.

Chap. I Mouvements vibratoires

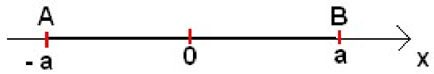
I. Définitions

Un mouvement vibratoire est un mouvement périodique de courte période (T en seconde)

II. Equation horaire d'un mouvement vibratoire

- L'équation horaire d'un tel mouvement est une fonction sinusoïdale du temps de la forme

$$y = a.\sin(\omega.t + \varphi)$$



y : élongation à l'instant t (en m)
a : amplitude ou élongation maximale (en m) a > 0
ω : pulsation (en rad.s^{-1})
t : variable temps (en s)
(ω.t + φ) : phase à l'instant t (en rad)
φ : phase initiale à t=0s (en rad)

- On appelle période T la durée d'une oscillation $T = \frac{2\pi}{\omega}$ (en s)

- La fréquence N du mouvement est le nombre d'oscillations par seconde $N = \frac{1}{T}$ (en Hz)

avec $\omega = 2\pi.N$

Remarque :

$y = a \sin(\omega.t + \varphi)$ ou $y = a \sin(2\pi N.t + \varphi)$ ou : $y = a \sin(\frac{2\pi}{T}.t + \varphi)$

$y = a \cos(\omega.t + \varphi) = \ = a \sin(\omega.t + \varphi + \frac{\pi}{2})$

Exemple : $y = 3.10^{-2} \sin(100\pi.t + \frac{\pi}{2})$ identifier a, φ et ω puis Calculer T et N

III. Vitesse du mouvement

La vitesse varie suivant l'équation $v = a.\omega \cos(\omega.t + \varphi)$

Comme $-1 \leq \cos(\omega t + \varphi) \leq 1$, la vitesse maximale est $v_{max} = a\,\omega$

IV. APPLICATION

Etablir l'équation horaire du mouvement d'un poit M. Le mouvement de M st périodique sinusoïdal de période T= 2.10^{-3}s et d'amplitude 5.10^{-3}m. Distinguer les cas suivants :

a) à t=0s, M passe par sa position d'équilibre y=0m et se déplace dans le sens positif du mouvement.

b) à t=0s, M passe par sa position d'équilibre y=0m et se déplace dans le sens négatif du mouvement.

c) à t=0s, l'élongation est maximale

φ dépend des conditions initiales : valeur de y, vitesse v à t=0s

<table>
<tr>
<td rowspan="2">à t=0s, l'élongation est maximale : y = a et v = 0

y = a. sin (ω.t + φ)
a = a. sin (ω.0 + φ)
sinφ =1 ➔ $\varphi = \frac{\pi}{2}$</td>
<td colspan="2">à t=0s, le mobile passe par sa position d'équilibre : y =0
y = a. sin (ω.t + φ)
0 = a. sin (ω.0 + φ)
sinφ =0 ➔ φ = 0 ou $\varphi = \pi$</td>
</tr>
<tr>
<td>Le mobile se déplace dans le sens positif : v > 0
v = a.ω cos (ω.t + φ)
0 = a.ω cos (ω.0 + φ) >0
cos φ > 0 ➔ φ = 0</td>
<td>Le mobile se déplace dans le sens négatif : v < 0
v = a.ω cos (ω.t + φ)
0 = a.ω cos (ω.0 + φ) < 0
cos φ < 0 ➔ φ = π</td>
</tr>
</table>

RAPPEL :

1. Cercle trigonométrique

C'est un cercle de centre O et de rayon égal à l'unité

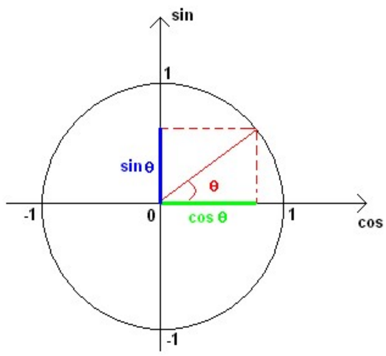


Tableau de valeurs

θ (rad)	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π
sin θ	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1	0
cos θ	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}$	$\frac{1}{2}$	0	-1

2. Quelques propriétés des fonctions sinus et cosinus

- La fonction sin est une fonction impaire **sin (-x) = - sin x**

  Ex : sin (- $\frac{3\pi}{2}$) = - sin ($\frac{3\pi}{2}$) = 1
- La fonction cosinus est une fonction paire **cos (-x) = cos x**

  Ex : cos ($\frac{\pi}{4}$) = cos (- $\frac{\pi}{4}$) = $\frac{\sqrt{2}}{2}$
- Les fonctions sin et cos son périodiques de période égale à 2π

  ∀ k ∈ Z **sin (x + 2kπ) = sin x**

  Ex : sin ($\frac{\pi}{3} + 2k\pi$) = sin ($\frac{\pi}{3}$) = $\frac{\sqrt{3}}{2}$

  cos (x+2kπ) = cos x

  Ex : $\cos\left(-\frac{\pi}{6} + 11\pi\right) = \cos\left(-\frac{\pi}{6} + 10\pi + \pi\right) = \cos\left(-\frac{\pi}{6} + \pi\right) = \cos\left(\frac{5\pi}{6}\right) = -\frac{\sqrt{3}}{2}$

Remarques k ∈ Z

cos x = 0 <=> x = (2k +1) $\frac{\pi}{2}$ **sin x = 0 <=> x = k.π**

cos x = 1 <=> x = 2k π **sin x = 1 <=> x = $\frac{\pi}{2}$ + 2kπ**

cos x = -1 <=> x = (2k + 1) π **sin x = -1 <=> x = - $\frac{\pi}{2}$ + 2kπ**

V. Représentations d'une fonction sinusoïdale

1 . Représentation de DESCARTES

C'est la représentation graphique de la fonction y ➔ f (t) :

- Ecrire la fonction sous la forme **y** = a sin ($\frac{2\pi}{T}$**.t** + φ)

y = 3.10^{-2} sin (ω.t + $\frac{\pi}{2}$)   y = a sin ($\frac{2\pi}{T}$.t + $\frac{\pi}{2}$)

- Compléter le tableau de valeurs

t (s)	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T
y (m)	a	0	-a	0	a

E x : y = 3.10^{-2} sin (100π.t + $\frac{\pi}{2}$)

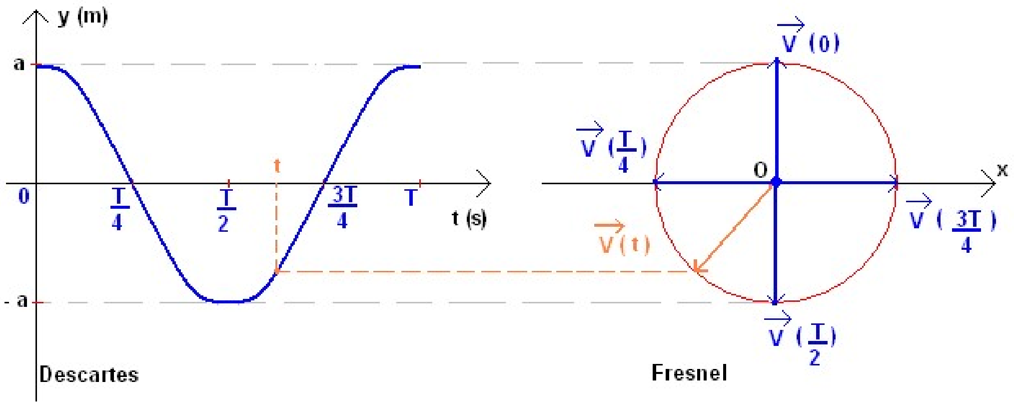
2. Représentation de FRESNEL

A une fonction sinusoïdale y = a sin (ω.t + φ) on associe un vecteur de Fresnel $\vec{V}(t)$ qui tourne autour d'un point O à la vitesse ω (rad.s^{-1}).

