

Acoustique et décibels

Nous allons aborder la notion de décibels, unité utilisée dans la mesure de l'intensité des sons, dans une science appelée acoustique.

I Origine d'un son - Son sinusoïdal pur

Le son trouve son origine dans la vibration de structures. Or l'analyse modale des structures montre que toute vibration naturelle d'une structure (corde vibrante par exemple) est la superposition de modes propres de vibrations pour lesquels les points de la structure ont des mouvements périodiques qui sont des fonctions sinusoïdales du temps (voir les fichiers ondes et analyse modale à ce sujet).

De plus, toute vibration forcée d'une structure par une excitation sinusoïdale de fréquence donnée répond par des vibrations à la même fréquence en régime permanent atteint quasi instantanément.

Il est donc d'intérêt de s'intéresser à des sons sinusoïdaux purs comme élément fondamental de n'importe quel son.

Ce que nous percevons par notre oreille par un tel son est une suite de surpressions et de sous-pressions par rapport à la pression atmosphérique standard du moment, transmises par onde.

Prenons par exemple un diapason qui émet par sa vibration un son pur et regardons l'allure de la courbe de pression le long d'un segment reliant le diapason à une oreille humaine qui en reçoit le son.

II Sensibilités de l'oreille humaine – échelle des décibels

L'oreille humaine est sensible à deux phénomènes, la fréquence et l'amplitude de surpression.

Pour ce qui est de la fréquence, le domaine dans lequel l'homme entend les sons s'étale de 20 Hz, limite des **infrasons**, à 20 000 Hz, limite des **ultrasons**. Les éléphants perçoivent en dessous de ce domaine et les chiens au dessus.

Les décibels visent à décrire dans une échelle adaptée l'amplitude de surpression ou, ce qui revient au même, l'intensité acoustique (**en Watt par mètre carré**) car on démontre en acoustique que cette dernière est proportionnelle au carré de la première.

Or pour ce qui est de l'amplitude de surpression, la sensibilité humaine s'étale de 2×10^{-5} Pa, l'intensité correspondante est alors 10^{-12} W m⁻², à 2×10^5 Pa, l'intensité est alors de 10^8 W m⁻².

La sensibilité s'étale donc sur une grande plage de puissance de 10, l'exposant variant de -12 à 8 si on s'intéresse à l'intensité. Il convient donc de trouver une échelle plus adaptée et comme l'exposant varie de 20 unités, une échelle entre 0 et 200 serait la bienvenue. C'est ce qui va conduire à l'échelle des décibels. Voyons comment procéder.

Partons d'un exemple avec un son d'intensité 10^{-1} W m⁻², ce qui est un son traumatisant pour un tympan humain.

Par rapport à la plus petite intensité audible, l'exposant doit augmenter de 11 unités, ce que l'on peut voir en écrivant :

$$10^{-1} = 10^{-12} \times 10^{11}$$

L'idée est de prendre cette valeur de 11 comme mesure de l'intensité acoustique mais comme elle ne varierait qu'entre 0 et 20, limites entre un son à peine audible et un son douloureux, on préfère la multiplier par 10, ce qui fera une échelle variant de 0 à 200.

Notre son a donc dans cette échelle une intensité de $11 \times 10 = 110$ et cette grandeur est exprimée en décibels (symbole dB). Et voilà, pas compliqué, non !

Quelques exemples :

Pour une intensité de 10^{-5}W m^{-2} , il faut ajouter 7 unités d'exposant pour aller de -12 à -5 . La valeur en décibels de cette intensité est alors $7 \times 10 = 70$.

Une dernière pour enfoncer le clou. Pour une intensité de 10^5W m^{-2} , il faut ajouter 17 unités d'exposant pour aller de -12 à 5 . La valeur en décibels de cette intensité est alors $17 \times 10 = 170$. Euh ! là je vous déconseille de vous y frotter, car vous n'auriez plus de tympan !

Vous voyez qu'avec cette échelle, cela va être bien plus pratique pour qualifier différentes intensités sonores et je m'en vais le faire de ce pas.

Tout d'abord, 0 dB, ce n'est pas la peine d'y penser, vous ne l'expérimenterez jamais, il y aura toujours un bruit de fond même dans une caisse insonorisée. Et puis, il y a ces fichus acouphènes, qui sont des bruits fantômes produits par nos cellules ciliées qui s'excitent toutes seules (la vieillesse et les traumatismes répétés, selon toute vraisemblance) mais sans source sonore extérieure (donc de vibration de tympan). Pour ceux que ça gêne, je m'en suis débarrassé en acceptant de cohabiter avec eux du coup, ils ne m'ennuient plus. Comme quoi, lorsqu'on accepte les gens comme ils sont, ils finissent par ne plus vous être désagréables, à condition qu'ils nous acceptent en retour comme nous sommes. Mais mes acouphènes, ils n'avaient pas le choix, c'est quand même moi qui les abrite non mais ...

