Chap X : Caractéristiques et propriétés des ondes

I. Caractéristiques des ondes : rappels sur les ondes.

Ressources **:** *Vidéo révision*

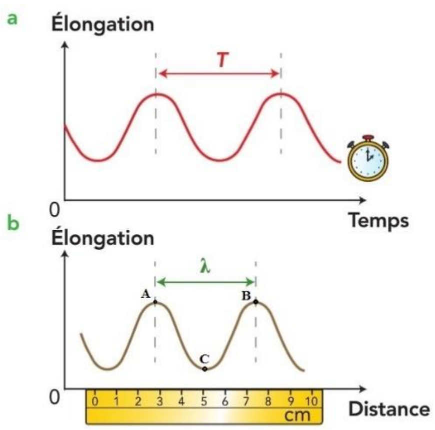
- ***Une onde est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu sans transport de matière mais avec transport d'énergie.***

  Si l'onde a besoin d'un milieu matériel pour se propager : c'est une onde mécanique.
  Si l'onde peut se propager dans le vide : C'est une onde électromagnétique.

Exemple d'ondes

- *mécaniques : ondes sismiques, ondes sonores, ondes à la surface de l'eau.....*
- *électromagnétiques : lumière, rayons X ...*

Une onde progressive sinusoïdale présente une double périodicité, spatiale et temporelle.



Période temporelle T

Élongation en *un point* donné en *fonction du temps*

Période spatiale λ

Élongation en *plusieurs points* en *un instant* donné.

Les points A et B vibrent en phase
Les points A et C vibrent en opposition de phase

- ***La période T est le temps que met la perturbation à se reproduire identique à elle-même. Elle s'exprime en seconde.***

- ***La fréquence est le nombre de perturbations par seconde. Elle s'exprime en Hertz (s^{-1})***

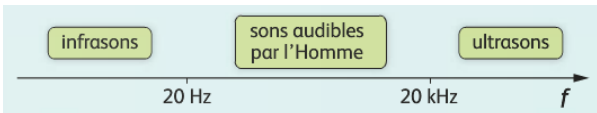
$$\boxed{f = \frac{1}{T}}$$

- ***La longueur d'onde λ (période spatiale) est la distance parcourue par la perturbation pendant une période. Elle s'exprime en mètre. C'est aussi la distance entre 2 points successifs vibrant en phase.***

$$\boxed{\lambda = v_{onde}.T = \frac{v_{onde}}{f}}$$

II. Les ondes sonores.

Ressources **:** *Vidéo 10a et 10abis*



Les ondes sonores sont des ondes mécaniques.

La perturbation qui se propage est une compression-dilatation des particules du milieu de propagation.

1°- L'intensité sonore.

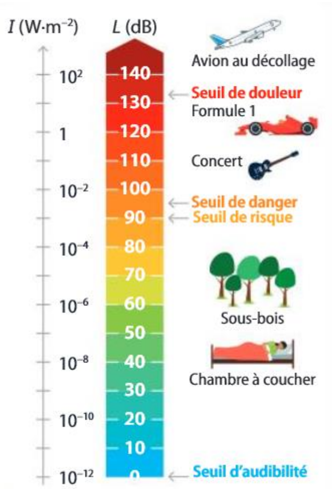
L'**intensité sonore** I est la puissance P par unité de surface S transportée par une onde sonore.

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

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

L'oreille humaine perçoit les sons dont l'intensité est comprise entre une valeur minimale I_0 (seuil d'audibilité) et une valeur maximale (seuil de douleur) qui dépendent de la fréquence et varient d'un individu à l'autre.

2°- Niveau d'intensité sonore.



Par convention, les seuils correspondent aux moyennes calculées sur la population pour des sons de fréquence 1 000 Hz.

Le niveau d'intensité sonore rend mieux compte de la sensation auditive et permet l'utilisation d'une échelle moins étendue : l'échelle logarithmique.

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

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

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

I_0 est l'**intensité sonore de référence**.

Le niveau d'intensité sonore se mesure avec un sonomètre.