Caractéristiques de $\vec{V}$ à l'instant t = 0s
- appliqué au point O
- de longueur égale à l'amplitude a
- la direction est telle que ($\overrightarrow{Ox}$, $\vec{V}$) = φ

E x : y = 3.10^{-2} sin (100π.t + $\frac{\pi}{2}$)

$$\overrightarrow{OM} \left| \begin{array}{l} OM = 3.10^{-2} m \\ \varphi = \frac{\pi}{2} \end{array} \right.$$



Application : tracer les vecteurs de Frensnel correspondants aux fonctions suivantes puis faire leurs repreésentations graphiques.

y_1 = 2. 10^{-3} sin(100πt) y_2 =4.10^{-2} sin (100πt +3 π/2)

VI. Comparaison de deux mouvements sinusoïdaux de même période

Soient 2 points M_1 et M_2 en mouvement périodique sinusoïdale

M_1 $y_1 = a_1 \sin(\omega.t + \varphi_1)$ et M_2 $y_2 = a_2 \sin(\omega.t + \varphi_2)$

La différence de phase entre les deux fonctions y_1 et y_2 est

$$\Delta\varphi = |(\omega t + \varphi_1) - (\omega t + \varphi_2)| = |\varphi_1 - \varphi_2|$$

$\Delta\varphi = 0 \;\; ou \; 2k\pi$ Multiple paire de π	$\Delta\varphi = (2k+1)\pi$ Multiple impaire de π	$\Delta\varphi = (2k+1)\frac{\pi}{2}$ Multiple impaire de $\frac{\pi}{2}$
M_1et M_2 sont en phase	M_1et M_2 sont en opposition de phase	M_1et M_2 sont en quadrature de phase

Ex : $y_1 = 2 \sin(100\pi t)$ $\qquad$ $y_2 = 3 \sin(100\pi t + \pi)$

$\Delta\varphi = |\pi - 0| = \pi$ $\qquad$ M_1 et M_2 sont en opposition de phase

VII. Superposition de deux mouvements sinusoïdaux de même période

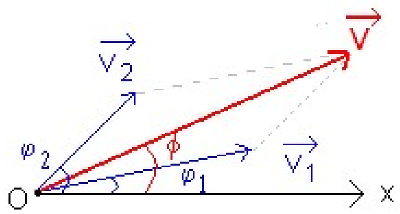
Lorsque deux mouvements sinusoïdaux se superposent, il en résulte un mouvement sinusoïdal

M_1 $\quad y_1 = a_1 \sin(\omega.t + \varphi_1)$ $\qquad$ et $\qquad$ M_2 $\quad y_2 = a_2 \sin(\omega.t + \varphi_2)$

Vecteur de Fresnel $\overrightarrow{OM_1} \begin{vmatrix} OM_1 = a_1 \\ \varphi_1 \end{vmatrix}$ $\qquad$ vecteur de Fresnel $\overrightarrow{OM_2} \begin{vmatrix} OM_2 = a_2 \\ \varphi_2 \end{vmatrix}$

Soit la **fonction somme** $\quad Y = y_1 + y_2 = \boldsymbol{A \sin(\omega.t + \phi)}$

Vecteur de Fresnel $\vec{V}$



<u>Application</u> : Déterminons la somme des deux fonctions y_1 et y_2 suivantes :

$y_1 = 3 \sin(100\pi t)$ $\qquad$ $y_2 = 2 \sin(100\pi t + \pi/2)$

y1 ➔ $\overrightarrow{OM_1} \begin{vmatrix} OM_1 = 3 \\ \varphi_1 = 0 \end{vmatrix}$ $\qquad$ y1 ➔ $\overrightarrow{OM_2} \begin{vmatrix} OM_2 = 2 \\ \varphi_2 = \pi/2 \end{vmatrix}$

(Onde progressive)

I. Définitions

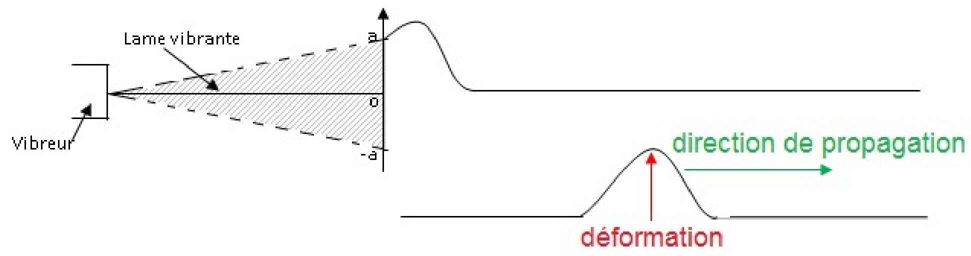
1 . Description du phénomène physique

L'extrémité S d'une lame vibrante est animée d'un mouvement sinusoïdal.(source)

- Propagation d'onde le long d'une corde :

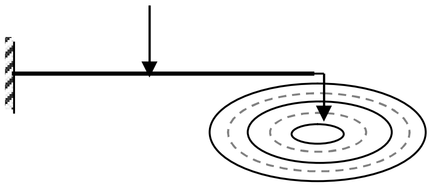
On relie la lame vibrante à l'extrémité S d'une corde qui se déforme temporairement, cette **déformation temporaire** ou **ébranlement** se déplace, se propage le long de la corde : c'est **une onde progressive**.

La corde est **le milieu de propagation**, c'est un milieu élastique : elle reprend sa forme initiale après avoir subi la déformation.

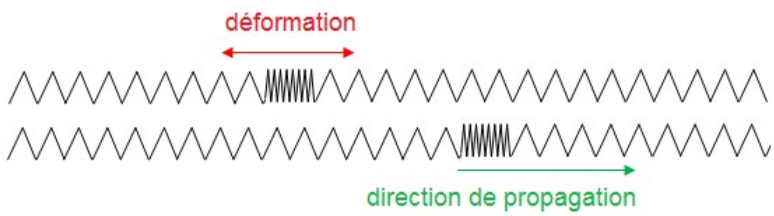


- **Propagation d'onde sur la surface libre d'un liquide**

La lame vibrante munie d'une pointe S vient frapper la surface libre d'un liquide en un point O, *on observe des rides circulaires équidistantes et concentriques qui se propagent dans toutes les directions*



- L'onde ou déformation temporaire subie par le milieu élastique peut être une
  - **Onde transversale** : la déformation est perpendiculaire à la direction de propagation (corde)
  - **Onde longitudinale** : la déformation est parallèle à la direction de propagation (ressort comprimé)



2 . Equation horaire de la source S

Une corde élastique de *longueur l* de *masse m* est tendue horizontalement par une *force d'intensité F*. L'extrémité O de la corde est attachée à une lame vibrante animée d'un mouvement sinusoïdal de *fréquence N* d'*amplitude a*.

