

P1 — Sons et effet Doppler

Thème 4 · Ondes et signaux

Table des matières

1	Pourquoi ce chapitre ?	1
2	Ce que tu vas apprendre	1
3	1. Le niveau d'intensité sonore	2
3.1	a. Intensité sonore I	2
3.2	b. Niveau d'intensité sonore L	2
3.3	c. Atténuation géométrique	3
3.4	d. Atténuation par absorption	3
4	2. L'effet Doppler	4
4.1	a. Présentation	4
4.2	b. Expression du décalage Doppler	4
4.3	c. Effet Doppler-Fizeau (astronomie)	5
5	Carte mentale du chapitre	7
6	Teste tes connaissances	8
7	À retenir absolument	8
8	Pour aller plus loin	8

1 Pourquoi ce chapitre ?

Quand une ambulance passe devant toi, le son de sa sirène change : il est **plus aigu à l'approche**, puis **plus grave quand elle s'éloigne**. Ce phénomène, c'est l'**effet Doppler**, et il ne concerne pas que les sirènes : les astronomes l'utilisent pour mesurer la **vitesse des galaxies**, les radars routiers pour ta vitesse, les médecins pour le **débit sanguin**. Ce chapitre t'apprend à le quantifier — et en prime, à manipuler les **décibels**, cette unité bizarre avec un logarithme qui cache une vraie logique.

2 Ce que tu vas apprendre

- Calculer une **intensité sonore** I et un **niveau d'intensité sonore** L
- Comprendre pourquoi les décibels **ne s'additionnent pas** comme des valeurs normales
- Distinguer **atténuation géométrique** et **atténuation par absorption**
- Établir et utiliser la **formule du décalage Doppler**
- Relier effet Doppler et mesure de vitesse (radar, astrophysique)

3 1. Le niveau d'intensité sonore

3.1 a. Intensité sonore I

L'**intensité sonore** mesure la quantité d'énergie sonore qui traverse une surface donnée, chaque seconde. Plus simple : c'est la **puissance** du son **divisée** par la **surface** qu'il traverse.

Formule clé — Intensité sonore

$$I = \frac{P}{S}$$

- I : intensité sonore, en $\mathbf{W \cdot m^2}$
- P : puissance sonore émise par la source, en \mathbf{W} (watts)
- S : aire de la surface traversée perpendiculairement par l'onde, en $\mathbf{m^2}$

Mais attends, c'est quoi cette « surface S » ? C'est la *surface imaginaire que le son traverse à l'endroit où tu mesures*. Et comme une source sonore émet dans toutes les directions, l'énergie se répartit sur une **sphère** qui grossit avec la distance :

*Le son rayonne dans toutes les directions. La même puissance P traverse une surface $S = 4\pi r^2$ qui **grandit comme le carré de la distance** — c'est pour ça que le son faiblit avec l'éloignement.*

Concrètement, S est l'aire de ton tympan (ou du micro) : c'est la « fenêtre » par laquelle l'énergie sonore entre. L'intensité I te dit combien de watts frappent chaque mètre carré à l'endroit où tu écoutes.

L'oreille humaine perçoit des intensités allant d'environ $10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^2$ (seuil d'audition) à $1 \text{ W} \cdot \text{m}^2$ (seuil de douleur) — soit **12 ordres de grandeur** d'écart. C'est énorme, et c'est exactement pour ça qu'on a inventé les décibels.

3.2 b. Niveau d'intensité sonore L

Formule clé — Niveau d'intensité sonore

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

- L : niveau d'intensité sonore, en **décibels (dB)**
- I : intensité sonore mesurée, en $\text{W} \cdot \text{m}^2$
- $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^2$: intensité de référence (seuil d'audition)
- \log : logarithme décimal

Pour remonter de L à I :

$$I = I_0 \times 10^{L/10}$$

Analogie — pourquoi le log ?

