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

Calculer un niveau d'intensité sonore

Objectifs	Classe
☐ La puissance par unité de surface transportée par une onde sonore est quantifiée par son intensité. Son niveau d'intensité sonore est exprimé en décibels selon une échelle logarithmique. ☐ Utiliser l'échelle logarithmique de niveau d'intensité sonore pour relier l'intensité sonore au niveau d'intensité sonore.	$1^{\text{ère}}$ ES
	Durée
	1 h

Document 1: Niveau d'intensité sonore

Pour comparer les intensités sonores des bruits qui nous entourent, les acousticiens peuvent utiliser le niveau I d'intensité sonore, noté L, et égal à :

$$L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \tag{1}$$

où

- log est le logarithme (en base 10) dont les propriétés sont données dans le document 2;
- I est l'intensité sonore en $\mathrm{W \cdot m^{-2}}$;
- $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\,\mathrm{W \cdot m^{-2}}$ est l'intensité sonore de référence.

Document 2: Propriétés du logarithme

- Pour tout réel x, si a est un nombre quelconque, la solution de l'équation $10^x = a$ est le logarithme décimal de a, noté $\log_a(x)$.
- La fonction x qui associe $\log(x)$ est la fonction réciproque de la fonction x qui associe 10^x.
- La fonction $x \longrightarrow \log(x)$ est définie sur l'intervalle $]0;+\infty[$.
- Propriétés de calcul:
  - $\log(10^x) = x$
  - Si $0 < x < 1$, alors $\log(x)$ est négatif; Si $x > 1$, alors $\log(x)$ est positif; $\log(1) = 0$.
  - $\log(a \times b) = \log(a) + \log(b)$; $\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log(a) - \log(b)$.

1 Utiliser le logarithme

1. Calculer le niveau d'intensité sonore d'une formule 1, dont l'intensité sonore est $I = 25{,}1\,\mathrm{W \cdot m^{-2}}$.

Solution: $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{25{,}1\,\mathrm{W \cdot m^{-2}}}{1{,}0\times10^{-12}\,\mathrm{W \cdot m^{-2}}}\right) = 134\,\mathrm{dB}$

2. Montrer que si l'intensité sonore est multipliée par 2, alors le niveau d'intensité sonore augmente de 3 dB.

Solution: $L = 10\log\left(\frac{2I}{I_0}\right) = 10\log(2) + 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 3\,\mathrm{dB} + L$

3. Montrer que $I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}$.

Solution:

$$\begin{aligned} L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) &\iff \frac{L}{10} = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \\ &\iff 10^{\frac{L}{10}} = 10^{\log\left(\frac{I}{I_0}\right)} \\ &\iff 10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0} \\ &\iff I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} \end{aligned}$$

Problématique: est-ce que le décollage d'une fusée située à trois kilomètres est-il plus bruyant qu'une dizaine de milliers de moustiques situés à un mètre ?

2 Niveau d'intensité sonore des moustiques

Document 3: Le moustique-tigre

Qui n'a jamais soupiré en percevant le bruit si caractéristique du moustique s'approcher de soi ? Impossible à surprendre en pleine journée lorsque le bruit ambiant le couvre, il s'avère nettement moins discret lorsque l'on s'apprête à s'endormir.

Ce bruit si désagréable possède un niveau d'intensité sonore L égal à 35 dB lorsqu'il se trouve à un mètre de soi.

Document 4: Additivité des niveaux sonores

- Le bruit cumulé de plusieurs sources sonores se traduit par une augmentation de l'intensité sonore perçue par un auditeur.
- Plus précisément, l'intensité sonore totale I perçue est égale à la somme des n intensités sonores I_n perçues séparément : $I = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$. **Par contre les niveaux sonores L ne s'additionnent pas**.

4. Si l'augmentation du niveau d'intensité sonore était proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore, quelle serait le niveau d'intensité sonore perçu à un mètre d'une dizaine de milliers de moustiques ?

Solution: Le bruit provoqué par un seul moustique correspond à un niveau d'intensité sonore de 35 dB. Si l'augmentation du niveau d'intensité sonore était proportionnelle à l'augmentation de l'intensité sonore, le bruit provoqué par 10 000 moustiques serait égal à : $35\,\mathrm{dB} \times 10000 = 350\,000\,\mathrm{dB}$! Remarque : Ce niveau d'intensité sonore serait gigantesque. Pour rappel, le seuil de danger est de 90 dB et le seuil de douleur est égal à 120 dB.

