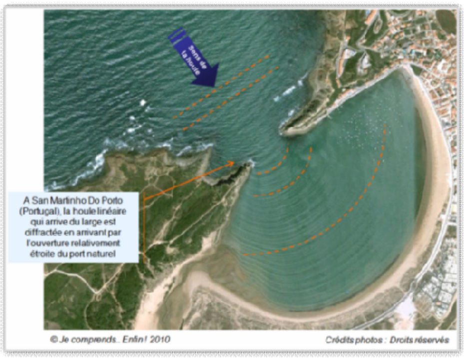
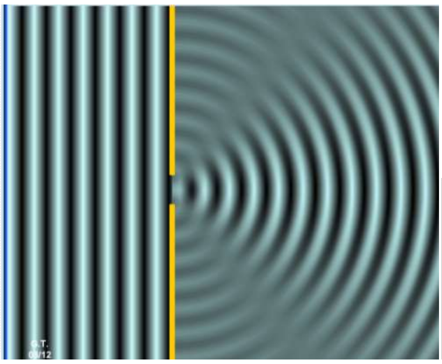
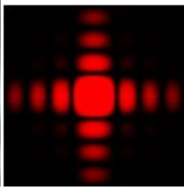
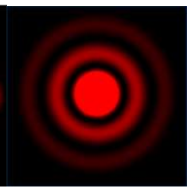
COURS 5 - DIFFRACTION - INTERFERENCES

I- La diffraction

1. Mise en évidence : [lien]



2. Définition

La diffraction d'une onde est la modification de sa direction de propagation subie au passage par une ouverture (ou un obstacle) de petite dimension.

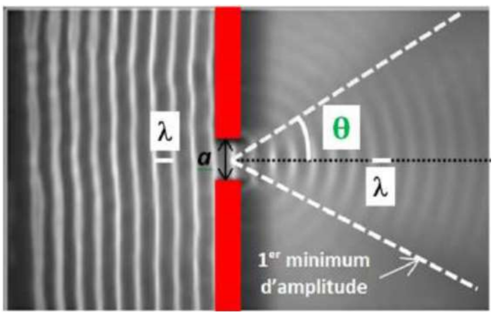
3. Conditions d'observation

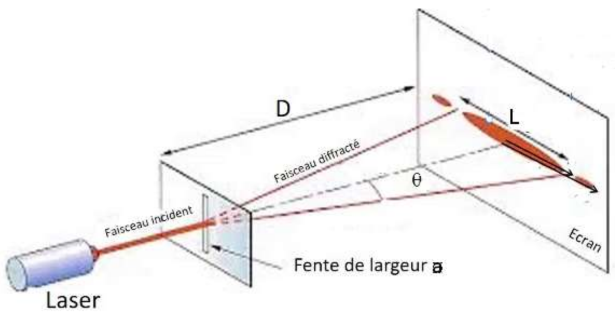
La diffraction s'observe lorsque la dimension de l'ouverture "a"**est de l'ordre de grandeur de la longueur** d'onde ou de taille **plus petite** que la longueur d'onde. $\boxed{\lambda \geq a}$

Exemple : un son de 600Hz se propageant dans l'air est-il diffracté par l'ouverture d'une porte ?
Même question pour une onde lumière du visible ?

4. Angle caractéristique de diffraction

θ est appelé écart angulaire ou demi-angle de diffraction, il est repéré par rapport au premier minimum de l'amplitude de l'onde.

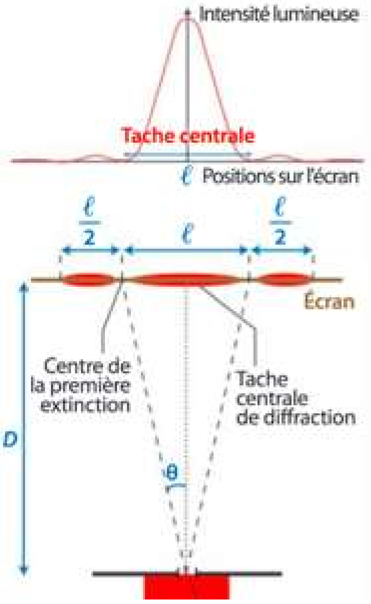




pour une ouverture rectangulaire :

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

5. Figure de diffraction dans le cas d'une onde électromagnétique monochromatique



La figure de diffraction à travers une fente possède une tâche centrale plus large (largeur L) et une succession de tâches plus petites (largeur L/2) de part et d'autre .

