

Intensité sonore

Cours de sciences physiques - niveau Terminale

Un concert à 110 dB est-il seulement « dix fois plus fort » qu'une conversation à 60 dB ? Pas du tout : l'**intensité sonore** y est cent mille fois plus grande. Pour décrire des sons qui s'étendent sur douze ordres de grandeur, les physiciens ont adopté une échelle logarithmique, celle du niveau sonore. Voyons d'où elle vient et comment calculer avec elle.

Ce cours est à **télécharger en PDF et à imprimer gratuitement** : le bouton se trouve en bas de la page, sans inscription.

L'intensité sonore : une puissance répartie sur une surface

Une onde sonore transporte de l'énergie. La **puissance sonore** P d'une source est l'énergie sonore émise par seconde ; elle s'exprime en watts (W). Un haut-parleur ne rayonne en réalité qu'une très faible puissance acoustique, souvent de l'ordre du milliwatt.

Ce qui compte pour l'oreille, c'est la puissance reçue par unité de surface, perpendiculairement à la direction de propagation : c'est l'intensité sonore.

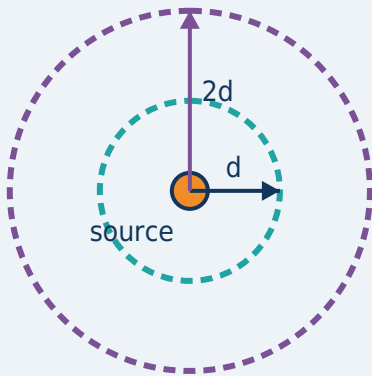
FORMULE À RETENIR

$$I = P \div S$$

I : intensité sonore en watts par mètre carré (W/m^2) ; P : puissance sonore traversant la surface, en watts (W) ; S : aire de la surface, en mètres carrés (m^2).

Pour une **source ponctuelle qui rayonne de la même façon dans toutes les directions** (source isotrope), la puissance se répartit sur des sphères de plus en plus grandes. À la distance d de la source, la surface est celle d'une sphère de rayon d : $S = 4\pi d^2$. On en déduit $I = P \div (4\pi d^2)$: l'intensité est **inversement proportionnelle au carré de la distance**.

Sphères de rayon d et $2d$



À la distance d : $S_1 = 4\pi d^2$

$$I_1 = P \div (4\pi d^2)$$

À la distance $2d$: $S_2 = 4\pi (2d)^2 = 4 S_1$

$$I_2 = P \div (16\pi d^2) = I_1 \div 4$$

Même puissance P , surface 4 fois plus grande.

Pour une source ponctuelle isotrope, doubler la distance divise l'intensité sonore par 4.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Une source ponctuelle isotrope émet $P = 0,10 \text{ W}$. À $d = 2,0 \text{ m}$: $S = 4\pi \times 2,0^2 \approx 50 \text{ m}^2$, donc $I = 0,10 \div 50 \approx \mathbf{2,0 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2}$. À $d = 4,0 \text{ m}$: $S \approx 2,0 \times 10^2 \text{ m}^2$, $I \approx \mathbf{5,0 \times 10^{-4} \text{ W/m}^2}$, soit quatre fois moins.

Le niveau d'intensité sonore en décibels

L'oreille humaine perçoit des intensités comprises entre environ 10^{-12} W/m^2 (le son le plus faible audible) et 1 W/m^2 (début de la douleur) : un rapport de mille milliards. Pour manipuler des nombres plus commodes, on définit le **niveau d'intensité sonore** à l'aide du logarithme décimal (noté $\log$, avec $\log 10^x = x$).