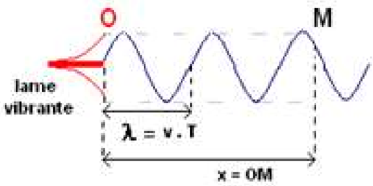
L'équation horaire du mouvement de la source S est $y_S = a.\sin(\omega.t + \varphi_S)$:

L'ébranlement se déplace le long de la corde avec une vitesse v appelée célérité :

$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ avec $\mu = \frac{m}{l}$ *masse linéique de la corde (kg.m^{-1})* *F : tension du fil (N)*

3. Equation horaire d'un point M de la corde

- Chaque point M situé à la distance x de la source S reproduit le mouvement de la source avec un retard $\boldsymbol{\theta = \frac{x}{v}}$ *θ (s) x (m) v (m.s^{-1})*



- On appelle longueur d'onde λ , la distance parcourue par l'onde pendant un période T
  C'est aussi la distance entre deux crêtes consécutives

  $\boldsymbol{\lambda = v.T = \frac{v}{N}}$ *v : célérité (m.s^{-1}) T : pérode (s)*

- Soit l'équation de la source S : $y_s = a.\sin(\omega.t + \varphi_S)$

Le mouvement de M et le même mouvement que S avec un retard θ $y_M = y_s(t - \theta)$

$$y_M = a.\sin(\frac{2\pi}{T}\,t - \frac{2\pi\,x}{\lambda} + \varphi_S)$$

Démonstration

$y_M = a.\sin(\frac{2\pi}{T}\,(t - \theta) + \varphi_S)$ or $\boldsymbol{\theta = \frac{x}{v}}$

$y_M = a\,.\,\sin(\frac{2\pi.t}{T} - \frac{2\pi}{T}\,\frac{x}{v} + \varphi_S)$ et $\boldsymbol{\lambda = v.T}$

II. Application

1) L'extrémité d'une lame vibrante est animée d'un mouvement rectiligne sinusoïdal d'amplitude 3mm, elle effectue 50 oscillations par seconde. A l'instant t=0s, S passe par sa position d'équilibre dans le sens positif des élongations.

a) Donner l'amplitude et la fréquence du mouvement de S

b) Ecrire l'équation horaire du mouvement de S

2) On relie S à une corde de longueur 1,6m de masse 200g. La corde est tendue par une force d'intensité 2N

a) Quel phénomène physique observe-ton le long de la corde ?

b) Calculer la célérité de propagation des ondes.

c) Ecrire l'équation horaire du mouvement d'un point M de la corde situé à une distance x=44cm de S

III. Représentations graphiques de y = f(t,x)

$$y_M = a.\sin(\frac{2\pi}{T}\,t - \frac{2\pi\,x}{\lambda} + \varphi_S)$$

y_M varie en fonction de x et en fonction du temps t :

- Si x est donné : y(t) sinusoïde des temps
- Si t est donné : y(x) sinusoïde des espaces (aspect de la corde à l'instant t)

y_M possède une double périodicité :

- Période temporelle : T (le mouvement se répète au bout d'une période)
- Période spatiale : longueur d'onde λ (distance entre 2 points dont les mouvements sont identiques)

1. sinusoïdes des temps y=f(t)

Ex : Equation de la source Ys= 2 sin(100πt) cm longueur d'onde λ=0,1m

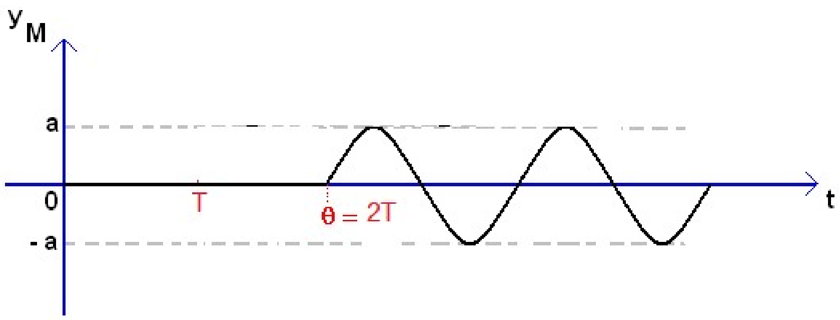
Ecrire l'équation du mouvement d'un point M situé à 0,2m de S (SM=x=0,2m) et faire sa représentation graphique.

y_M = 2 sin (100πt - -$\frac{2\pi x}{\lambda}$) = 2 sin(100πt- 4π) = 2 sin(100πt)

calculer $\frac{x}{\lambda} = \frac{\theta}{T} = n$ **ϴ = 2T**

Compléter le tableau en remplacant ω = $\frac{2\pi}{T}$

t (s)	0	$\frac{T}{4}$	$\frac{T}{2}$	$\frac{3T}{4}$	T
y (m)	0	a	0	-a	0



2. sinusoïdes des espaces y=f(x)

Ex : Equation de la source Ys =2 sin(200πt)

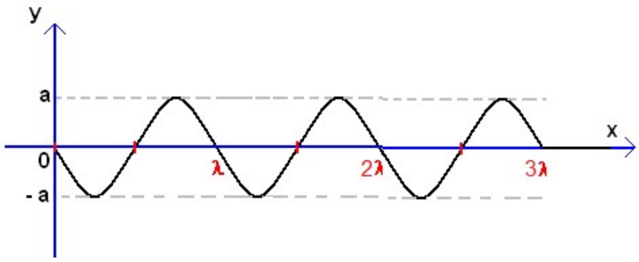
- Repprésenter graphiquement l'aspect de la corde à l'instant t=0,03s

y_M = 5 sin (200πt - -$\frac{2\pi x}{\lambda}$)= 5 sin (100π. 0,03 - -$\frac{2\pi x}{\lambda}$) = 5 sin (6π - -$\frac{2\pi x}{\lambda}$) = 5 sin (- -$\frac{2\pi}{\lambda}$)

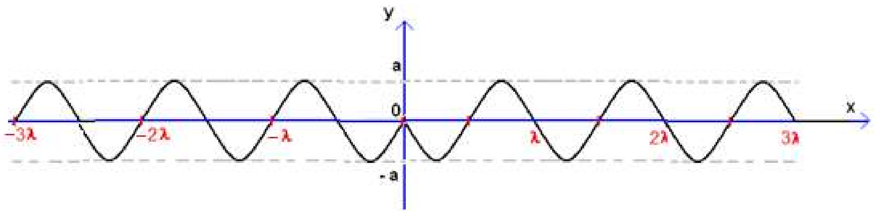
calculer $\frac{t}{T} = \frac{X}{\lambda} = n$ **(nombre de sinusoÏdes) x =3λ**

Compléter le tableau

x	0	$\frac{\lambda}{4}$	$\frac{\lambda}{2}$	$\frac{3\lambda}{4}$	λ
y	0	-a	0	a	0



- Représenter graphiquement l'aspect de la surface du liquide à t=0,03s



III. comparaison des mouvements des points S et M

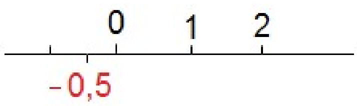
$y_S = a.\sin(\omega.t + \varphi_S)$ et $y_M = a.\sin(\frac{2\pi}{T}\,\boldsymbol{t} - \frac{2\pi\,\mathbf{x}}{\lambda} + \varphi_S)$

La différence de phase entre S et M est : $\Delta\varphi = \frac{2\pi x}{\lambda}$

S et M vibrent	en phase **$\Delta\varphi$=2kπ**	en opposition de phase **$\Delta\varphi$=(2k+1)π**	en quadrature de phase **$\Delta\varphi$=(2k+1)$\frac{\pi}{2}$**
position	$2k\pi = \frac{2\pi x}{\lambda}$ **x=kλ**	$(2k+1)\pi = \frac{2\pi x}{\lambda}$ **x = (2k+1) $\frac{\lambda}{2}$**	$(2k+1)\frac{\pi}{2} = \frac{2\pi x}{\lambda}$ **x = (2k+1) $\frac{\lambda}{4}$**
Nombre	o≤ kλ ≤ SM ¶ **0≤ k≤ $\frac{SM}{\lambda}$**	o≤ (2k+1) $\frac{\lambda}{2}$ ≤ SM **$-\frac{1}{2} \leq k \leq \frac{SM}{\lambda} - \frac{1}{2}$**	o≤ (2k+1) $\frac{\lambda}{4}$ ≤ SM **$-\frac{1}{2} \leq k \leq \frac{2\,SM}{\lambda} - \frac{1}{2}$**

<u>Exemple</u> : Sur une longueur l=1m, quels sont les nombres et positions des points qui vibrent en *<u>opposition de phase</u>* avec la source S, la longueur d'onde est de λ=0,4 m

