Objectifs et trame du chapitre (7 séances)

I. Niveau d'intensité sonore

Cours (vidéo florence Raffin) (1 séance)

Capacités visées :
- **Définir intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore.**
- **Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal.**
- ***Capacité mathématique :* *Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.***

II. Atténuation

Activité expérimentale n°6.1 : Atténuation sonore (2 séances)

Capacités visées :
- **Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption**

III. Effet Doppler

Activité expérimentale n°6.2 : Détermination d'une vitesse par effet Doppler (2 séances)

Capacités visées :
- **Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.**
- **Établir l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou des ondes électromagnétiques.**
- **Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse.**

Synthèse des activités :

Vidéo cours Stella : Ondes sonores
https://www.youtube.com/watch?v=-jbfQuOFTdw

Vidéo cours Stella : Effet Doppler
https://www.youtube.com/watch?v=XOGXbmQefH8

Vidéo : Le décalage Doppler (Hachette éducation)
https://youtu.be/4fDHDtCeHpI

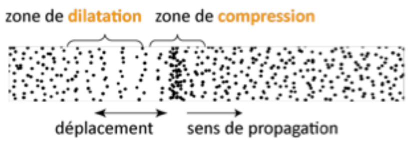
I. Niveau d'intensité sonore

ONDE SONORE - DEFINITION

Définition

Une onde est une propagation de la perturbation d'un milieu **sans transport de matière** mais **avec transport d'énergie**.

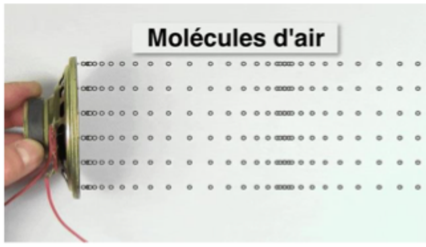
Les ondes sonores sont des ondes mécaniques progressives longitudinales à 3 dimensions.



- **onde mécanique** : elle a besoin d'un **milieu matériel** pour se propager et ne peut donc pas se propager dans le vide. C'est le milieu matériel qui est perturbé (les molécules de l'air).

- **onde progressive** : la perturbation se propage ***de proche en proche*** (progressivement) sans déformation.

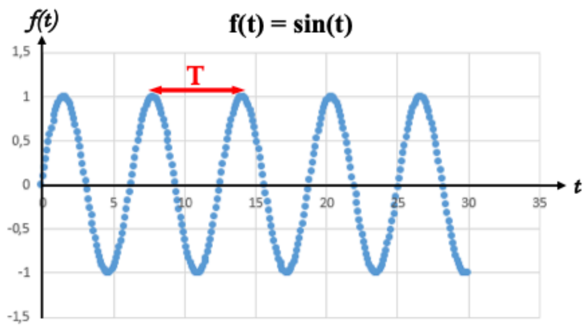
- **onde longitudinale** : la ***perturbation est parallèle*** à la direction de propagation de l'onde.



ONDE SONORE SINUSOÏDALES

Si la source de la perturbation perturbe le milieu de façon périodique, cette onde sera alors appelée une **onde périodique**.

Si cette onde périodique peut être décrite par une fonction sinusoïdale du temps, cette onde est alors appelée une **onde sinusoïdale**.



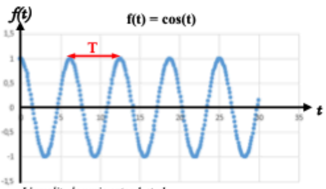
L'amplitude varie entre 1 et -1

L'origine a une amplitude de 0

A = 1 ; a = 1 ; b = 0

Exemple de fonction sinusoïdale du temps :

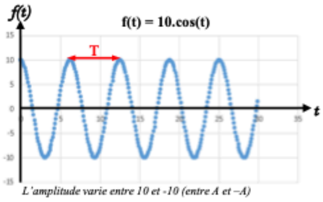
f(t) = A.cos(a.t + b) ou **f(t) = A.sin(a.t + b)**



L'amplitude varie entre 1 et -1

L'origine a une amplitude de 1

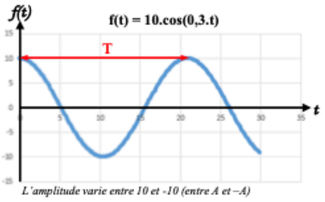
A = 1 ; a = 1 ; b = 0



L'amplitude varie entre 10 et -10 (entre A et –A)