DÉFINITION

$$L = 10 \times \log (I \div I_0)$$

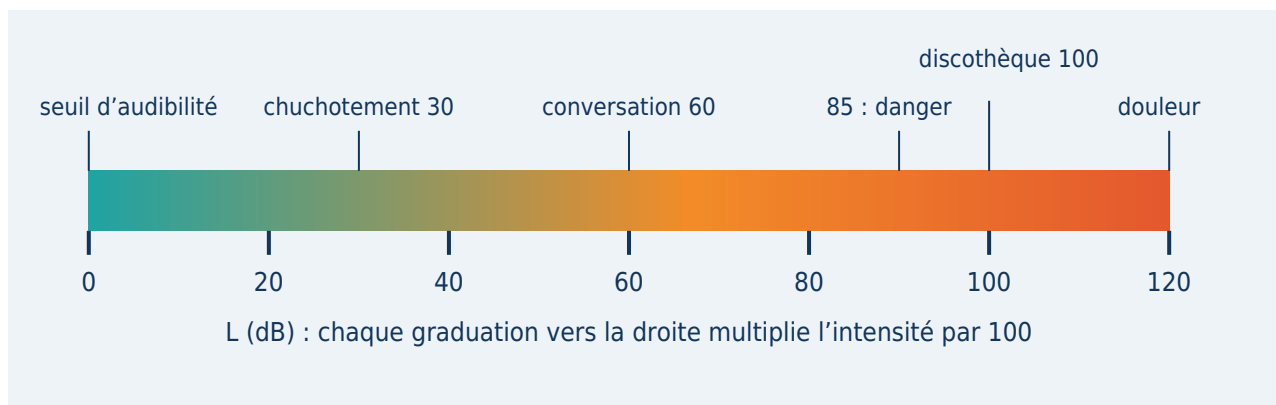
L : niveau d'intensité sonore en décibels (dB) ; I : intensité sonore (W/m^2) ; $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$: intensité de référence, proche du seuil d'audibilité à 1 000 Hz.

Le rapport $I \div I_0$ n'a pas d'unité : le décibel est une unité de repérage sur une échelle, sans dimension physique. Pour retrouver I à partir de L , on inverse la relation : $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

EXEMPLE

$I = 3,2 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$: $L = 10 \times \log (3,2 \times 10^{-6} \div 1,0 \times 10^{-12}) = 10 \times \log (3,2 \times 10^6) = 10 \times 6,51 \approx \mathbf{65 \text{ dB}}$.

Réciproquement, $L = 72 \text{ dB}$: $I = 1,0 \times 10^{-12} \times 10^{7,2} \approx \mathbf{1,6 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2}$.



Échelle des niveaux sonores : 120 dB correspondent à un rapport d'intensités de 10^{12} .

Propriétés du niveau sonore et addition de sons

PROPRIÉTÉ

Multiplier l'intensité par 10 ajoute **10 dB** ; la multiplier par 2 ajoute environ **3 dB** ($10 \times \log 2 \approx 3,0$). Le niveau sonore n'est **pas proportionnel** à l'intensité.

Quand plusieurs sources agissent en même temps, ce sont les **intensités** qui s'additionnent, jamais les niveaux : $I_{\text{total}} = I_1 + I_2 + \dots$. On calcule ensuite le niveau total à partir de I_{total} .

EXEMPLE

Deux machines identiques produisent chacune 70 dB. Total : $I_{\text{total}} = 2 I$, donc $L = 70 + 10 \times \log 2 \approx \mathbf{73 \text{ dB}}$, et non 140 dB. Avec N sources identiques : $L = L_1 + 10 \times \log N$. Deux sources différentes, 70 dB et 65 dB : $I_1 = 1,0 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$, $I_2 = 3,2 \times 10^{-6} \text{ W/m}^2$, $I_{\text{total}} = 1,32 \times 10^{-5} \text{ W/m}^2$, d'où $L \approx \mathbf{71 \text{ dB}}$.