Alors 10 dB, c'est quelque chose ou pas ? Eh bien non, c'est rien, même pas une sonnette, ni une sonnnette. C'est même pas le bruit de fond dans une forêt. Alors essayer de chuchoter très bas à un mètre de l'oreille de votre copain, il saura peut être ce que sait. Voilà pour planter le décor.

Donc ça devient quelque chose, mettons dans une forêt, tranquille bien sûr, avec seulement les petits oiseaux et sans les tronçonneuses ou les

autoroutes à côté ou une mégère en train de conspuer son mari. Et là ça doit faire dans les 40 dB.

A 60 dB, nous nous régalons d'une conversation avec un copain ou une copine.

A 70 dB, ça commence à chauffer les oreilles car nous sommes dans une cantine scolaire. Il n'y a d'ailleurs pas que les oreilles qui trinquent.

A 90 dB, le marteau piqueur n'est pas loin et à 100 dB il est tout près et vous vous en prenez plein les castagnettes. Faudra pas se plaindre plus tard si vous avez des acouphènes, surtout pour ceux qui utilisent régulièrement le marteau pneumatique en négligeant de mettre leur casque.

Alors de 100 à 120 dB, mieux vaut ne pas en parler, 120 dB étant le seuil de la douleur et accessoirement le bruit du TGV passant à grande vitesse à côté de nous. Mais que fait on sur la voie, on se le demande ?

En fait si, il vaut mieux en parler car 110 dB c'est à peu près le niveau sonore qu'on trouve dans de nombreuses boîtes de nuit. Alors il ne faudra pas s'étonner de trouver de nombreux adultes commenteurs anciens noctambules. Oui j'ai dit commenteurs, pas commentateurs, pour désigner les personnes habituellement âgées, qui disent tout le temps : comment ?

Ariane qui décolle, ça doit faire dans les 160 à 170 dB. Alors là, pas la peine de penser admirer le décollage juste à côté de la fusée avec une combinaison de vulcanologue et un masque à oxygène.

II Formules mathématiques

Point n'est de sciences sans belles formules mathématiques. Vous devriez y être habitués, on ne vous sert que cela ces derniers temps, les explications et le sens étant jugés inutiles.

Alors les voilà ces formules qui font pâlir tant d'élèves.

Notons d'abord l'intensité la plus faible audible (dite de référence) sous forme :

$$I_0 = 10^{-12}$$

Pour faire plaisir à nos amis d'outre manche, nous noterons L (pour Level signifiant niveau en anglais) la valeur en décibels d'une intensité acoustique de valeur I en Watt par mètre carré.

Alors, tel que nous l'avons défini, nous avons :

$$I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$$

Ainsi, un son d'intensité 70 dB traduit qu'il y a $70/10=7$ unités d'exposant en plus par rapport à l'intensité de référence donc,

$$I = 10^{-12} \times 10^7 = 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$$

Là c'est simple, mais imaginez un son de 75 dB :

$$I = 10^{-12} \times 10^{7,5} = 10^{-5,5} \text{ W m}^{-2}$$

Cela paraît aussi simple, oui, à condition d'avoir défini les puissances de 10 pour des exposants non nécessairement entiers relatifs. Je vous conseille de consulter mon fichier sur les puissances pour comprendre alors le sens de telles puissances fractionnaires.

Maintenant, pour la beauté mathématique, il nous faudrait pouvoir également donner un sens à des nombres de la forme :

$$10^\pi \text{ ou } 10^{\sqrt{2}}$$

Et ça, c'est aussi donner un sens à une fonction dont l'expression serait pour tous les réels x :

$$f(x) = 10^x$$

J'invite alors les matheux en herbe à consulter mon fichier intitulé Exponentielles et Logarithmes.

Pour ceux qui l'ont déjà fait, je peux continuer dans les formules sachant que :

$$\log(10^x) = x$$

Puisque on a :

$$\frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}}$$

On déduit :

$$\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$$

donc :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

Ainsi, un son qui aurait une intensité de $2,4 \times 10^{-5} \text{ W m}^{-2}$ aurait une intensité en décibels de :

$$L = 10 \log\left(\frac{2,4 \times 10^{-5}}{10^{-12}}\right) = 10 \log(2,4 \times 10^7)$$

Ainsi, muni de votre arme de crétinisation mathématique massive, la calculatrice, vous pouvez en déduire fièrement, à condition de ne pas vous tromper de touche évidemment, car je ne suis pas sûr, pour nombres d'entre vous, qu'ils contrôlent l'ordre de grandeur du résultat par un calcul de tête :

$$L \approx 73,8 \text{ dB}$$

Comme j'ai connu l'ère d'avant la calculette, celle où on avait encore un cerveau et où on prétendait s'en servir pour de bonnes choses, je dis que le résultat attendu ne doit pas être loin de celui correspondant à une intensité de 10^{-5} W m^{-2} qui tombe tout rond sur une puissance de 10 et pour laquelle, le calcul conduit de tête à 70 dB.

III Applications

