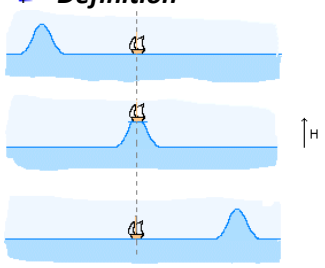
❶ ONDES MECANIQUES PROGRESSIVES

Définition



Au passage de la vague (l'onde), le bateau s'élève d'une hauteur H et voit donc son énergie potentielle de pesanteur augmenter de mgH. Cette énergie lui a été fournie par l'onde, mais le bateau est resté à la même abscisse : il n'y a pas de transport de matière.

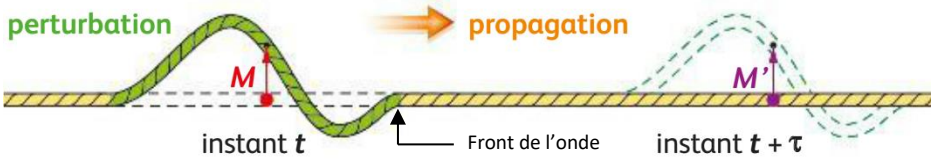
Révision de 1ère

On appelle « **onde mécanique progressive** », le phénomène de …… de proche en proche d'une …… (modification locale et temporaire du milieu) dans un milieu matériel (solide, liquide ou gazeux) sans transport de ……

*Remarques : Une onde mécanique **transporte de l'énergie** mais pas de matière ;*

Célérité d'une onde

Lorsqu'une perturbation se propage entre un point M et un point M' d'un milieu de propagation, la durée **τ** que met cette perturbation pour parcourir la distance MM' est appelée **retard** :



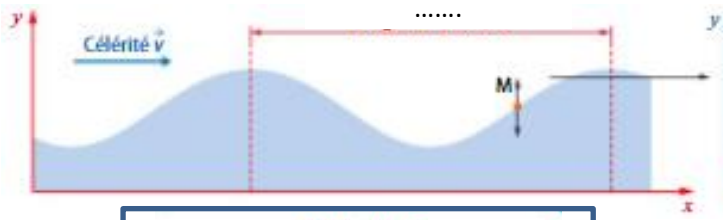
$$v = \frac{MM'}{\tau} \quad \begin{cases} MM' = \text{distance (en m)} \\ \tau = \text{retard (en s)} \\ v = \text{vitesse (en m.s}^{-1}) \end{cases}$$

Milieu de propagation

Une onde mécanique nécessite un support matériel (milieu matériel) pour se propager contrairement aux ondes électromagnétiques qui peuvent se propager dans le vide.

❷ CARACTERISTIQUES D'UNE ONDES MECANIQUE (PROGRESSIVE) PERIODIQUE

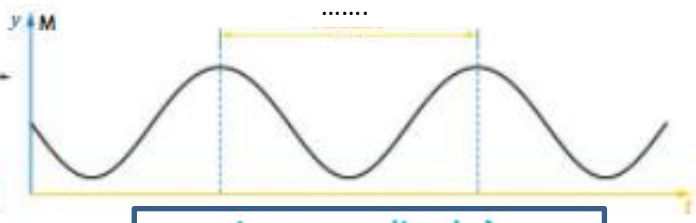
Périodicité ……



……

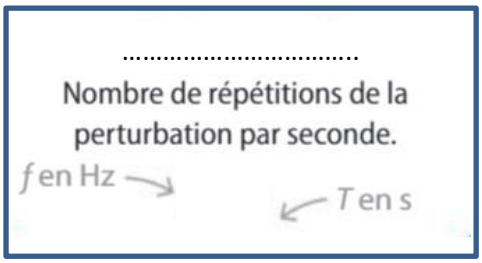
Plus petite durée au bout de laquelle la perturbation se répète en un point donné du milieu matériel.

Périodicité ……

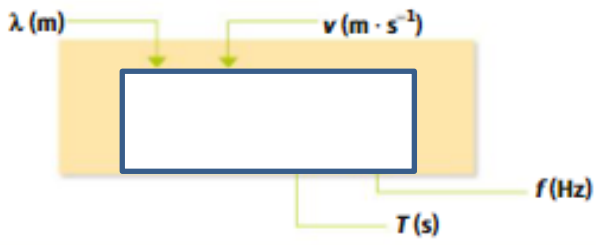


……

Distance parcourue par l'onde pendant la durée *T*.