L'origine a une amplitude de 10 (A)

A = 10 ; a = 1 ; b = 0

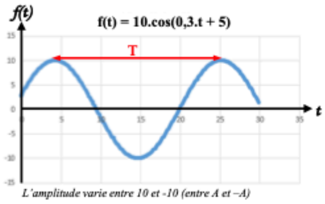


L'amplitude varie entre 10 et -10 (entre A et –A)

L'origine a une amplitude de 10 (A)

La période T change (« a » est donc une fonction de T)

A = 10 ; a = 0,3 ; b = 0

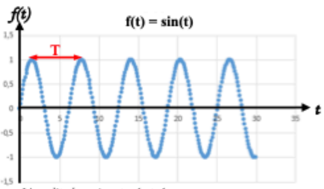


L'amplitude varie entre 10 et -10 (entre A et –A)

L'origine a une amplitude différente de 10 (A)

« b » induit donc un retard (on commence la sinusoïde plus tard

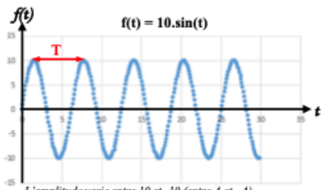
A = 10 ; a = 0,3 ; b = 5



L'amplitude varie entre 1 et -1

L'origine a une amplitude de 0

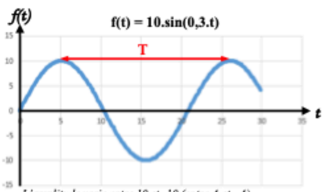
A = 1 ; a = 1 ; b = 0



L'amplitude varie entre 10 et -10 (entre A et –A)

L'origine a une amplitude de 0

A = 10 ; a = 1 ; b = 0

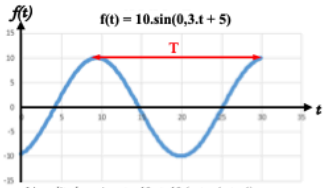


L'amplitude varie entre 10 et -10 (entre A et –A)

L'origine a une amplitude de 0

La période T change (« a » est donc une fonction de T)

A = 10 ; a = 0,3 ; b = 0



L'amplitude varie entre 10 et -10 (entre A et –A)

L'origine a une amplitude différente de 10 (A)

« b » induit donc un retard (on commence la sinusoïde plus tard

A = 10 ; a = 0,3 ; b = 5

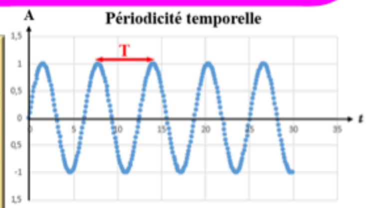
PERIODICITES TEMPORELLE ET SPATIALE

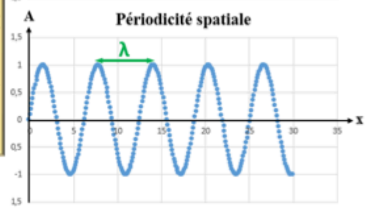
Définitions

Cette onde aura alors une <u>double périodicité</u> :

- **une** **<u>périodicité temporelle</u>** : la **période T** (en s). C'est la durée espaçant deux perturbations successives au même point de l'espace. Cette période T est donc imposée par la source de la perturbation.

- **une** **<u>périodicité spatiale</u>** : la **longueur d'onde λ** (en m). Elle est due au fait que, pendant que la première perturbation se propage d'une longueur λ, la source de la perturbation perturbe le milieu une deuxième fois. Deux perturbations successives sont donc espacées d'une longueur λ. Les autres perturbations suivent avec le même écart.





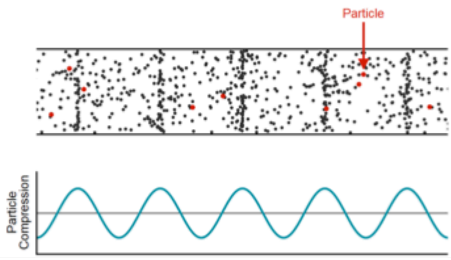
<u>Relations entre ces deux périodicités :</u>

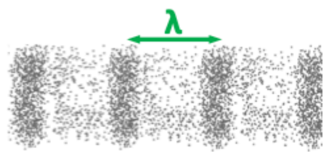
$$\underset{m}{\lambda} = c.\underset{s}{T}$$