Imagine que tu notes le "volume" de tes sons de 1 à 12 sur une échelle classique : 1 = chuchotement, 12 = avion au décollage. Entre un chuchotement et un avion, il y a **mille milliards** de fois plus d'énergie. Une échelle linéaire serait inutilisable.

Le décibel, c'est comme un compteur d'étages : chaque fois que tu multiplies l'intensité par 10, tu montes de **+10 dB**. L'oreille humaine fonctionne naturellement comme ça — doubler la “sensation de bruit” correspond à ajouter environ 10 dB, pas à multiplier par 2.

Piège classique — les dB ne s'additionnent pas

Deux sources identiques de 50 dB **ne font pas 100 dB** ! Leurs **intensités** I s'ajoutent, pas leurs niveaux L .

- Intensité doublée : $I' = 2I$
- Nouveau niveau : $L' = 10 \log(2I/I_0) = L + 10 \log 2 \approx L + 3$

Règle à retenir : doubler l'intensité → +3 dB seulement. Multiplier par 10 → +10 dB. C'est *le* piège classique au bac.

Exemple concret

Un marteau-piqueur émet $I = 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Son niveau ?

$$L = 10 \log\left(\frac{10^{-2}}{10^{-12}}\right) = 10 \log(10^{10}) = 10 \times 10 = 100 \text{ dB}$$

Proche du seuil de douleur (120 dB). Port de protections auditives obligatoire !

3.3 c. Atténuation géométrique

Plus on s'éloigne d'une source sonore, plus le son faiblit : l'énergie émise se répartit sur une surface de plus en plus grande (la sphère qui grossit, cf. schéma plus haut). C'est l'**atténuation géométrique**.

$$A_{\text{géo}} = L_{\text{source}} - L_{\text{éloigné}}$$

Analogie — la peinture en spray

Imagine une bombe de peinture : à 10 cm, elle peint un disque bien concentré. À 1 m, la même quantité de peinture s'étale sur un disque 100 fois plus grand — chaque cm^2 en reçoit 100 fois moins. Le son fait pareil : à distance double, l'intensité est divisée par 4, soit -6 dB . On dit que le son **décroit en** $1/r^2$.

3.4 d. Atténuation par absorption

Quand le son traverse un matériau (mur, isolant, mousse), une partie de son énergie est absorbée :

$$A_{\text{abs}} = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}}$$

Exprimée en dB, elle caractérise l'**efficacité d'isolation** d'un matériau. Un mur en brique peut absorber 40–50 dB, une cloison simple à peine 20 dB.

4 2. L'effet Doppler

4.1 a. Présentation

Définition

L'**effet Doppler** est le décalage entre la fréquence f_E émise par une source et la fréquence f_R reçue par un observateur, **lorsque la distance entre les deux varie**.

$$\Delta f = f_R - f_E$$

- $\Delta f > 0$ (son plus aigu) : émetteur et récepteur se **rapprochent**
- $\Delta f < 0$ (son plus grave) : ils **s'éloignent**

Vue de dessus : les fronts d'onde successifs, émis depuis une source en mouvement vers la droite, se resserrent devant (aigu) et s'étirent derrière (grave).

Analogie — la vague au rivage

Tu es sur une plage, les vagues arrivent toutes les 5 secondes. Si tu **marches vers la mer**, tu rencontres les vagues plus tôt : tu en reçois peut-être une toutes les 4 secondes. Même chose pour le son : en te rapprochant (ou si la source s'approche), les "pics" de l'onde te parviennent plus rapprochés dans le temps → **fréquence plus haute**, son plus aigu.

Rien ne change côté émetteur : c'est bien la *distance qui varie* qui comprime ou étire les signaux reçus.

4.2 b. Expression du décalage Doppler

Considérons un émetteur E qui se rapproche d'un récepteur **fixe** R à la vitesse v , et qui émet des signaux de période T_E se propageant à la célérité $v_{\text{son}} > v$.

Raisonnement. Le premier signal, émis à $t_0 = 0$, parcourt la distance D et arrive à R à la date $t_1 = D/v_{\text{son}}$.

