

# Mettre le Numérique en Musique

*Jean-Paul Louis-Lambert*

## Épisode 4 : Qu'est-ce que mon oreille entend ? Des fréquences ? Ou des timbres ?

Résumé : quand on aime écouter de la musique, pas obligatoirement « classique », les évolutions récentes sont bien perturbantes :

*Numérisation & digitali(s/z)ation, Compression, kilohertz (kHz) & Binary digit (bit), Numérique & Audio — ou Analogique ? Télévision numérique terrestre (TNT), phénomène physique & signal analogique, sillon, capteur & transducteur, pavillon acoustique et microphone, pression de l'air et courant électrique, hertz et cycle par seconde, pulsation, fréquence & spectre, musique spectrale, note pure, son complexe & timbre, vibration de l'atmosphère, tympan & organe de Corti, fréquence & amplitude, note & force, attaque, La3 à 440 Hz, maintien & décroissance, son stationnaire et sinusoïde pure, fondamental & harmoniques, fréquences & ondelettes, Yves Meyer & Ingrid Daubechies, bande passante, déformations et distorsions, fréquence d'échantillonnage et quantification, puissance de la pression, perception des sons & échelles logarithmique, pascals & décibels, fichiers numériques à Haute Résolution, échelle linéaire & échelle logarithmique, discrimination, ...*

... qu'est-ce que c'est ?

*(suite de l'épisode précédent)*

### **Numérique ou « Digital » ?**

Nous avons vu dans l'épisode précédent que les mots ont des sens trompeurs : comme on ne parle de « compression » qu'à propos des algorithmes numériques (du MP3, en particulier), les « stagiaires » (*c'est-à-dire les incompetents*) confondent des notions, comme la « numérisation » et la « compression », qui n'ont rien à voir. C'est l'occasion de faire un petit

cours de vocabulaire, puisque de nombreux pièges se cachent dans les mots mal compris.

Petite leçon préliminaire. Déjà, **numérisation** est le mot qu'emploient les *techniciens* français (qui savent ce que ça veut dire). Nos amis les *littéraires* (pourtant) *français*, mais qui ne savent pas ce que ça veut dire, disent : « **digitalis/zation** », ce qui est un anglicisme/ américainisme — pour une fois je suis d'accord avec le *dico* des Académiciens français (ils ont dû interviewer leurs collègues de l'Académie des sciences) : en français, « **digital** » concerne uniquement les **doigts**, par exemple :

« Pour jouer les études d'exécution transcendantes de Liszt, le pianiste doit faire preuve d'une grande **digitalité** (= agilité des doigts), et [la version enregistrée par Sviatoslav Richter](#) a été **numérisée** en Haute Résolution à 96 kHz et en 24 bits. »

Ah... des **kHz** (des **kilohertz**) ? des « **bits** » — là, oui, c'est de l'anglais, « **binary digit** » — Les spécialistes français ont dû trouver que « **unité binaire** », c'est trop long) ? *Quésaco* ?

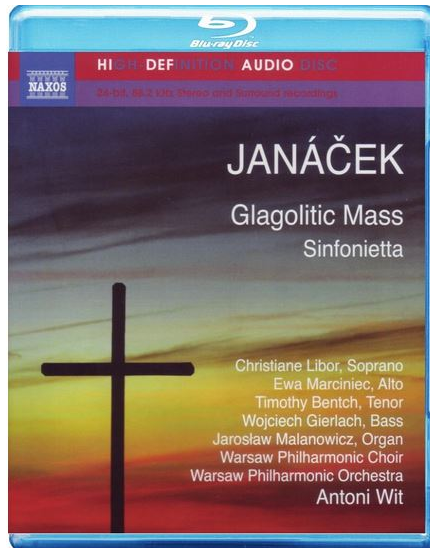
Mais avant de parler de « numérisation », qui est une technique inventée par les êtres humains, il faut parler des phénomènes physiques naturels qui sont rarement **numériques**, mais le plus souvent ... « **analogiques** » ! Vous ne connaissez pas ce mot ?

## **Analogique ou « Audio » ?**

Je vais employer d'autres *gros mots*, car un mot n'est vraiment compris que si on connaît le mot qui désigne **un concept opposé**. Or, le concept opposé à « **numérique** », c'est : « **analogique** ». En France, tout le monde a entendu le mot « analogique » au moins une fois dans sa vie quand il a été question de « **Télévision numérique terrestre** » (la **TNT**) et qu'on a dit que **les chaînes diffusées en « analogique »** (justement) allait être coupées — Il fallait alors s'équiper : soit en achetant une nouvelle télévision moderne ; soit en achetant un adaptateur pour que les « vieilles télés (*analogiques*) » puisse recevoir les nouvelles chaînes (*numériques*). Cette révolution numérique a ravi les marchands de téléviseurs — il a fallu *racheter du matériel* !