(c : célérité de l'onde en m.s^{-1})

<u>Rappel sur la fréquence ν :</u>

$$\underset{Hz}{\nu} = \frac{1}{\underset{s}{T}}$$

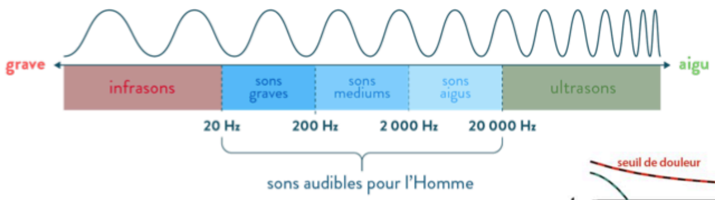




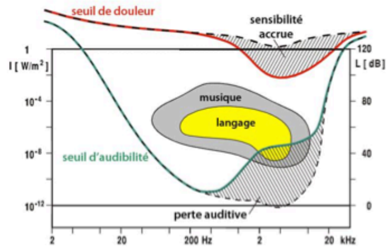
AUDIBILITE DU SON

Pour qu'un être humain soit capable d'entendre un son, il y a deux impératifs :

- la **fréquence de l'onde sonore** doit être située entre 20 Hz et 20 kHz ;



- **l'intensité sonore** doit être supérieure à l'intensité sonore de référence (ou seuil d'audibilité) $I_0 = 10^{-12}$ **W.m^{-2}**.

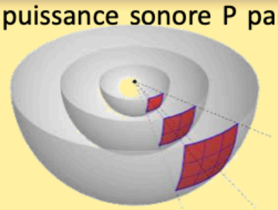


INTENSITE SONORE I

Définition

L'intensité sonore I est la puissance sonore P par unité de surface S :

$$\underset{W.m^{-2}}{I} = \frac{\overset{W}{P}}{\underset{m^2}{S}} \quad \text{ou} \quad I = \frac{P}{4\pi R^2}$$



*Elle s'exprime en Watt par mètre carré (**W.m^{-2}**).*

Le **seuil de douleur**, qui est à environ **I = 1 W.m^{-2}**, représente l'intensité à partir de laquelle on peut ressentir une douleur. Si cette intensité est supérieure à $I_{max} = 10^2$ **W.m^{-2}**, la pression qu'exercent les molécules de l'air sur notre oreille n'est plus supportable.

NIVEAU SONORE L

Afin de manipuler des valeurs plus simples (sans puissances de 10), une autre grandeur a été définie : le **niveau d'intensité sonore L** (L pour *level*).

L'unité du niveau d'intensité sonore est le **décibel dB**.

Il se calcule à partir de l'intensité sonore I :

$$\boxed{L = 10.\log\left(\frac{I}{I_0}\right) \Leftrightarrow I = I_0.10^{\frac{L}{10}}}$$

Exemples :

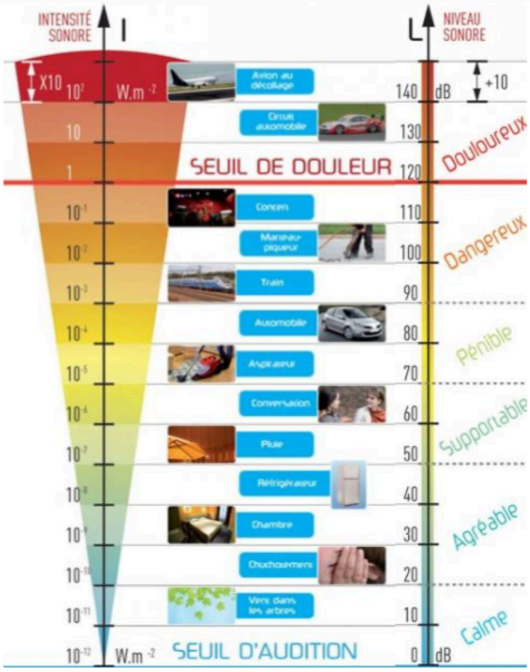
Si I = 10², alors : $L = 10.\log\left(\frac{10^2}{10^{-12}}\right) \Rightarrow L = 10.\log(10^{14}) \Rightarrow L = 10\text{x}14$

$\Rightarrow \mathbf{L = 140dB}$

Si L = 70 dB, alors : $I = I_0.10^{\frac{L}{10}} \Rightarrow I = 10^{-12}.10^{\frac{70}{10}} \Rightarrow I = 10^{-12}.10^7$

$\Rightarrow \mathbf{I = 10^{-5}\ W.m^{-2}}$

Attention ! Les intensités sonores I s'additionnent, pas les niveaux d'intensité sonore L.