Le signal suivant est émis à $t'_0 = T_E$, mais pendant ce temps E s'est rapproché de $v \times T_E$, la distance est donc $D - vT_E$. Il arrive à R à :

$$t'_1 = T_E + \frac{D - vT_E}{v_{\text{son}}}$$

La période reçue $T_R = t'_1 - t_1$:

$$T_R = T_E - \frac{vT_E}{v_{\text{son}}} = T_E \left(1 - \frac{v}{v_{\text{son}}} \right) = T_E \times \frac{v_{\text{son}} - v}{v_{\text{son}}}$$

Et comme $f = 1/T$:

Formule clé — Effet Doppler (approche)

$$f_R = f_E \times \frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} - v}$$

- f_R : fréquence reçue (Hz)
- f_E : fréquence émise (Hz)
- v_{son} : célérité du son dans le milieu (340 m · s⁻¹ dans l'air)

- v : vitesse de rapprochement de l'émetteur ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)

$$\text{Décalage} : \Delta f = f_R - f_E = f_E \times \frac{v}{v_{\text{son}} - v}$$

Piège classique — signe du dénominateur

- **Rapprochement** : dénominateur $v_{\text{son}} - v \rightarrow f_R > f_E$ (son plus aigu)
- **Éloignement** : dénominateur $v_{\text{son}} + v \rightarrow f_R < f_E$ (son plus grave)

Avant de plaquer la formule, **demande-toi physiquement** : est-ce que ça se rapproche ou s'éloigne ? Le son doit-il monter ou descendre ? Ça te dit immédiatement le signe attendu et évite l'erreur bête.

Exemple concret — la sirène d'ambulance

Une ambulance roule à $v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$ vers toi, sa sirène émet à $f_E = 700 \text{ Hz}$. Célérité du son : $v_{\text{son}} = 340 \text{ m/s}$.

$$f_R = 700 \times \frac{340}{340 - 30} = 700 \times 1,097 \approx 768 \text{ Hz}$$

