période du son sinusoïdal.

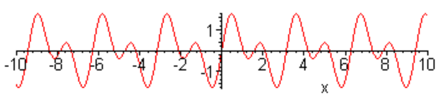


II - Superposition de sons sinusoïdaux

On peut superposer des sons sinusoïdaux : la pression acoustique s'exprime alors comme une somme de sinusoïde de fréquences multiples de la fréquence f : 2 f , 3 f , 4 f , etc.







Exemple : $P_{ac} = P_1 \sin(2 \times \pi \times f \times t) + P_2 \sin(2 \times \pi \times \mathbf{2} \times f \times t) + P_3 \sin(2 \times \pi \times \mathbf{3} \times f \times t) + P_4 \sin(2 \times \pi \times \mathbf{4} \times f \times t) + \ldots$

La sinusoïde de fréquence f est appelée fondamentale ou premier harmonique.
La sinusoïde de fréquence 2f est appelée deuxième harmonique.
La sinusoïde de fréquence 3f est le troisième harmonique, etc ...

III- Décomposition en harmoniques d'un son

On peut démontrer qu'un son périodique de fréquence f peut se décomposer en une somme (superposition) de sons sinusoïdaux de fréquences f, 2f, 3f, 4f, 5f, ... (les harmoniques).

Quelques exemples illustrent la "recomposition" de sons en prenant en compte un nombre croissant d'harmoniques. Ces différents sons diffèrent par l'amplitude relative des différents harmoniques. Certains harmoniques sont parfois absents totalement.

Le diagramme qui montre l'amplitude des différents harmoniques s'appelle le spectre du son. Chaque forme d'onde a un spectre différent, et chaque chanteur a un spectre différent pour sa voix, et il en est de même pour les instruments de musique.

Le spectre, comme la forme d'onde, est la signature d'un son.

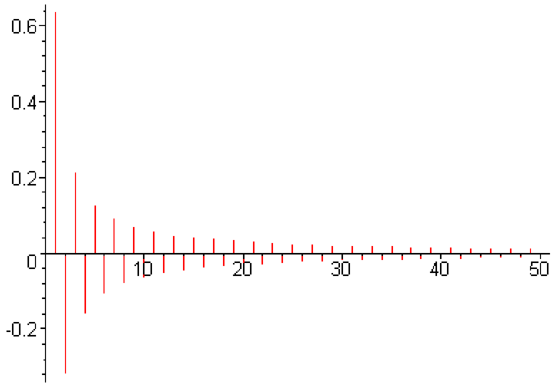
Exemples

<u>Dent de scie :</u>

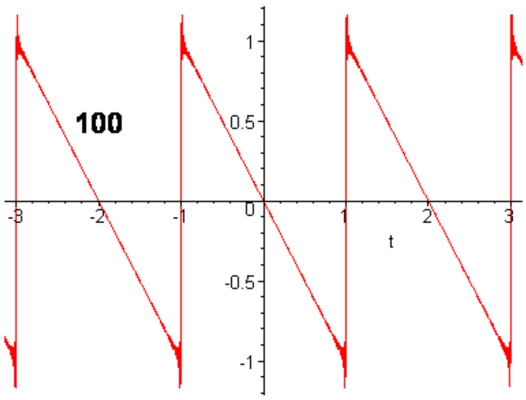
Décomposition mathématique en une somme de sinusoïdes :

$$fN := \sum_{k=1}^{N} \left(2 \frac{(-1)^k \sin(\pi\ k\, t)}{\pi\ k} \right)$$

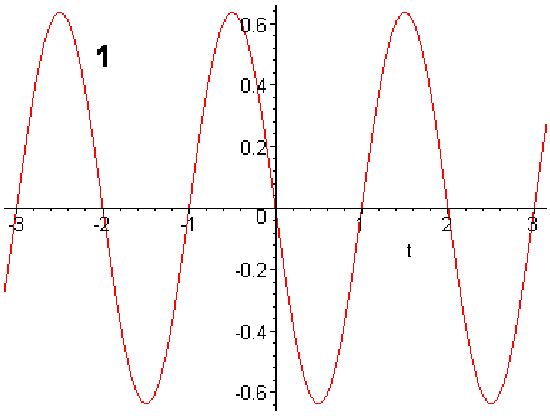
spectre :