$-\frac{1}{2} \leq k \leq \frac{SM}{\lambda} - \frac{1}{2}$ $\qquad -\frac{1}{2} \leq k \leq \frac{1}{0{,}4} - \frac{1}{2}$ $\qquad -0{,}5 \leq k \leq 2$



Il y a 3 points qui vibrant en opposition de phase avec S

K=0 **x = (2k+1) $\frac{\lambda}{2}$** x = 0,2 m

k=1 ……………….. x=0,6 m

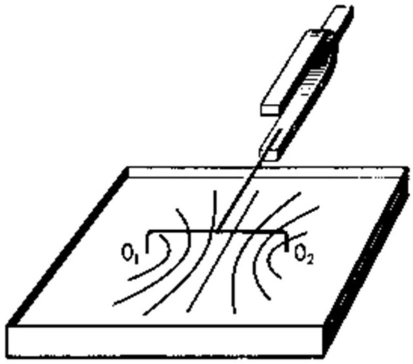
k=2 ……………….. x=1m

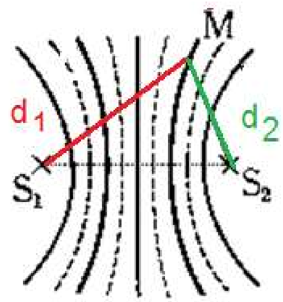
Bertone

I. Description du phénomène d'interférence mécanique

1 . Expérience

On frappe la surface libre d'un liquide a l'aide de deux pointes S_1 et S_2 sources de vibrations sinusoïdales de même période, de même amplitude et ayant la même phase





2 . Observation

Sur la surface libre du liquide, on observe des rides en forme d'arcs hyperboles appelés franges d'interférences.

Les rides apparaissent dans la région ou se superposent les 2 ondes issues de S_1 et S_2

$d_1 = S_1M$: marche de l'onde de la source S_1 vers M

$d_2 = S_2M$: marche de l'onde de la source S_2 vers M

$d_1 + d_2$: somme des marches

$d_1 - d_2$: différence des marches

3 . Equation du mouvement du point M

- Equation des sources.
  S_1 et S_2 sont synchrones (de même période donc de même pulsation)
  $y_{S1} = y_{S2} = a\sin(\omega t + \varphi)$
- L'onde issue de S_1 arrive en M : $y_M(S_1) = y_{S1}\left(t - \frac{d_1}{V}\right) = a\sin\left[\omega t - \frac{2\pi d_1}{\lambda} + \varphi\right]$
- L'onde issus de S_2 arrive en M $y_M(S_2) = y_{S2}(t - d_2) = a\sin\left[\omega t - \frac{2\pi d_2}{\lambda} + \varphi\right]$
- Les deux ondes se superposent en M
  $y_M = y_M(S_1) + y_M(S_2)$

a) Méthode 1

- factoriser a ,

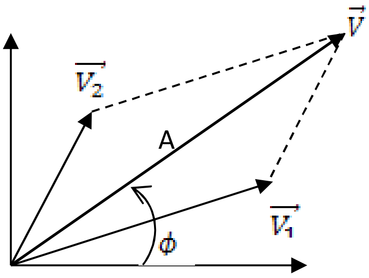
-utiliser la formule de transformation $\sin p + \sin q = 2.\cos\frac{p-q}{2} \times \sin\frac{p+q}{2}$

$$\mathbf{y_M = A\sin(\omega t + \phi)}$$ avec Amplitude $\mathbf{A = 2a\left|\cos\frac{\pi}{\lambda}(d_1 - d_2)\right|}$ et

Phase initiale $\Phi = \left[-\frac{\pi}{\lambda}(\mathbf{d_1 + d_2}) + \boldsymbol{\varphi}\right]$

b) <u>Méthode 2 :</u> méthode de Fresnel

$y_M(S_1) \Rightarrow \vec{V_1} \begin{vmatrix} OM_1 = a \\ \varphi_1 = -\frac{2\pi d_1}{\lambda} + \varphi \end{vmatrix}$ $\quad y_M(S_2) \Rightarrow \vec{V_2} \begin{vmatrix} OM_2 = a \\ \varphi_2 = -\frac{2\pi d_2}{\lambda} + \varphi \end{vmatrix}$



$y_M = y_M(S_1) + y_M(S_2) \Rightarrow \vec{V_1}\,(\mathbf{a}, \boldsymbol{\varphi_1}) + \vec{V_2}\,(\mathbf{a}, \boldsymbol{\varphi_2}) = \vec{V}\,(\mathbf{a}, \boldsymbol{\phi})$

II. Franges particulières

Franges	MOBILES	IMMOBILES
Définition	Franges d'amplitude maximale A= 2a	Frange d'amplitude nulle A=0
Conditions	$\left\lvert cos\frac{\pi}{\lambda}(d_1 - d_2)\right\rvert = 1$ $cos\frac{\pi}{\lambda}(d_1 - d_2) = \pm 1 = \cos k\pi$ $\frac{\pi}{\lambda}(d_1 - d_2) = k.\pi$ $\boldsymbol{d_1 - d_2 = k.\lambda}$	$\left\lvert cos\frac{\pi}{\lambda}(d_1 - d_2)\right\rvert = 0$ $cos\frac{\pi}{\lambda}(d_1 - d_2) = 0 = cos(2k+1)\frac{\pi}{2}$ $\frac{\pi}{\lambda}(d_1 - d_2) = (2k+1)\frac{\pi}{2}$ $\boldsymbol{d_1 - d_2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2}}$
Nombres $k \in \mathbb{Z}$	$\begin{cases} d_1 - d_2 = k.\lambda \\ \lvert d_1 - d_2\rvert < d \end{cases}$ $\lvert k.\lambda\rvert < d$ $-d < k.\lambda < d$ $-\frac{\mathbf{d}}{\boldsymbol{\lambda}} < k < \frac{\mathbf{d}}{\boldsymbol{\lambda}}$	$\begin{cases} d_1 - d_2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \\ \lvert d_1 - d_2\rvert < d \end{cases}$ $\left\lvert(2k+1)\frac{\lambda}{2}\right\rvert < d$ $-d < (2k+1)\frac{\lambda}{2} < d$ $-\frac{2d}{\lambda} - 1 < 2k < \frac{2d}{\lambda} - 1$ $-\frac{\mathbf{d}}{\boldsymbol{\lambda}} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}} < k < \frac{\mathbf{d}}{\boldsymbol{\lambda}} - \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2}}$
Position % S_1 : d_1	$\begin{cases} d_1 - d_2 = k\lambda \\ d_1 + d_2 \approx d \end{cases}$ $\boldsymbol{d_1 = \frac{d}{2} + \frac{k\lambda}{2}}$	$\begin{cases} d_1 - d_2 = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \\ d_1 + d_2 \approx d \end{cases}$ $\boldsymbol{d_1 = \frac{d}{2} + (2k+1)\frac{\lambda}{4}}$
Position % S_2 : d_2	$\boldsymbol{d_2 = \frac{d}{2} - \frac{k\lambda}{2}}$	$\boldsymbol{d_2 = \frac{d}{2} - (2k+1)\frac{\lambda}{4}}$
Position % O milieu de S_1S_2 $OM = \frac{d_1 - d_2}{2}$	$\boldsymbol{OM = \frac{k\lambda}{2}}$	$\boldsymbol{OM = (2k+1)\frac{\lambda}{4}}$

