

Exercices 1 Sons et effet Doppler

Les bases : intensité et niveau sonore, additivité, atténuation, exposition au bruit, effet Doppler

7 exercices · niveau ●○○ · durée conseillée : 1 h 45 · calculatrice autorisée

★ À RETENIR — Ce qu'il faut savoir faire à la fin de la feuille

- Passer de I à L et réciproquement, additionner plusieurs sources, exploiter l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption, exploiter les seuils d'exposition au bruit.
- Décrire l'effet Doppler, calculer la fréquence perçue d'un émetteur mobile, déterminer une vitesse à partir d'un décalage de fréquence.

■ RAPPEL — Le formulaire du chapitre

- **Acquis de Première.** Un son est une onde mécanique progressive longitudinale (pas de propagation dans le vide); sa célérité c ne dépend que du milieu, sa fréquence est imposée par la source, et $\lambda = c/f = cT$.
- **Intensité et niveau :** I est la puissance sonore reçue par unité de surface ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$); avec $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ en dB, et $I = I_0 \times 10^{L/10}$. *Logarithme décimal* (maths, ch. 7) : $\log(10^x) = x$, $\log(ab) = \log a + \log b$, $\log(a^n) = n \log a$, $\log 2 \approx 0,30$.
- **Plusieurs sources :** les intensités s'ajoutent, $I = I_1 + I_2 + \dots$, mais pas les niveaux; pour n sources identiques, $L_n = L_1 + 10 \log n$ (doubler la source : +3,0 dB).
- **Atténuations :** *géométrique* — source ponctuelle de puissance P , $I = \frac{P}{4\pi d^2}$, doubler la distance fait perdre 6,0 dB; *par absorption* — $A = L_{\text{avant}} - L_{\text{après}}$, en dB (parfois par mètre traversé).
- **Effet Doppler :** émetteur de fréquence f_E se déplaçant à la vitesse v sur la droite qui le relie à un récepteur fixe : $f_R = f_E \frac{c}{c-v}$ (rapprochement), $f_R = f_E \frac{c}{c+v}$ (éloignement); si $v \ll c$, $\frac{|\Delta f|}{f_E} \approx \frac{v}{c}$.

Sauf indication contraire, célérité du son dans l'air : $c = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Exercice 1 Ce qu'il faut avoir retenu de Première

●○○

Un microphone relié à un ordinateur enregistre la note jouée par une flûte. La tension délivrée est représentée figure 1.

- 1.1 Le son est une onde mécanique progressive : rappeler ce qu'une telle onde transporte, et ce qu'elle ne transporte pas. Pourrait-on entendre l'explosion d'une étoile ?
- 1.2 Déterminer graphiquement la période T du signal, en déduire la fréquence f de la note, puis calculer sa longueur d'onde λ dans l'air.
- 1.3 Le même instrument est joué sous l'eau, où la célérité du son vaut $1,50 \times 10^3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Parmi f , T et λ , quelles grandeurs sont modifiées ? Calculer la nouvelle valeur de λ .
- 1.4 Le flûtiste se place face à une falaise et entend son écho 0,40 s après avoir joué. À quelle distance de la falaise se trouve-t-il ?

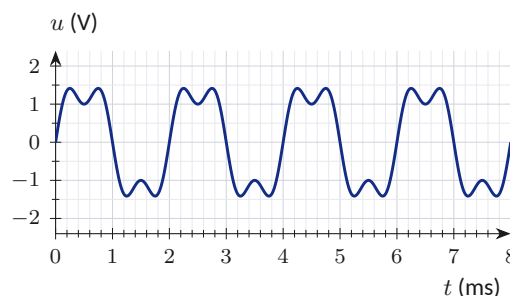


Figure 1 — Signal délivré par le microphone

Exercice 2 De l'intensité au niveau, et retour



L'oreille humaine perçoit des intensités sonores qui s'étalent sur plus de douze puissances de dix : on leur associe donc un *niveau*, exprimé en décibels (figure 2).

