A propos de la fréquence des sons

par C. CANCE
Lycée N. Appert - 44700 Orvault

Dans l'article [1], nous avons discuté de l'association d'une série de Fourier à «un son», d'une façon sans doute trop elliptique, ce qui nous conduit à détailler notre point de vue.

1. POSITION DU PROBLÈME

La figure 1 représente l'oscillogramme d'un signal sonore. En fait, il s'agit d'une simulation sur ordinateur, mais un logiciel de synthèse de Fourier, associé à un convertisseur numérique analogique, permet de visualiser un oscillogramme identique.

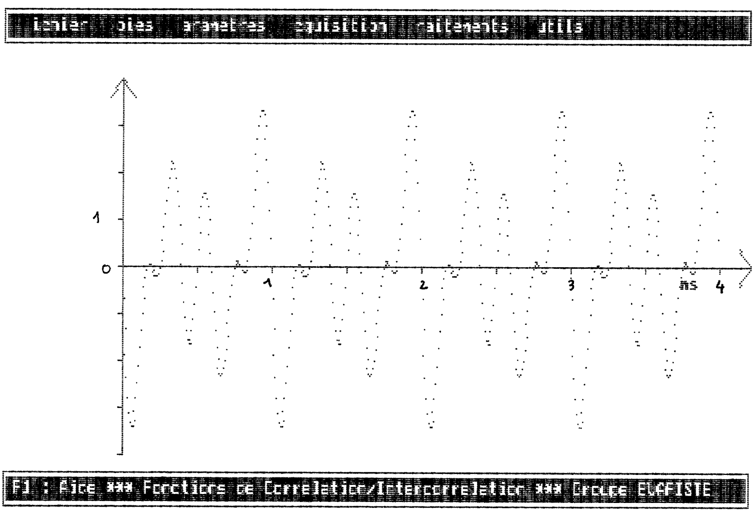

Figure 1 : Oscillogramme.

Son équation est connue :

$$S(t) = \sin(2.\pi.(2.f_0.t) + 2.\sin(2.\pi.(3.f_0).t) + \sin(2.\pi.(5.f_0).t) \qquad (1)$$

avec : $f_0 = 1000$ Hz

Supposons qu'elle ne le soit pas.

Quelle est la fréquence de ce son ?

La réponse est facile à trouver :
- on mesure la période T_0 = 1 ms,
- on en déduit la fréquence $f_0 = 1/T$ soit f_0 = 1000 Hz.

Cette observation est conforme à (1), la période de S(t) étant la plus petite durée multiple entier de la période des trois fonctions sinus.

Il s'agit donc d'un son de fondamental 1000 Hz, (avec des harmoniques qui expliquent la forme).

Malgré l'évidence visuelle fournie par l'oscilloscope, malgré l'évidence mathématique ci-dessus, ***sur le plan physique****, la phrase ci-dessus est très discutable.*

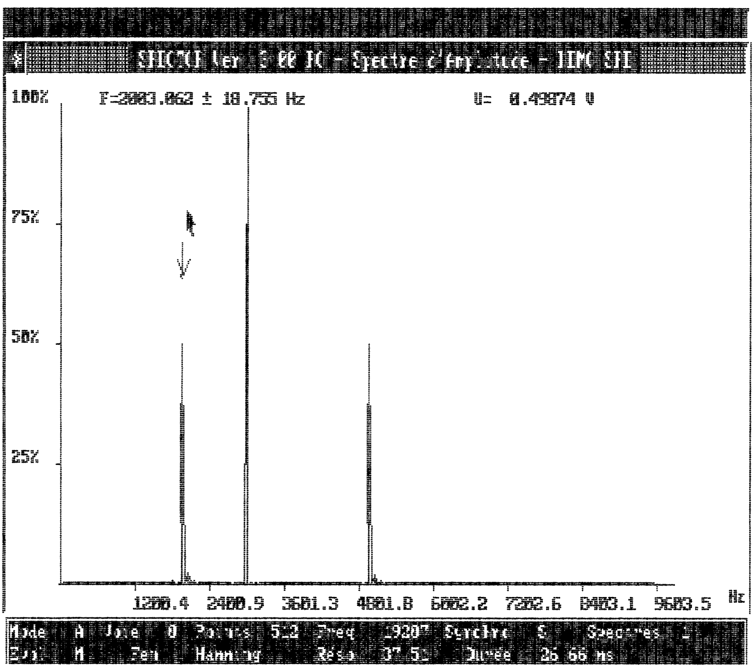

Figure 2 : Spectre.