Dans l'approximation des petits angles, D suffisamment grand devant L.

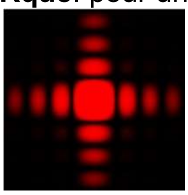
on peut écrire $\boxed{\theta = \frac{\lambda}{a}}$

θ : l'écart angulaire en **rad**
λ : longueur d'onde de l'onde incidente en **m**,
a : dimension de l'obstacle en m.

Rque : pour une largeur de fente donné a ; + λ est grand + θ est grand,
pour une longueur d'onde incidente donnée λ ; + a est petit + θ est grand

Expression liant la largeur de la fente "a" à la largeur de la tâche centrale "L" .(à savoir retrouver)

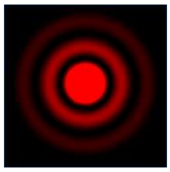
Rque: pour un trou carré :



Pour un trou de diamètre d et un angle de diffraction petit, l'angle caractéristique de diffraction vérifie

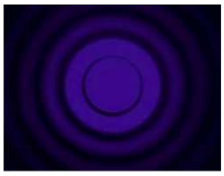
$$\boxed{\theta = 1{,}22 \times \frac{\lambda}{d}}$$

.



6. Situations de diffraction

La diffraction des ondes lumineuses limite la capacité des instruments d'optique à distinguer les détails les plus petits de l'objet observé. Dans le cas d'un télescope, dont l'ouverture est circulaire, l'image d'un point n'est pas un point mais une succession de cercles concentriques dus à la diffraction (tache d'Airy).



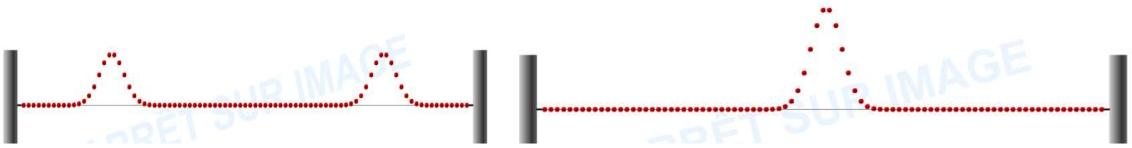
Pour déterminer la structure des cristaux et la distance entre atomes, on utilise la diffraction des rayons X. Ces faisceaux diffractés interfèrent entre eux, conduisant à la production d'un signal intense dans certaines zones précises de l'espace. C'est ce signal qui est collecté par le détecteur, et tracé sous forme d'une courbe (diffractogramme) qui présente des pics à des angles bien spécifiques de diffraction. La position de ces pics est une véritable signature de l'arrangement des atomes à l'intérieur d'un cristal

II- Les interférences

1. Conditions d'observation

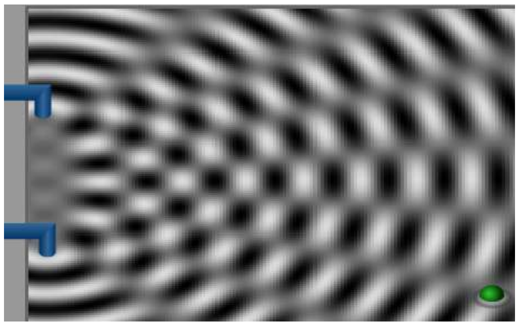
Croisement de deux impulsions : ENT

Lorsque deux perturbations de même nature (deux ondes mécaniques par exemple) se croisent, leurs amplitudes s'additionnent : on dit qu'elles interfèrent.