- 2.1 Rappel de la relation qui définit L et la valeur de I_0 . Quel est le niveau correspondant à $I = I_0$?
- 2.2 Calculer l'intensité sonore correspondant à chacun des niveaux suivants : 30 dB (chuchotement), 60 dB (conversation), 100 dB (marteau-piqueur), 120 dB (seuil de douleur).
- 2.3 Par quel facteur l'intensité sonore du marteau-piqueur est-elle plus grande que celle de la conversation ? Que penser de l'affirmation : « *un marteau-piqueur, c'est moins de deux fois plus fort qu'une conversation* » ?
- 2.4 Un sonomètre placé dans une cour d'école mesure $I = 3,2 \times 10^{-6} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Calculer le niveau correspondant et le situer sur l'échelle de la figure 2.
- 2.5 Montrer que multiplier l'intensité sonore par 10 revient toujours à ajouter 10 dB au niveau, quelle que soit la valeur de départ. Que faut-il faire subir à I pour perdre 20 dB ?

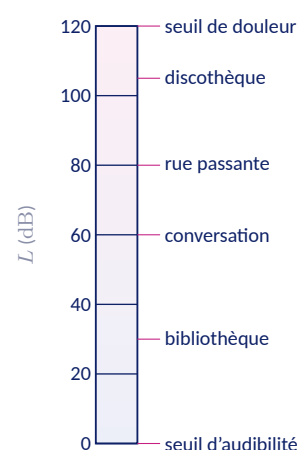


Figure 2 — Quelques repères

Exercice 3 Les intensités s'ajoutent, pas les niveaux



Dans un atelier, une machine-outil seule produit au poste de travail un niveau $L_1 = 82 \text{ dB}$.

- 3.1 Calculer l'intensité sonore I_1 correspondante.
- 3.2 On met en marche une seconde machine identique, qui produit à elle seule le même niveau au même endroit. Calculer l'intensité sonore totale, puis le niveau total. Montrer que l'on gagne 3,0 dB.
- 3.3 Établir l'expression du niveau L_n obtenu avec n machines identiques, en fonction de L_1 et de n . Calculer L_4 et L_{10} . Combien de machines faudrait-il pour gagner 20 dB ?
- 3.4 On remplace la seconde machine par un modèle plus silencieux, de niveau $L_2 = 76 \text{ dB}$. Calculer le niveau total. Que gagne-t-on à faire taire une source 6 dB plus faible que l'autre ?

Exercice 4 Deux façons d'atténuer un son



A. S'éloigner. Un petit haut-parleur d'une puissance sonore $P = 0,50 \text{ W}$ est suspendu loin de tout obstacle : on admet qu'il rayonne la même puissance dans toutes les directions.

- 4.1 Justifier que l'intensité sonore à la distance d vaut $I = \frac{P}{4\pi d^2}$.
- 4.2 Calculer I puis L à la distance $d_1 = 2,0 \text{ m}$, puis à la distance $d_2 = 4,0 \text{ m}$. De combien de décibels le niveau a-t-il baissé ?
- 4.3 Démontrer que, pour une telle source, doubler la distance fait toujours perdre 6,0 dB. Combien perd-on en multipliant la distance par 10 ? À quelle distance le niveau tombe-t-il à 70 dB ?
- 4.4 Citer deux raisons pour lesquelles, en plein air, le niveau réellement mesuré à 200 m sera plus faible que celui prévu par ce modèle.

B. Absorber. Le ventilateur d'un restaurant produit, à l'entrée d'une gaine d'extraction, un niveau $L_e = 95 \text{ dB}$. On intercale sur la gaine un *silencieux* : un tronçon garni d'un matériau absorbant, qui atténue le son de $\alpha = 18 \text{ dB} \cdot \text{m}^{-1}$ de longueur traversée.

- 4.5 Calculer l'atténuation apportée par un silencieux de longueur $\ell = 1,5 \text{ m}$, puis le niveau L_s en sortie. En déduire le rapport I_e/I_s des intensités sonores.
- 4.6 Quelle longueur de silencieux faudrait-il pour que le niveau en sortie ne dépasse pas 50 dB ?