Quid d'« analogique » ? Et bien, un *signal analogique* est (dans la pratique courante du mélomane) un signal électrique.

— Bref, une **tension** ou un **courant** — *ne comptez pas sur moi pour dire « voltage » ou « ampérage » !* — De même, je suis reluctant vis-à-vis du mot « audio » qui a dû être mis à la place du mot « analogique » par *les services commerciaux de l'industrie du divertissement* pour ne pas faire peur à leurs clients avec des *gros mots* — et les maintenir dans leur ignorance — car le « signal numérique » qui se trouve sur un CD, ou sur un DVD, ou sur un Bluray, est *tout aussi « audio » !* —



**Y a-t-il plus « numérique » qu'un « Bluray Audio » ? (c'est écrit dessus en majuscules : « Audio »).** Les « bits » issus du Bluray devront être « convertis » en un signal « analogique » (un courant électrique) par un « DAC ».

Le signal analogique est habituellement un courant électrique qui a *la même forme* que le phénomène physique : il y a donc une **analogie** entre le **phénomène** physique et le **signal** qui le représente. J'ai parlé de « signal électrique analogique », mais le sillon de l'antique disque vinyle (remis à la mode dans les milieux branchés), si on le regarde au microscope, à *la*

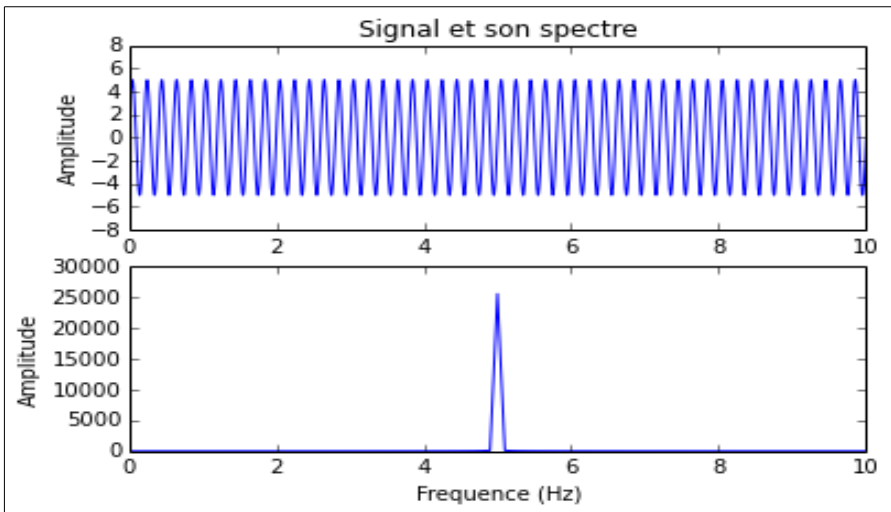
*même forme* que le son qui est enregistré sur ce disque : le sillon est donc un « signal analogique mécanique ».

— Le *phono* va transformer ce signal analogique *mécanique* en un signal analogique *électrique* qui sera envoyé à l'amplificateur — *l'ampli* attaquera les enceintes qui *retransformeront* les signaux électriques en ... signaux *mécaniques* : les ondes sonores qui vont frapper vos oreilles ! On voit que ce n'est pas simple ! —

Voici un exemple visuel de « signal analogique », celui qui est décrit par une sinusoïde pure de fréquence 5 Hz, soit :

$$x(t) = 5.\cos(2.\pi.5.t)]$$

L'image est empruntée au site [tangente](http://tangente.fr) : *c'est aussi bien* l'image de la position du milieu d'une corde **vibrant** à 5 cycles par seconde *que* l'image de l'**enregistrement** de ce mouvement par un **capteur** — on dit aussi : un **transducteur**, ici un **microphone** — qui transforme ce mouvement, qui est mécanique, en un **courant électrique** (le « **signal analogique** ») *facile à enregistrer*.



**En haut, l'image d'une vibration à l'unique fréquence 5 Hz : c'est un signal analogique. En bas, l'analyse du spectre montre la fréquence pure : 5 Hz.**

**Préhistoire.** Au début du gramophone, le son était capté par un **pavillon acoustique** et il était directement enregistré par un **stylet** qui gravait un sillon sur un disque, c'était *directement un signal analogique mécanique*. C'est ainsi qu'a été gravé le premier enregistrement de *La Rhapsody in Blue* de Gershwin par l'orchestre de Paul Whiteman en 1924.



**La *Rhapsody in blue* coupée et jouée très vite pour tenir sur les deux faces d'un 78 tours**

Quelques mois plus tard, l'enregistrement aurait été fait avec un intermédiaire électrique, grâce à un **microphone** (Whiteman a *réenregistré* la *Rhapsody in Blue* en 1927).

