Ondes sonores et effet Doppler

▷ Exercice 1 : Manipulation de base

$$L = 10 \cdot \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \; ; \; I_0 = 10^{-12} \ W.m^{-2}$$

Q1) $L = 10 \log\left(\frac{10^{-10}}{10^{-12}}\right) = 10 \log\left(10^{2}\right) = 20 \, dB$

Q2) $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

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

On passe à la puissance de 10 pour "enlever les log".

$$10^{L/10} = 10^{\log(I/I_0)} = \frac{I}{I_0}$$

d'où $I = I_0 \times 10^{L/10} = 10^{-12} \times 10^{60/10} = 10^{-6}$

$W.m^{-2}$

Q3) $\begin{cases} I_1 = 4 \times 10^{-12} \ W.m^{-2} \\ I_2 = 8 \times 10^{-12} \ W.m^{-2} \end{cases}$

$$L_1 = 10 \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{4 \times 10^{-12}}{10^{-12}}\right) = 10 \log(4) \simeq 6 \text{ dB}$$

$$L_2 = 10 \log\left(\frac{I_2}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{8 \times 10^{-12}}{10^{-12}}\right) = 10 \log(8) \simeq 9 \text{ dB}$$

Quand l'intensité sonore double, le niveau d'intensité sonore fait +3 dB.

Démonstration (HP) :

$$L_{proche} = 10 \log\left(\frac{I_{proche}}{I_0}\right)$$

$$L_{éloigné} = 10 \log\left(\frac{I_{éloigné}}{I_0}\right)$$

$$A = L_{Proche} - L_{éloigné} = 10 \log\left(\frac{I_{proche}}{I_0}\right) - 10 \log\left(\frac{I_{éloigné}}{I_0}\right)$$

$$A = 10 \log\left(\frac{\frac{I_{proche}}{\cancel{I_0}}}{\frac{I_{éloigné}}{\cancel{I_0}}}\right)$$

$$A = 10 \log\left(\frac{I_{Proche}}{I_{éloigné}}\right) = 10 \log\left(\frac{\cancel{P}/\cancel{4\pi} d_p^2}{\cancel{P}/\cancel{4\pi} d_e^2}\right) = 2 \times 10 \log\left(\frac{d_e}{d_p}\right)$$

▷ Exercice 2 : Atténuation géométrique d'une onde sonore

Q1) $I_1 = \dfrac{P}{4\pi R_1^2}$

$I_2 = \dfrac{P}{4\pi R_2^2}$

d'où $\dfrac{I_2}{I_1} = \dfrac{\dfrac{\cancel{P}}{\cancel{4\pi} R_2^2}}{\dfrac{\cancel{P}}{\cancel{4\pi} R_1^2}} = \dfrac{R_1^2}{R_2^2}$

$= \dfrac{R_1^2}{(2R_1)^2}$

$= \dfrac{\cancel{R_1^2}}{4\cancel{R_1^2}}$

$$\boxed{\frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{4}}$$

Q2) Quand la distance est doublée, l'intensité sonore est divisée par 4.

Q3/Q4) $L_2 - L_1 = 10 \log\left(\dfrac{I_2}{I_1}\right) = 10 \log\left(\dfrac{1}{4}\right)$

$$= -6 \text{ dB}$$

Quand la distance est doublée, on perd 6 dB.

▷ Exercice 3 : Atténuation par absorption d'une onde sonore

Q1) $A = L_{incident} - L_{transmit}$

$= 85 - 60 = 25 \text{ dB}$

Q2) La cloison absorbe 25 dB au niveau d'intensité sonore. Sachant que diviser par 2 l'intensité fait perdre 3 dB, en faire perdre 25 est considérable.

Q3) $A_2 = 30 \text{ dB} > A_1 = 25 \text{ dB}$

L'atténuation est plus importante donc il est plus
[illegible]

fréquemment.

▷ **Exercice 4 : Un déluge d'eau - Bac Métropole 2025**

Q1) $I_{1,avec} = 0{,}10 \text{ W.m}^{-2}$

$$L_{1,avec} = 10 \log\left(\frac{I_{1,avec}}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{0{,}1}{10^{-12}}\right) = 10 \log\left(10^{11}\right) = 110 \text{ dB}$$

Q2) C'est en dessous du seuil critique, mais il ne faut pas rester plus d'une minute.