- 4.7 Atténuation géométrique et atténuation par absorption sont deux phénomènes différents : pour chacun, indiquer ce que devient l'énergie sonore « perdue ».

Exercice 5 Combien de temps peut-on écouter fort ?



La réglementation du travail fixe une durée d'exposition quotidienne maximale qui dépend du niveau sonore (tableau 1). Au-delà, le port d'une protection auditive est obligatoire.

- 5.1 Vérifier sur le tableau que baisser le niveau de 3 dB double la durée admissible. Quelle grandeur la réglementation maintient-elle en fait constante ? Compléter le tableau pour $L = 103$ dB.
- 5.2 Un spectateur assiste à un concert de 3,0 h où le niveau atteint 102 dB. Calculer le rapport entre cette intensité sonore et celle d'un niveau de 85 dB, puis la durée admissible à 102 dB. Par quel facteur la dépasse-t-il ?
- 5.3 Il met des bouchons d'oreilles dont l'atténuation annoncée vaut 25 dB. Calculer le niveau reçu, puis la durée admissible correspondante. Conclure.

L (dB)	durée maximale
85	8 h
88	4 h
91	2 h
94	1 h
97	30 min
100	15 min
103	...

Tableau 1 — Durées d'exposition

Exercice 6 L'effet Doppler, vu de près



La figure 3 représente les fronts d'onde émis par une source sonore S qui se déplace en ligne droite, de la gauche vers la droite, à la vitesse constante v , tout en émettant un son de fréquence f_E constante. Deux observateurs immobiles, A et B, sont placés sur cette droite.

- 6.1 Expliquer pourquoi les fronts d'onde ne sont pas centrés sur un même point. Comparer les longueurs d'onde λ_A et λ_B perçues par A et par B.
- 6.2 En déduire lequel des deux observateurs perçoit le son le plus aigu. La célérité du son est-elle, elle aussi, modifiée par le mouvement de la source ?
- 6.3 Une ambulance dont la sirène émet $f_E = 680$ Hz roule à $v = 20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Calculer la fréquence perçue par un piéton vers lequel elle se dirige, puis par un piéton dont elle s'éloigne, et l'écart entre ces deux fréquences.
- 6.4 Calculer la variation relative $\frac{f_R - f_E}{f_E}$ à l'approche et la comparer au rapport $\frac{v}{c}$. Que perçoit le conducteur de l'ambulance ? Justifier.

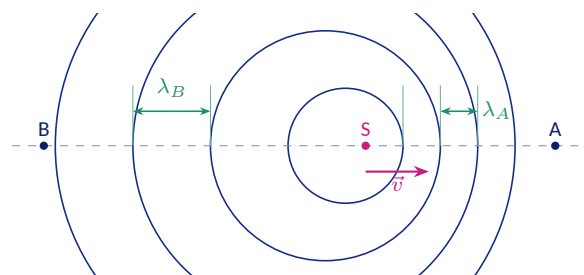


Figure 3 — Fronts d'onde d'une source en mouvement

Exercice 7 Mesurer la vitesse d'un train à l'oreille



Un train siffle en continu à une fréquence f_E constante et inconnue. Un observateur immobile au bord de la voie mesure $f_a = 510$ Hz avant le passage du train, $f_r = 453$ Hz après. Le train roule à la vitesse constante v .

- 7.1 Écrire les deux relations donnant f_a et f_r en fonction de f_E , c et v .
- 7.2 En formant le rapport $\frac{f_a}{f_r}$, montrer que $v = c \frac{f_a - f_r}{f_a + f_r}$, puis calculer v en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$.
- 7.3 Montrer de même que $f_E = \frac{2 f_a f_r}{f_a + f_r}$ et calculer f_E ; comparer alors $\frac{f_a - f_E}{f_E}$ à $\frac{v}{c}$.