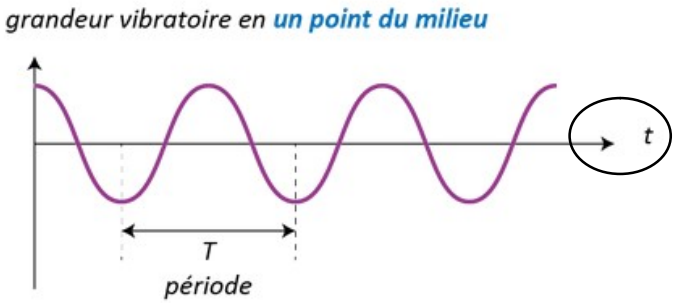
COURS 4 - ONDES SONORES – EFFET DOPPLER

I- Les ondes progressives.(rappel de 1ere)

Onde : perturbation qui se propage sans transport de matière mais avec transport d'énergie.
Une onde progressive est dite périodique lorsque la perturbation se reproduit identique à elle-même à intervalles de temps égaux.
Une onde périodique possède une double périodicité : spatiale (longueur d'onde) et temporelle (période) :

La période temporelle T d'une onde progressive périodique est **la plus petite durée**au bout de laquelle un point se trouve dans **le même état vibratoire.** (le signal se retrouve identique à lui même)
On la détermine sur un oscillogramme représentant un point du signal (élongation) **en fonction du temps.**



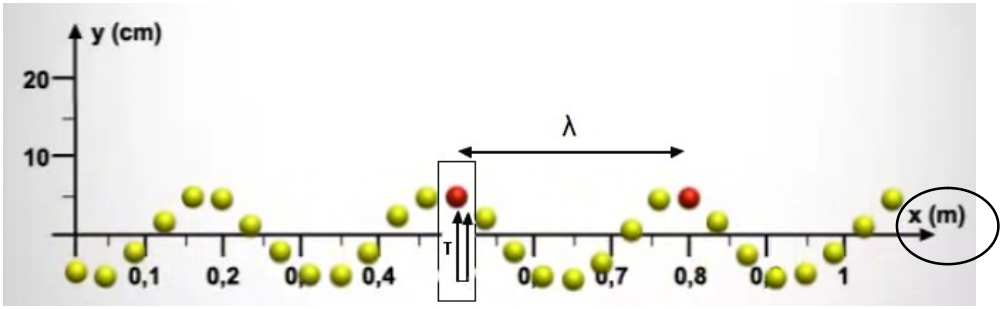
ici l'onde est périodique sinusoïdale, son expression en fonction du temps est :

$$u(t) = A \times cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$$

A est l'amplitude ou valeur maximale
T est la période

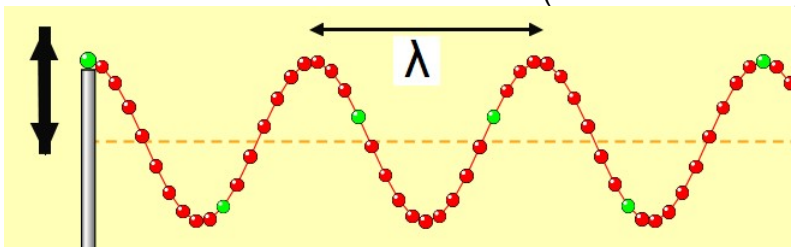
La fréquence f d'une onde périodique est telle que $f = \frac{1}{T}$. f s'exprime en Hz et T en s.

La période spatiale appelée longueur d'onde **λ ,** d'une onde progressive périodique est **la longueur** du motif qui se répète. Elle correspond à **la distance** parcourue par l'onde durant une période.
Elle est visible directement sur un graphe représentant la perturbation sur un axe à **un instant donné** (photo).