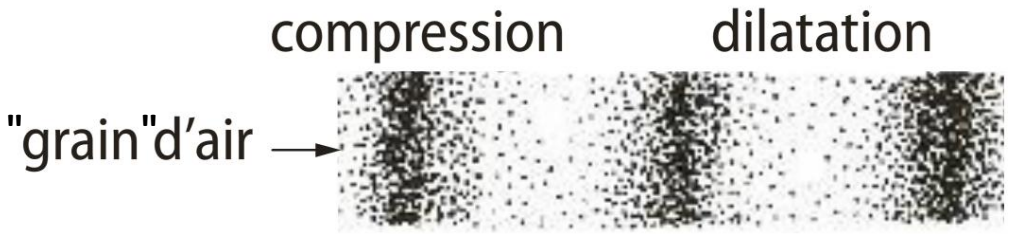
Lien entre périodicité spatiale et temporelle



❸ L'EXEMPLE DES ONDES SONORES

Définition

Une onde sonore (aussi appelée onde acoustique) est la propagation d'un phénomène périodique constitué d'une suite de compressions et de dilatation du milieu de propagation (petites variations locales de la pression du milieu). Il s'agit d'une **onde mécanique progressive** qui se propage dans un milieu matériel mais pas dans le vide.



→ La perturbation qui se propage est une petite variation locale de la pression du milieu : si la pression moyenne vaut p_0 (en Pa) avant la perturbation, elle prend la valeur p' au passage de l'onde de compression.

Domaines de fréquences des ondes sonores

Niveau d'intensité sonore et atténuation acoustique

✓ *L'intensité sonore*

L'intensité sonore I est la puissance P par unité de surface S transportée par une onde sonore.

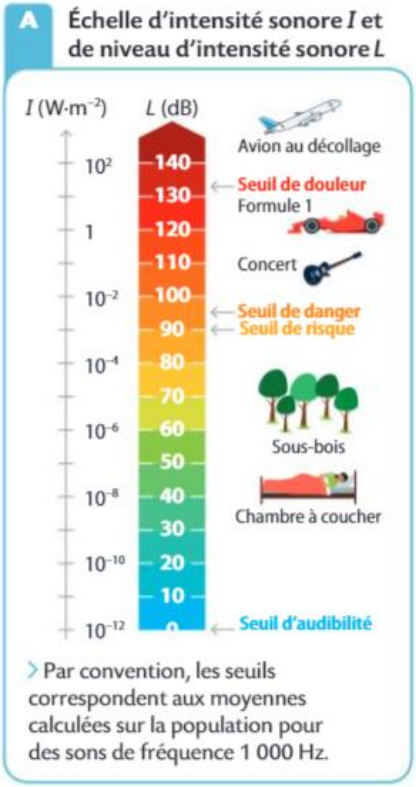
I en $W \cdot m^{-2}$ — P en W — S en m^2

✓ *Le niveau d'intensité sonore*

Le **niveau d'intensité sonore** L est défini par :

L en dB — I et I_0 en $W \cdot m^{-2}$

I_0 est l'**inten** **L'intensité sonore de référence** choisie, notée I_0, correspond au seuil d'audibilité moyenne à 1 kHz : $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ W \cdot m^{-2}$ (échelle A).



Exemple : Lorsque l'intensité sonore I est multipliée par 2 et devient $I' = 2I$, alors le niveau d'intensité sonore L devient L'.

$$L' = 10\log\left(\frac{I'}{I_0}\right) \text{ d'où } L' = 10\log\left(\frac{2I}{I_0}\right)$$

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

Lorsque l'intensité sonore I est multipliée par 2, le niveau d'intensité sonore L augmente de 3 dB.

Remarque :

- En partant de la définition du niveau d'intensité sonore $L = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$, on obtient :

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

Il est donc possible de calculer une intensité sonore à partir du niveau d'intensité sonore correspondant.