L'intensité de référence choisie correspond au seuil d'audibilité moyen à 1000 Hz soit **$I_0 = 1{,}0.10^{-12}$ W.m^{-2}.**

Le niveau d'intensité sonore n'est pas proportionnel à l'intensité sonore donc si ***les intensités sonores s'additionnent, les niveaux d'intensités sonores ne s'additionnent pas !***

Expression de l'intensité sonore en fonction du niveau d'intensité sonore :

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

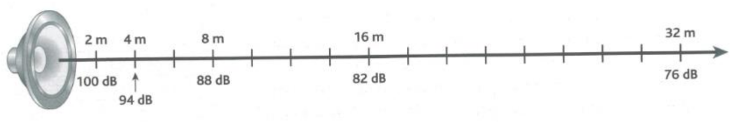
3°- L'atténuation sonore.

Lorsqu'une onde se propage, elle perd de l'énergie qui est transférée au milieu de propagation. L'atténuation rend compte de ce phénomène.

On distingue ***l'atténuation géométrique*** qui rend compte de l'énergie perdue lors de la propagation sur une certaine distance et ***l'atténuation par absorption*** qui rend compte de l'énergie perdue après traversée d'un milieu matériel.

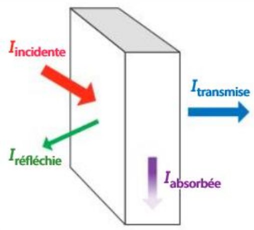
Pour une onde sonore, ***l'atténuation A mesure la diminution du niveau d'intensité sonore et s'exprime en décibel (dB)***

Atténuation géométrique



$$A = L_{proche} - L_{éloigné}$$

Atténuation par absorption



$$A = L_{incident} - L_{transmis}$$

III. Propriétés des ondes.

Il existe trois phénomènes correspondants à des propriétés spécifiques aux ondes :

La diffraction | Les interférences | L'effet Doppler

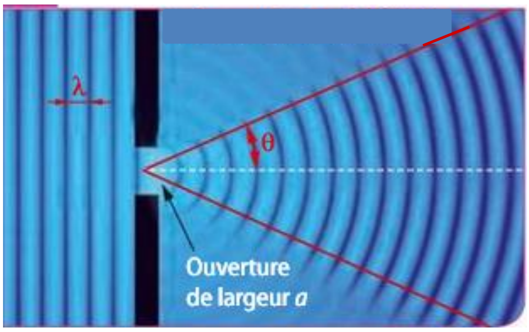
A. La diffraction.

***Ressources* : Vidéos 10b et Animation 01**

1°- Mise en évidence

- **Cas des ondes mécaniques**

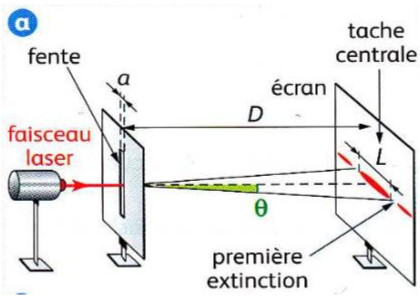
Utilisation d'une cuve à onde :

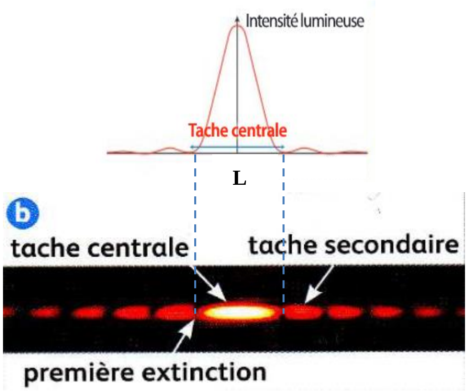


Ondes planes rencontrant un obstacle muni d'une ouverture dont la dimension a est proche ou inférieure à la longueur d'onde de l'onde ($a \leq \lambda$). Après passage au niveau de l'ouverture, l'onde devient circulaire ***de même période, de même longueur d'onde, et de même célérité que l'onde incidente***. L'obstacle se comporte comme une nouvelle source d'onde.

- **Cas des ondes lumineuses monochromatiques**

Figure de diffraction observée avec une ***fente fine rectangulaire*** **(*ouverture*)** ***ou un fil*** (***obstacle***)

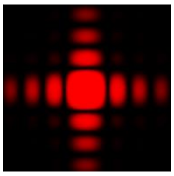




Exemples de figures de diffraction

Diffraction par une fente circulaire

Diffraction par une fente carrée



La géométrie de la figure de diffraction dépend de celle de l'objet diffractant.

(Influence de différents paramètres sur le phénomène de diffraction : *voir* ***Animation 01)***

2°- Conclusion.