Distance entre deux points de même état vibratoire	**M_1=>** $d_1 = \frac{d}{2} + \frac{k\lambda}{2}$ M_2 ==> $d'_1 = \frac{d}{2} + \frac{k'\lambda}{2}$ k=1 et k'=2 M_1M_2= d'1 - d'2 = $\frac{\lambda}{2}$ Deux points consécutifs qui vibrent a l'amplitude maximale sont distants de $\frac{\lambda}{2}$	**M_1=>** $d_1 = \frac{d}{2} + \frac{(2k+1)\lambda}{4}$ M_2 ==> $d'_1 = \frac{d}{2} + \frac{(2k'+1)\lambda}{4}$ k=1 et k'=2 M_1M_2= d'1 - d'2 = $\frac{\lambda}{2}$ Deux points consécutifs qui vibrent a l'amplitude nulle sont distants de $\frac{\lambda}{2}$
Distance entre deux points d'états vibratoires différents	**M_1=>** $d_1 = \frac{d}{2} + \frac{k\lambda}{2}$ **M'_1=>** $d_1 = \frac{d}{2} + \frac{(2k+1)\lambda}{4}$ de même ordre deux points consécutifs d'états vibratoires différents sont distants de $\frac{\lambda}{4}$	

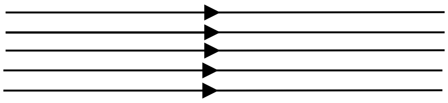
Chap. IV Interférence lumineuse

I . Nature ondulatoire de la lumière

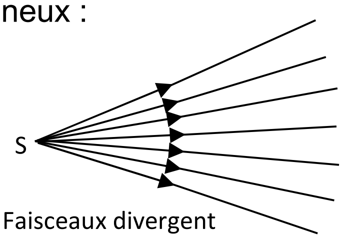
1. Rappels

- Dans un milieu transparent et homogène la lumière se propage en ligne droite, on appelle rayon lumineux le trajet rectiligne suivi par la lumière.

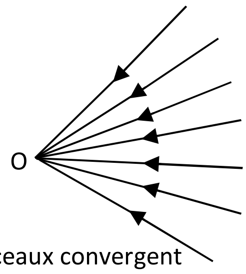
- Un faisceau lumineux est un ensemble de rayons lumineux.
  Il y a trois (3) sortes de faisceaux lumineux :



Faisceaux cylindrique ou parallèle

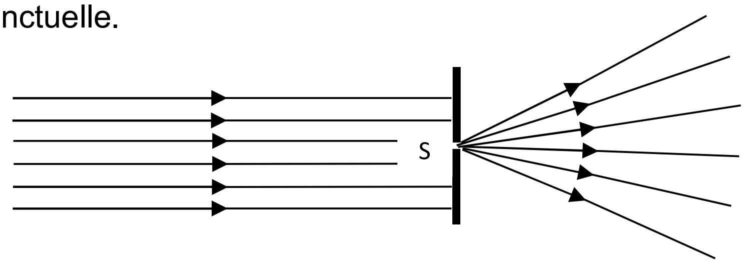


Faisceaux divergent



Faisceaux convergent

- Si une source lumineuse éclaire un trou S très fin. S reçoit la lumière et le renvoie dans toutes les directions. on dit qu'il y a diffraction de la lumière. S devient une source de lumière ponctuelle.



2. Phénomène d'interférence lumineuse

Les expériences d'interférences lumineuses permettent d'affirmer que **la lumière est une onde**.(Nature ondulatoire de la lumière) La lumière est une onde se propageant dans le vide à la vitesse $c = 3.10^{8}$ $m.s^{-1}$, de longueur d'onde λ (m) de fréquence N(Hz). Les longueurs d'onde des radiations visibles sont $400nm < \lambda < 800nm$.

Pour observer le phénomène d'interférence lumineuse on peut utiliser plusieurs dispositifs interférentiels, à savoir : les fentes de Young, les miroirs de Fresnel , le biprisme de Fresnel , la bilentille de Billet

Conditions pour avoir une interférence lumineuse

L'interférence est due à la superposition de deux lumières, il faut que ces deux sources soient **synchrones** (même fréquence) et **cohérente** (le déphasage entre les deux sources doit être constante)

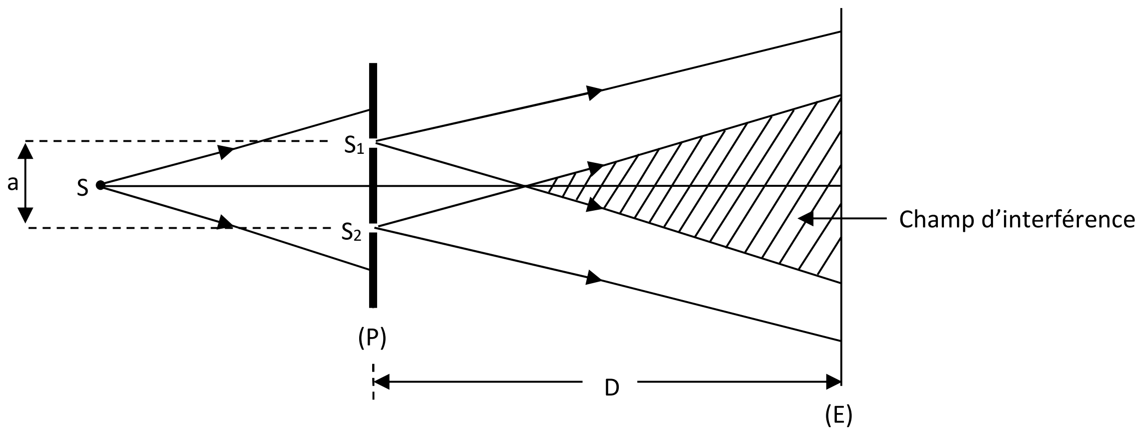
Ii. Dispositifs interférentiels

1. Fentes de YOUNG

a) **Dispositif expérimental** :

Le dispositif expérimental est composé d' :

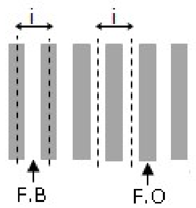
- une source ponctuelle S qu'on appelle (fente) éclairée en lumière monochromatique (une seule longueur d'onde) ;
- un écran E qui permet d'observer le phénomène ;
- entre S et E, on place un autre écran mince P percé de deux (2) fentes fines S_1 et S_2, parallèle à S et distantes l'une de l'autre de : $\mathbf{a = S_1S_2}$. On pose : $\mathbf{D = PE}$



La lumière issue de S est diffractée par S_1 et S_2 en deux (2) faisceaux qui semblent provenir de ces deux (2) fentes. La partie commune constitue le champ d'interférence.

b) **Phénomène observé** :

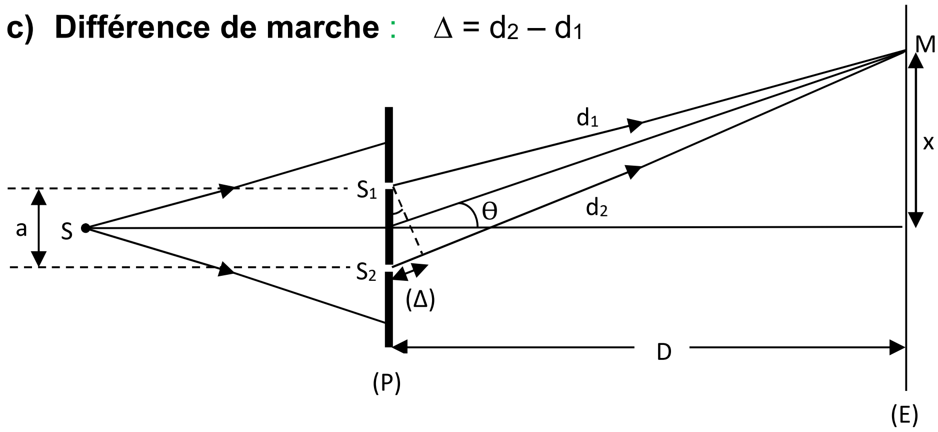
On observe sur l'écran E des raies équidistantes alternativement brillantes et obscures appelées franges d'interférences. Ces raies sont parallèles aux fentes.