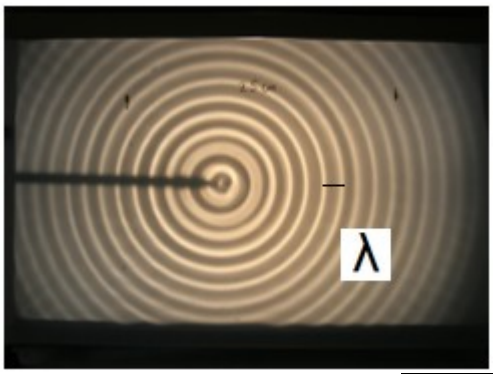


Les billes rouges espacées d'une longueur d'onde vibrent en phase.
La période temporelle T correspond ici à la durée que met la bille rouge à revenir à sa position initiale.

On peut mesurer directement la longueur d'onde sur une figure représentant la propagation de l'onde dans un milieu matériel à une ou 2 dimensions (à un instant donné) :



Perturbation sinusoïdale sur une corde



Cuve à onde,
surface de l'eau perturbée périodiquement

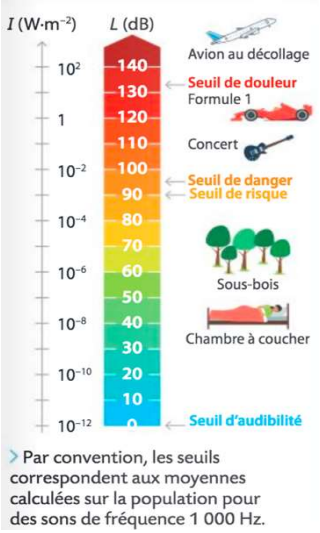
Les périodes spatiales et temporelles d'une onde sinusoïdale sont liées par la relation : λ = v x T.
λ en m, T en s, v la célérité de l'onde en $m.s^{-1}$.
La mesure de λ doit se faire précisément, on prendra plusieurs λ pour la déterminer.
La fréquence du signal périodique est imposée par la source vibratoire de l'onde.
Le son est une onde mécanique qui a besoin d'un milieu matériel pour se propager. ($c_{sonair\ 20C}$ = 340 $m.s^{-1}$)
La lumière est une onde électromagnétique qui peut se propager dans le vide. (c_{vide} = 3,00.10^8 $m.s^{-1}$)

II- Les ondes sonores

Les ondes sonores sont des ondes mécaniques progressives périodiques.

1. Intensité sonore

L'intensité sonore I, exprimée en W.m^{-2}, caractérise l'intensité d'un signal reçu par l'oreille.
Il s'agit de la **puissance** transportée par une onde sonore qui traverse une **surface** de 1m^2.



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

I en W.m^{-2}
P en Watt, W
S en m^2

La valeur minimale perçue par l'oreille humaine est appelée seuil d'audibilité $I_0 = 1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2}

La valeur maximale est le seuil de douleur.

Rque : La puissance P qui traverse une surface S s'écrit alors P = I× S.

2. Niveau d'intensité sonore

En raison du grand écart entre le seuil d'audibilité de $1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2} et le seuil de douleur 25 W.m^{-2}, on définit le niveau d'intensité sonore en décibel dB, qui se mesure avec un sonomètre.

Le niveau d'intensité sonore L est défini par $L = 10log\left(\frac{I}{I_0}\right)$

I exprimée en W.m^{-2},
L exprimé en dB
I_0 exprimée en W.m^{-2} est l'intensité sonore de référence, choisie au seuil d'audibilité. $I_0 = 1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2}

Expression de I en fonction de L : à faire

Remarques :

- *si il y a plusieurs sources : les intensités sonores s'ajoutent mais pas les niveaux sonores.*
- *Si l'intensité sonore est multipliée par deux, L augmente de 3 dB.*
  Démonstration :

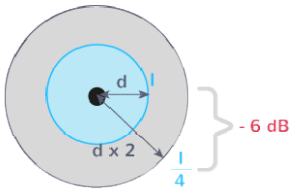
3. Atténuation

L'atténuation d'un son dont le niveau d'intensité sonore passe de L_1 à L_2 vaut :

$$A = L_1 - L_2 = 10\,log\left(\frac{I_1}{I_2}\right) \text{ en dB}$$

Démonstration :

L'atténuation géométrique : l'intensité sonore $I = \frac{P}{S}$ diminue lorsqu'on s'éloigne de la source, en effet la puissance sonore de la source P est constante alors que la surface sur laquelle la puissance sonore se répartit augmente.
Exercice : montrer que lorsque la distance à la source double, l'atténuation est de 6 dB (10log4).



