

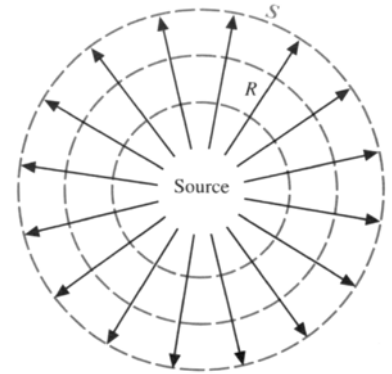
Chapitre 14 : Propriétés des ondes

1. Propagation d'une onde sonore

1.1. Intensité acoustique

Lorsqu'une onde sonore est émise avec une certaine « force » (appelée puissance acoustique P) par une source ponctuelle, elle se propage uniformément dans toutes les directions. À chaque instant, la surface atteinte par cette onde est une sphère d'aire S (ci-contre).

On définit l'**intensité acoustique** (ou **sonore**), notée I , par la puissance acoustique (ou puissance sonore) reçue par unité de surface du récepteur ; elle s'exprime en **watt par mètre carré** (symbole : $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$).



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

P = puissance acoustique de la source (en W)
 S = surface du récepteur (en m^2)
 I = intensité acoustique (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)

► L'intensité acoustique minimale perçue par l'oreille humaine est de l'ordre de $10^{-12} \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$: c'est le **seuil d'intensité acoustique**.

► L'intensité acoustique maximale perçue par l'oreille humaine est de l'ordre $25 \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$: c'est le **seuil de douleur**. Au-delà, il y a destruction du tympan.

⇒ L'intensité acoustique d'un son est liée à l'amplitude de l'onde sonore.

1.2. Niveau d'intensité sonore

Le système auditif humain est d'une très grande sensibilité : il peut détecter des sons provoquant des déplacements du tympan de l'ordre de 10 nm !

La sensation auditive n'est pas proportionnelle à l'intensité acoustique I : elle est liée au niveau d'intensité acoustique (voir la remarque). Le **niveau d'intensité acoustique (ou sonore) L** (L comme « level » en anglais) est défini par :

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

I = intensité acoustique de la source (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 I_0 = intensité acoustique de référence (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 L = niveau d'intensité acoustique (en dB)

dB = décibel

($I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{W}\cdot\text{m}^{-2}$, correspond au seuil d'audibilité)

→ Quand l'intensité acoustique I est multipliée par 2, le niveau d'intensité acoustique augmente de 3 dB.

→ Quand l'intensité acoustique I est multipliée par 10, le niveau d'intensité acoustique augmente de 10 dB.

→ Quand l'intensité acoustique I est multipliée par 100, le niveau d'intensité acoustique augmente de 20 dB.

→ Quand l'intensité acoustique I est multipliée par 1000, le niveau d'intensité acoustique augmente de 30 dB.

Remarques :

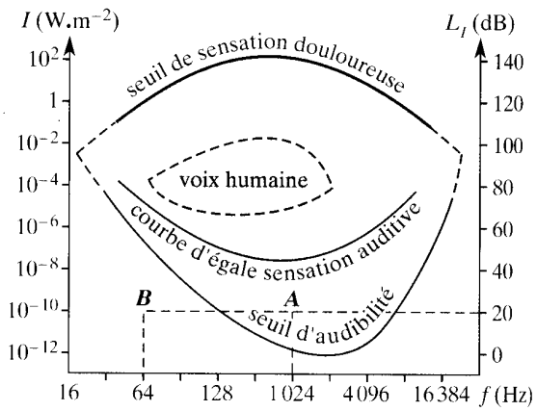
- Ce que l'on entend et que l'on mesure est le **niveau de pression acoustique (ou sonore) L_w** , qui s'exprime en décibel A (symbole : **dB[A]**) et est défini par :

$$L_w = 10 \times \log\left(\frac{p}{p_0}\right)$$

p = pression acoustique de la source (en Pa)
 p_0 = pression acoustique de référence ($p_0 = 2,0 \times 10^{-5} \text{Pa}$)
 L_w = niveau de pression acoustique (en dB[A])

$$L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Leftrightarrow L = 10 \times \log\left(\frac{p/S}{p_0/S}\right) \Leftrightarrow L = 10 \times \log\left(\frac{p}{p_0}\right) = L_w$$

- L'oreille humaine perçoit des signaux sonores dont l'intensité sonore varie entre une valeur minimale $I_0 = 1 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$, correspond au seuil d'audibilité, et une valeur maximale $I_{\text{max}} = 25 \text{ W.m}^{-2}$, correspondant au seuil de douleur.