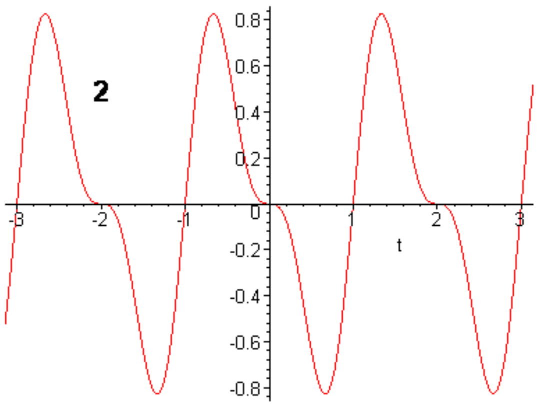


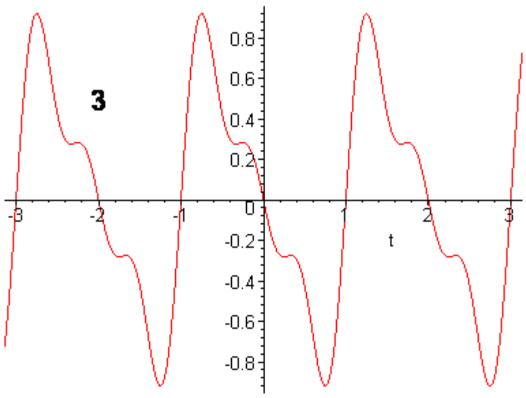
Dent de scie (100 premiers harmoniques) :

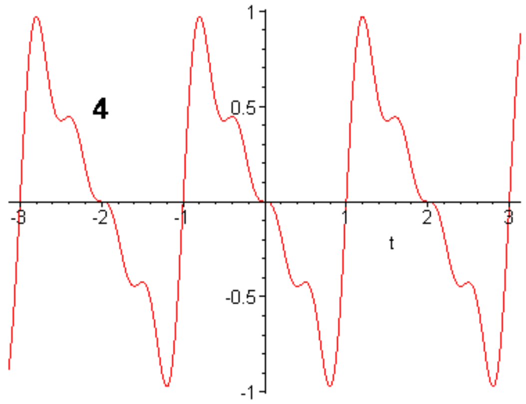


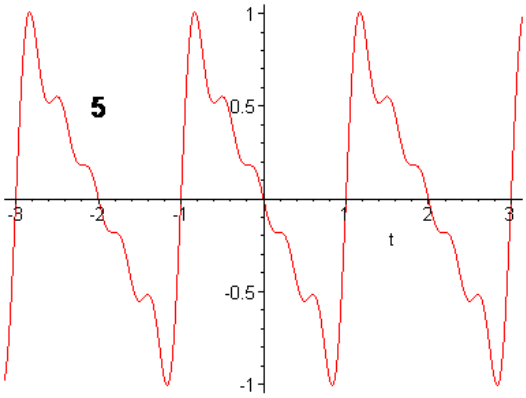
Somme des premiers harmoniques :