5. Calculer le niveau d'intensité sonore d'une dizaine de milliers de moustiques situés à 1 m. On pourra dans une première étape calculer l'intensité sonore d'un moustique.

Solution: Calculons l'intensité sonore d'un moustique:

$$\begin{aligned}
L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) &\iff \frac{L}{10} = \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \\
&\iff 10^{\frac{L}{10}} = 10^{\log\left(\frac{I}{I_0}\right)} \\
&\iff 10^{\frac{L}{10}} = \frac{I}{I_0} \\
&\iff I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}} \\
&\iff I = 1{,}0 \times 10^{-12}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}} \times 10^{\frac{35\,\mathrm{dB}}{10}} \\
&\iff \boxed{I = 3{,}2 \times 10^{-9}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}}
\end{aligned}$$

L'intensité sonore de 10000 moustiques est donc $I_{tot} = 10000 \times I = 1 \times 10^4 \times 3{,}2 \times 10^{-9}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}} = 3{,}2 \times 10^{-5}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}$.

On en déduit le niveau d'intensité sonore $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{3{,}2\times10^{-5}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}}{1{,}0\times10^{-12}\,\mathrm{W\cdot m^{-2}}}\right) = 75\,\mathrm{dB}$.

10000 moustiques à un mètre provoque un niveau d'intensité sonore de 75 dB.

3 Niveau d'intensité sonore d'une fusée

Document 5: La puissance sonore de Saturn V

Saturn V était le lanceur utilisé à la fin des années 1960 par la NASA pour envoyer des fusées dans l'espace. Ce lanceur a notamment contribué à la réussite delà mission Apollo 11 durant laquelle les deux hommes Neil Armstrong et Buzz Aldrin ont posé pour la première fois le pied sur la Lune. Au décollage, une partie de l'énergie s'est dissipée autour de la fusée, se propageant dans l'air de manière sphérique sous forme d'ondes sonores. La NASA estime à environ $350\,\mathrm{MW}$ $(= 350\times10^3\,\mathrm{W})$ la puissance dispersée sous forme d'ondes sonores lors du décollage.

Document 6: Propagation sphérique du son

Lorsqu'une source sonore de puissance P émet dans toutes les directions dans un milieu matériel donné, on peut considérer que tout point de la sphère formée P de surface S par l'onde sonore possède la même intensité sonore I égale à : $I = \frac{P}{S}$.

Pour rappel, la surface d'une sphère est proportionnelle au carré de son rayon par la relation: $S = 4\pi r^2$.

6. Exprimer l'intensité sonore I en fonction de la puissance sonore P transportée par l'onde sonore et du rayon r, distance entre la source de l'onde sonore et le lieu de sa réception.

Solution: On a $I = \frac{P}{S}$ et $S = 4\pi r^2$ donc $I = \frac{P}{4\pi r^2}$.

7. Déterminer le niveau d'intensité sonore produit par le décollage de Saturn V et perçu à $3\,\mathrm{km}$ du lieu de décollage.

Solution: $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{350\,\mathrm{MW}}{4\pi(3\,\mathrm{km})^2} = \frac{350\times10^3\,\mathrm{W}}{4\pi(3\times10^3\,\mathrm{m})^2} = 3{,}1\,\mathrm{W}\cdot\mathrm{m}^{-2}$

On en déduit le niveau d'intensité sonore, $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{3{,}1\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}}}{1{,}0\times10^{-12}\,\mathrm{W{\cdot}m^{-2}}}\right) = 125\,\mathrm{dB}$

8. Conclure sur la problématique.

Solution: Le bruit du décollage d'une fusée perçu à 3 km est plus fort que celui provoqué par 10000 moustiques situés à 1 m $(125\,\mathrm{dB} > 75\,\mathrm{dB})$.

9. Combien faudrait-il de moustiques, situés à un mètre de soi, pour qu'ils fassent autant de bruit qu'une fusée qui décolle à 3 km ?

> **Solution:** L'intensité sonore correspondant à $125\,\mathrm{dB}$ est de $I_{tot} = 3{,}1\,\mathrm{W \cdot m^{-2}}$. Or $I_{tot} = N \times I$ où N est le nombre de moustique et I l'intensité sonore d'un moustique. On a donc $N = \frac{I_{tot}}{I} = \frac{3{,}1\,\mathrm{W \cdot m^{-2}}}{3{,}2\times10^{-9}\,\mathrm{W \cdot m^{-2}}} \approx 1 \times 10^{9}$. Il faudrait un milliard de moustiques.