Remarque :

- L'apparition de frange obscure par superposition de deux faisceaux lumineux montre que la lumière s'ajoutant à de la lumière peut produire l'obscurité ;
- par analogie avec l'interférence mécanique : les franges observées résultent d'un phénomène d'interférence mécanique. Une lumière monochromatique est donc considérée comme une vibration sinusoïdale qui se propage à partir de la source lumineuse.

c) **Différence de marche** : $\Delta = d_2 - d_1$



$\sin\Theta = \Delta / a$; $\tan\Theta = x / D$

Pour Θ petit : $\tan\Theta \approx \sin\Theta \approx \Theta \Rightarrow \Delta / a = x / D$ $\quad \Delta = d_2 - d_1 = \frac{a.x}{D}$

d) **Position des franges :**

Franges brillantes (FB) :

Par analogie à l'interférence mécanique, les franges brillantes sont des franges d'amplitude maximale :

$\Delta = d_2 - d_1 = k\lambda \Rightarrow \frac{a.x}{D} = k\lambda$ d'où: $\boxed{x = k\frac{\lambda D}{a}}$

- K=0, x=0 : frange centrale est brillante d'ordre zéro
- K=1, $x = \frac{\lambda D}{a}$: frange brillante d'ordre 1(première frange brillante)

Franges obscures (FO) :

Par analogie à l'interférence mécanique, les franges obscures sont des franges d'amplitude nulle :

$\Delta = d_2 - d_1 = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \Rightarrow \frac{a.x}{D} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$ d'où: $\boxed{x = (2k+1)\frac{\lambda D}{2a}}$

- K=0, $x = \frac{\lambda D}{2a}$: frange obscure d'ordre 1 (première frange obscure)
- K=1, $x = \frac{3\lambda D}{2a}$: frange obscure d'ordre 2 (deuxième frange obscure)

Interfrange :

On appelle interfrange, la distance séparant deux franges d'interférences de même nature consécutives.

$\boxed{i = \lambda D/a}$ i : interfrange

Positions des FB : $x = K\,i$ positions de FO $x = (2k+1)\,i$

e) **Phénomène de coïncidence :**

Lorsqu'on éclaire le dispositif interférentiel par deux lumières de longueurs λ_1 et λ_2. On observe sur l'écran les systèmes de franges données par les deux radiations. Lorsque les FB se superposent, il y a phénomène de coïncidence.

Condition de coïncidence : $x_1 = x_2$

$\Rightarrow k_1\lambda_1 D/a = k_2\lambda_2 D/a$

$\Rightarrow$ $\mathbf{k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2}$

k_1 et k_2 sont les numéros des FB qui se coïncident.

<u>Exemple :</u> On donne $\lambda_1 = 0{,}48\mu m$ $\lambda_2 = 0{,}64\mu m$

- Donner les numéros des franges brillantes qui se coïncident :
  $\mathbf{k_1\lambda_1 = k_2\lambda_2}$
  $\frac{k_1}{k_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{0{,}64}{0{,}48} = \frac{4}{3}$ la 4^{eme} FB de λ_1 coïncide avec la 3^{eme} FB de λ_2

- Les coïncidences se produisent à quelles distances ?
  $X = k_1 . i_1 = k_2 . i_2$

1ere coïncidence	2eme coïncidence (x2)	3eme coïncidence (X3)
$K_1=4$ $k_2= 3$	$k'_1 = 8$ $k'_2 = 6$	$K''_1=12$ $k''_2=9$
$X_1=4. I_1 = 3 . i_2$	$X_2 = 8\, i_1 = 6\, i_2$	$X_3 = 12\, i_1 = 9 . i_2$

- Quelle est la distance entre deux coïncidences successives
  $d = x2 – x1 = x3 – x3 = x4 - x3$

f) <u>La lumière blanche :</u>

La lumière blanche est l'ensemble de toutes les radiations de longueurs d'ondes comprises entre 0,4µm et 0,8 µm ($0{,}4\mu m < \lambda < 0{,}8\ \mu m$). Lorsqu'on éclaire un dispositif interférentiel par une lumière blanche, on observe l'écran (E), dans le champ d'interférence, des franges centrales brillantes et blanches ; de part et d'autre de la frange centrale, on a une zone irisée des franges multicolores (les 7 couleurs de l'arc-en-ciel) ; aux deux extrémités du champ d'interférence, on a un blanc d'ordre supérieur

2. <u>Miroirs de FRESNEL</u>

a) <u>rappel</u>

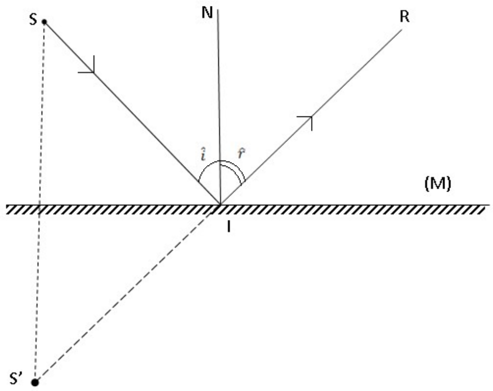
- <u>Réflexion de la lumière</u>

SI : rayon incident S' ; image de S par (M), S et S' sont symétrique par rapport a (M)

IR : rayon réfléchi $\hat{\imath}$: Angle d'incidence $\hat{r}$: angle de réflexion

IN : normale au point d'incidence I

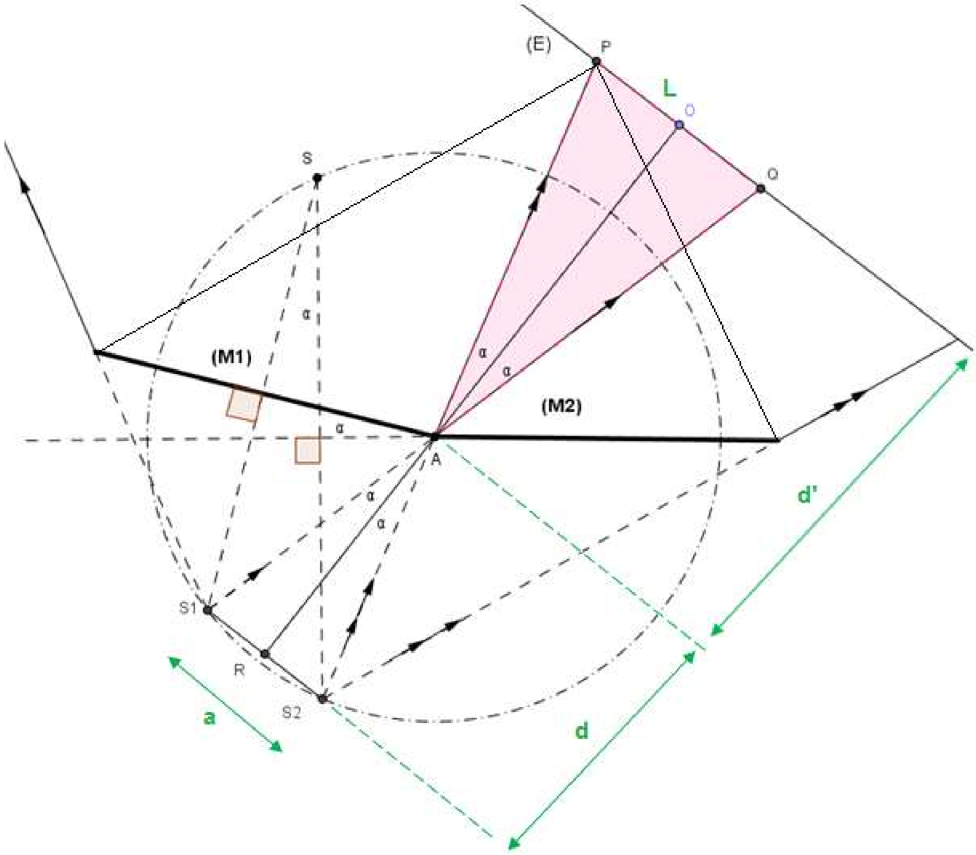
- Première loi : le rayon réfléchi est contenu dans le plan d'incidence défini par SI, IN et I
- Deuxième loi : $\hat{\imath} = \hat{r}$



b) **Dispositif expérimental**

- Deux miroirs plans M_1 et M_2 font entre eux un angle α tres petit, ils sont accolés suivant une arrête commune A. Une source de lumière monochromatique S éclaire M_1 et M_2
- Programme de construction