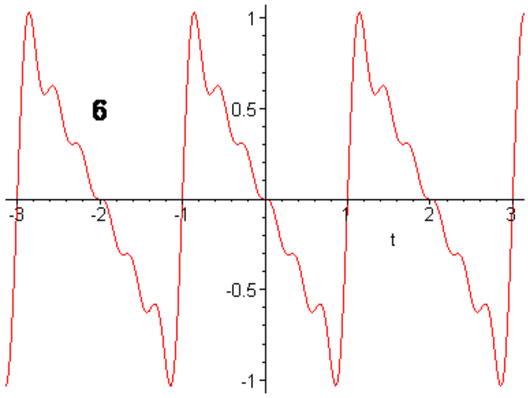


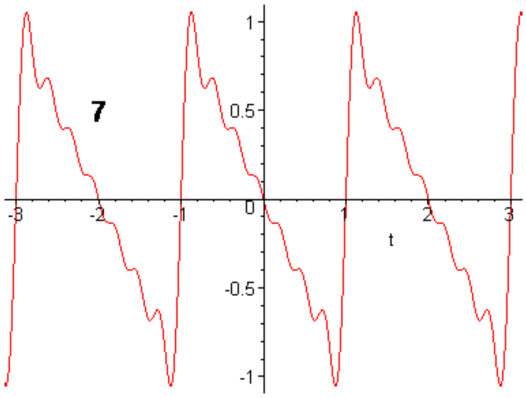


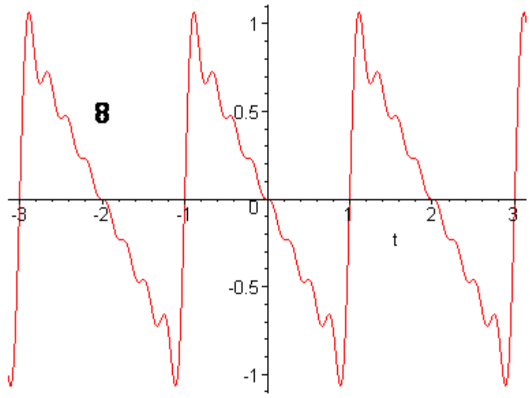

3
t

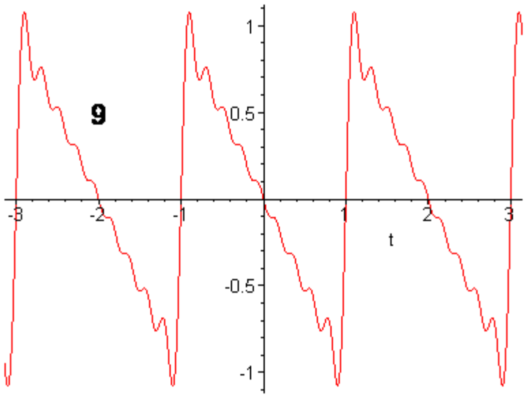

4
t

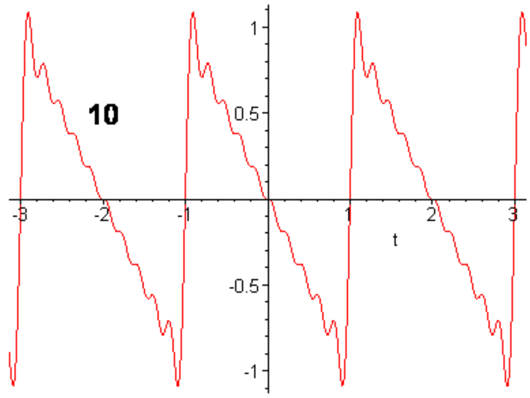

5
t


6
t


7
t


8
t


9
t

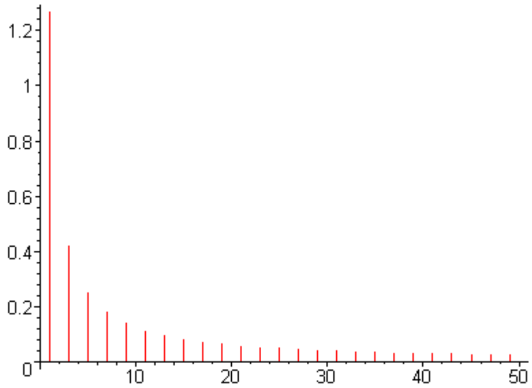

10
t

Carré :

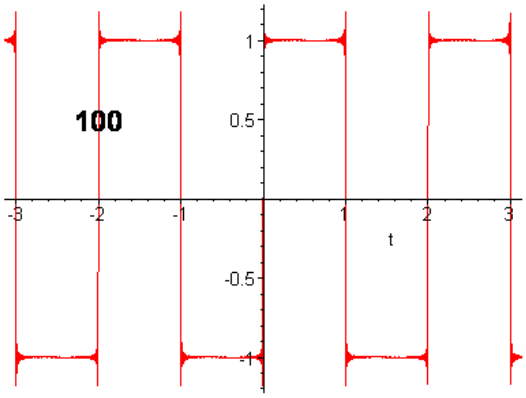
Décomposition mathématique en une somme de sinusoïdes :