✓ ***Atténuation***

On entend moins bien un son quand on s'éloigne de sa source et quand on place un obstacle entre la source et son oreille.

L'**atténuation** d'un son dont le niveau d'intensité sonore passe de L à L' vaut :

$$\boldsymbol{A = L - L' = 10\log\left(\frac{I}{I'}\right)}$$

A, L et L' en décibels (dB)
I et I' en watts par mètre carré ($W \cdot m^{-2}$)

Exemple

Lorsque l'intensité sonore est divisée par 10, $I' = 0{,}1I$ et $A = 10$ dB.

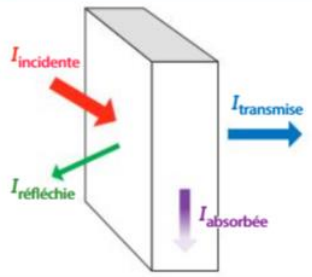
Atténuation géométrique

L'intensité sonore diminue quand on s'éloigne d'une source car l'aire de la surface sur laquelle la puissance émise se répartit augmente.

Atténuation par absorption

L'intensité sonore diminue quand le son traverse un milieu matériel dans lequel une partie de la puissance sonore est absorbée

D Interactions entre une onde sonore et une paroi



Point maths *Rappel*

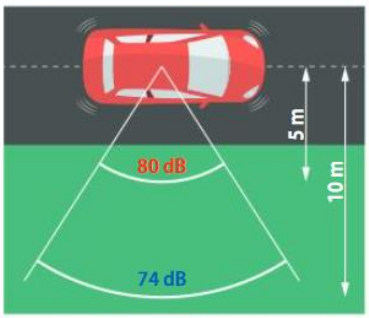
- La fonction $x \mapsto \log x$ est appelée logarithme décimal de x.
- Les fonctions $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$) et $x \mapsto 10^x$ sont disponibles sur une calculatrice.
- Propriétés de la fonction $x \mapsto 10^x$:

$$10^{(a+b)} = 10^a \times 10^b$$
$$10^{(a-b)} = \frac{10^a}{10^b}$$
$$10^{\log a} = a \text{ pour tout } a > 0$$

- Propriétés de la fonction $x \mapsto \log x$ pour tout $a > 0$ et $b > 0$:

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$
$$\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b$$
$$\log(10^a) = a$$

C Atténuation géométrique



Quand la distance à la source est multipliée par 2, l'onde se répartit sur une surface $2^2 = 4$ fois plus grande. Alors, le niveau d'intensité sonore diminue de 6 dB.

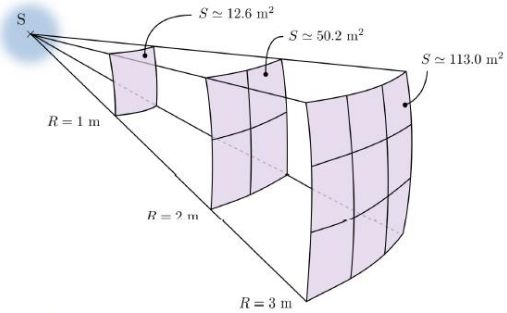


Figure 2 – Évolution de la surface en fonction de la distance

❸ EFFET DOPPLER

Qu'est-ce que l'effet Doppler ?

✓ *Observations :*

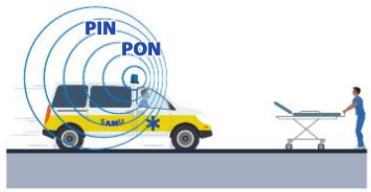
Quelles sont les sensations auditives que vous percevez lors de l'approche puis de l'éloignement d'une ambulance ?
Lorsqu'une ambulance se rapproche de vous, le son est ……. et le niveau sonore est de plus en plus élevé. Par contre lorsque l'ambulance s'éloigne, le son est plus …… que lorsqu'elle s'approche et le niveau sonore est de plus en plus faible.
Cet effet est appelé l'effet …… .

✓ *Définition :*

L'effet ……. est l'existence d'un décalage entre la fréquence f_E d'une onde électromagnétique ou mécanique émise et la fréquence f_R de l'onde reçue lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie.
Le décalage Doppler est : $\boxed{\Delta f = f_R - f_E}$

Remarque :
L'effet Doppler correspond aussi à un décalage de période ou de longueur d'onde ($f = v/\lambda$).