S sphère $S = 4\pi d^2$

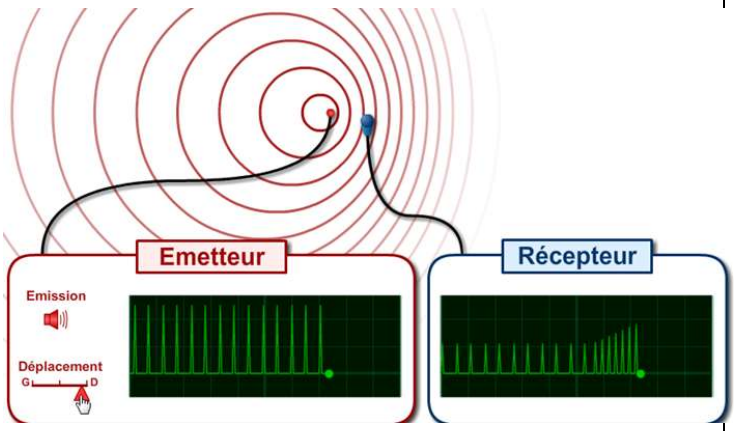
L'atténuation par absorption : L'intensité sonore diminue lorsque le son traverse un milieu matériel

III- Effet Doppler

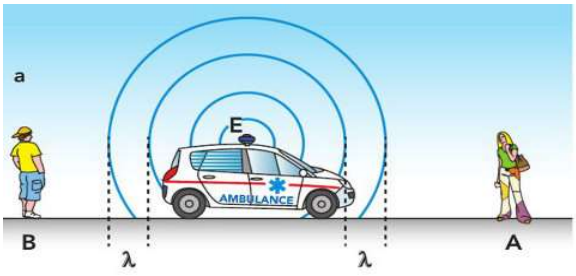
Un émetteur produit une onde de fréquence f_E. Si l'émetteur et le récepteur sont en mouvement relatif, la fréquence f_R perçue par le récepteur est différente de f_E : c'est **l'effet Doppler**. Il concerne tous les types d'ondes, mécaniques ou électromagnétiques.
Le décalage Doppler est $\Delta f = f_R - f_E$.

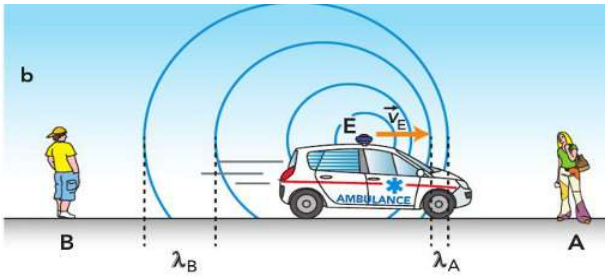
- Si l'émetteur et le récepteur se rapprochent, $\lambda_R<\lambda_E$ donc $f_R>f_E$: $\Delta f>0$
- Si l'émetteur et le récepteur s'éloignent, $\lambda_R>\lambda_E$ donc $f_R<f_E$: $\Delta f<0$
- Si l'émetteur et le récepteur sont à une distance fixe, $\lambda_R=\lambda_E$ donc $f_R=f_E$: $\Delta f=0$

Rappel : $\lambda=c/f$



http://www.ostralo.net/3_animations/swf/doppler.swf

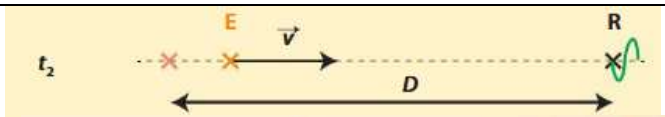




1. Expression du décalage Doppler

On considère un émetteur E d'ondes périodiques de période T_E et de vitesse c. L'émetteur se **rapproche** d'un récepteur fixe R avec une vitesse v.