## ***Signal, fréquences et « spectres »***

Dès qu'on parle « signal analogique » appliqué à quelque chose qui a à voir avec le son, il est immédiatement question de « **signal** », de « **fréquence** » et de « **spectre** ». Le **signal**, c'est une **grandeur physique**, dont on connaît souvent la représentation sous forme d'un dessin : une courbe qui nous permet de visualiser, sur une feuille de papier ou sur un écran, le phénomène qui nous intéresse. En musique, le phénomène qui nous intéresse, c'est **la vibration de la pression de l'air** engendrée (par exemple) par la vibration de la corde sur laquelle a frappé le marteau actionné depuis la touche d'un piano. Dans les formules on note souvent  $x(t)$  la grandeur (ici, la pression de l'air), alors : **x**, c'est la *variable*, et « **t** », c'est le temps. Comme on le voit sur la courbe du haut d'une précédente figure : ça

monte et descend, comme (par exemple) la nacelle de la balançoire avec laquelle joue un enfant. Ce mouvement peut être écrit mathématiquement à l'aide d'un cosinus (le *cosinus* est une « *sinusoïde* »), et dans la formule que j'ai écrite, la **fréquence** est :  $f = 5$  Hz. L'unité de mesure, c'est le « **Hertz** » (écrivez : **Hz**), c'est-à-dire le nombre de « **cycles** » (le nombre d'allers et retours) par seconde. Un (petit) inconvénient, c'est que la fonction mathématique ne s'écrit pas avec la « fréquence » : **f**,

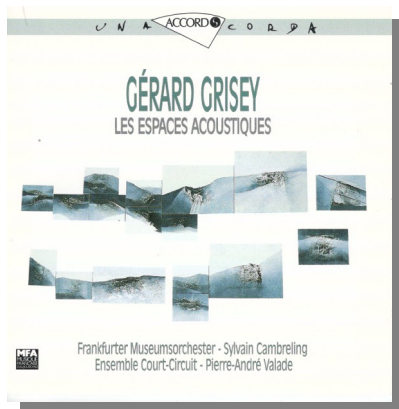
**mais avec la « pulsation » :  $\omega$**  (lettre grecque : **oméga**) =  $2.\pi.f$

Les *profs* de physique ont l'habitude de voir des erreurs « à  $2.\pi$  près » dans les copies de leurs élèves — ça fait un coefficient de 6,28 quand même, ce n'est pas négligeable.

L'ensemble des fréquences qui se trouvent dans un signal, c'est le « **spectre des fréquences** ».

Des logiciels, comme **Audacity** (qui est gratuit), peuvent extraire la « **décomposition spectrale** » d'un signal.

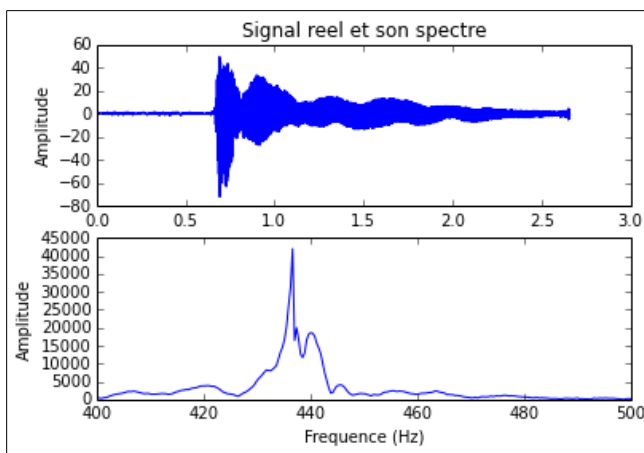
— si vous vous intéressez à la musique contemporaine, vous connaissez les compositeurs de « **musique spectrale** », Antoine Grisey ou Tristan Murail : oui, il se sont servis de la physique et d'instruments sophistiqués **pour analyser des sons complexes, et les recréer**, par ordinateur ou avec un orchestre. Ils ne « composent plus avec des notes, mais **avec des sons** ». —



**Pour la pièce *Modulation des Espaces acoustiques*, un compositeur de « musique spectrale » (le regretté Gérard**

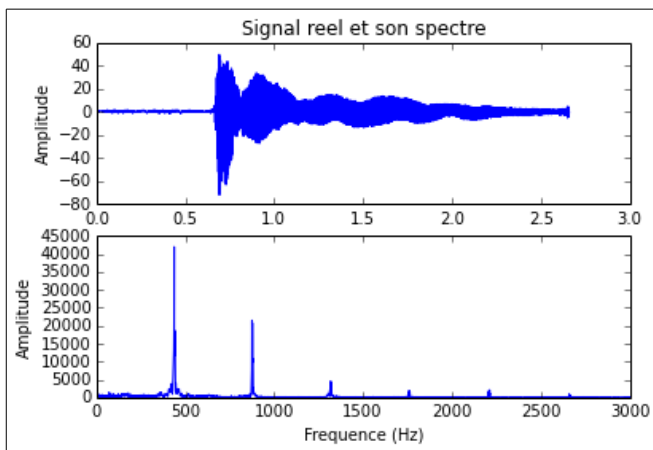
**Grisey, 1946-1998) a utilisé des outils mis au point par l'électronique et l'informatique (les « sonogrammes ») pour analyser (et ensuite recréer) le son spécifique des cuivres.**