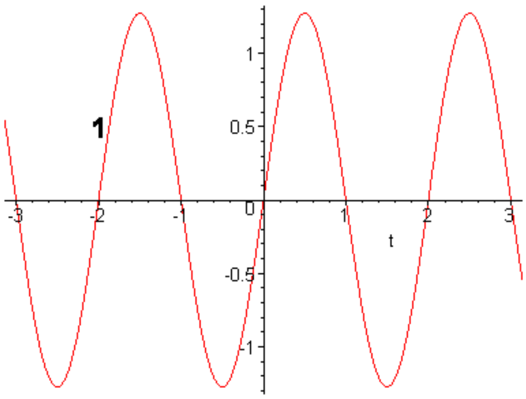
$$fN := \sum_{k=1}^{N} \frac{(2 - 2\cos(\pi\ k))\sin(\pi\ k\ t)}{\pi\ k}$$

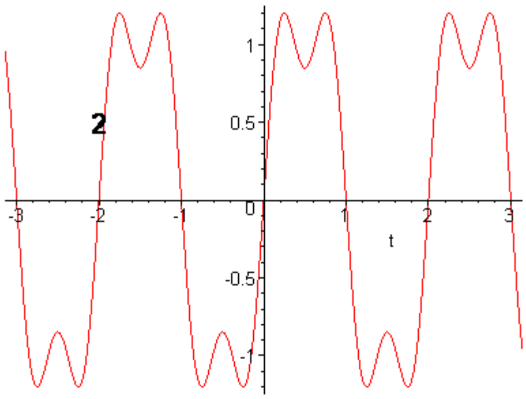
spectre :

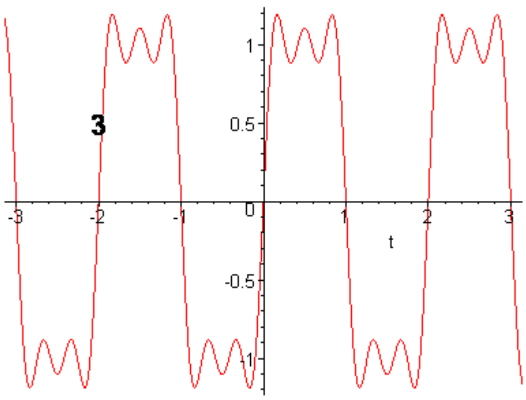


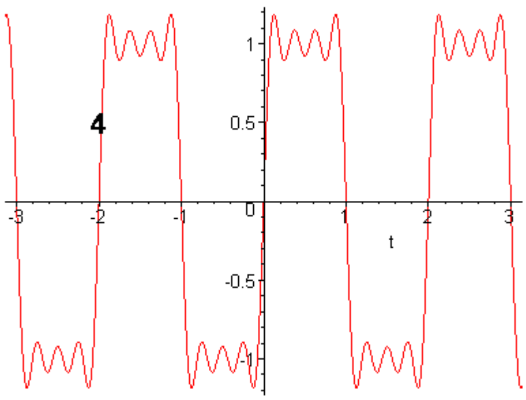
Carré (100 premiers harmoniques)