2. NATURE DU SIGNAL ENVISAGÉ

Pour trouver les harmoniques, on a recours à un analyseur de spectre, qui donne la figure 2. On voit trois partiels de fréquences 2000, 3000 et 5000 Hz.

Cette observation est encore conforme à l'équation (1) : nous retrouvons les trois composantes sinusoïdales.

Il n'y a pas de fondamental, nous sommes dans le cas d'un son avec fondamental d'amplitude nulle.

3. PROPRIÉTÉS DE LA FRÉQUENCE DE TELS SIGNAUX

3.1. Limites d'audition

Un signal à deux composantes spectrales ; mettons f_1 = 852 Hz et f_2 = 1209 Hz, est parfaitement audible, pourtant sa fréquence calculée est f_0 = 3 Hz (cas discuté dans [1]). Ce signal est très répandu : c'est celui qui sert à coder la touche «7» du clavier téléphonique dit «à fréquences vocales».

Il s'ensuit qu'un signal de fréquence 3 Hz est audible ! (et ?).

3.2. Incertitudes

En physique la détermination des grandeurs se fait toujours avec une incertitude. Soit donc un signal, analysé par un analyseur de spectre, qui nous donne deux partiels :

– f_1 = 4800 Hz environ,

– f_2 = 5600 Hz environ.

Et que pour chiffrer le «environ» nous ayons f_1/f_2 = 0.86 à 1 % près.

La recherche du plus petit commun multiple aux périodes T_1 et T_2 des signaux revient à raisonner sur le rapport f_1/f_2.

Dans la limite fixée f_1/f_2 peut valoir 6/7 alors *f_0 = 800 Hz.*

Mais aussi bien f_1/f_2 = 63/73 alors *f_0 = 76 Hz.*

Les périodes T_1 et T_2 peuvent même être incommensurables : $f_1/f_2 = e/\pi$, (puisque $e/\pi = 0.865...$ avec $e = 2.718...$ et $\pi = 3.14...$). Dans ce cas la période du son est infinie et sa *fréquence nulle*.

On comprend où nous voulons en venir : des sons qui ont quasiment la même composition spectrale, ont des fréquences complètement différentes (et pour tout dire arbitraires).

3.3. Fréquence et hauteur

La fréquence d'un son et sa hauteur, varient sensiblement dans le même sens, bien sûr la loi de correspondance n'est pas simple, la hauteur dépend aussi de l'intensité, de la composition spectrale... etc. (voir [2]). Les calculs de fréquence ci-dessus montrent que ce type de correspondance ne peut plus être conservé, même grossièrement.

3.4. Ultrasons

L'ajout d'une composante ultrasonore ne change rien sur le plan auditif, sa prise en compte modifie la valeur calculée de la fréquence.

4. BILAN

Il existe deux façons de lever la difficulté :

– Le signal sonore (1) n'est pas UN son mais la superposition de TROIS sons (et chacun de ces trois sons est décomposable en série de Fourier, avec fondamental non nul, et éventuellement des harmoniques...).

Le signal sonore (1) n'est pas un son de fréquence 1000 Hz dans ce sens qu'il n'a pas UNE fréquence mais TROIS.

– Le signal sonore (1) est bien UN son, mais alors UN son n'est pas nécessairement décomposable en série de Fourier : il ne peut être défini que par la donnée d'une distribution de fréquences.

On retiendra la nécessité de l'analyseur de spectres dans l'étude des phénomènes sonores, l'oscilloscope n'étant en aucun cas suffisant.

BIBLIOGRAPHIE

[1] C. CANCE & G. LEFÈVRE - Décodage d'un clavier téléphonique à numérotation à fréquences vocales par analyse spectrale numérique - B.U.P. nº 761.

[2] M. CASTELLENGO - Perception du signal musical - B.U.P. nº 761.

[3] D. BEAUFILS - Le son ! Qu'entendez-vous par là ? - B.U.P. nº 761.

[4] D. BEAUFILS - De l'ordinateur à l'enseignement des sciences, questions de vigilances.
in Actes des Sixièmes journées informatique et pédagogie des sciences physiques (Lille).