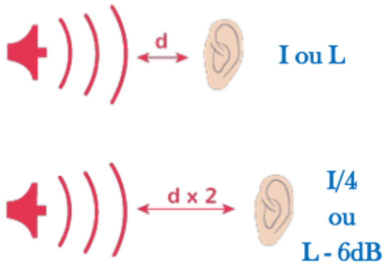


II. Atténuation

L'ATTENUATION GEOMETRIQUE

L'intensité sonore I s'affaiblit lorsqu'on s'éloigne de la source sonore.

En effet : $I = \frac{P}{4\pi R^2}$



__Exemple__ : si un « individu 2 » est deux fois plus éloigné de la source sonore qu'un « individu 1 » ($R_2 = 2R_1$), alors, l'intensité sonore I_1 sera divisée par 4 pour l' « individu 2 » :

$$I_1 = \frac{P}{4\pi R_1^2} \text{ et } I_2 = \frac{P}{4\pi R_2^2} \Rightarrow I_2 = \frac{P}{4\pi (2R_1)^2} \Rightarrow I_2 = \frac{P}{4x4\pi R_1^2} \Rightarrow I_2 = \frac{I_1}{4}$$

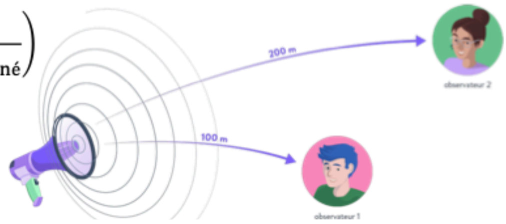
Définition

L'atténuation géométrique A représente la différence de niveau d'intensité sonore L entre un lieu proche de la source et un autre plus éloigné :

$$\boxed{A = L_{proche} - L_{éloigné}}$$

$$\Rightarrow A = 10.\log\left(\frac{I_{proche}}{I_0}\right) - 10.\log\left(\frac{I_{éloigné}}{I_0}\right) \Leftrightarrow A = 10.\log\left(\frac{I_{proche}}{I_0}.\frac{I_0}{I_{éloigné}}\right)$$

$$\Leftrightarrow \boxed{A = 10.\log\left(\frac{I_{proche}}{I_{éloigné}}\right)}$$



L'ATTENUATION GEOMETRIQUE

__**Exemple 1 :**__

En classe, Wassila entend la voix du professeur avec un niveau d'intensité sonore de 61 dB. Clément, un rang derrière, ne l'entend plus qu'avec un niveau d'intensité sonore de 57 dB.

Calculez l'atténuation géométrique.

$$A = L_{proche} - L_{éloigné} \Rightarrow A = L_{Wassila} - L_{Clément}$$

$$A.N : A = 61 - 57 \Rightarrow A = 4dB$$

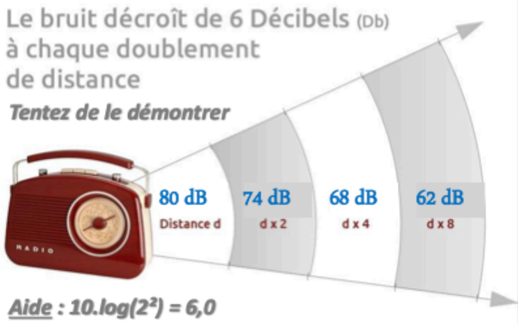
__**Exemple 2 :**__

En classe, Wassila est située à une distance d_W = 2m du professeur tandis que Clément est situé à une distance d_C = 3m de celui-ci.