- ***Définition : La diffraction est une propriété de TOUTES les ondes qui se manifeste par un étalement des directions de propagation de l'onde lorsque celle-ci rencontre un obstacle ou une ouverture de petite dimension.***

- ***La diffraction est significative si la dimension de l'obstacle est de l'ordre de grandeur ou inférieure à la longueur d'onde. L'onde diffractée a même longueur d'onde et même fréquence que l'onde incidente.***

- ***Le phénomène de diffraction est caractérisé par l'angle caractéristique de diffraction θ. Il dépend de la longueur d'onde λ et de la dimension a de l'objet diffractant, <u>mais pas de la distance écran/objet diffractant</u>.***

$$\boxed{\theta = \frac{\lambda}{a}}$$

rad $[\theta] = 1$

m $[\lambda] = L$

m $[a] = L$

Pour les petits angles, $\sin\theta \approx \theta$
Pour que θ soit en radian, il faut λ et a dans la même unité.

<u>Remarque</u> : dans le cas d'une ouverture circulaire de <u>*diamètre d*</u> : $\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}$

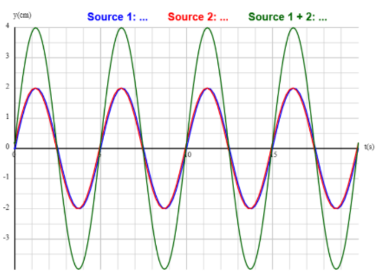
<u>Importance de la diffraction des ondes lumineuses :</u>
- Aspect **positif** : Permet de mesurer des petites dimensions à partir de la figure de diffraction. *Ex : Cristallographie*,
- Aspect **négatif** : limites la finesse des faisceaux lumineux. *Ex : Lecture optique ou Instruments d'optiques*

B- Les interférences

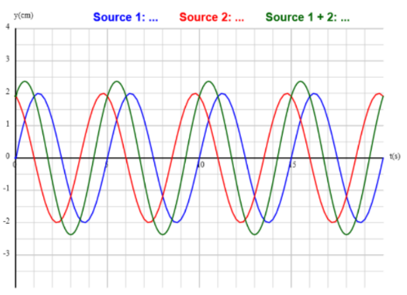
1°- Mise en évidence du phénomène d'interférences

<u>Ressource</u> : Vidéos 10c et Animation 02 et 03

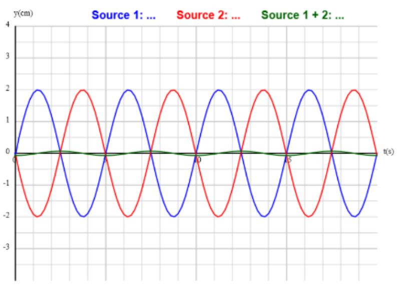
Lorsque 2 ondes se superposent en un point M, leurs amplitudes ***s'ajoutent*** : On dit que les 2 ondes ***interfèrent***.



1 et 2 sont ***en phase***



1 et 2 ont un déphasage quelconque



1 et 2 sont ***en opposition de phase***

Si les ondes ont **<u>même fréquence</u>**, on peut observer au point M :

- Un ***maximum d'amplitude*** quand les ondes arrivent au point M ***en phase***.
- Un ***minimum d'amplitude*** quand les ondes arrivent au point M en ***opposition de phase***.

2°- Conclusion

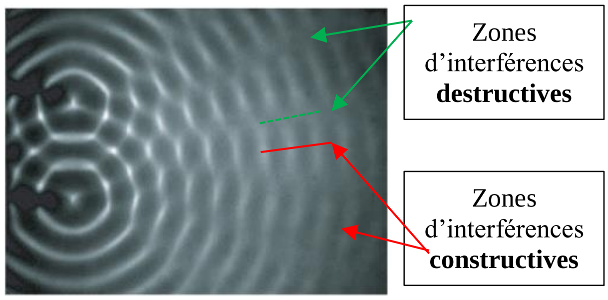
- ***Les interférences sont <u>constructives</u> en tous points où les ondes qui interfèrent arrivent <u>en phase</u>. En ces points on observe des maximums d'amplitude.***

- ***Les interférences sont <u>destructives</u> en tous points où les ondes qui interfèrent arrivent <u>en opposition de phase</u>. En ces points on observe des minimums d'amplitude.***