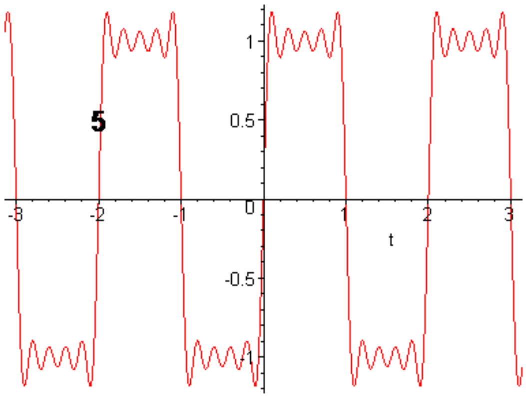


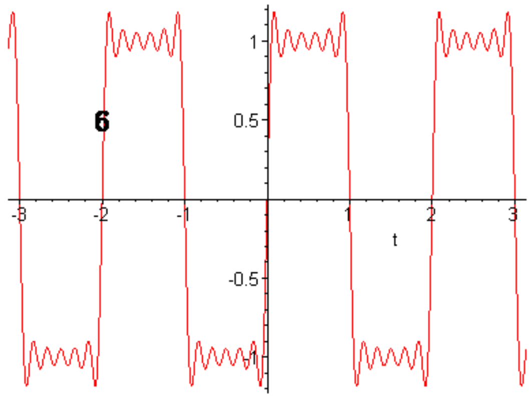


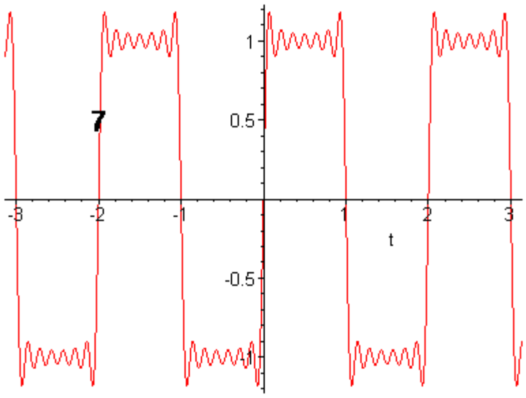


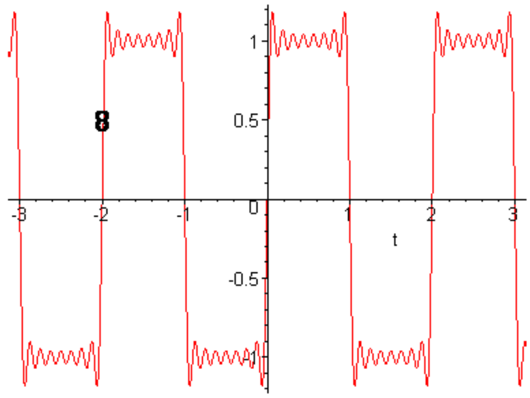


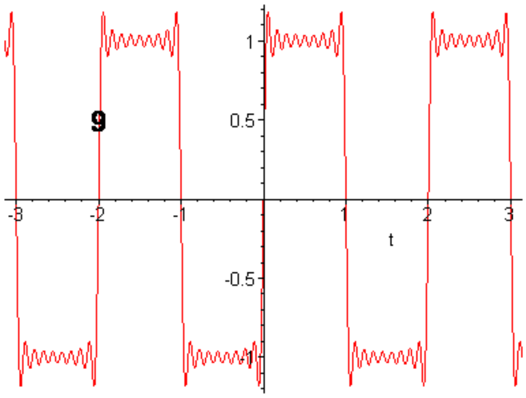


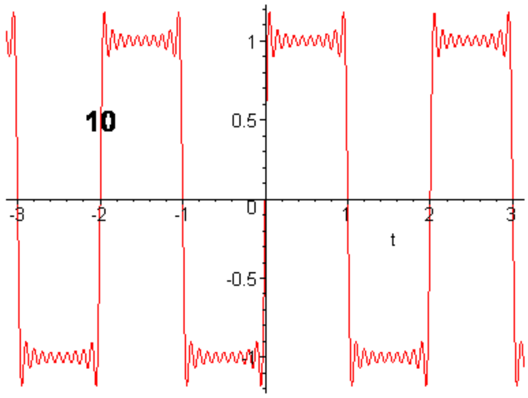

5
1
0.5
-3
-2
-1
0
1
2
3
t
-0.5
-1


6
1
0.5
-3
-2
-1
1
2
3
t
-0.5
-1


7
1
0.5
-3
-2
-1
1
2
3
t
-0.5
-1


8
1
0.5
-3
-2
-1
0
1
2
3
t
-0.5
-1


9
1
0.5
-3
-2
-1
1
2
3
t
-0.5
-1

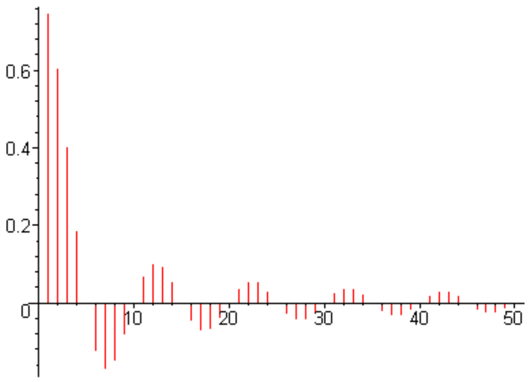

10
1
0.5
-3
-2
-1
0
1
2
3
t
-0.5
-1

Rectangle de rapport cyclique a = 1/5 :