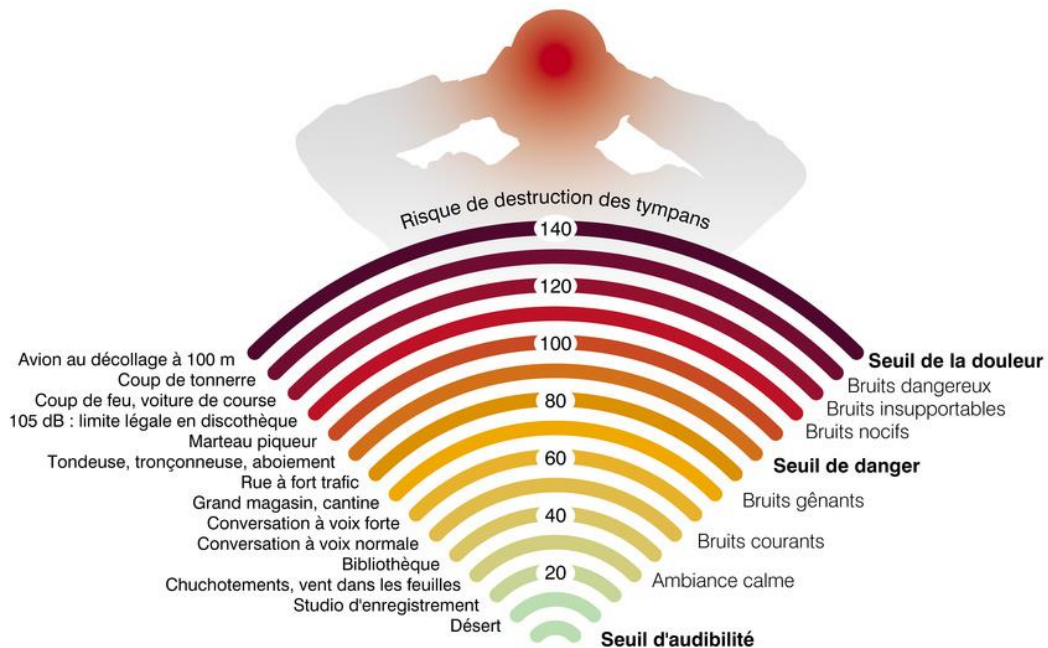


L'oreille perçoit différemment des sons de même niveau d'intensité acoustique, mais de fréquences différentes.

Le document ci-contre donne des courbes d'égale sensation auditive ainsi que les seuils d'audibilité et de douleur en fonction de la fréquence.

← Exemple : un son de niveau d'intensité acoustique de 20 dB est entendu lorsqu'il est émis à 1024 Hz (point A) alors qu'il ne l'est pas à 64 Hz (point B).

Exemples :



1.3. La propagation du son dans l'espace

L'onde sonore est une onde mécanique progressive, qui se diffuse dans l'air à la vitesse $v = 340 \text{ m.s}^{-1}$ (air sec à 25°C). L'onde peut être amenée à changer de direction suivant différents phénomènes :

- **La réflexion** correspond à un changement de direction suite à la rencontre avec un obstacle donné. L'angle de réflexion est alors égal à l'angle d'incidence.
- **La réfraction** correspond à un changement de direction à l'interface entre deux milieux de propagation où la vitesse de propagation diffère.
- **La diffraction** correspond à un changement de direction dû à la rencontre d'obstacles de petites tailles.
- **L'absorption** correspond à une atténuation de l'onde incidente, due à une rencontre avec un obstacle qui entraîne une perte d'énergie de l'onde. Cela n'influe pas sur la direction de l'onde.

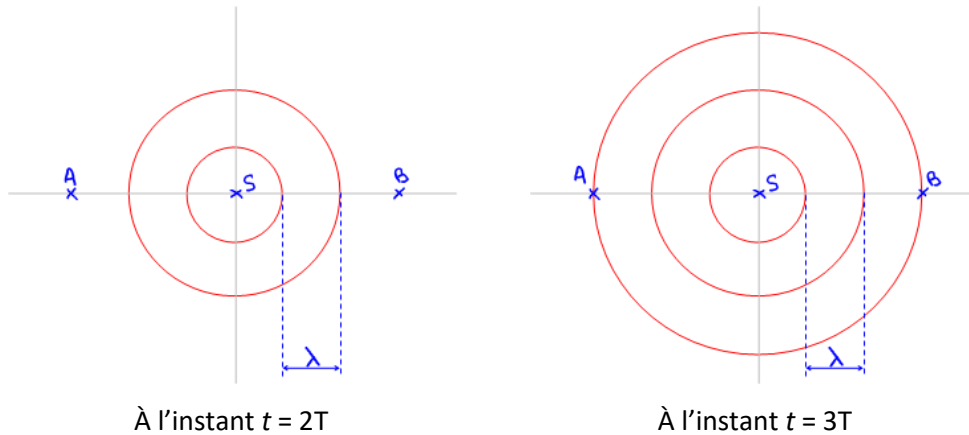
1.4. Atténuation d'un son

Voir TP « TP Atténuation d'une onde sonore »