Le **signe du décalage Doppler** dépend du sens d'évolution de la distance entre l'émetteur E et le récepteur R.

Rapprochement de E et R	Distance constante entre E et R	Éloignement de E et R
		
Lorsque l'émetteur (Samu) s'approche du récepteur (brancardier), celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R < \lambda_E$. Alors $T_R < T_E$ et $f_R > f_E$ donc $\Delta f > 0$	Lorsque l'émetteur est immobile par rapport au récepteur, celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R = \lambda_E$. Alors $T_R = T_E$ et $f_R = f_E$ donc $\Delta f = 0$	Lorsque l'émetteur s'éloigne du récepteur, celui-ci perçoit des ondes de longueur d'onde $\lambda_R > \lambda_E$. Alors $T_R > T_E$ et $f_R < f_E$ donc $\Delta f < 0$

Variation de fréquence et vitesse

Soit une onde de fréquence f_E (en Hz) et de célérité v_{onde} (en $m.s^{-1}$) émise par un émetteur en mouvement à la vitesse constante v (en $m.s^{-1}$) du récepteur.
La fréquence de l'onde reçue par le récepteur fixe f_R (en Hz) est telle que :

➔ $f_R = f_E \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} - v}$ si l'émetteur s'approche du récepteur (f_R …… f_E)

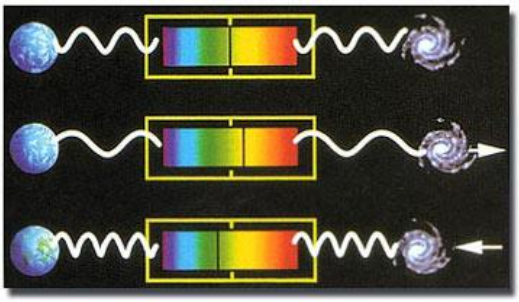
➔ $f_R = f_E \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} + v}$ si l'émetteur s'éloigne du récepteur (f_R …… f_E)

La variation de fréquence de l'onde émise et de l'onde reçue dépend de la vitesse de l'émetteur par rapport au récepteur.
Ainsi, l'effet Doppler permet, connaissant le **décalage Doppler** de mesurer une vitesse.

Exemple : Exprimer le décalage Doppler Δf en fonction de f_E, v et v_{onde} quand un émetteur se rapproche d'un récepteur fixe :

Quelles sont les applications de l'effet Doppler ?

✓ *L'effet Doppler Fizeau en astronomie*



A partir des travaux de Christian Doppler, Hippolyte Fizeau postule en 1848 que si une étoile ou une galaxie s'éloigne ou s'approche de la Terre, on doit observer un décalage de ses raies d'absorption. La mesure de ce décalage permettrait de calculer la vitesse radiale de l'étoile (vitesse à laquelle l'astre s'approche ou s'éloigne de la Terre). Les calculateurs récents ont permis de vérifier son hypothèse.

Lorsque l'étoile s'approche de la Terre, les longueurs d'onde correspondant aux raies noires du spectre d'absorption des éléments présents dans l'atmosphère de l'étoile :

- ..... si l'étoile se rapproche (décalage vers le bleu)
- ..... si elle s'éloigne (décalage vers le rouge).

Application **:** L'astronome anglais W. Huggins en 1868 mesura le décalage des raies de l'hydrogène dans le spectre de Sirius et en déduisit que Sirius s'éloigne du Soleil avec une vitesse de l'ordre de 45 km. s^{-1}.

✓ *L'effet Doppler en médecine*

Cet effet est mis à profit pour mesurer la vitesse du sang ainsi que son débit en utilisant des ondes ultrasonores.