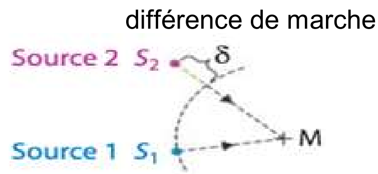


Ondes mécaniques à la surface de l'eau dans une cuve :
Animation phet ou ENT

On obtient des interférences si les deux sources d'ondes sinusoïdales sont **cohérentes,** c'est-à-dire de même fréquence et de déphasage constant. Dans ce cas, la vibration résultante au point d'interférence est une vibration sinusoïdale de même fréquence et dont l'amplitude dépend du déphasage entre les deux ondes.



Activité PYTHON ex 22 p381 pour montrer le lien entre le déphasage et la différence de marche, voir ENT

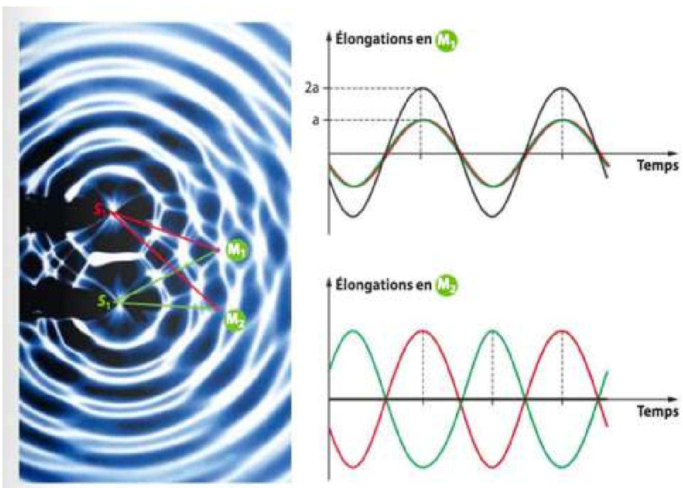


Déphasage φ: décalage temporel entre 2 ondes sinusoidales,
onde 2 est en un retard de $\tau = \frac{\delta}{v_{onde}}$ par rapport à l'onde 1

onde 1 : $y_1(t) = A \times cos\left(\frac{2\pi}{T}\right)$ et

onde 2 : $y_2(t) = A \times cos\left(\frac{2\pi(t-\tau)}{T}\right) = A \times cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi\delta}{v_{onde}T}\right) = A \times cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \frac{2\pi\delta}{\lambda}\right) = A \times cos\left(\frac{2\pi t}{T} - \varphi\right)$

2. Interférences constructives, interférences destructives

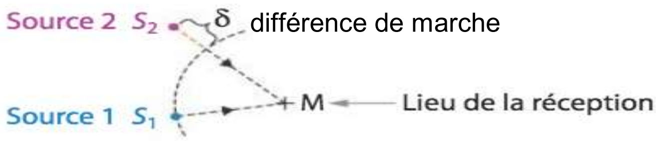


En un point M_1, si les deux vibrations issues des deux ondes sont **en phase**(déphasage nul), l'amplitude résultante en M_1 est la somme des amplitudes des deux ondes. Elle est maximale. Les interférences sont dites **constructives**.

En un point M_2, si les deux vibrations issues des deux ondes sont **en opposition de phase**(déphasage d'une demi-période), l'amplitude résultante en M_2 est minimale, nulle si les deux ondes ont la même amplitude. Les deux vibrations se détruisent. Les interférences sont dites **destructives**.

Pour tout autre déphasage, les interférences ne sont ni constructives, ni destructives

3. Conditions d'interférences constructives ou destructives (application ex 23 p381)



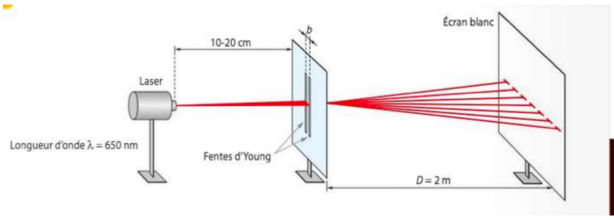
Les conditions d'interférences dépendent de la différence de distance parcourue par les deux ondes cohérentes pour parvenir au point M.
Cette différence de distance est appelée **différence de marche** δ.δ = S_2M-S_1M

La différence de marche est directement liée au déphasage entre l'onde 1 et l'onde 2, en effet $\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda}$

Interférences constructives	Interférences destructives
ondes en phase	ondes en opposition de phase
Valeurs du déphasage φ	Valeurs du déphasage φ
Valeurs de la différence de marcheδ	Valeurs de la différence de marcheδ
La différence de marche est un **nombre** ………………….de longueurs d'onde.	La différence de marche est un **nombre** …………………..de longueurs d'onde. (ou un nombre ………….. de demi-longueur d'onde

IV- Interférences de deux ondes lumineuses monochromatiques

Expérience des trous (fentes) d'Young : une source lumineuse monochromatique éclaire deux trous (ou fentes). Ces deux trous constituent deux sources secondaires cohérentes.