L'analyse du spectre du signal visualisé plus haut nous apprend que sa fréquence est bien de 5 Hz. En acoustique, ce serait un « son pur » (ici, à une fréquence trop basse pour être perceptible par une oreille humaine), mais nous savons que **les sons réels sont plus complexes**, et ce sont les *sons* que les compositeurs spectraux veulent mettre en valeur, *non les notes* — Une « note », c'est un signal simple représenté par quelques fréquences pures faciles à définir, c'est pauvre — Les *sons musicaux sont beaucoup plus riches*. Ainsi, l'enregistrement (par Dominique Lefebvre du site [tangentex](#)) à l'aide d'un micro (*c'est lui le transducteur*), suivi d'un amplificateur, etc., du « La3 » d'un piano droit montre qu'il n'y a pas exactement le « 440 Hz » prévu par la norme actuelle (je laisse aux *baroqueux* et aux musicologues le soin de donner l'historique de cette norme), mais le pic est à 437 Hz, avec d'autres fréquences ; certaines sont proches, ...



**Signal réel et spectre de fréquence d'un piano droit exécutant un La3 : on est loin du son purement sinusoïdal à l'unique fréquence 440Hz. Examen détaillé entre 400 et 500 Hz.**

... mais d'autres fréquences sont éloignées.



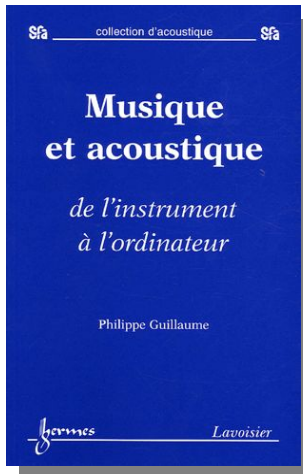
Mêmes significations que ci-dessus, mais de 0 à 3 kHz.

L'auteur dit : « vous apercevrez une double raie centrée sur 874 et 878 Hz. On aperçoit aussi une raie vers 1330 Hz (là aussi une double raie) puis une autre minuscule vers 1760 Hz, et encore une autre encore plus minuscule vers 2210 Hz. » C'est la complexe association de toutes ces fréquences qui donnent **le son spécifique** de cet instrument, **son timbre** — bref, ce qui fait son intérêt.

## ***Acoustique et musique***

J'en profite pour rappeler un peu d'acoustique ultra-élémentaire (je dois ici beaucoup à différentes pages de Wikipédia, mais je simplifie). Je rappelle : un **son** (comme un bruit) est provoqué par une **vibration de l'atmosphère** où nous vivons, et ce que l'on enregistre (grâce à un microphone), c'est la **pression** de l'air. Un diapason actuel, quand on l'a frappé de façon adéquate, se met à vibrer (« vibrer » = faire des allers et retours, comme l'enfant sur sa balançoire) à la fréquence de 440 Hz, c'est ce qu'on appelle : le « **La 3** » présenté plus haut (c'est le « la » qui est au dessus du do central d'un piano). Les pièces métalliques font donc un petit aller et retour 440 fois par seconde, obligeant l'air qui est en contact avec lui à faire de même. Cette vibration de l'air se propage à notre oreille où nous avons des capteurs sensibles à la vibration de l'air : c'est le **tympa**n, qui actionne un « marteau » qui frappe « l'enclume » (je n'y peux rien, c'est le vocabulaire des anatomistes) qui met en mouvement les « osselets », etc. (ce n'est pas simple).