Q3) $A_{avec} = L_{1,sans} - L_{1,avec} = 180 - 110 = 70 \text{ dB}.$

Q4) $L_{1,sans} = 180 \text{ dB}$

$L_{2,sans} = ?$

$$L_{1,sans} - L_{2,sans} = 20 \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

$$\left(\frac{L_{1,sans} - L_{2,sans}}{20}\right) = \log\left(\frac{d_2}{d_1}\right)$$

On passe à la puissance de 10 pour supprimer les log.

$$10^{\frac{L_{1,sans} - L_{2,sans}}{20}} = \frac{d_2}{d_1}$$

AN : $d_2 = 10^{(180-95)/20} = 10^{85/20} = 10^{4,25}\ m \simeq 17,783\ km$

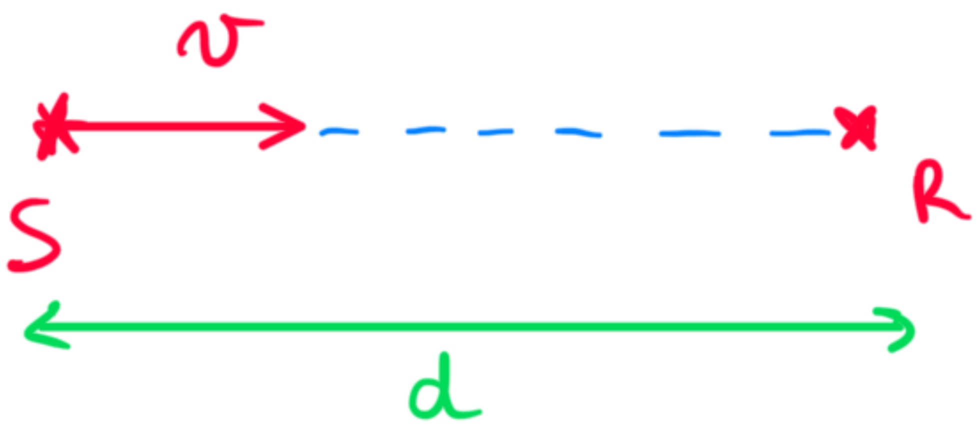
Q5) Avec l'atténuation géométrique il y a encore 85 dB qui arrivent à Caracas. Le déluge d'eau permet d'ajouter une sécurité supplémentaire.

Démonstration effet Doppler :

1) Position du Pb : * Source S qui émet une onde période T_e

* S se déplace vers R à la vitesse $v < c_{son}$.

* A $t=0$, S et R sont distants de d, R est fixe.

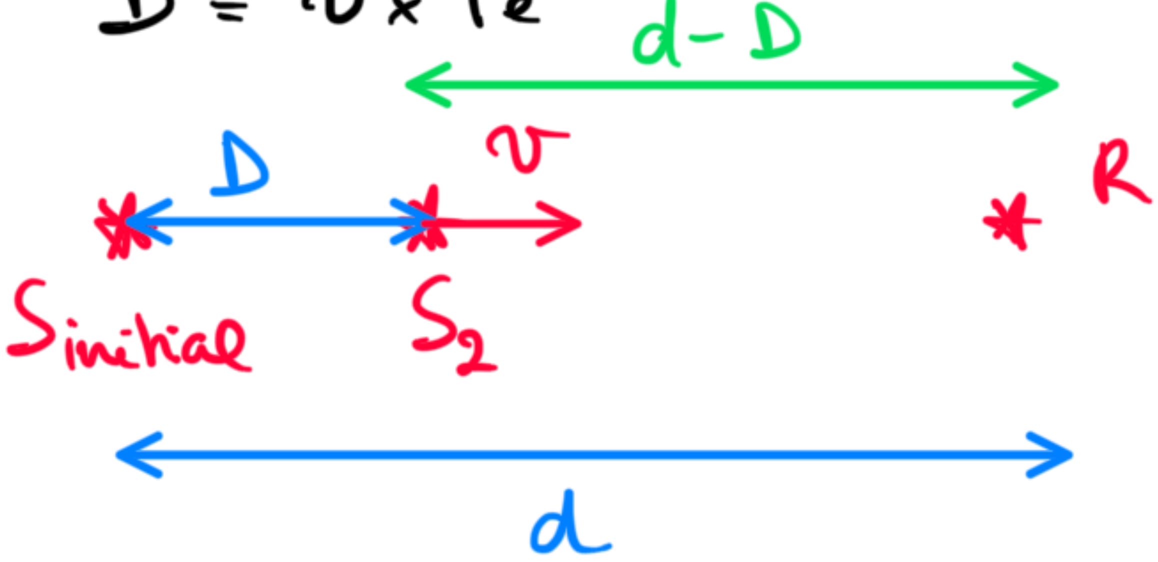


2) Emission du 1er signal :

* La première onde met un temps $t_1 = \dfrac{d}{c_{son}}$ pour arriver au Récepteur.