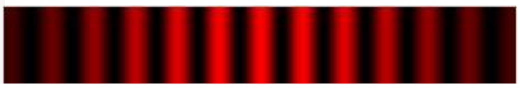
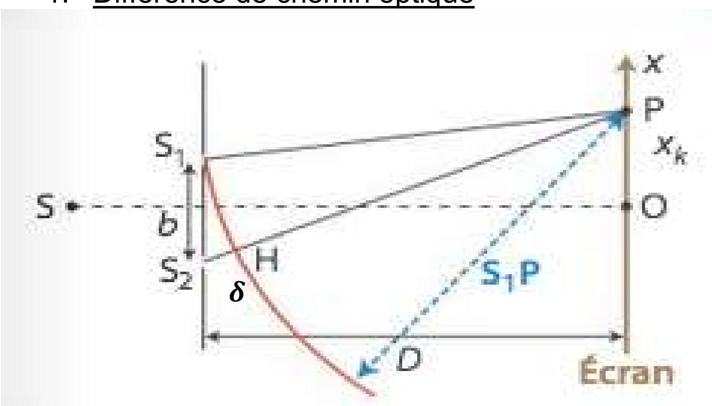


figure d'interférences

1. Différence de chemin optique



Dans le cas d'une onde électromagnétique qui se propage dans un milieu **d'indice n**, sa vitesse est $v_{onde} = \frac{c}{n}$
Ainsi le retard est$\tau = \frac{\delta}{v_{onde}} = \frac{n\delta}{c}$
Avec c, vitesse de la lumière dans le vide
Ainsi la différence de marchepour l'onde qui se propage dans le vide (ou l'air) s'identifie à $n\delta$ et est appelée différence de chemin optique.

la différence de chemin optique pour une onde électromagnétiquequi se propage dans un milieu d'indice n est : $\boldsymbol{\Delta\ell = n \times \delta}$

2. <u>Conditions d'interférences constructives ou destructives</u>

Prérequis : dans un milieu d'indice n, la vitesse de l'onde $v_{onde} = \frac{c}{n}$ avec c vitesse de la lumière dans le vide, ce qui peut s'écrire $v_{onde} \times T = \frac{c \times T}{n}$;

Or la longueur d'onde dans le milieu λ s'écrit $\lambda = v_{onde}.T$ et

la longueur d'onde dans le vide λ_0 s'écrit $\lambda_0 = c.T$; $\boxed{\text{Donc } \lambda = \frac{\lambda_0}{n} \text{ ou } \lambda_0 = n \times \lambda}$

Franges brillantes (lumineuses)	Franges sombres
Valeurs de la différence de marche δ	Valeurs de la différence de marche δ
Valeurs de la différence de chemin optique $\boldsymbol{\Delta\ell}$	Valeurs de la différence de chemin optique $\boldsymbol{\Delta\ell}$
La différence de chemin optique est un nombre ………… de longueurs d'onde dans **le vide**.	La différence de chemin optique est un nombre ………………..de longueurs d'onde dans **le vide**. Ou un nombre……… de demi-longueur d'onde
Animation ENT[activité interférences]	