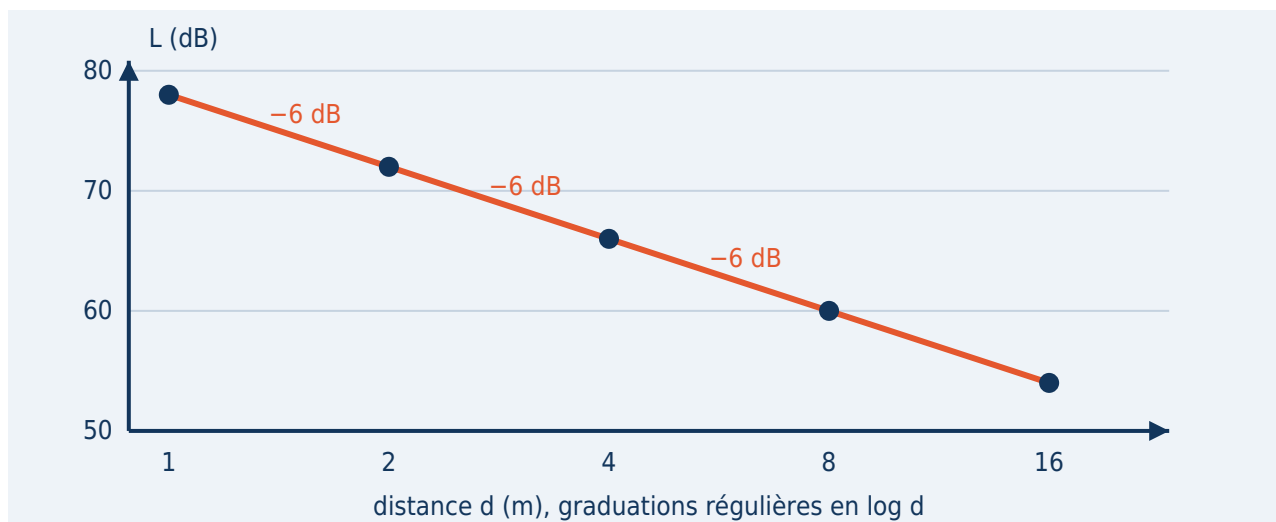
ERREUR FRÉQUENTE

Additionner les décibels ($70 \text{ dB} + 70 \text{ dB} = 140 \text{ dB}$) est faux. Une source beaucoup plus forte qu'une autre (écart supérieur à 10 dB) impose pratiquement son niveau : l'autre devient négligeable.

Atténuation d'un son : distance et isolation

L'**atténuation** est la diminution du niveau sonore entre deux points. On la définit par $A = L_1 - L_2$, en dB, où L_1 est le niveau le plus élevé.

Atténuation géométrique. Pour une source ponctuelle isotrope en champ libre, I est proportionnelle à $1 \div d^2$, d'où $L_2 = L_1 - 20 \times \log (d_2 \div d_1)$. Chaque doublement de la distance fait perdre $20 \times \log 2 \approx \mathbf{6 \text{ dB}}$.



Un niveau de 78 dB à 1 m devient 72 dB à 2 m, 66 dB à 4 m, 60 dB à 8 m : on perd 6 dB par doublement de la distance.

APPLICATION NUMÉRIQUE

Niveau de 80 dB à 1,0 m. À 4,0 m : $L_2 = 80 - 20 \times \log 4,0 = 80 - 12 \approx \mathbf{68 \text{ dB}}$; à 10 m : $L_2 = 80 - 20 \times \log 10 = \mathbf{60 \text{ dB}}$.

Atténuation par un matériau. Une paroi, une fenêtre, un double vitrage absorbent ou réfléchissent une partie de l'énergie. On mesure le niveau de chaque côté : $A = L_{\text{extérieur}} - L_{\text{intérieur}}$. Une atténuation de 30 dB divise l'intensité par 10^3 .

Niveau sonore et santé auditive

Le risque dépend du niveau et de la durée d'exposition. Au-delà de **85 dB** sur de longues durées, des lésions irréversibles des cellules ciliées de l'oreille interne apparaissent. À 120 dB, le son est douloureux. Un casque ou des bouchons de protection diminuent le niveau perçu de plusieurs dizaines de décibels. Un sonomètre (ou décibel-mètre) mesure le niveau ; l'appareil est étalonné et donne L à 1 dB près, voire 0,1 dB près pour les modèles professionnels.

POUR RETENIR

Trois repères suffisent : **+10 dB = intensité $\times 10$** ; **+3 dB = intensité $\times 2$** ; **distance $\times 2 = -6 \text{ dB}$** .

L'essentiel à retenir

- $I = P \div S$, en W/m^2 ; pour une source ponctuelle isotrope $S = 4\pi d^2$.
- $L = 10 \log (I \div I_0)$ avec $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$; $I = I_0 \times 10^{L/10}$.
- Seuil d'audibilité : 0 dB ; seuil de douleur : environ 120 dB ($I = 1 \text{ W/m}^2$).
- +10 dB : intensité $\times 10$; +3 dB : intensité $\times 2$.
- Les intensités s'additionnent, pas les niveaux : N sources identiques ajoutent $10 \log N$.

- Atténuation : $A = L_1 - L_2$; 6 dB perdus à chaque doublement de la distance (source ponctuelle).