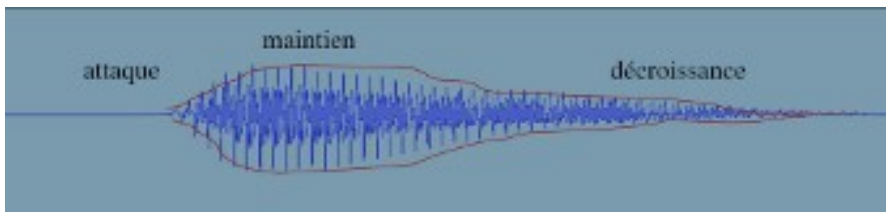


**J'ai également appris beaucoup de choses en lisant un cours de Philippe Guillaume qui connaît à la fois *l'acoustique et la musique*. Malheureusement, l'auteur ne s'intéresse guère aux questions spécifiques à cette enquête (la diffusion de la musique sous forme numérique).**

Au bout du compte, c'est « **l'organe de Corti** », qui contient 24 000 cellules sensorielles reliées à des fibres nerveuses, qui envoie au cerveau des « impulsions nerveuses ». Je ne sais pas comment le signal est « codé » par le cerveau, parce qu'il y a un « traitement du signal » qui nous fait distinguer les « fréquences » et les « amplitudes » — c'est-à-dire les « notes » et la « force » du son. Nous savons reconnaître une mélodie (même si nous n'avons pas appris le solfège). Nous savons si un son est faible, ou s'il est violent et agressif.

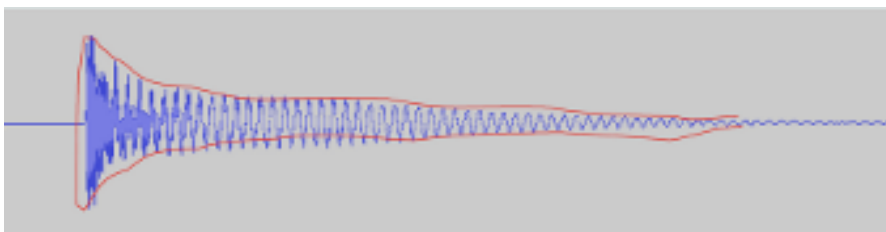
— les amateurs de Hard Rock qui ont beaucoup écouté leur musique préférée à *plein pot* ne le savent plus — Car ils sont devenus sourds *comme des pots* — le système auditif est très performant, donc délicat, donc **fragile**. C'est un pur sang à pattes fines, mais certains veulent s'en servir comme d'un cheval de labour à grosses pattes. *C'est fragile, un pur sang.* —

L'oreille est sensible aux divers **paramètres** d'un son musical : voici l'exemple du son émis par une clarinette (auteur : [Laurent Mazliak](#)) :



**Image du son d'une clarinette : observer : « l'attaque », puis : le « maintien », enfin : la « décroissance ».**

Pour un exposé simple comme celui que j'essaie de mener ici, l'exemple de la clarinette est trop difficile pour être analysé à l'œil nu, mais l'auteur de cette expérience repère : (1) « l'attaque », suivi (2) du « maintien », qui (3) s'achève par la « décroissance ». Le second exemple est plus simple, c'est celui d'un xylophone :



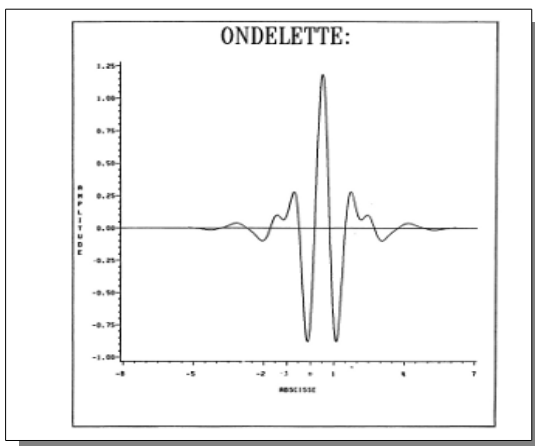
**Image du son d'un xylophone**

On voit que lors de l'attaque, le *signal varie brutalement*, puis lors du « maintien » il est *à peu près stationnaire* et assez proche d'une **sinusoïde pure**. Si l'on coupe le début du signal et qu'on écoute uniquement la fin... on ne distingue plus une flûte d'un piano ou d'un violon ou d'un xylophone ! Bref, *ce xylophone n'est un xylophone qu'au début*. À la fin, ce n'est plus un instrument intéressant. **L'essentiel du timbre est donc audible au début, pendant l'attaque** — Là où le signal ressemble le moins à une pure sinusoïde, ni à une simple somme de sinusoïdes (le **fondamental** et ses **harmoniques**) ! C'est pourquoi l'analyse d'un signal acoustique musical avec des fréquences pures n'est sans doute pas une bonne méthode. C'est pourtant celle qui est couramment employée dans les documents techniques.