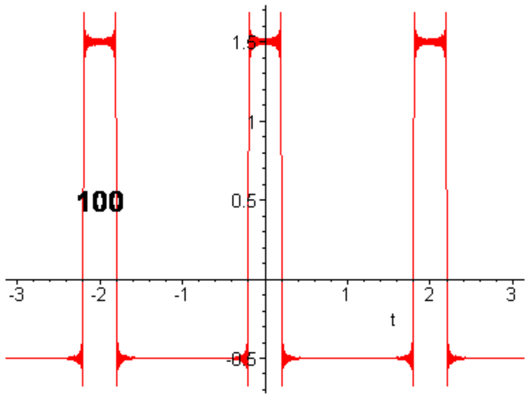
Décomposition mathématique en une somme de sinusoïdes :

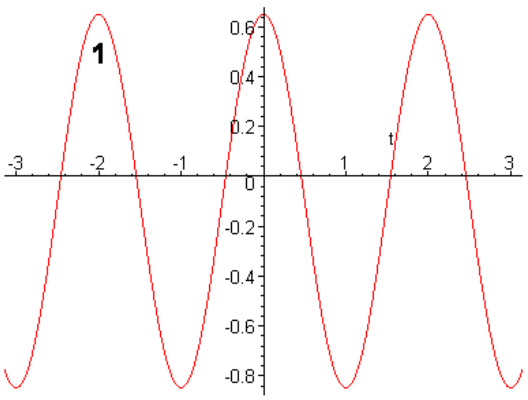
$$fN := \left(\sum_{k=1}^{N} \left(2 \frac{(h1 - h2)\sin(\pi\, k\, a)\cos\left(2 \frac{\pi\, k\, t}{tt}\right)}{\pi\, k} \right) \right) + a\, h1 + h2\,(1 - a)$$

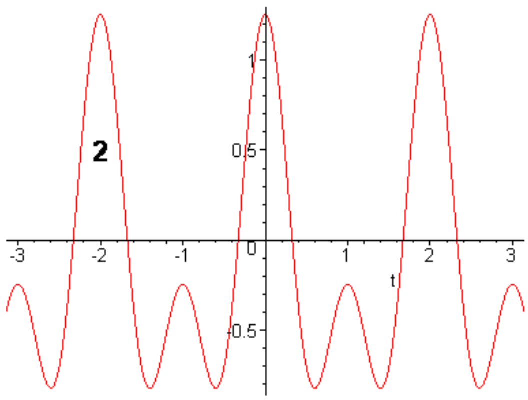
spectre :

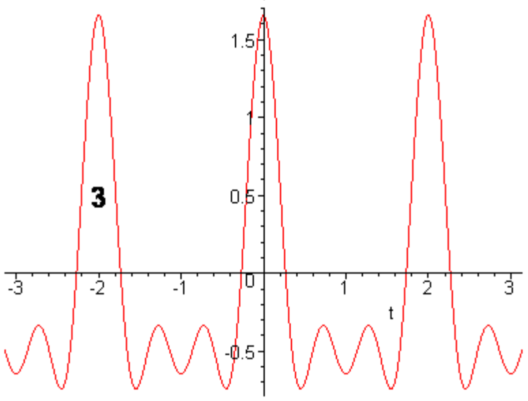


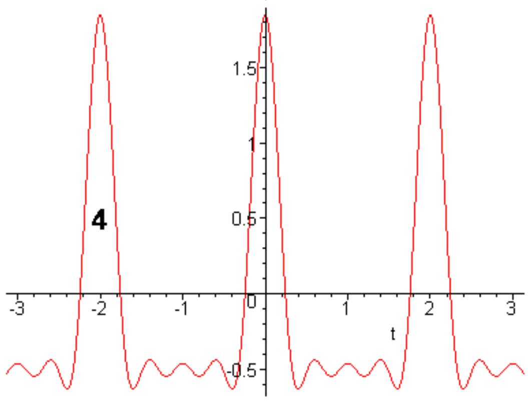
rectangle 1/5 (100 premiers harmoniques)