3°- Situations d'interférences

➢ **À la surface de l'eau**

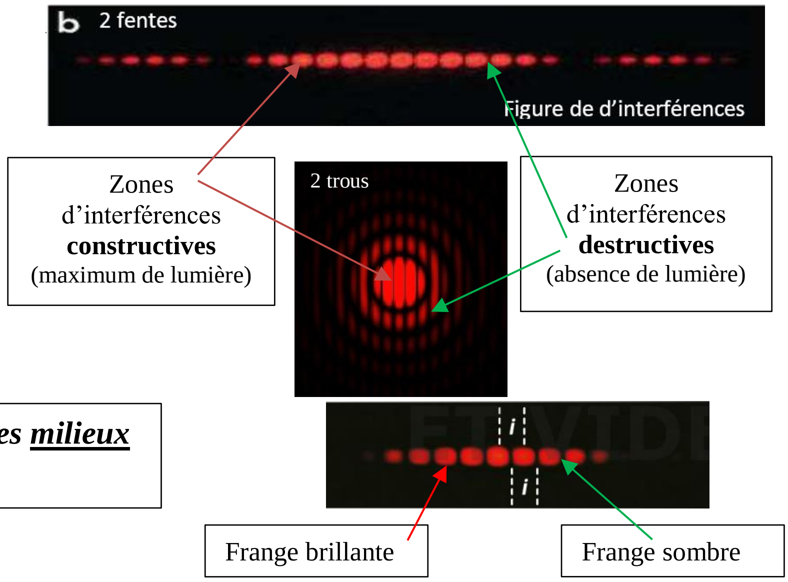
Un vibreur à 2 têtes créées 2 ondes de même fréquence qui émettent en phase.
On observe des zones de minimum d'amplitude (en vert) et des zones de maximum d'amplitude (en rouge)



➢ **En lumière monochromatique**

Un laser éclaire une fente d'Young (fente double) et un trou d'Young (double trou)

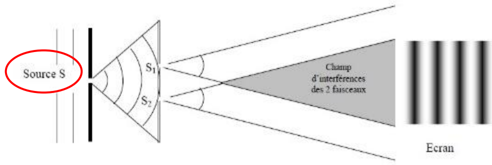
La figure de diffraction est striée par une alternance de bandes noires et lumineuses appelées « ***franges d'interférences*** »



On appelle interfrange i la distance séparant les milieux de 2 franges consécutives de même nature.

4°- A quelle condition peut-on observer des interférences ?

Pour observer des interférences, il faut que les ondes soient ***cohérentes***, c'est-à-dire qu'elles aient :
- ***la même fréquence.*** On dit qu'elles ont synchrone.
- ***un déphasage constant*** de l'une par rapport à l'autre.



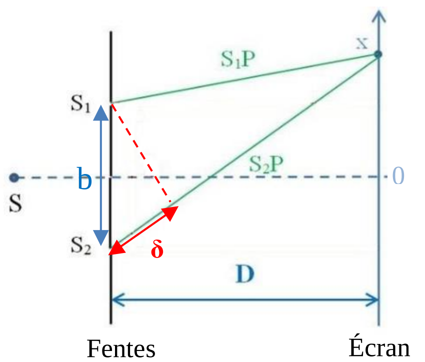
Pour que 2 ondes soient cohérentes, il faut que les 2 ondes ***soient issues de la même source***.

5°- Condition d'interférences destructives ou constructives en un point de l'espace.

a- La différence de chemin optique

Le chemin optique est la distance parcourue par un rayon lumineux dans un milieu d'indice de réfraction n.

La **différence de marche** notée **δ** (ou différence de chemin optique ΔL) est la différence de chemin optique parcourue par 2 rayons lumineux différents arrivant au même point.



Dans l'air, $\Delta L = \delta = (S_2P - S_1P)$

δ peut être positive ou négative

Par un calcul hors programme, on peut montrer que

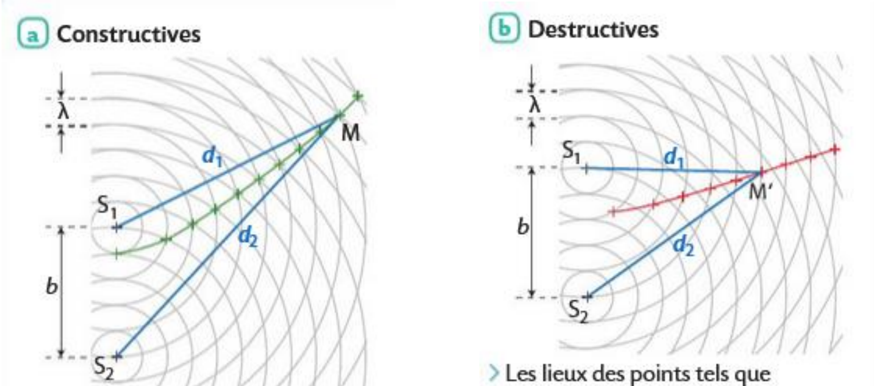
$$\delta = \frac{b \times x}{D}$$

Cette expression n'est pas à connaître

b : distance entre les fentes
x : abscisse du point P sur l'écran
D : distance fentes-Écran