Calculez l'atténuation géométrique.

$$A = 10.\log\left(\frac{I_{proche}}{I_{éloigné}}\right) \Rightarrow A = 10.\log\left(\frac{\frac{P}{4\pi d_W^2}}{\frac{P}{4\pi d_C^2}}\right) \Rightarrow A = 10.\log\left(\frac{d_C^2}{d_W^2}\right)$$

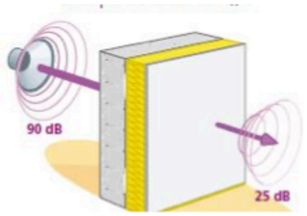
$$A.N : A = 10.\log\left(\frac{3^2}{2^2}\right) \Rightarrow A = 4dB$$



L'ATTENUATION PAR ABSORPTION

Lorsqu'une **onde sonore incidente** rencontre **une paroi** (mur, plafond, vitre, rideau, …), une partie de cette onde est **transmise** tandis qu'une autre est **absorbée** (une partie est aussi **réfléchie**).

Exemple de calcul de R :

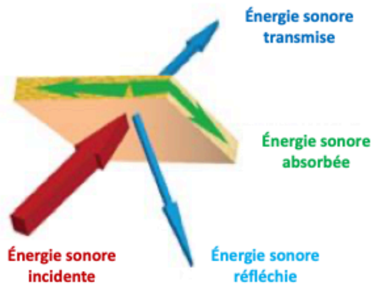


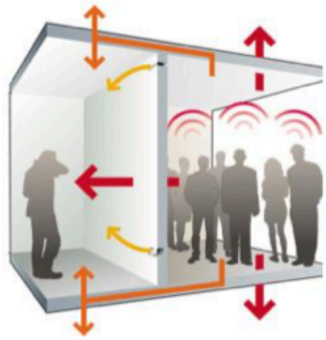
$\mathrm{R = 90 - 25 \Rightarrow R = 65\ dB}$

Définition

L'atténuation par absorption R est alors définie telle que :

$$\boxed{R = L_{incident} - L_{transmis}} \Leftrightarrow \boxed{R = 10.\log\left(\frac{I_{incident}}{I_{transmis}}\right)}$$





FONCTIONS LOGARITHME

POINT MATHS

Les fonctions **logarithme décimal (log)** et **logarithme népérien (ln)** sont liés par la relation :

$$\boxed{\log(x) = \frac{\ln(x)}{\ln(10)}}$$

De ce fait, ils ont plusieurs propriétés communes qui nous seront utiles en physique-chimie :

$$\ln(a) + \ln(b) = \ln(a.b) \quad \text{ou} \quad \log(a) + \log(b) = \log(a.b)$$
$$\ln(a) - \ln(b) = \ln\left(\frac{a}{b}\right) \quad \text{ou} \quad \log(a) - \log(b) = \log\left(\frac{a}{b}\right)$$
$$x.\ln(a) = \ln(a^x) \quad \text{ou} \quad x.\log(a) = \log(a^x)$$

De plus, la fonction exponentielle est la fonction « inverse » (bijection réciproque) de la fonction logarithme népérien alors que la puissance de 10 est la fonction « inverse » (bijection réciproque) de la fonction logarithme décimale :

$$\ln(e^x) = x \quad \text{et} \quad \log(10^x) = x$$
$$e^{\ln(x)} = x \quad \text{et} \quad 10^{\log(x)} = x$$

III. Effet Doppler

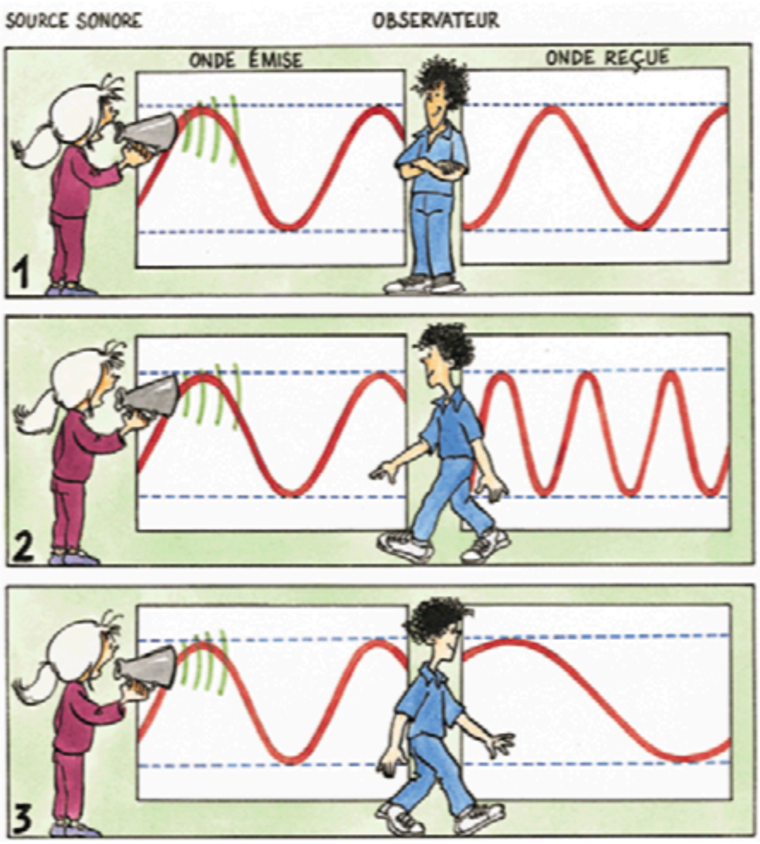
Lorsqu'un émetteur sonore produit un son dans l'air de fréquence f_S , la fréquence f_R mesurée par un récepteur dépend de la vitesse de l'émetteur v_S et de la vitesse du récepteur v_r .