3) Emission et Réception du 2nd signal :

* La seconde onde est émise avec un retard T_e donc pendant ce temps la voiture a avancé d'une distance $D = v \times T_e$



Ce nouveau signal n'a plus que la distance : $d - D$ à parcourir

$$t_2 = T_e + \left(\frac{d-D}{c_{son}}\right)$$

$$= T_e + \left(\frac{d}{c_{son}} - \frac{v T_e}{c_{son}}\right)$$

4) <u>Période reçue</u> : l'interval de temps entre les 2 périodes :

$$T_r = t_2 - t_1$$

d'où $$T_r = T_e + \cancel{\frac{d}{c_{son}}} - \frac{v \cdot T_e}{c_{son}} - \cancel{\frac{d}{c_{son}}}$$

$$T_r = T_e - \frac{v T_e}{c_{son}}$$

d'où $$\boxed{T_r = T_e \left(1 - \frac{v}{c_{son}}\right)}$$

$$f = \frac{1}{T}$$ d'où $$\frac{1}{f_r} = \frac{1}{f_e}\left(1 - \frac{v}{c_{son}}\right)$$

$$\boxed{f_r = \frac{f_e}{\left(1 - \frac{v}{c_{son}}\right)}}$$

▷ **Exercice 5 :** Observation d'un avion en plein vol (métropole 2024 spé phy)

Q1) Il s'agit de l'effet Doppler.

Q2) Il faut nécessairement $\boxed{f_A > f_0 > f_E}$

A ≡ pas homogène

B ≡ OK

C ≡ $f_A < f_0 < f_E$

D ≡ pourquoi facteur 2 ?

Q3)
$$\begin{cases} f_A = f_0 \dfrac{c}{c - v} \\[2ex] f_E = f_0 \dfrac{c}{c + v} \end{cases}$$

d'où

$$\frac{f_A}{} = \frac{\cancel{f_0}}{} \frac{\dfrac{\cancel{c}}{c - v}}{} = \frac{c + v}{} = \frac{f_A}{}$$

$f_E \qquad \cancel{f_0} \qquad \frac{\cancel{c}}{c+v} \qquad c-v \qquad f_E$

d'où $$\frac{f_A}{f_E}(c-v) = c+v$$

$$\frac{f_A}{f_E}c - \frac{f_A}{f_E}v = c+v$$

factoriser par c et v

$$c\left(\frac{f_A}{f_E} - 1\right) = v\left(1 + \frac{f_A}{f_E}\right)$$

d'où

$$\boxed{v = c\,\frac{\left(\frac{f_A}{f_E} - 1\right)}{\left(1 + \frac{f_A}{\quad}\right)}}$$

AN: $f_A = 2,2$ kHz

$f_E = 1,5$ kHz

$c = 345$ m/s

$$\left(\qquad f_E \right)$$

$$v = 345 \left(\frac{\frac{2,2}{1,5} - 1}{1 + \frac{2,2}{1,5}} \right) = \frac{1,46 - 1}{1 + 1,46} \times 345$$

$$= \frac{0,46}{2,46} \times 345 = 64,5 \text{ m/s}$$

soit $64,5 \times 3,6 = 232$ km/h.

▷ vitesse cohérente avec l'atterrissage d'un avion.

▷ <u>Exercice 6:</u> Vitesse coup droit TT (Bac Amérique 2024 spé phy)

Q1) Il y a la balle qui est en mouvement que l'on peut assimiler à une source car elle se déplace vers le récepteur.

Q2) $\Delta f = f_R - f_E > 0$ car la source se rapproche

Q2) $\Delta f = f_R - f_0 > 0$ car la source se rapproche la fréquence reçue f_R est plus grande que celle émise f_0.

Q3) $\Delta f = 4470 \text{ Hz}$

$f_0 = 24{,}125 \text{ GHz} = 24{,}125 \times 10^9 \text{ Hz}$

$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ (onde Em = vitesse lumière)

$$\Delta f = 2 f_0 \frac{v}{c}$$

d'où $$\boxed{v = \frac{\Delta f \times c}{2 f_0}}$$

AN: $$v = \frac{4470 \times 3 \times 10^8}{2 \times 24{,}125 \times 10^9} = 27{,}8 \text{ m/s}.$$