Remarque : *Dans un milieu d'indice n,* $\Delta L = \delta = n \times (S_2P - S_1P) = \frac{n \times b \times x}{D}$

b- Conditions d'interférences constructives et destructives



> Les lieux des points tels que $d_2 - d_1 = \lambda$, $d_2 - d_1 = 2\lambda$, etc. ou $d_2 - d_1 = -\lambda$, $d_2 - d_1 = -2\lambda$, etc. constituent les franges de forte amplitude.

> Les lieux des points tels que $d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2}$, $d_2 - d_1 = \frac{3\lambda}{2}$, etc. ou $d_2 - d_1 = -\frac{\lambda}{2}$, $d_2 - d_1 = -\frac{3\lambda}{2}$, etc. constituent les franges d'amplitude nulle.

c Ni constructives, ni destructives. En d'autres points où les interférences ne sont ni constructives ni destructives, on observe des ondes d'amplitude intermédiaire.

Les interférences en un point P sont :

- ***Constructives*** si $\boldsymbol{\delta = k \times \lambda_0}$ avec k ∈ Z — On observe une **frange brillante** en P
- ***Destructives*** si $\boldsymbol{\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right) \times \lambda_0}$ avec k ∈ Z — On observe une **frange sombre** en P

<u>Remarque</u> :
λ_0 est la longueur d'onde dans le vide et dans un milieu d'indice n, $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ donc dans l'air $\lambda = \lambda_0$.

6°- Expression de l'interfrange

Soit x_k, l'abscisse du milieu d'une frange d'interférence k et x_{k+1} celle de la frange ***suivante*** de même nature.

L'interfrange correspond donc à $\boldsymbol{i = x_{k+1} - x_k}$

L'expression de l'interfrange peut alors être déterminée grâce à l'expression de la différence de chemin optique.

Sachant que $x_k = \frac{\delta_k \times D}{b}$, on en déduit $i = \frac{\delta_{k+1} \times D}{b} - \frac{\delta_k \times D}{b}$

<u>Cas de 2 franges brillantes consécutives</u> $\boldsymbol{\delta_k = k \times \lambda_0}$

$$i = \frac{(k+1) \times \lambda_0 \times D}{b} - \frac{k \times \lambda_0 \times D}{b}$$

Soit $i = \frac{\lambda_0 \times D}{b}\,(k + 1 - k)$

d'où $\boxed{\boldsymbol{i = \frac{\lambda_0 \times D}{b}}}$

<u>Cas de 2 franges sombres consécutives</u> $\boldsymbol{\delta_k = (k + \frac{1}{2}) \times \lambda_0}$

$$i = \frac{((k+1) + \frac{1}{2}) \times \lambda_0 \times D}{b} - \frac{(k + \frac{1}{2}) \times \lambda_0 \times D}{b}$$

$$= \frac{\lambda_0 \times D}{b} \times (k + 1 + \tfrac{1}{2} - \left(k + \tfrac{1}{2}\right) = \frac{\lambda_0 \times D}{b}\,(k + 1 + \tfrac{1}{2} - k - \tfrac{1}{2})$$

d'où $\boxed{\boldsymbol{i = \frac{\lambda_0 \times D}{b}}}$

<u>Application du phénomène d'interférence des ondes lumineuses :</u>

- Mesures de distances très petites
- Brouillage d'ondes
- Couleurs interférentielles

C- Effet Doppler (HORS PROGRAMME DES ECRITS)

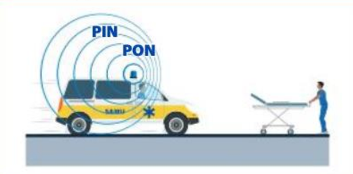
1°- Mise en évidence

Définition* : *L'effet Doppler est le fait qu'une onde émise avec une fréquence f_E est perçue avec une fréquence f_R différente lorsque l'émetteur et le récepteur sont en mouvement l'un par rapport à l'autre.

