

Nom:..... Prénom:..... Classe:..... Date:

Comment atténuer un son ?

✔ Objectifs	👤 Classe
<input type="checkbox"/> Intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore. Atténuation (en dB). <input type="checkbox"/> Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal. <input type="checkbox"/> Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.	Terminale Spé
	🕒 Durée
	2 h

✂ Sur la paillasse

- Deux smartphones ;
- Un tuyau flexible de diamètre 1 cm et de 25 mm de long ;
- Une paire d'écouteur ;
- Un petit morceau de mousse ;
- Un ordinateur muni de *Regressi* ;
- Du papier absorbant.
- Un double décimètre ;

Le niveau sonore émis par les enceintes d'une salle de spectacle dépasse souvent le seuil de douleur estimé à 120 dB. Une écoute à proximité des enceintes peut engendrer des dommages irréversibles de l'oreille.

📄 Document 1: Intensité sonore

L'onde sonore, qui est une onde mécanique, transporte de l'énergie. Cette énergie acoustique produite par la source sonore est répartie sur une surface sphérique de plus en plus grande au fur et à mesure de la propagation de l'onde sonore. L'oreille de surface fixe ne reçoit qu'une partie de l'énergie acoustique, de moins en moins importante lorsqu'on s'éloigne de la source sonore.

On définit l'intensité sonore (ou intensité acoustique) I ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) comme la puissance acoustique P (W) reçue par unité de surface S (m^2) :

$$I = \frac{P}{S} = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (1)$$

avec

- I l'intensité sonore en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- P la puissance de la source sonore en W ;
- R le rayon de la sphère de centre S en m.

Une source omnidirectionnel émet dans toutes les directions. À une distance R de la source, la puissance sonore se répartit sur une sphère de surface $S = 4\pi R^2$. Dans ce cas, l'intensité sonore a pour expression :

$$I = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (2)$$

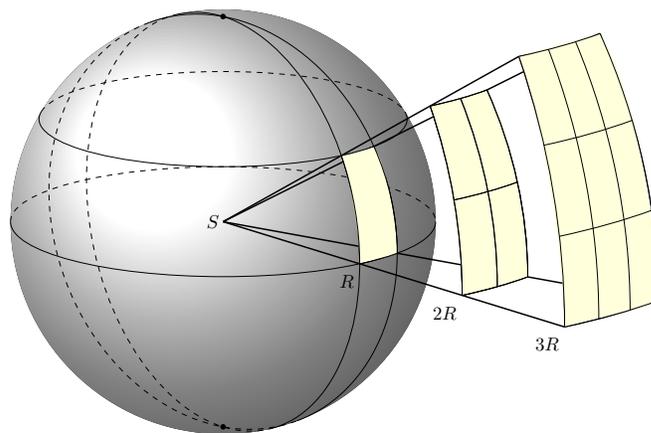


FIGURE 1 – Propagation d'une onde sonore depuis une source ponctuelle.

Document 2: Niveau d'intensité sonore

Si on divise par deux la puissance d'une source sonore, on percevra un son un peu moins intense, mais pas deux fois moins fort. Comme l'intensité sonore pour un son audible varie de $10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (seuil d'audibilité) à $1 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ (seuil de douleur), atténuer un son signifie diviser son intensité acoustique par un facteur souvent colossal. C'est pourquoi on préfère utiliser une échelle logarithmique pour comparer les intensités sonores. On définit alors le niveau d'intensité sonore (ou niveau sonore) L exprimé en dB (décibel) par la relation :

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad (3)$$

avec

- L le niveau d'intensité sonore du son en dB ;
- I l'intensité sonore du son en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$;
- I_0 l'intensité sonore de référence (qui correspond au seuil d'audibilité) : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ pour un son de fréquence $f = 1000 \text{ Hz}$.

En un point de l'espace, les intensités sonores s'ajoutent pas les niveaux sonores. En effet, une personne à la même distance de deux instruments émettant une note de même puissance sonore percevra un niveau sonore augmenté de 3 dB et non le double. **L'oreille n'est pas un capteur linéaire.**

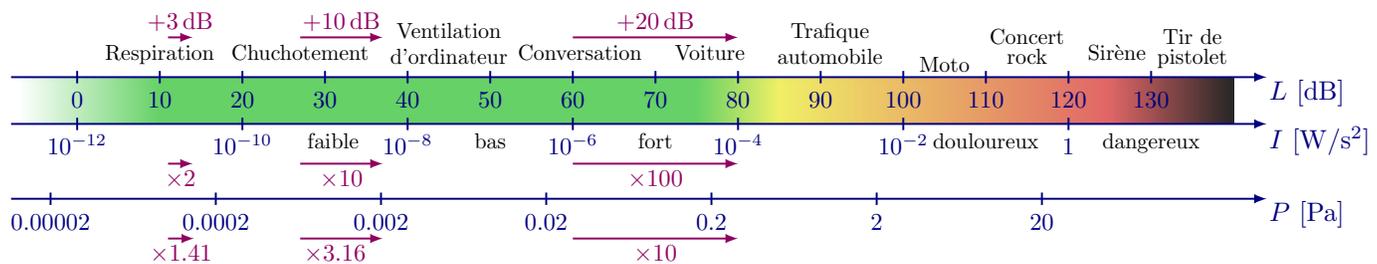
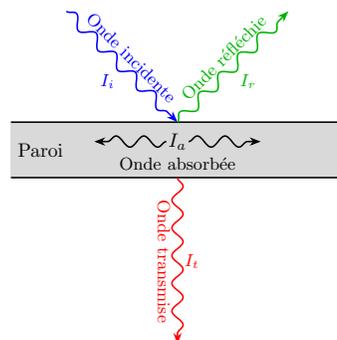