- Pour le miroir M_1 : construire S_1 symétrique de S par rapport à M_1
- Pour le miroir M_2 : construire S_2 symétrique de S par rapport à M_2
  Vérifier que ,S, S_1 et S_2 appartiennent au cercle de centre A
- Tracer S_1S_2 (tracer la médiatrice de S_1S_2 en pointillées)
- Placer l'écran E parallèle à S_1S_2 ,
- Tracer les rayons : $S_1 \rightarrow A \rightarrow$ (E)
  $S_2 \rightarrow A \rightarrow$ (E)
- Hachurer le champ d'interférence
- Marche des rayons lumineux :
  Rayon issus de S_1 passant par les bords de M_1 (S_1 source virtuelle)
  Rayon issus de S_2 passant par les bords de M_2 (S_2 source virtuelle)
- Placer les légendes suivant le texte : α, $a=S_1S_2$
  $D = d + d'$ distance entre les sources et l'écran



Distance S_1S_2 .**a = 2 .d** α

La largeur du champ d'interférence **L = 2 d'** α

Interfrange i $\boldsymbol{i} = \frac{\lambda\,(\boldsymbol{d}+\boldsymbol{d}').}{\boldsymbol{a}}$ D = d + d'

Nombre de franges brillantes observées x=k.i $\frac{-\boldsymbol{L}}{2.\boldsymbol{i}} \leq \boldsymbol{k} \leq \frac{\boldsymbol{L}}{2\boldsymbol{i}}$

Nombre de franges obscures observées x = (2k+1) $\frac{i}{2}$ $\frac{-\boldsymbol{L}}{2.\boldsymbol{i}} - \frac{1}{2} \leq \boldsymbol{k} \leq \frac{\boldsymbol{L}}{2\boldsymbol{i}} - \frac{1}{2}$

3. Biprisme de FRESNEL

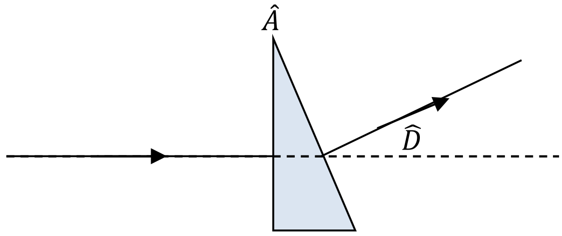
Dispositif expérimental : Il est constitué de deux prismes identiques d'angle au sommet $\hat{A}$, et d'indice de réfraction n. Chaque rayon qui traverse le prisme est dévié d'un angle $\widehat{D} = (n-1)\hat{A}$

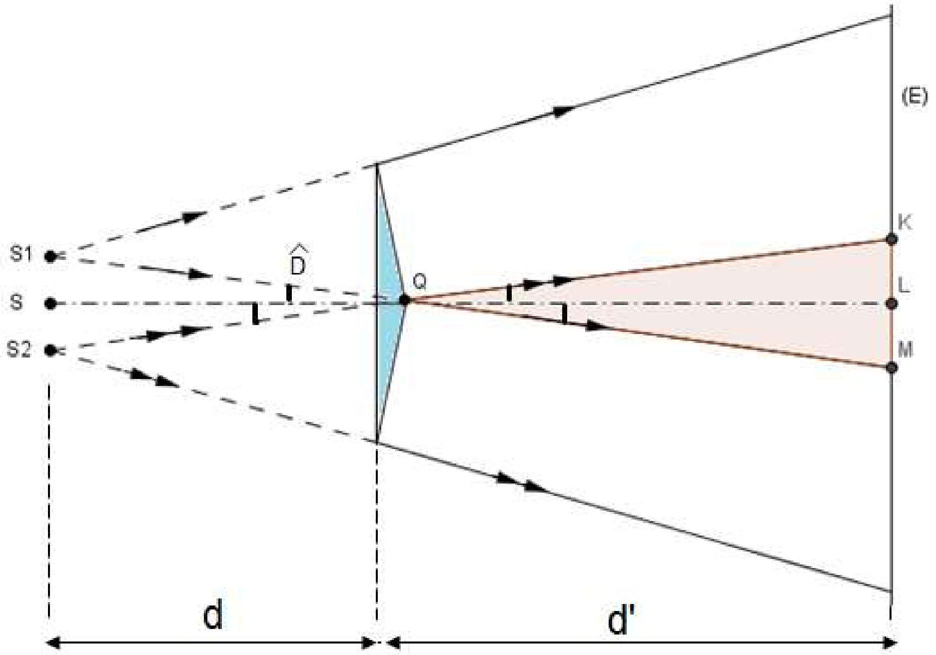
$\widehat{\boldsymbol{D}} = (\boldsymbol{n}-\mathbf{1})\widehat{\boldsymbol{A}}$;

$\hat{A}$:angle au sommet,

$\widehat{D}$: angle de déviation

n : indice de réfraction





<u>Distance S_1S_2</u>

a = $2.\widehat{D}$.d

= $2.(n-1)\widehat{A}$ .d

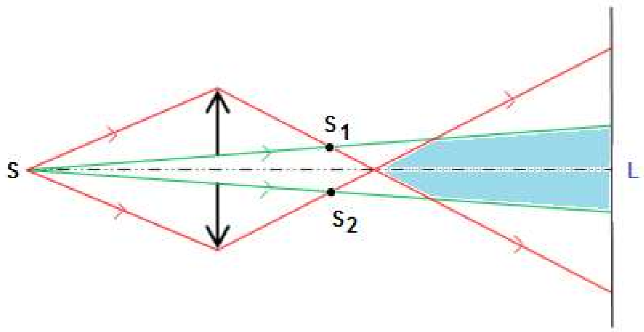
<u>Largeur du champ d'interférence</u> **L= $2.\widehat{D}$.d'**

<u>Interfrange i</u>

$$i = \frac{\lambda\,(d+d').}{a}$$

4. Demi-lentille de BILLET

Une lentille mince convergente L a été sciée suivant son diamètre et ses deux moitiés sont écartées l'une de l'autre. Une fente fine éclairée en lumière monochromatique est placée parallèlement au plan de la lentille et au plan de section, on obtient ainsi 2 faisceaux de sommets respectifs S_1 et S_2 images réelles de S dont la partie commune constitue le champ d'interférence..



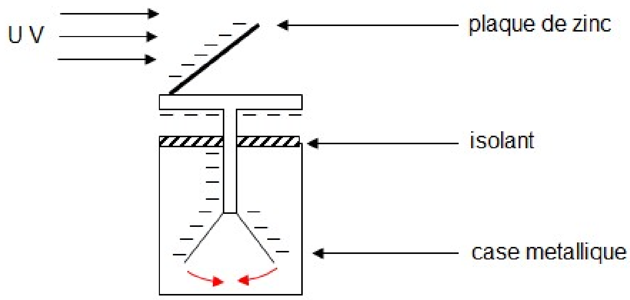
Nature corpusculaire de la lumière

1. Définition

L'effet photoélectrique est l'émission ou extraction d'électrons d'un métal convenablement éclairé par une radiation lumineuse.