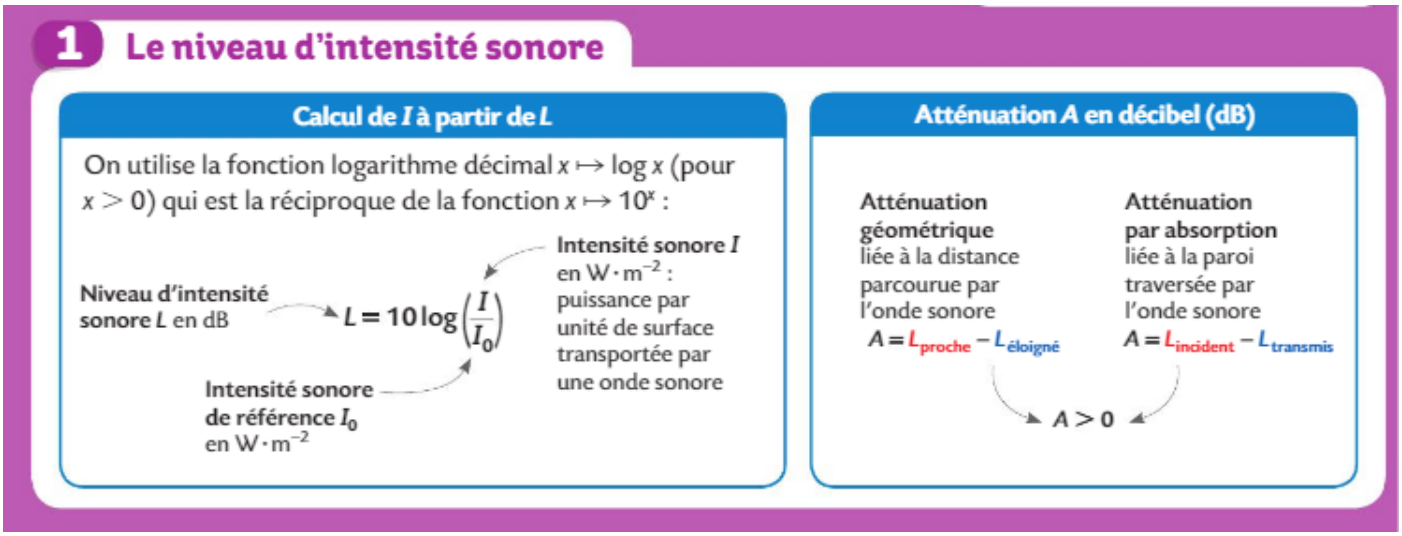
✓ *L'effet Doppler dans les radars automatiques*

Dans ce cas, une onde est émise en direction d'un objet en déplacement sur lequel elle se réfléchit. L'émetteur étant également le récepteur, la comparaison entre la fréquence de l'onde émise et de celle de l'onde reçue permet d'en déduire la vitesse de l'objet en déplacement. Les radars routiers ou aériens fonctionnent ainsi.

Pour résumer l'effet Doppler :

Capsule n° 3

L'ESSENTIEL A RETENIR



2 L'effet Doppler

Effet Doppler

Existence d'un décalage entre la fréquence f_E d'une onde émise et la fréquence f_R de l'onde reçue lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie.

Décalage Doppler

$\Delta f = f_R - f_E$

Rapprochement de E et R

$\lambda_R < \lambda_E$; $T_R < T_E$

$f_R > f_E$ donc $\Delta f > 0$

Distance constante entre E et R

$\lambda_R = \lambda_E$; $T_R = T_E$

$f_R = f_E$ donc $\Delta f = 0$

Éloignement de E et R

$\lambda_R > \lambda_E$; $T_R > T_E$

$f_R < f_E$ donc $\Delta f < 0$

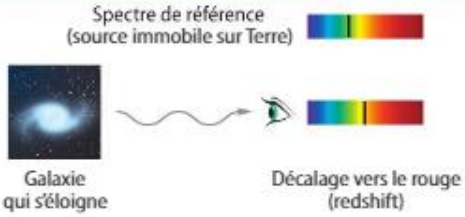
Établissement de l'expression du décalage Doppler

Chronologie de deux émissions consécutives de signaux et de leurs deux réceptions consécutives → Expression de T_R en fonction de T_E → Expression de f_R en fonction de f_E, puis de Δf

Détermination de valeurs de vitesse et de sens de déplacement

Vitesse d'un véhicule

Vitesse d'écoulement du sang



Vitesse d'éloignement d'une galaxie