— Je parle des documents sérieux, pas des notices publicitaires trop souvent servies à la clientèle. —

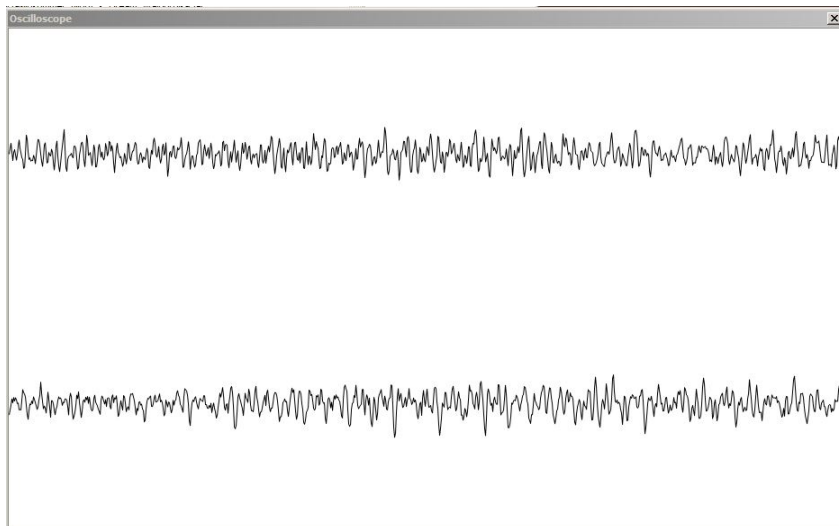
## ***Des fréquences ? Non, des « ondelettes »***

La raison est profonde : les fréquences ne sont un outil correct que lorsque le signal est **stationnaire**, c'est-à-dire quand il reste identique pendant un temps assez long : c'est à peu près ce qu'on observe dans le maintien et la décroissance du xylophone. Depuis les travaux de Joseph Fourier (vers 1820) qui a synthétisé des siècles de recherche sur les ondes, les sinusoïdes pures sont simples et pratiques à utiliser. Mais pour les sons qui sont des signaux plus complexes, les notions liées aux fréquences sont *insuffisantes* pour décrire le timbre des instruments. Y a-t-il mieux ? Oui, des ingénieurs (comme le Français Jean Morlet) puis des mathématiciens (comme l'Argentin A. P. Calderon, le Croate Alex Grossman, le Français **Yves Meyer** ou la belgo-américaine **Ingrid Daubechies**) se sont attaqués à ce genre de problème, et ils ont développé un outil moderne : les **ondelettes**. La forme d'une ondelette typique est donné par la figure suivante :



Ondelette (image empruntée à un article de [P. G. Lemarié et Yves Meyer](#))

On voit que **cette fonction est bien adaptée à la description de la musique avec ses attaques et ses brutales variations...**



... comme on l'observe sur cette visualisation d'un extrait du 1<sup>er</sup> mouvement du sublime Quatuor n°13 de Schubert (*Rosamunde*) par le Quartetto Italiano (1979), le son n'est pas vraiment une « jolie sinusoïde » (visualisation par la fonction « Oscilloscope » du logiciel Foobar2000)

En revanche, comme l'ondelette s'atténue très vite, elle sera *moins précise pour décrire les fréquences* (puisque les sinusoïdes sont censées durer un son très long, pour ne pas dire infini), mais ce n'est pas grave pour l'application aux sons. Les algorithmes modernes utilisent énormément ce type d'outils, aussi bien pour traiter le **son**<sup>1</sup> que pour traiter les **images**<sup>2</sup>. Mais on se dit que si on met dans un document commercial que la **bande passante** est définie par *telle ou telle ondelette*... le public, même averti, se

---

1 J'avais écrit l'essentiel de cet épisode quand le **mathématicien français Yves Meyer** (auteur reconnu d'un décisif travail de synthèse sur les ondelettes) reçoit le prestigieux « Prix Abel » (le meilleur équivalent du prix Nobel pour les mathématiciens). Dans [l'article du Monde publié le 22 mars 2017](#) (daté du 23), on peut lire sous la plume d'un journaliste vulgarisateur : « Il met ainsi sur pied la « théorie des ondelettes » – **de petites ondes qui ressemblent à des notes de musiques de différentes fréquences, organisées selon des octaves comme sur une partition.** »

2 Les « ondelettes de **Daubechies** », adaptées à la numérisation des images, sont utilisées dans le standard JPEG 2000.

demandera de quoi il est question ! Il faudra donc se débrouiller avec les fréquences, en sachant qu'il y a des problèmes délicats à résoudre !

Cela veut dire que les *raisonnements simples* comme...

« l'oreille humaine est limitée à une bande passante inférieure à 20 kHz (et même, en pratique, à 16 kHz) ; il est inutile d'enregistrer les fréquences élevées »

... *est une erreur*, car ce raisonnement ignore (*peut-être*) la réalité des sons associés au timbre des instruments. Comme on ne sait pas raisonner simplement avec les ondelettes, **on continuera à raisonner avec les fréquences**, mais avec des « extensions ».