On appelle ***décalage Doppler la différence $\Delta f = f_R - f_E$*** entre la fréquence émise et la fréquence perçue, il dépend de la vitesse relative de l'émetteur par rapport au récepteur. ***Plus la vitesse de déplacement est grande et plus le décalage Doppler est grand.***

L'effet Doppler se manifeste avec toutes les ondes.

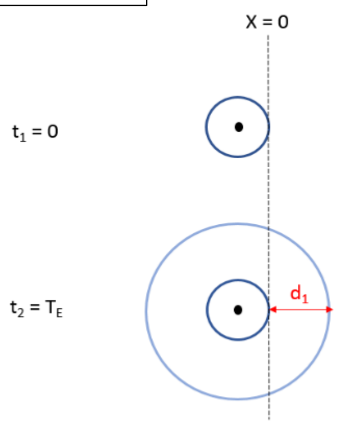
Le **signe du décalage Doppler** dépend du sens d'évolution de la distance entre l'émetteur E et le récepteur R.

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 $\Delta f < 0$

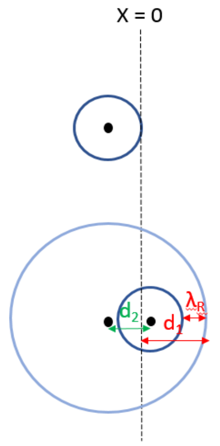
2°- Expression du décalage Doppler

On s'intéresse au cas d'un émetteur émettant des ondes avec ***une période T_E*** alors qu'il se déplace à une ***vitesse v.*** Ces ***ondes se propagent à la célérité v_{onde}.***

Cas n°1 Émetteur à l'arrêt



Cas n°2 Émetteur en mouvement



À la date $t_1 = 0$, L'émetteur émet une onde, l'onde 1 (bleu foncé).
À la date $t_2 = T_E$ l'émetteur émet l'onde suivante, l'onde 2 (bleu clair).

Lorsque l'émetteur et le récepteur *sont à l'arrêt* :

Pendant la durée $t_2 - t_1 = T_E$:
- l'onde 1 a parcouru la distance d_1, c'est-à-dire la distance parcourue par l'onde pendant la durée T_E donc $d_1 = \lambda_E$
- l'onde 2 est sur le point d'être émise mais ne s'est pas encore propagée. $d_2 = 0$

La longueur d'onde de ***l'onde perçue*** est la distance entre l'onde 1 et l'onde 2 ***à l'arrivée au récepteur***
donc $\lambda_R = d_1 - d_2 = d_1 = \lambda_E$

$$\lambda_R = \lambda_E$$

Lorsque l'émetteur *s'approche* du récepteur :

Pendant la durée $t_2 - t_1 = T_E$, :

- l'onde 1 a parcouru la distance $d_1 = \lambda_E$
- l'onde 2 est sur le point d'être émise mais à une distance d_2 parcourue par l'émetteur soit $d_2 = d_E = v \times T_E$

La longueur d'onde de ***l'onde perçue*** est la distance entre l'onde 1 et l'onde 2 à ***l'arrivée au récepteur*** donc $\lambda_R = d_1 - d_2$

$$\boldsymbol{\lambda_R = \lambda_E - v \times T_E}$$

Sachant que $\lambda = \frac{v_{onde}}{f}$ et que $T = \frac{1}{f}$ en remplaçant dans l'équation, on obtient : $\frac{v_{onde}}{f_R} = \frac{v_{onde}}{f_E} - v \times \frac{1}{f_E}$

Soit $\frac{v_{onde}}{f_R} = \frac{v_{onde} - v}{f_E}$

D'où $\boxed{f_R = f_E \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} - v}}$ lorsque **l'émetteur et le récepteur se rapprochent**.

Remarque : sachant que $v_E < v_{onde}$ on retrouve bien que lorsque l'émetteur et le récepteur se rapprochent $f_R > f_E$

On peut ainsi en déduire l'expression du décalage Doppler :

$$\Delta f = f_R - f_E = f_E \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} - v} - f_E = f_E \times \left(\frac{v_{onde}}{v_{onde} - v} - 1\right)$$

Soit $\boxed{\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{onde} - v}}$

On peut montrer avec le même raisonnement que lorsque **l'émetteur et le récepteur s'éloignent**.

$$f_R = f_E \times \frac{v_{onde}}{v_{onde} + v} \quad \text{et} \quad \Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{onde} + v}$$