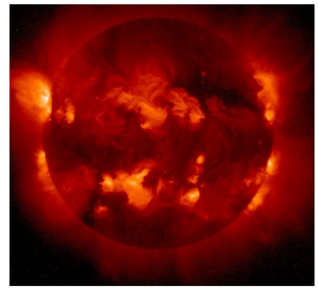
Chapitre 1.15 – La puissance et l'intensité

L'intensité

L'intensité mesure la répartition de la puissance[1] dans l'espace et correspond à une puissance par unité de surface. On peut également définir l'intensité comme étant une mesure d'énergie interceptée par une cible de 1 m^2 par unité de temps.



L'intensité lumineuse du soleil diminue avec le carré de la distance, car le rayonnement est sphérique.

Intensité moyenne :

$$\bar{I} = \frac{P}{A}$$

Intensité instantanée :

$$I = \frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}A}$$

où I : Intensité de l'énergie (W/m^2)

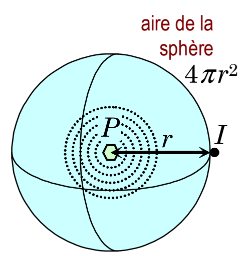
P : La puissance (W) $(P = \mathrm{d}E/\mathrm{d}t)$

A : Surface sur laquelle la puissance est répartie (m^2)

Intensité d'une onde sonore omnidirectionnelle

Puisque les fronts d'ondes associées à une source omnidirectionnelle sont représentés par des sphères dont le rayon augmente en fonction du temps, la conservation de l'énergie impose que l'intensité doit diminuer en fonction du carré de la distance puisque l'onde stimule un milieu toujours de plus en plus grand à mesure que l'onde se diffuse :

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



où I : Intensité de l'onde sonore (W/m^2)

P : La puissance du haut-parleur (W)

r : Distance entre l'observateur et la source (m)

Intensité d'une onde sonore quelconque

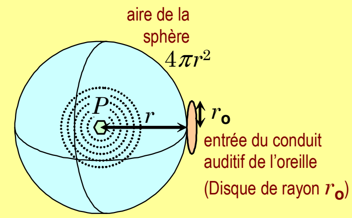
L'expression de l'intensité d'une onde sonore peut être très complexe, car cela dépend de la forme de l'émetteur. Dans un cas d'un haut-parleur, la construction fait en sorte qu'il y a maximisation de l'intensité à l'avant du haut-parleur et minimisation de l'intensité à l'arrière. Puisque les fronts d'onde sont de forme conique, l'expression de la surface A associé au calcul de l'intensité I n'est pas égale à $4\pi r^2$.

Un haut-parleur typique n'est pas une source omnidirectionnelle.

Image synthétique des ondes sonores générées par un haut-parleur

[1] La puissance correspond au rythme auquel l'énergie varie dans le temps (P = ΔE / Δt).

Situation 1 : ***La puissance sonore captée par une oreille.*** Un haut-parleur omnidirectionnel émet une puissance sonore de 10 W. On désire déterminer la puissance qui pénètre dans le conduit auditif de l'oreille d'une personne située à 20 m de distance : le conduit a un rayon de 3 mm. (On néglige l'effet de concentration des ondes sonores qui résulte de la forme du pavillon de l'oreille.)



Représentation des ondes sonore à l'entrée de l'oreille.

Évaluons l'intensité du son à l'entré de l'oreille :

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \Rightarrow \quad I = \frac{(10)}{4\pi (20)^2}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{I = 1{,}99\times10^{-3}\ \text{W/m}^2}$$

Évaluons la puissance qui entre dans l'oreille. Supposons que l'intensité est constante sur l'ensemble du conduit auditif de l'oreille :

$$I = \frac{P}{A} \quad \Rightarrow \quad P = IA \qquad \text{(Isoler } P\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad P = I\left(\pi r_o^{\,2}\right) \qquad \text{(Aire du disque, } A = \pi r_o^{\,2}\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad P = \left(1{,}99\times10^{-3}\right)\pi(0{,}003)^2 \qquad \text{(Remplacer valeurs numériques)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{P = 5{,}63\times10^{-8}\ \text{W}}$$

Le décibel

Le décibel est une mesure de rapport d'intensité utilisant une échelle logarithmique. Cette mesure est basée sur l'intensité sonore minimum I_0 qu'une oreille humaine peut percevoir :


Sonomètre

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

où β : Intensité sonore en décibel (dB)

I : Intensité sonore en watt par mètre carré (W/m^2)

I_0 : Intensité sonore minimum perceptible par l'humain, $I_0 = 10^{-12}\ \text{W/m}^2$

Puissance sonore et ordre de grandeur

L'oreille humaine peut s'adapter à une grande variété d'intensité sonore[2] :