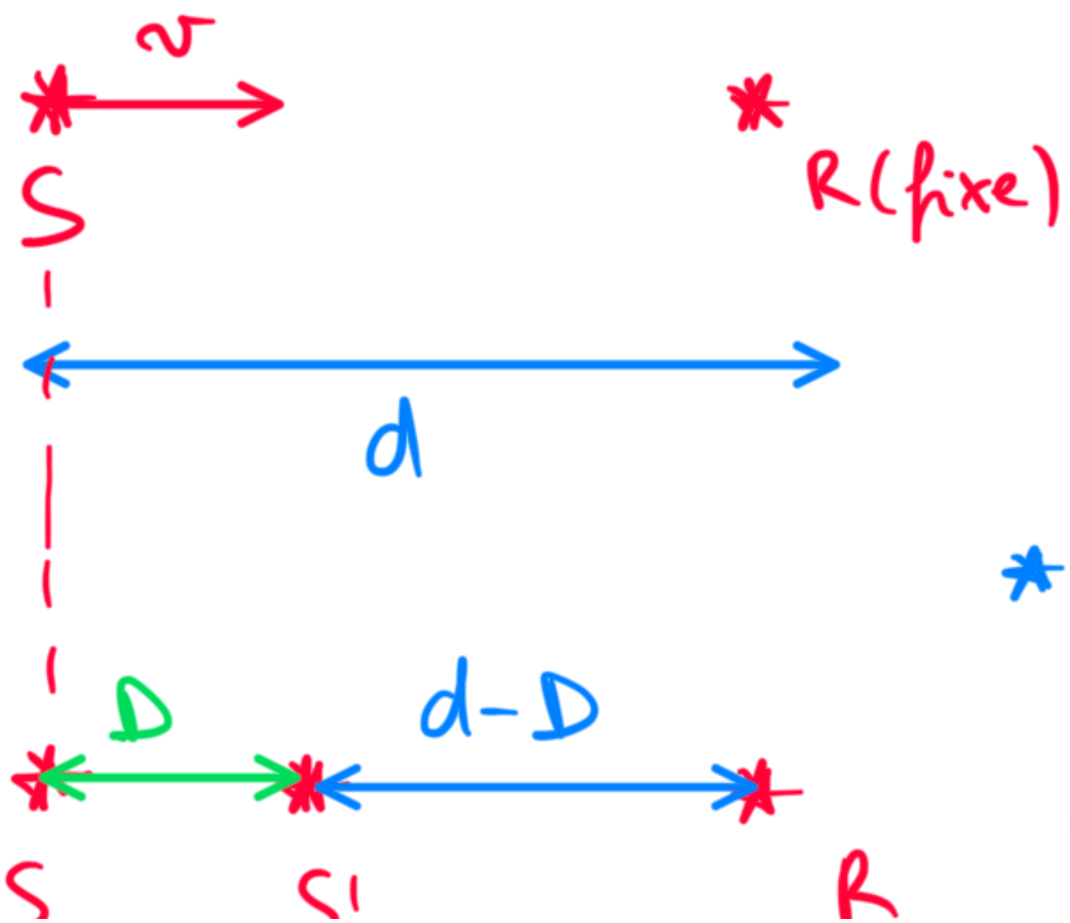
$\simeq 100 \text{ km/h}.$

Q4) même ordre de grandeur.

▷ Exercice 7 : Galaxie d'Andromède - Bac Métropole 2024

Q1) L'effet Doppler est le décalage de fréquence d'une onde lorsque la source est en mouvement.

Q2) la source se rapproche :



* 1er Bip arrive après :

$$\boxed{t_1 = \frac{d}{c}}$$

* Un second Bip est émis après un temps T_E (période d'émission)

Pendant ce temps la source a

avancé de $D = v \times T_E$

* Le second Bip arrive en R : $\boxed{t_2 = T_E + \frac{d-D}{c}}$

La période reçue est alors :

$$T_r = t_2 - t_1 = T_E + \cancel{\frac{d}{c}} - \frac{D}{c} - \cancel{\frac{d}{c}}$$

Or : $D = v \times T_E$

$$T_r = T_E - \frac{v}{c} T_E = T_E \left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

Or : $f = \frac{1}{\ldots}$ d'où $\frac{1}{\ldots} = \frac{1}{\ldots}\left(1 - \frac{v}{\ldots}\right)$

$$\frac{1}{f_r} = \frac{1}{f_E}\left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

soit $$\boxed{f_r = \frac{f_e}{\left(1 - \frac{v}{c}\right)}}$$

Q3) $x \ll 1 \iff \frac{v}{c} \ll 1$

AN : $v = 300\ \text{km/s} = 300 \times 10^3\ \text{m/s} = 3 \times 10^5\ \text{m/s}$
$c = 3 \times 10^8\ \text{m/s}$

d'où $\frac{v}{c} = \frac{3 \times 10^5}{3 \times 10^8} = 10^{-3} \ll 1$ OK.

Q4) $$\delta f = f_R - f_E = f_E\left(\frac{1}{1 - \frac{v}{c}}\right) - f_e$$

On en déduit cette

On appelle cette transformation le "Développement limité" un outil très sympa pour les années prochaines

$$\simeq f_e\left(1+\frac{v}{c}\right)-f_e$$

$$\simeq \cancel{f_e}+f_e\frac{v}{c}-\cancel{f_e}$$

$$\boxed{\delta f \simeq f_e\frac{v}{c}}$$