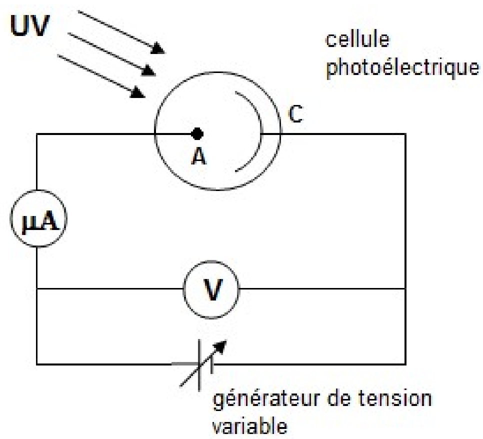
2. Mise en évidence expérimentale

a) Expérience de HERTZ : électroscope



Une plaque de Zinc asociée à un électroscope chargé négativement est éclairée par un rayonnement riche en radiation Ultra-violet (UV)
→ L'électroscope se décharge
→ Une épaisse lame de verre (opaque à l'UV) placée sur le trajet du faisceau empêche la décharge
→ *le rayonnement lumineux est capable d'arracher les électrons d'un métal si sa longeur d'onde est suffisamment faible*

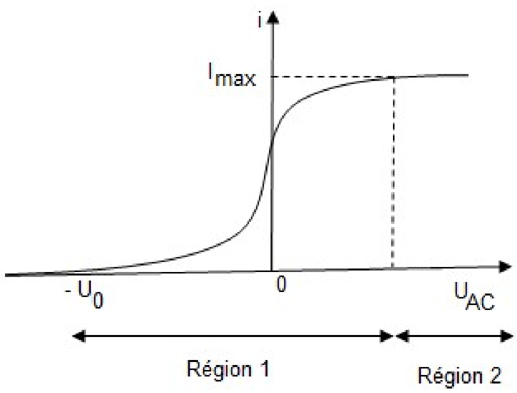
b) Expérience de MILLIKAN (Production de courant photoélectrique)



C : cathode de la cellule A : Anode de la cellule
µA : microampèremètre V : voltmètre

Lorsque la cathode de la cellule est éclairée par une lumière convenable, elle émet des électrons qui seront captés par l'anode, Le microampèremetre permet de vérifier la circulation du courant appelé courant photoélectrique.

On fait varier la tension aux bornes du gnérateur.la courbe représentant l'intensité du courant photoélectrique i en fonction de la tension U_{AC} a l'allure suivante.



Région 1 : Seul les électrons ayant une vitesse initiale suffisante gagnent A pour engendrer le courant i., si U_{AC} augmente, le nombre d'électrons captés par A augmente aussi donc i augmente
Région 2 : U_{AC} est suffisante pour premettre à A de capter tous les électrons émis par C.L'intensité du courant photoélectrique atteint sa valeur limite : courant de saturation ou intensité de saturation I_{max}

c) potentiel d'arrêt

- Pour U_{AC}=0V, i n'est pas nul car les électrons qui quittent C avec une vitesse suffisante parviennent en A,

Le potentiel d'arrêt est la tension négative ($-U_0$) appliquée entre l'anode et la cathode qui annule l'effet photoélectrique

- Calcul du potentiel d'arrêt

L'énergie cinétique maximale des électrons **Ec_{max}** à la sortie du métal dépend du potentiel d'arrêt

$$Ec_{max} = e\,Uo = \frac{1}{2}\, v_{max}^2$$

e = 1,6 10^{-19} c m = 9,1 10^{-31} kg

v_{max} : vitesse maximale des électrons à la sortie du métal ($m.s^{-1}$)

3. interprétation

a) hypothèse d'einstein : le photon

La lumière est plus généralement les rayonnements électromagnétiques se propagent par grains (quanta) d'énergie appelée photon : **nature corpusculaire de la lumière**

L'énergie d'un photon associé à un rayonnement électromagnétique de fréquence υ est donnée par

$$E = h\upsilon = h\frac{c}{\lambda}$$

h = 6,62.10^{-34}J.s constante de Planck

La longueur d'onde est liée à la fréquence par $\nu = \frac{c}{\lambda}$

c : célérité de la lumière, c= 3.$10^8$$m.s^{-1}$.

b) seuil photoélectrique

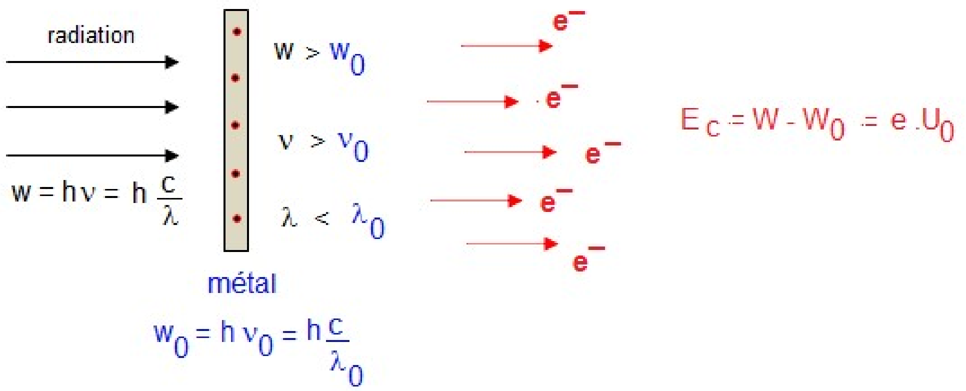
- Energie d'extractiond'un électron d'un métal : **W_0**

C'est l'énergie minimale qu'il faut fournir à un électron pour l'extraire du métal

- Longueur d'onde seuil : λ_0

C'est la longueur d'onde maximale pour extraire l'électron du métal

- Fréquence seuil υ_0
  C'est la fréquence minimale pour éxtrair e l'électron de la surface du métal



Chap.VI Propagation du son

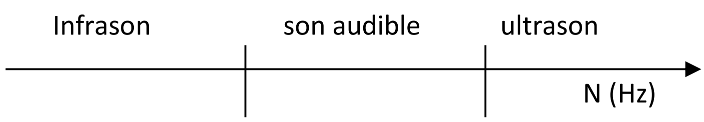
1 - PROPRIETES PHYSIQUES DU SON

Une vibration est un phénomène périodique très rapide (période faible, fréquence élevée)
Un son résulte de la mise en vibration d'un corps.

- Faire vibrer un diapason en frappant légèrement l'une de ses branches : on perçoit un son. Si on immobilise les branches du diapason en les touchant au doigt : la sensation du son s'arrête ; le même phénomène se produit avec un tambour, une corde, une flûte,
- Cordes vocales : replis membraneux du larynx que fait vibrer le courant d'air expulsé des poumons produit la voix.
- Membrane d'un haut-parleur ou d'un écouteur téléphonique

Le son ou onde sonore est caractérisé par son amplitude, sa fréquence et la nature du mouvement vibratoire qui le produit

Fréquence du son audible : l'oreille humaine n'entend que des sons dont la fréquence N est
. $20Hz<N<20kHz$



L'onde sonore est une onde longitudinale : elle produit durant son passage une vibration longitudinale, elle s'affaiblit rapidement avec la distance.

2- PROPAGATION DES ONDES SONORES

Tous les corps liquides, solides ou gazeux peuvent transmettre le son, le son ne se propage pas dans le vide. La célérité du son dépend du milieu de propagation :

dans l'air : v = 340m/s dans l'eau à 1&0°C : v = 1500m/s
dans l'acier : v = 5000m/s

V : célérité du son à la température T

Température absolue absolue du milieu en Kelvin (K): T = (t° C + 273) (K)
V_0 : célérité du son à 0°C dans un gaz donné en m/s

$$\boxed{V=V_0\sqrt{\frac{T}{273}}} \qquad \left\{ \begin{array}{l} \text{à } T = T_1 : V_1 = V_0\sqrt{\frac{T1}{273}} \\ \\ \text{à } T = T_2 : V_2 = V_0\sqrt{\frac{T2}{273}} \end{array} \right. \qquad \text{d'} \quad \boxed{V_1 = V_2\sqrt{\frac{T1}{T2}}}$$

Formule de Laplace