Conviction personnelle — *peut-être provisoire*, car je rappelle que je ne suis pas un spécialiste de ces questions-là : *je crois pouvoir écrire qu'on devra admettre* (on voit que je prends des précautions !) que **pour décrire les attaques et les sons complexes**, ainsi que **les effets spatiaux (stéréophonie)** qui exigent une très bonne distinction des sons, il faudra utiliser *un spectre de fréquence bien supérieur à 20 kHz*. Plus tard j'examinerai des exemple de fichiers à Très Haute Résolution et nous observerons des spectres pouvant présenter des fréquences jusqu'à **la trentaine de kHz**.

En outre, nous verrons que **la numérisation pose des problème spécifiques** — et qui n'ont *rien à voir avec la « compression »*, et *tout* avec des **déformations** » (des « **distorsions** »). Aussi une **bande passante élevée** fera du bien aux enregistrements numériques. J'en parlerai à propos des mots clefs : **fréquence d'échantillonnage et quantification**. Les créateurs des SCAD annoncent que **la bande passante de leurs enregistrements est de 50 kHz** : ils ont sans doute raison d'avoir cette exigence. Je reviendrai sur cette importante question quand je traiterai des **fichiers numériques à Haute Résolution**.

**Qu'est-ce que l'oreille entend ? Réponses : des « décibels » !**

La mesure de **la puissance**, ou de la force, ou de **la pression** du son s'exprime en « **décibels** » — une très jolie unité, très abstraite et qui utilise la fonction **logarithme** (à base 10), utilisée dans de nombreux domaines,

avec, à chaque fois, une définition différente qui utilisent une référence (que je vais noter :  $X_0$ ) qui est spécifique au « champ applicatif », et *aux traditions historiques des spécialistes* (je simplifie) :

$$X_{db} = 20 \cdot \log_{10}(X/X_0)$$

La mesure physique de la pression s'exprime en « **pascals** ».

— vous avez entendu parler de mesure en pascals dans des messages sur la météo : la pression atmosphérique au niveau de la mer, etc., c'est (à peu près) **101 300 pascals**. Pour éviter d'employer de trop grands chiffres, les météorologues emploient **l'hectopascal** (hPa) alors la pression est de **1013 hPa**. — Autrefois, on disait « **un bar** », ou **1000 millibars** (mb), on voit que le millibar, c'est presque un hPa. —

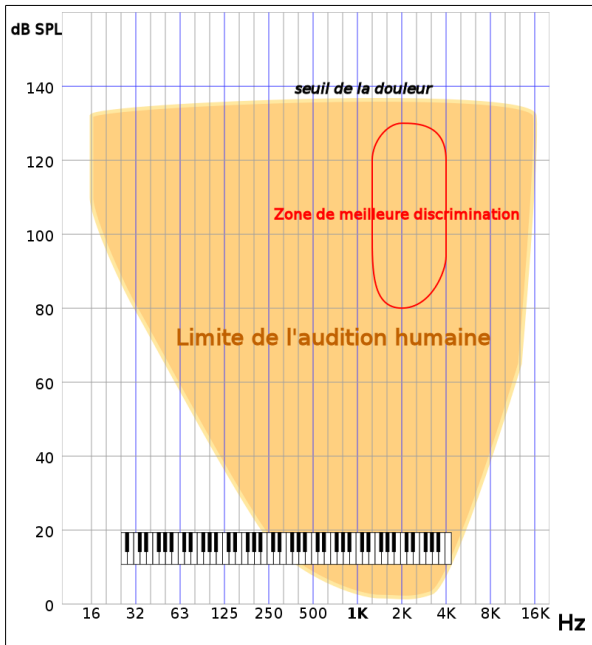
L'oreille peut percevoir un son qui est engendré par une très faible pression de  $20 \mu\text{P} = 20$  micropascals (20 millièmes de pascal), et elle commence à souffrir le martyr vers 10 ou 20 pascals — c'est le seuil des lésions de l'oreille, bien connus de ceux qui sont devenus sourds en assistant à des concerts de rock juste à côté des enceintes. **Le rapport entre ces deux valeurs est de cinq cent mille ou un million !** C'est beaucoup : les ingénieurs et les physiciens savent que dans ces cas là, il faut ne plus travailler en « **échelle linéaire** », mais avec une échelle adaptée à ces trop grands intervalles. C'est « **l'échelle logarithmique** » à l'origine des décibels dont j'ai donné la formulation mathématique.

**En acoustique** on prend la valeur de plus petite pression ( $20 \mu\text{P} =$  vingt micropascals) comme référence ( $X_0$ ) (soit 0 db SPL = zéro décibel Sound Pressure Level) ; alors la plus grande valeur (20 P) prend, en décibels, la valeur : 120 db.

Un tout petit peu de mathématiques. Dans une échelle logarithmique, une multiplication devient une addition, et une division devient une soustraction, une élévation à la « puissance n » devient une multiplication par n — l'inventeur du logarithme (1614), l'Écossais John Napier, a eu une idée de génie !