FIGURE 2 – Échelle d'intensité et de niveau sonore.

Remarque : la fonction réciproque de $x \rightarrow \log(x)$ est $x \rightarrow 10^x$. Par exemple, $10^{\log(x)} = x$.

Document 3: Atténuation par absorption

FIGURE 3 – Réflexion, absorption et transmission d'une onde sonore sur une paroi.



Lorsque l'onde sonore rencontre une paroi, l'onde incidente est soit réfléchi, ou bien absorbée ou encore transmise par la paroi. L'intensité acoustique de l'onde incidente I_i est égale à la somme des intensités acoustiques de l'onde réfléchi I_r , de l'onde absorbée I_a et de l'onde transmise I_t : $I_i = I_r + I_a + I_t$. L'atténuation par absorption A (dB) pour un matériau est alors définie comme étant :

$$A = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}} \iff A = 10 \log\left(\frac{I_i}{I_t}\right) \quad (4)$$

1 Expériences préliminaires

Dans cette partie, aucune question n'est à répondre.



On utilisera deux smartphone munis de l'application *phyphox*, un comme émetteur du son (Module "Générateur de son"), et l'autre comme récepteur (Module "Intensité sonore").

- Étalonnage : dans le module "Intensité sonore", étalonner le smartphone récepteur à l'aide du sonomètre fourni au bureau (bruit rose). Positionner le micro du smartphone au niveau de l'entrée du sonomètre, dans l'étalonnage noter la valeur de l'intensité de référence (donnée par le sonomètre lorsque le bruit est généré). Générer le bruit rose, cliquer sur "play" puis "étalonner".
- Émission d'un son : produire un son avec le smartphone émetteur, module "Générateur de son". Faire varier la fréquence et le niveau sonore.
- Mesure de l'intensité sonore : mesurer l'intensité sonore avec le smartphone récepteur en revenant dans l'onglet "intensité". Vérifier la cohérence de la mesure avec le sonomètre externe.

2 Intensité sonore et niveau d'intensité sonore

1. Montrer que si on double l'intensité sonore ($I' = 2I$) alors le niveau sonore augmente de 3 dB ($L' = L + 3$ dB).

Solution:

$$L' = 10 \log \left(\frac{I'}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{2I}{I_0} \right) = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) + 10 \log(2) = L + 3$$

Si on multiplie par 2 l'intensité sonore, alors le niveau sonore augmente de 3 dB.

2. Pour une source d'ondes sphériques, montrer que si on double la distance, l'intensité est divisée par 4 et le niveau sonore diminué de 6 dB.

Solution:

$$I_{\text{éloigné}} = \frac{P}{4\pi(2d)^2}$$

alors que

$$I_{\text{proche}} = \frac{P}{4\pi(d)^2}$$

donc

$$A = 10 \log \left(\frac{I_{\text{proche}}}{I_{\text{éloigné}}} \right) = 10 \log \left(\frac{\frac{P}{4\pi(d)^2}}{\frac{P}{4\pi(2d)^2}} \right) = 10 \log \left(\frac{4d^2}{d^2} \right) = 10 \log(4) = 6 \text{ dB}$$

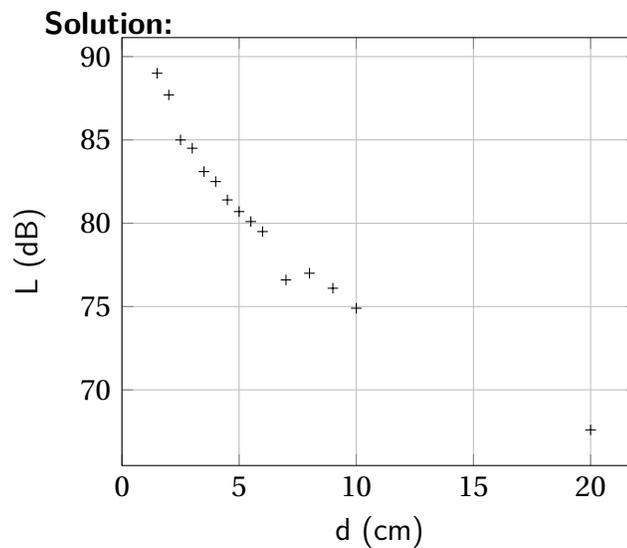
Lorsque la distance à la source est multipliée par 2, le niveau d'intensité sonore est atténué de 6 dB : $A = 6$ dB.