La vitesse du son c (vitesse de l'onde par rapport à son milieu qui est l'air) est également un facteur à considérer dans la relation.

Récepteur immobile : mêmes fréquences $f_s = f_R$

Récepteur se rapprochant de l'émetteur :
$f_R > f_s$ fréquence reçue plus grande
son plus aigü

Récepteur s'éloignant de l'émetteur :
$f_R < f_s$ fréquence reçue plus petite
son plus grave

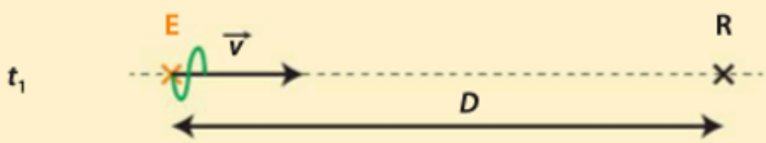


Expression du décalage Doppler

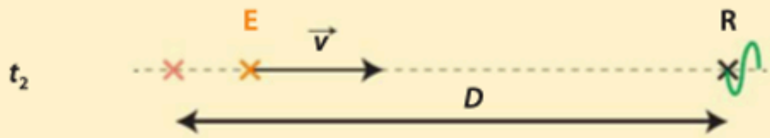
L'expression du décalage Doppler dépend du type d'onde, de la nature du mouvement de l'émetteur par rapport au récepteur et de la présence éventuelle d'une réflexion des ondes.

Considérons un émetteur d'ondes sonores E, qui se rapproche d'un récepteur fixe R avec une vitesse de valeur v. E émet avec une période T_E une succession de signaux qui se propagent à la célérité $v_{onde} > v$.

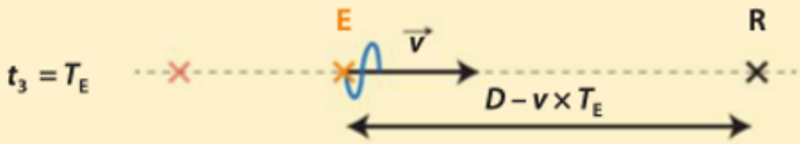
- À une date $t_1 = 0$ s, un signal est émis par E, alors que la distance entre E et R est égale à D.



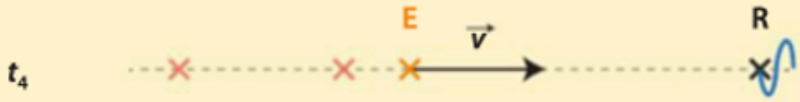
- Ce signal émis à la date t_1 est reçu par R à la date $t_2 = \dfrac{D}{v_{onde}}$.



- À la date $t_3 = T_E$, donc 1 période après la première émission, un autre signal est émis, alors que l'émetteur E se trouve à une distance $D - v \times T_E$ de R.



- Ce signal émis à la date t_3 est reçu par R à la date $t_4 = T_E + \dfrac{D - v \times T_E}{v_{onde}}$.



Les signaux émis par E avec une période $T_E = t_3 - t_1$ sont reçus par R avec une période $T_R = t_4 - t_2$.

Donc $T_R = T_E + \dfrac{D - v \times T_E}{v_{onde}} - \dfrac{D}{v_{onde}} = T_E - \dfrac{v \times T_E}{v_{onde}} = T_E \times \left(1 - \dfrac{v}{v_{onde}}\right)$.