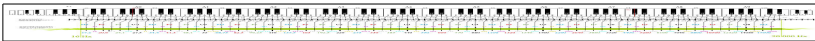
*L'échelle logarithmique correspond à peu près à la perception du son par le système auditif.* Un autre exemple : quand l'oreille perçoit un son à un mètres de la source, si elle s'éloigne d'un autre mètre (donc : doublement

de la distance), en décibel, la pression est diminuée de 6 db (car  $20 \cdot \text{Log}_{10}(2) = 6$ ).



**L'audition humaine : au dessus de 16 Hz et en dessous de 16 kHz. (Image Wikipédia conçue par [Par PolBr — Travail personnel, CC BY-SA 3.0](#)).**

Nous nous intéressons ici aux phénomènes acoustiques et aux fréquences sonores. Leur examen apprend bien des choses qui nous serviront quand il sera question de « compression numérique » (c'est pour plus tard). On dit que **l'oreille humaine entend de 20 Hz (son très grave) à 20 000 Hz (= 20 kiloHerz = 20 kHz, son très aigu)**, mais c'est une approximation : ce serait plutôt **de 16 Hz à 16kHz**. Le système auditif *distingue* bien les fréquences (c'est-à-dire les notes pures) **jusqu'à 4 000 Hz** : c'est à peu près la fréquence du « fondamental » de la note la plus aiguë du piano (représenté sur le schéma), mais un vrai piano émet bien d'autres fréquences que le fondamental !



## Clavier (auteur : [TudorTulok](#) — Travail personnel, CC BY-SA 3.0)

Sur un [agrandissement de l'image](#), on verrait un Do très grave (qui n'existe que sur certains pianos « étendus ») qui est à 17,2 Hz ; le « La A-1/A0 » est à 27,5 Hz ; le « La-1 » ou « A0/A1 » à 55 Hz ; le La1 ou « A1/A2 » à 110 Hz ; le La2 ou « A2/A3 » à 220 Hz ; le La3 ou « A3/A4 » à 440 Hz ; le La4 ou « A4/A5 » à 880 Hz ; le La6 à 1760 Hz ; le La7 à 3520 ; le Do#8 ou Réb8 à 4 400 Hz : les constructeur de piano jugent inutile d'aller plus haut, les auditeurs ne distinguant plus guère les notes voisines si elles sont de même amplitude.

— [La notation](#) La1 est « latine », les notations comme A1/A2 désignent la même note, la première dans la notation « midi », la seconde dans la notation anglo-allemande » — On voit que *les « normes internationales » sont variables !* — Il n'y a que la fréquence qui est une information fiable ! Aussi, dites : « **mon diapason est au La 440 Hz** ». —

— Quelques convictions personnelles : on entre là dans des domaines où je me sens très incompetent, et qui relèvent de la **psychoacoustique**, cette science qui cherche à définir les relations entre le son tel que peut le mesurer des appareils physiques, et le son tel que notre cerveau le perçoit après sa captation par notre oreille, tout le circuit auditif (très complexe) et le « traitement » de ce signal par nos neurones... Vue la précocité de certains enfants prodiges en musique, je suis persuadé que depuis des millions d'année l'évolution a façonné notre cerveau pour le rendre très performant dans le domaine des sons et de la musique — l'une des premières tâches d'un être humain qui vient de naître n'est-il pas d'apprendre à écouter et à parler, à reconnaître la voix de ceux (celles) qui s'occupent de lui, *et à juger si ce qu'il entend lui est favorable ?* —



Les courbes disent qu'on entend entre 16 Hz et 16 000 Hz (cette fourchette est déjà énorme !), et qu'on **distingue (discrimine) bien** les fréquences pures entre 1 et 4 kHz — mais nous savons aussi que *les timbres qui participent de façon très importante à notre plaisir esthétique musical* exigent probablement (conviction personnelle) la prise en compte de fréquences bien plus élevées que le seuil supérieure de notre audition (mesurée avec des fréquences pures). Cela montre que l'audition de la musique est un phénomène très complexe, et que les raisonnements simples qu'on peut proposer avec des outils à peu près compréhensibles par la majorité des mélomanes sont bien insuffisants ... Il faut donc admettre que bien des choses doivent être acceptées, et que ... *beaucoup d'appréciation sont subjectives* ! D'abord, nous savons déjà que 20 % des gens ont des problèmes d'audition, et nous savons aussi que nombreux sont ceux qui *n'entendent rien à la musique*. Il faudra sans doute encore de nombreuses années pour qu'une enquête (comme celle que je tente en ce moment) puisse s'appuyer sur des critères « objectifs », avec des explications compréhensibles...

(à suivre)