3 Atténuation géométrique



- Repérage du microphone : sur un smartphone, brancher les écouteurs et générer un son à 1000 Hz, le volume étant au maximum. Avec un deuxième smartphone, déplacer un écouteur vers les lieux susceptibles de correspondre au microphone. Le niveau acoustique est maximal lorsque l'écouteur est en face du microphone : repérer précisément cette position de l'écouteur.
- Mesures : dans un environnement très silencieux, mettre le niveau maximal et mesurer le niveau sonore de l'écouteur en fonction de la distance, de 2 à 20 cm (10 mesures minimum).
- Traitement des données : relever les valeurs dans un logiciel de traitement tableur.
- Tracé de la courbe : tracer le niveau sonore L (dB) en fonction de la distance (m).

3. Interpréter en une phrase la courbe obtenue.



Lorsque la distance augmente, le niveau d'intensité sonore diminue, mais de manière non linéaire.

4. Pour une source d'ondes sonores sphériques de puissance acoustique P , démontrer que le niveau sonore L (dB) est lié à la distance d par la relation : $L = 10\log\left(\frac{P}{4\pi I_0}\right) - 20\log(d)$.

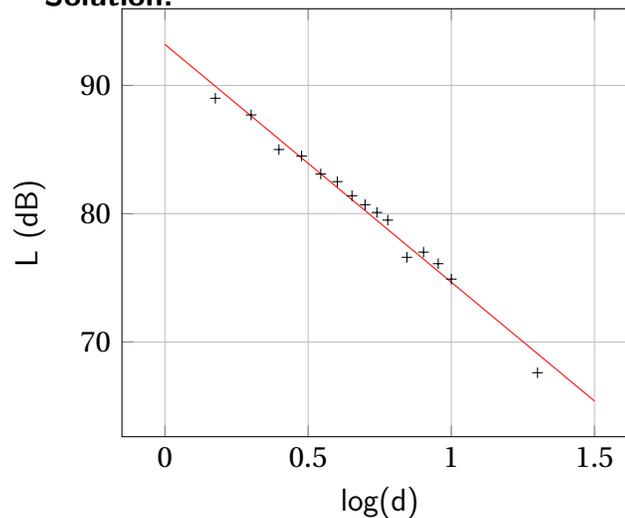
Solution:

$$\begin{aligned}
 L &= 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right) \\
 &= 10 \log \left(\frac{P}{4\pi d^2 I_0} \right) \\
 &= 10 \log \left(\frac{P}{4\pi I_0 d^2} \right) \\
 &= 10 \log \left(\frac{P}{4\pi I_0} \right) - 10 \log(d^2) \\
 L &= 10 \log \left(\frac{P}{4\pi I_0} \right) - 20 \log(d)
 \end{aligned}$$

5. D'après le résultat précédent, quelle courbe faut-il tracer pour obtenir une fonction affine ?

Solution: Le résultat précédent est de la forme $L = a \times x + b$ avec $a = -20$, $x = \log(d)$ et $b = 10 \log \left(\frac{P}{4\pi I_0} \right)$ une constante. Ainsi, en traçant $L = f(\log(d))$ on obtient une fonction affine.

6. Tracer cette courbe, noter son équation et commenter le résultat obtenu par rapport à la théorie.

Solution:

On obtient bien une fonction affine de coefficient directeur $a = -18,5 \approx -20$. Ainsi, le niveau d'intensité sonore est bien dépendant du carré de la distance à source sonore.

7. Déterminer la puissance acoustique de l'écouteur.

Solution: L'ordonnée à l'origine donne $b = 93,2 \text{ dB}$. Or, $b = 10 \log\left(\frac{P}{4\pi I_0}\right)$ donc

$$\begin{aligned}\log\left(\frac{P}{4\pi I_0}\right) &= \frac{b}{10} \\ \frac{P}{4\pi I_0} &= 10^{b/10} \\ P &= 4\pi I_0 \times 10^{b/10} \\ &= 4\pi \times 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \times 10^{93,2/10} \\ &= 2,6 \times 10^{-2} \text{ W}\end{aligned}$$

La puissance de la source sonore est $P = 2,6 \times 10^{-2} \text{ W}$.

4 Atténuation par absorption - étude des bouchons d'oreille



- Simulation du canal auditif : le canal auditif mesure 25 mm de long et a un diamètre d'environ 10 mm, simulé par un tuyau semi flexible en matière plastique. Placer l'écouteur dans le tuyau en plastique.
- Pour une même distance (25 mm), comparer la mesure du niveau sonore avec et sans canal auditif.
- Test des bouchons d'oreille : simuler un bouchon d'oreille en bouchant le canal auditif avec un mouchoir en papier ou de la mousse.

8. Consigner vos mesures pour différentes fréquences et conclure.

Solution: Pour une même distance, le niveau d'intensité sonore est bien plus grand quand l'onde sonore passe par le tuyau. La mousse a un pouvoir d'atténuation par absorption bien plus important que le papier.