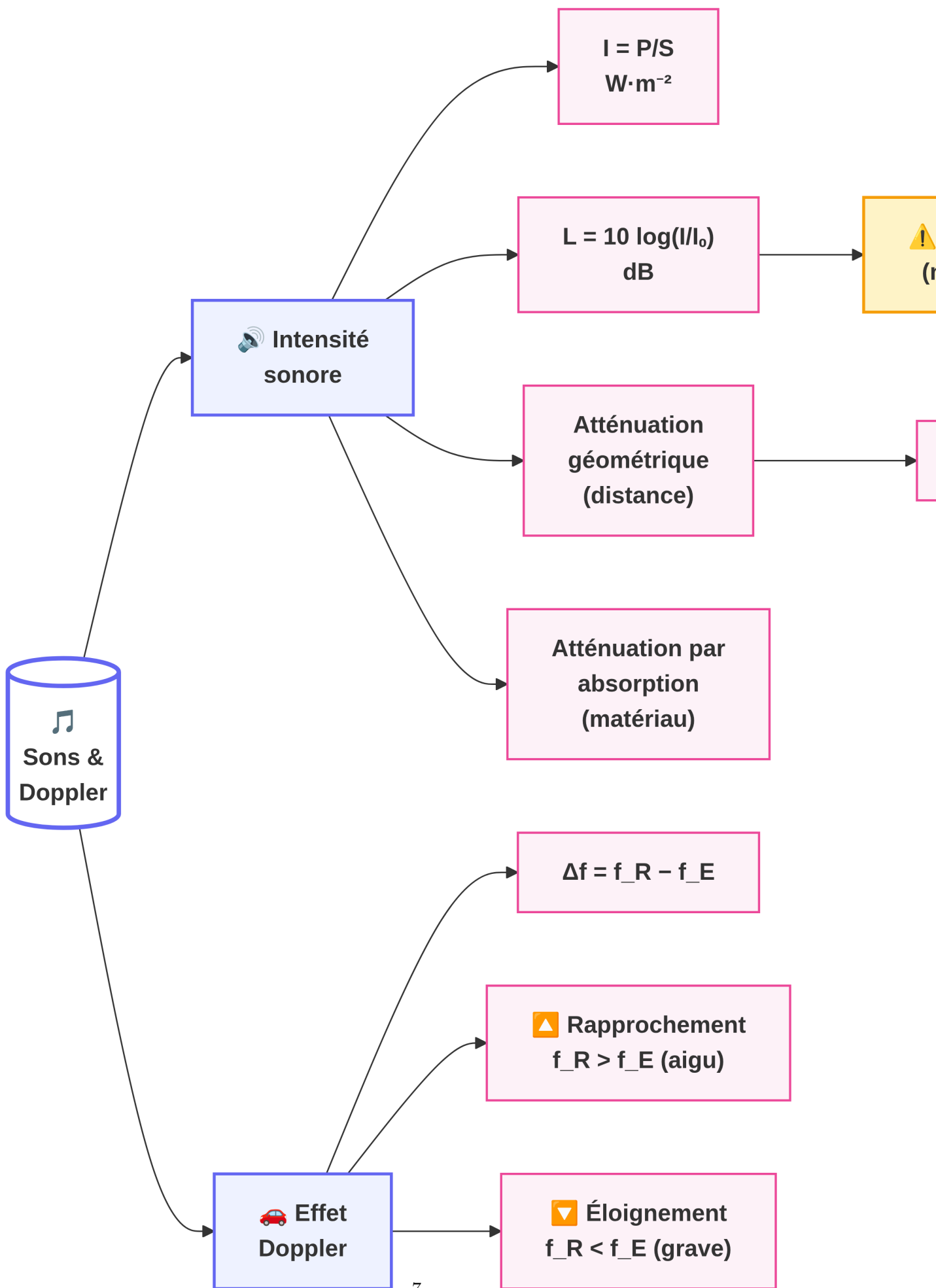
Décalage de **+68 Hz** — parfaitement audible (presque un demi-ton). Dès que l'ambulance t'a dépassé, le signe change et $f_R \approx 643 \text{ Hz}$: d'où cette impression de **“wiiiiiiii-ouuuuuuu”** si caractéristique.

4.3 c. Effet Doppler-Fizeau (astronomie)

Avec la lumière des étoiles, on ne mesure pas une fréquence mais un **décalage de longueur d'onde** $\Delta\lambda$. Si une galaxie s'éloigne de nous, ses raies spectrales sont **décalées vers le rouge** (*redshift*). Si elle se rapproche, vers le bleu (*blueshift*).

C'est cette méthode qui a permis à Hubble de montrer que **l'univers est en expansion** : quasi toutes les galaxies lointaines ont un redshift.

5 Carte mentale du chapitre



6 Teste tes connaissances

7 À retenir absolument

- $I = P/S$ en $W \cdot m^{-2}$; $L = 10 \log(I/I_0)$ en dB avec $I_0 = 10^{-12} W \cdot m^{-2}$
 - **Décibels non additifs** : $\times 2$ intensité $\rightarrow +3$ dB ; $\times 10$ intensité $\rightarrow +10$ dB
 - **Atténuation géométrique** (distance, en $1/r^2$) vs **absorption** (matériau)
 - **Effet Doppler** : décalage de fréquence dû à une **variation de distance** E-R
 - Formule approche : $f_R = f_E \cdot \frac{v_{\text{son}}}{v_{\text{son}} - v}$
 - **Rapprochement** \rightarrow **aigu**, **éloignement** \rightarrow **grave**. Toujours vérifier le signe physiquement avant de poser la formule.
-

8 Pour aller plus loin

- [Cours original \(PDF\)](#)
- [Klaxon en mouvement \(WAV\)](#) · klaxon à l'arrêt
- [Tableur atténuation du son](#)
- [Sujets bac du chapitre](#)