2. L'effet Doppler

2.1. Source immobile

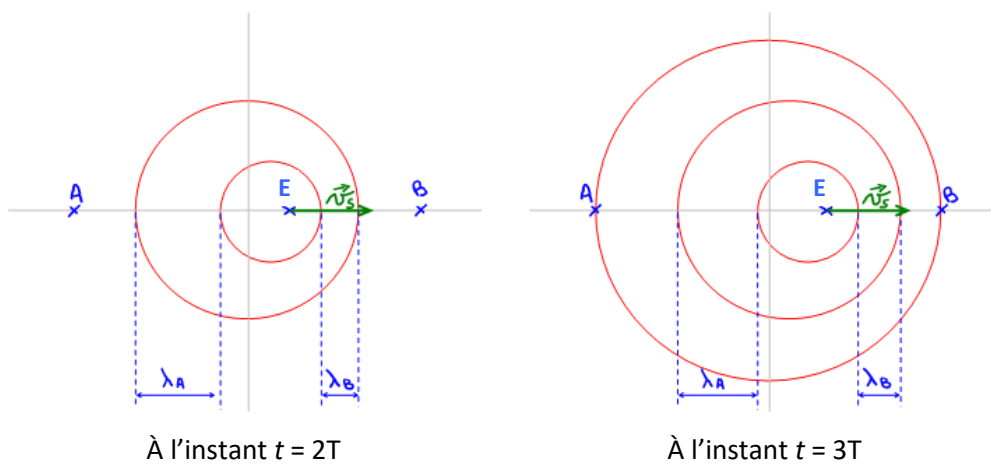
Soit une source sonore S (émetteur) située à égale distance de deux observateurs A et B. La source émet une onde sonore de fréquence f (et de période T) qui se propage dans l'air avec la célérité v .



Les deux observateurs reçoivent l'onde au même instant : ils perçoivent tous les deux une onde sonore de fréquence f et de longueur d'onde λ .

2.2. Source en mouvement

La source (émetteur) se déplace maintenant avec une vitesse v_s en direction de l'observateur B. Elle s'éloigne donc de l'observateur A et se rapproche de l'observateur B.



→ L'observateur A reçoit une onde de longueur d'onde λ_A et de période plus grande que celle de l'onde émise par la source S ($\lambda_A > \lambda_S$).

→ L'observateur B reçoit une onde de longueur d'onde λ_B et de période plus petite que celle de l'onde émise par la source S ($\lambda_B < \lambda_S$).

L'**effet Doppler** se traduit par un décalage de fréquences $\Delta f = f_R - f_S$ non nul entre la fréquence f_R de l'onde reçue par un récepteur R et la fréquence f_S de l'onde émise par la source S, lorsqu'ils sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.

A RETENIR :

- Si la source S et le récepteur R se rapprochent alors $f_R > f_S$ (un son est perçu plus aigu) ;
- Si la source S et le récepteur R s'éloignent alors $f_R < f_S$ (un son sera perçu plus grave).

Variation de fréquence et vitesses :

On montre (voir exercices) que lorsque le récepteur est immobile, la fréquence de l'onde reçue est telle que :

- Si la source se rapproche du récepteur, la fréquence (en Hz) de l'onde reçue par le récepteur est :

$$f_R = \frac{v}{v-v_S} \times f_S \quad \Leftrightarrow \quad v_S = v \times \frac{f_R - f_S}{f_R} \quad (\text{avec } v = \text{célérité de l'onde})$$

- Si la source s'éloigne du récepteur, la fréquence (en Hz) de l'onde reçue par le récepteur est :

$$f_R = \frac{v}{v+v_S} \times f_S \quad \Leftrightarrow \quad v_E = v \times \frac{f_E - f_R}{f_R} \quad (\text{avec } v = \text{célérité de l'onde})$$

⇒ **La variation de fréquence entre l'onde reçue et l'onde émise dépend de la vitesse de la source par rapport au récepteur.**

2.3. Applications

- **Astrophysique** : la mesure du décalage des raies d'absorption d'un élément chimique sur le spectre d'une étoile permet de déterminer si celle-ci s'éloigne ou se rapproche de la Terre, ainsi que sa vitesse de déplacement ;
- **Médecine** : l'examen Doppler par échographie permet, par exemple, de mesurer la vitesse d'écoulement du sang ;
- **Sécurité routière** : les radars autoroutiers utilisent l'effet Doppler avec des ondes électromagnétique pour mesurer la vitesse des véhicules ;
- ...

Programme :

Notions et contenus	Capacités exigibles <i>Activités expérimentales support de la formation</i>
Intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore. Atténuation (en dB).	Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal. <i>Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption.</i> Capacité mathématique : Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.
Effet Doppler. Décalage Doppler.	Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler. Établir l'expression du décalage Doppler dans le cas d'un observateur fixe, d'un émetteur mobile et dans une configuration à une dimension. Exploiter l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou des ondes électromagnétiques. <i>Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse.</i>