3. <u>Interfrange</u>

Expression de la différence de chemin optique en fonction de la position du point M:

$$\Delta\ell = n \times S_2H$$

$S_2H = S_1S_2 \times sin\theta$ et $tan\theta = \frac{x}{D}$

Or D >> x ainsi $\theta \ll 1$

Donc

$sin\theta \approx \theta$ et $tan\theta \approx \theta$

Et $S_2H = S_1S_2 \times sin\theta \approx S_1S_2 \times \theta$

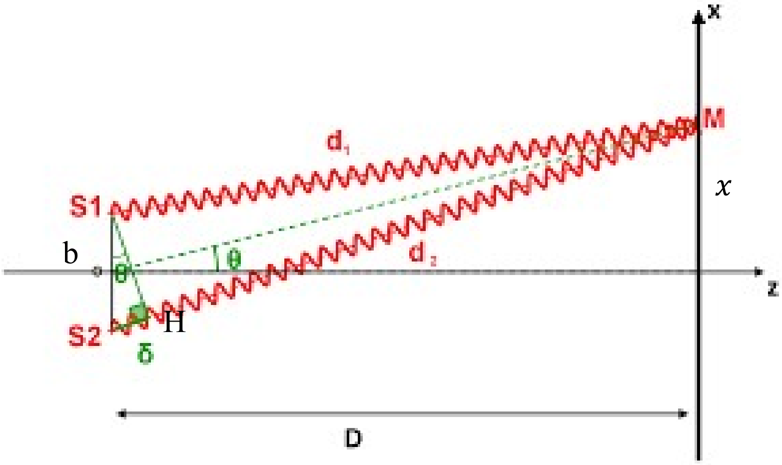
$$\theta \approx tan\theta = \frac{x}{D}$$

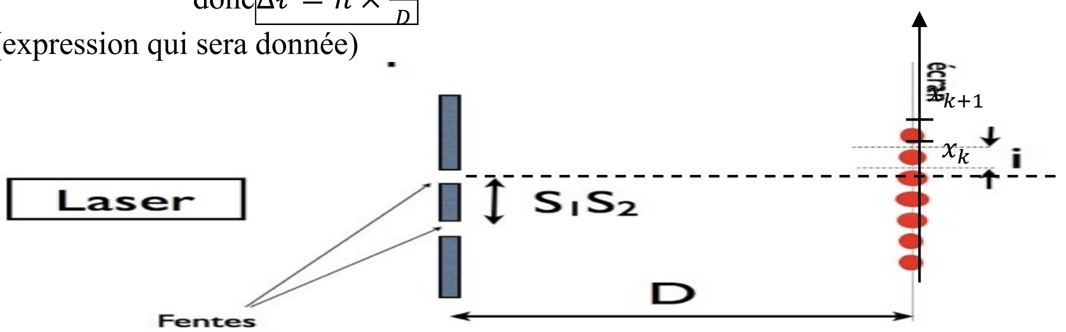
Avec $b = S_1S_2$

$$S_2H \approx S_1S_2 \times \frac{x}{D} = \frac{bx}{D}$$

donc $\boxed{\Delta\ell = n \times \frac{bx}{D}}$

(expression qui sera donnée)

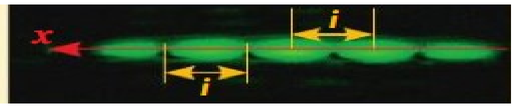




k=-1
k=0
k=1

L'interfrange i est la distance entre les centres de deux franges sombres ou de deux franges brillantes consécutives.

L'interfrange i est la différence $x_{k+1} - x_k$ séparant les 2 franges brillantes ou sombres



$i = x_{k+1} - x_k$

On détermine l'interfrange dans le cas des trous d'Young en combinant l'expression de la différence de chemin optique $\Delta\ell = n \times \frac{bx}{D}$ avec la condition d'interférences constructives $\Delta\ell = k\lambda_0$ ou destructives $\Delta\ell = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda_0$.

<table>
<tr><td>Entre deux franges brillantes consécutives
(interférences constructives)
$$\Delta\ell = n \times \frac{bx}{D} = k\lambda_0$$</td><td>Entre deux franges sombres consécutives
(interférences destructives)
$$\Delta\ell = n \times \frac{bx}{D} = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda_0$$</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">Dans les 2 cas on trouve l'expression de l'interfrange : $\boxed{i = \frac{\lambda_0 D}{nb} = \frac{\lambda D}{b}}$
Démonstration au programme
(les 3 longueurs sont exprimées en m)</td></tr>
</table>