Chapitre 4 : Sons et audition

Les énoncés sont extraits de :
Physique médicale - 2016-2017 P. Louette, M. Dontaine, M. da Silva Pires, M. Lobet Travaux dirigés. Université de Namur.

Rappels

Une onde est un transfert d'énergie sans transfert de matière et on a :

$\lambda = vT = \dfrac{v}{f}$	λ	Longueur d'onde (m)
	v	Vitesse (m/s)
	T	Période (s)
	f	Fréquence (Hz)

L'intensité I d'une onde sonore est par définition la puissance incidente par unité d'aire. Dans le cas, d'une source ponctuelle rayonnant uniformément dans toutes les directions, l'intensité à la distance R est :

$$\boxed{I = \frac{P}{4\pi R^2}}$$

Le nombre de décibels (dB) correspondant à une onde sonore d'intensité I est donné par :

$$\boxed{\beta = 10\log\frac{I}{I_0}}$$

avec $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

Exercice 5.1 Un haut parleur a une puissance de $0,8\ W$. On suppose qu'il se comporte comme une source ponctuelle émettant uniformément dans toutes les directions. A quelle distance l'intensité du son correspond-t-elle à $85\ dB$?

Solution

$$\beta = 10\log\frac{I}{I_0} \Rightarrow 8.5 = \log\frac{I}{I_0} \Rightarrow I = 10^{8.5}\times 10^{-12} = 10^{-3.5}\ \text{W/m}^2$$

Or $I = \dfrac{P}{A}$ avec A étant la surface d'un sphère de rayon R. $A = 4\pi R^2$

$$\Rightarrow A = \frac{P}{I} \Rightarrow 4\pi R^2 = \frac{P}{I} \Rightarrow R = \sqrt{\frac{P}{4\pi I}} = \sqrt{\frac{0.8}{4\pi\times 10^{-3.5}}} = 14.2\ \text{m}$$

Exercice 5.2 La puissance de sortie d'un amplificateur vaut $50\ W$ à $1\ kHz$ et décroit de $1,5\ dB$ à basse fréquence. Quelle est sa puissance de sortie à basse fréquence ?

Solution

Désignons par l'indice 1, la puissance normale et par l'indice 2, la puissance à basse fréquence.

$$\begin{cases}\beta_1 = 10\log\dfrac{I_1}{I_0}\\ \beta_2 = 10\log\dfrac{I_2}{I_0}\end{cases} \Rightarrow \Delta\beta = \beta_1 - \beta_2 = 10\log\frac{I_1}{I_0} - 10\log\frac{I_2}{I_0} = 10\log\frac{I_1}{I_2}$$

or $\begin{cases}P_1 = I_1 A\\ P_2 = I_2 A\end{cases} \Rightarrow \Delta dB = 10\log\dfrac{I_1 A}{I_2 A} = 10\log\dfrac{P_1}{P_2} \Rightarrow P_2 = P_1 .10^{-\frac{\Delta dB}{10}} = 50\times 10^{-\frac{1.5}{10}} = 35.4 \text{ W}$

Exercice 5.3 Pour un examen médical aux ultrasons, on utilise des ondes de $4\ MHz$. Si le module de la vitesse du son dans les tissus vaut $1500\ m/s$, quelle en est la longueur d'onde ?

Solution

La fréquence ne change pas quand on passe d'un milieu à un autre.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{1500}{4\times 10^6} = 3.75\times 10^{-4} = 0.375 \text{ mm}$$

Exercice 5.4 Lors d'un examen médical aux ultrasons, on peut estimer que la résolution latérale (la distance minimale nécessaire pour que deux points soient visibles distinctement) est de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde utilisée. Si on souhaite voir un détail de 0,3 mm de large, quelle est la fréquence à utiliser ? On donne le module de la vitesse du son dans les tissus, qui vaut $1500\ m/s$.

Solution

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1500}{3\times 10^{-4}} = 5 \text{ Mhz}$$

Exercice 5.5 Si une personne seule crie dans les gradins d'un stade, l'intensité au centre du terrain vaut $50\ dB$. En faisant l'approximation que tous se trouvent à égale distance du centre du terrain, quelle est l'intensité en décibels lorsque 20000 spectateurs crient ?

Solution

$$\beta_1 = 10\log\frac{I_1}{I_0},\quad \beta_{20000} = 10\log\frac{20000 I_1}{I_0} = 10\log\frac{I_1}{I_0} + 10\log 20000 = 93 \text{ dB}$$

Exercice 5.6 *Son et audition.*

L'intensité d'un son ne suffit pas à le caractériser. L'onde sonore est décrite par trois grandeurs :

— la fréquence de l'onde sonore détermine la hauteur du son (son grave ou aigu),

— la forme de l'onde sonore détermine le timbre (on distingue facilement une note jouée sur un piano de la même note jouée sur un violon),

— l'intensité de l'onde détermine si un son est plus ou moins "fort".

Lorsque le son arrive à l'oreille humaine, cette dernière conduit l'onde jusqu'au tympan, qui transforme alors l'énergie reçue en un signal interprétable par le cerveau. Le fonctionnement de l'oreille est complexe et mène à certaines conclusions : on sait notamment que l'on ne perçoit pas avec la même efficacité les sons de fréquences différentes ; la courbe de Fletcher reprise en figure 5.1 illustre la réponse de l'oreille en fonction de la fréquence des sons.