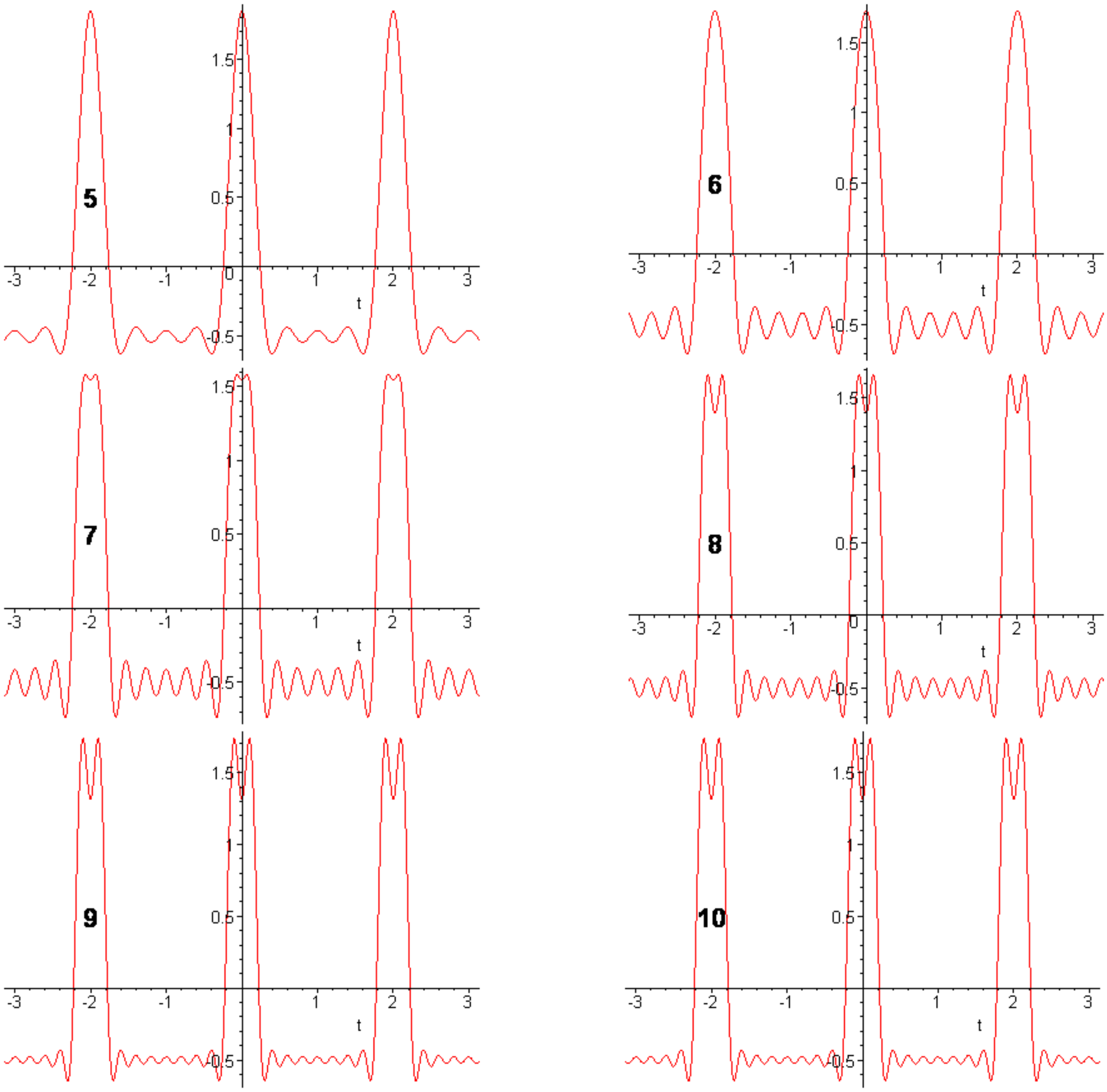












IV- Filtrage

Le filtrage d'un son consiste à réduire, supprimer ou amplifier certains harmoniques de ce son.

On peut ne vouloir garder que les premiers harmoniques d'un son pour le rendre plus doux. On peut inversement enrichir un son dans ses harmoniques de rang élevé, par exemple en l'écrêtant ou en lui faisant subir une distorsion (comme avec une guitare électrique).

Le son filtré peut être très différent du son de départ. Les paramètres du filtrage peuvent également évoluer rapidement dans le temps : on utilise une enveloppe de filtrage ou une modulation périodique de filtrage.