Action sonore	Intensité (W/m^2)	Intensité (dB)
Son impossible à entendre	10^{-13} à 10^{-12}	-10 à 0
Seuil d'audibilité	10^{-12}	0
Cabine prise de son	10^{-11} à 10^{-10}	10 à 20
Conversation à voix basses	10^{-10} à 10^{-9}	20 à 30
Le bruit de la forêt	10^{-9} à 10^{-8}	30 à 40
Bibliothèque	10^{-8} à 10^{-7}	40 à 50
Lave-vaisselle	10^{-7} à 10^{-6}	50 à 60
Téléviseur, conversation	10^{-6} à 10^{-5}	60 à 70
Aspirateur	10^{-5} à 10^{-4}	70 à 80
Tondeuse à gazon	10^{-4} à 10^{-3}	80 à 90
Route à circulation dense	10^{-3} à 10^{-2}	90 à 100
Marteau-piqueur	10^{-2} à 10^{-1}	100 à 110
Discothèque, concert rock	10^{-1} à 10^{0}	110 à 120
Avion au décollage (300m)	10^{0} à 10^{1}	120 à 130

Doubler l'intensité

Puisque l'intensité sonore en décibel est basée sur une échelle logarithmique, doubler l'intensité en W/m^2 n'est pas équivalent à doubler l'intensité sonore en décibel.

Propriété : $\log(AB) = \log(A) + \log(B)$ (Produit dans un logarithme)

$10\log(2) = 3{,}01$ ($\log(2) = 0{,}301$)

$10\log(1/2) = -3{,}01$ ($\log(-1/2) = -0{,}301$)

Multiplicateur de l'intensité en W/m^2	Expression de l'intensité en dB
0,125 ou 1 / 8	$\beta - 9{,}03$
0,25 ou 1 / 4	$\beta - 6{,}02$
0,5 ou 1 / 2	$\beta - 3{,}01$
1	β
2	$\beta + 3{,}01$
4	$\beta + 6{,}02$
8	$\beta + 9{,}03$

[2] Référence : http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9cibel

Situation 2 : ***L'intensité combinée de deux sources sonores.*** Deux haut-parleurs génèrent chacun, à l'endroit où se trouve un auditeur, un son de 40 dB. On désire déterminer le nombre de décibels entendus par l'auditeur.

Puisque le décibel est une échelle logarithmique d'intensité, nous ne pouvons pas simplement additionner les décibels de chaque haut-parleur et donner comme intensité totale la valeur de 80 dB. Nous devons additionner l'intensité de chaque haut-parleur en W/m^2 et reconvertir le tout en décibel.

Évaluons l'intensité <u>d'un seul haut-parleur</u> en W/m^2 :

$$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \Rightarrow \quad \frac{\beta}{10} = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \qquad \text{(Isoler le log)}$$

$$\Rightarrow \quad \frac{(40)}{10} = \log\left(\frac{I}{(10^{-12})}\right) \qquad \text{(Remplacer valeurs numériques)}$$

$$\Rightarrow \quad 4 = \log\left(\frac{I}{10^{-12}}\right)$$

$$\Rightarrow \quad 10^4 = \frac{I}{10^{-12}} \qquad \text{(Mettre à l'exposant 10, } 10^{\log(a)} = a\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{I = 10^{-8}\ \text{W/m}^2}$$

Notre intensité totale de <u>deux haut-parleurs</u> est alors égale à la valeur suivante :

$$I_{tot} = 2I = 2(10^{-8}) \quad \Rightarrow \quad I_{tot} = 2\times 10^{-8}\ \text{W/m}^2$$

Évaluons maintenant l'intensité totale en dB :

$$\beta = 10\log\left(\frac{I_{tot}}{I_0}\right) \quad \Rightarrow \quad \beta = 10\log\left(\frac{(2\times 10^{-8})}{(10^{-12})}\right) \qquad \text{(Remplacer valeurs numériques)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\beta = 43{,}0\ \text{dB}} \qquad \text{(Puissance totale en dB)}$$

Nous pouvons également calculer plus rapidement l'intensité de la façon suivante :

$$\beta = 10\log\left(\frac{I_{tot}}{I_0}\right) \quad \Rightarrow \quad \beta = 10\log\left(\frac{2I}{I_0}\right) = 10\log\left(2\frac{I}{I_0}\right) \qquad \text{(Remplacer } I_{tot} = 2I\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad \beta = 10\left[\log(2) + \log\left(\frac{I}{I_0}\right)\right] \qquad (\log(ab) = \log(a) + \log(b))$$

$$\Rightarrow \quad \beta = 10\log(2) + 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \qquad \text{(Distribution)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{\beta = 3{,}01 + 40 = 43{,}0\ \text{dB}} \qquad \text{(Puissance totale en dB)}$$