1. En se basant sur la courbe représentant le minimum audible du diagramme de Fletcher, justifier que la sensibilité maximale de l'oreille se situe aux alentours de 4000 Hz.
2. On considère deux sons respectivement de 50 Hz et de 100 Hz, et de même niveau sonore (physique) de 60 dB. Lequel sera perçu avec le plus d'intensité par l'oreille ?

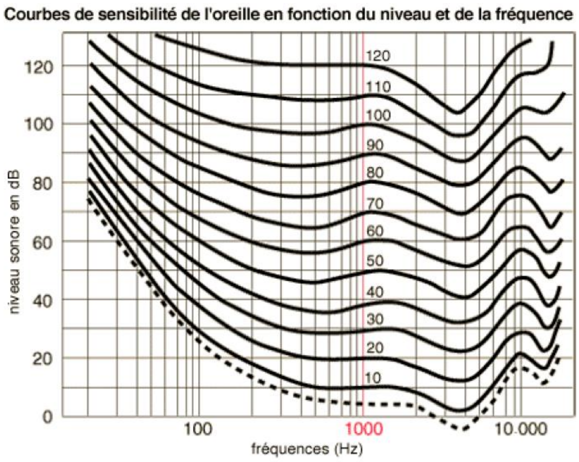
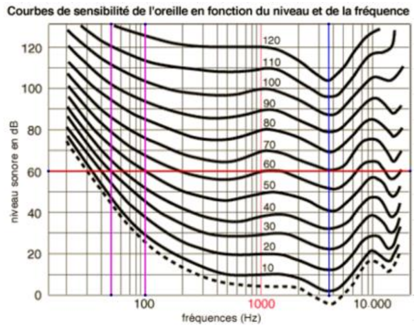


FIGURE *5.1* – Courbes de Fletcher. La courbe en pointillé représente le minimum audible.

Solution



1) Les courbes de Fletcher présentent effectivement un minium pour +/– 3500 Hz.

Ce résultat peut être retrouvé par calcul. Le conduit auditif a une longueur d'environ 25 mm. Le son sera perçu avec le maximum de sensibilité, lorsque qu'un régime stationnaire s'établira dans le conduit auditif. Celui-ci est assimilé à un tuyau fermé à une extrémité et ouvert à l'autre. Le régime stationnaire de premier ordre correspondra à $\frac{\lambda}{4} = 0.025 \Rightarrow \lambda = 0.1$ m. Ce qui correspond à une fréquence de : $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0.1} = 3400$ Hz.

2) Les courbes montrent facilement que la fréquence de 100 Hz sera perçue avec le plus de sensibilité.

Exercice 5.7 *Audition et seuil de douleur.*

Au décollage, les moteurs de la fusée Ariane 5 produisent un bruit de 180 dB (la mesure étant réalisée à une distance 28,2 cm de la source), un niveau largement supérieur aux niveaux acceptables par l'oreille humaine (voir la courbe de Fletcher, figure 5.1). C'est une des raisons pour lesquelles un périmètre de sécurité a été prévu autour du pas de tir (les autres raisons étant les émissions de gaz toxiques et la possibilité d'une défaillance du lanceur).

1. Calculer l'intensité des ondes sonores émises par les moteurs de la fusée.
2. Dans une conversation normale entre deux personnes, l'intensité sonore est de $10^{-6} W/m^2$. Combien de personnes devraient parler en même temps pour atteindre le niveau sonore des moteurs de la fusée ?
3. En fixant la norme de bruit acceptable à 89 dB, calculer le rayon de la zone de sécurité autour du pas de tir.

Solution

1. $180 = 10 \log \frac{I_{180}}{I_0} \Rightarrow I_{180} = 10^{18} \times 10^{-12} = 10^6$ W/m^2
2. Contrairement à ce qui est affirmé dans les séances d'exercices, **dans une conversation normale, une seule personne parle à la fois.** Il ne faut donc pas diviser l'intensité par deux. Soit n le nombre de personnes.

$$n = \frac{I_{180}}{I_{60}} = \frac{10^6}{10^{-6}} = 10^{12}$$

   Soit plus de personnes qu'il y en a sur la Terre.
   Si on maintient, malgré tout qu'il faut diviser par deux, alors il faut avoir : $n = 2 \times 10^{12}$
3. On sait que l'intensité d'un son décroit en fonction inverse du carré de la distance.
   Si on considère que la mesure a été faite à 28.2 cm, alors on trouve :

$$\frac{d_{89}^2}{d_{180}^2} = \frac{I_{180}}{I_{89}} \Rightarrow d_{89} = d_{180}\sqrt{\frac{I_{180}}{I_{89}}} = 0.282 \times \sqrt{\frac{10^6}{10^{-3.1}}} = 10005 \text{ m} \simeq 10 \text{ km}$$

   Car $I_{89} = I_0 \times 10^{8.9} = 10^{-12} \times 10^{8.9} = 10^{-3.1}$ W/m^2

Exercice 5.8 Si au décollage un avion produit un son de 140 dB, que vaut le rapport entre l'intensité du son produit et l'intensité correspondant au seuil d'audibilité humaine ?

Solution

Il suffit d'appliquer la définition : $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{\beta}{10}} = 10^{14}$