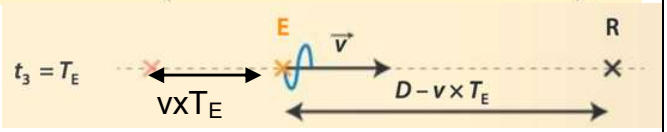
À la date t_1=0s, un premier signal est émis par E.
La distance entre E et R vaut D.
L'onde parcourt la distance D à la vitesse c, donc le premier signal est reçu par R à la date $t_2 = \frac{D}{c}$.

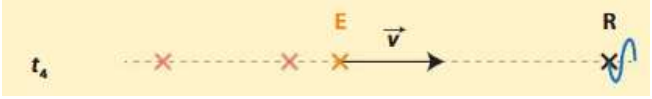


À la date $t_3=T_E$, un autre signal est émis par E.

La distance parcourue par l'Emetteur pendant la durée T_E à la vitesse v est : vT_E .

Donc la distance entre E et R vaut $D-vT_E$.





R reçoit ce deuxième signal à la date $t_4 = T_E + \frac{D-vT_E}{c}$

Le signal émis par E avec une période T_E est reçu par R avec une période $T_R = t_4-t_2$. (T_R correspond à l'intervalle de temps entre les 2 signaux reçus par R donc t_4-t_2)

$$T_R = T_E + \frac{D - vT_E}{c} - \frac{D}{c} = T_E - \frac{vT_E}{c} = T_E\left(1 - \frac{v}{c}\right)$$

$$\frac{1}{f_R} = \frac{1}{f_E}\left(1 - \frac{v}{c}\right) = \frac{1}{f_E}\left(\frac{c-v}{c}\right) \text{ donc } f_R = f_E\frac{c}{c-v}$$

Le décalage Doppler s'écrit :

$$\Delta f = f_R - f_E = f_E\left(\frac{c}{c-v} - 1\right) = f_E\left(\frac{c-c+v}{c-v}\right) = f_E\frac{v}{c-v} > 0$$

Remarque : si $v \ll c$, l'expression peut se simplifier en $\Delta f \approx f_E\frac{v}{c}$

On montrerait de même (ex 24 p362) que si la voiture s'éloigne de R à la vitesse v, $f_R = f_E \frac{c}{c+v}$
Ainsi le décalage Doppler s'écrirait :

$$\Delta f = f_R - f_E = f_E\left(\frac{c}{c+v} - 1\right) = f_E\left(\frac{c-c-v}{c+v}\right) = -f_E\frac{v}{c+v} < 0$$

Exemple : niiiiiaaououou
Une voiture passe sous un pont à la vitesse de 30 m/s soit 108 km/h. Elle klaxonne en émettant un son de fréquence 440 Hz (célérité 340 m/s). Un observateur se trouve immobile sur le pont.

$$\Delta f \approx f_E\frac{v}{c} = 440 \times \frac{30}{340} = 39\ Hz$$

Quand la voiture s'approche, $f_R = 440 + 39 = 479\ Hz$
Quand la voiture s'éloigne, $f_R = 440 - 39 = 401\ Hz$

2. Le décalage Doppler dans des situations variées

- Cinémométrie : il est possible de déterminer la valeur d'une vitesse par effet Doppler (radar routier) $\Delta f \approx f_E\frac{2v}{c}$ le facteur 2 traduit le fait que l'onde électromagnétique est réfléchie par la voiture et parcourt donc 2 fois la distance voiture radar.

- En astronomie, l'effet Doppler-Fizeau permet de déterminer la vitesse d'éloignement d'une étoile ou d'une galaxie par rapport à notre système solaire.

Redshift : décalage vers le rouge, les longueurs d'ondes augmentent, l'étoile ou la galaxie s'éloigne.
Bleuschift : décalage vers le bleu, les longueurs d'ondes diminuent, l'étoile ou la galaxie se rapproche.

- Le Doppler veineux ou artériel est un dispositif médical permettant de déterminer la vitesse du sang grâce au décalage Doppler des ondes ultrasonores.