Comme $f = \dfrac{1}{T}$, cela conduit à $f_R = f_E \times \dfrac{v_{onde}}{v_{onde} - v}$.

Quand un **émetteur se rapproche d'un récepteur fixe**, le décalage Doppler $\Delta f = f_R - f_E$ est donc : $\Delta f = f_E \times \dfrac{v_{onde}}{v_{onde} - v} - f_E = f_E \times \dfrac{v}{v_{onde} - v}$.

L'expression du décalage Doppler peut être simplifiée si la valeur de la vitesse de déplacement est très inférieure à celle de propagation de l'onde.

Pour un rapprochement :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{onde} - v} \approx f_E \times \frac{v}{v_{onde}} > 0$$

Pour un éloignement :

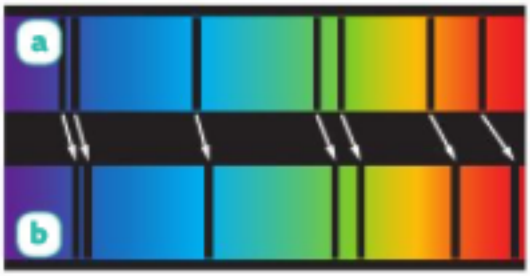
$$\Delta f = -f_E \times \frac{v}{v_{onde} + v} \approx -f_E \times \frac{v}{v_{onde}} < 0$$

- Des démonstrations de ce type peuvent être menées pour d'autres situations et permettent de relier Δf et v.

L'effet Doppler constitue une **méthode de mesure de valeurs de vitesse**.

Effet Doppler-Fizeau

Le **décalage de longueur d'onde** dû à l'effet Doppler-Fizeau permet de calculer la valeur de la vitesse d'éloignement ou de rapprochement d'une galaxie par rapport à la Terre.



› Décalage vers le rouge (*redshift*) des raies entre le spectre obtenu pour une source et un observateur immobiles a et celui obtenu pour un éloignement entre la source et l'observateur b.

Dans les faits, le décalage de longueur permet de calculer la vitesse (de translation ou de rotation) d'un objet par rapport à la Terre.

Ceci permet aussi de simuler la vision que l'on aurait d'un astre, comme par exemple pour un trou noir :

L'essentiel

Le niveau d'intensité sonore

Calcul de I à partir de L

On utilise la fonction logarithme décimal $x \mapsto \log x$ (pour $x > 0$) qui est la réciproque de la fonction $x \mapsto 10^x$:

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

- **Niveau d'intensité sonore L** en dB
- **Intensité sonore I** en $W \cdot m^{-2}$: puissance par unité de surface transportée par une onde sonore
- **Intensité sonore de référence I_0** en $W \cdot m^{-2}$

Atténuation A en décibel (dB)

Atténuation géométrique liée à la distance parcourue par l'onde sonore
$A = L_{\text{proche}} - L_{\text{éloigné}}$

Atténuation par absorption liée à la paroi traversée par l'onde sonore
$A = L_{\text{incident}} - L_{\text{transmis}}$

$A > 0$

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.

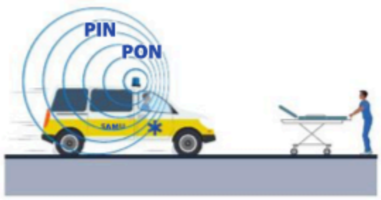
Décalage Doppler

$\Delta f = f_R - f_E$

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

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

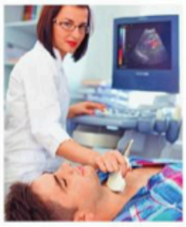
$f_R < f_E$ donc $\Delta f < 0$

Établissement de l'expression du décalage Doppler

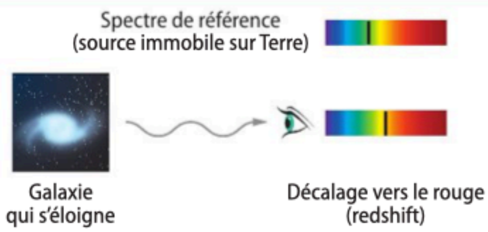
Chronologie de deux émissions consécutives de signaux et de leurs deux réceptions consécutives → Expression de T_R en fonction de T_E → Expression de f_R en fonction de f_E, puis de Δf

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