



TUT'RENTREE PHYSIQUE

OPTIQUE GEOMETRIQUE ET ONDULATOIRE

I) Qu'est-ce que la lumière ?

A) Rappels du lycée

La lumière a une double nature : on peut en parler comme d'une onde électromagnétique, ou bien comme une particule. On parle d'une **dualité onde-corpuscule** ou onde-particule.

La particule en question est particulière : il s'agit du **photon**. C'est une particule sans masse transportant une quantité précise d'énergie.

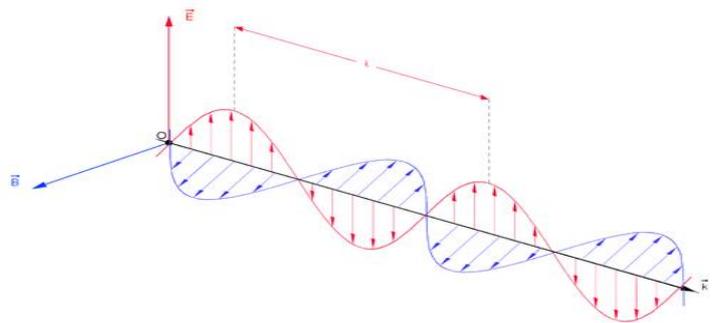
L'onde lumineuse est une **onde EM** (électromagnétique)

B) Onde Electromagnétique

Pour comprendre de quoi il s'agit, on revient à la définition de l'onde vue au lycée :

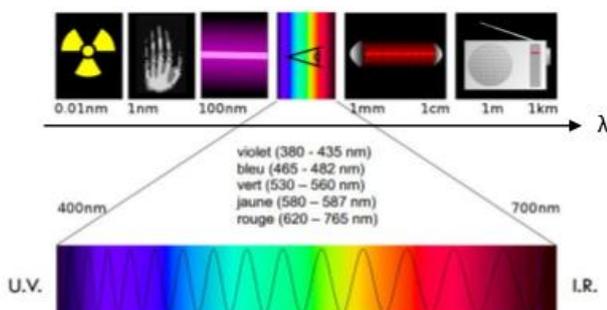
Onde = propagation d'une perturbation entraînant un déplacement d'énergie sans déplacement de matière.

La perturbation d'une onde EM est double : perturbation du **champ électrique** et du **champ magnétique**. Ces perturbations sont perpendiculaires en phase, et souvent représentées de la façon suivante :



Caractéristique particulière : leur vitesse constante, appelée célérité : $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

C) Ordre de grandeur des ondes EM



Les ondes EM peuvent être caractérisées par leur **longueur d'onde** (λ) et leur **fréquence** (ν)

$$c = \lambda \nu$$

Elles sont différenciées par ces caractéristiques, et les différents types d'ondes sont à connaître (approximativement)

III) Construction de l'image d'un objet par une lentille

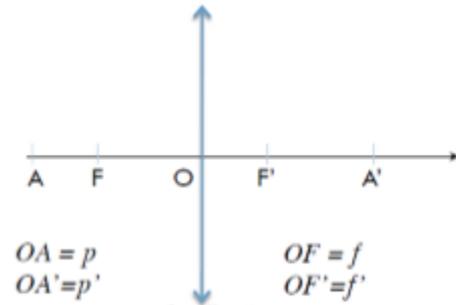
A) Lentille convergente / divergente

Les lentilles sont des objets transparents formée de deux surfaces sphériques

	vue en coupe	schéma	déviati on de la lumière
lentilles convergentes			
lentilles divergentes			

Les lentilles possèdent une **distance focale** notée f' , à laquelle tous les rayons arrivant horizontalement (parallèlement à l'axe optique) se recoupent → cette distance définit un point focal (ou foyer) :

Point focal	Objet F	Image F'
Lentille convergente	Gauche	Droite
Lentille divergente	Droite	Gauche



Cette distance focale permet de calculer la **vergence**, une valeur qui décrit une lentille :

$$D(\delta) = \frac{1}{f'}$$
 en dioptries

f' est positif pour les lentilles convergentes et négatif pour les lentilles divergentes

B) Construction de l'image

La lumière, quand elle traverse les lentilles, suit un trajet spécifique, qu'il est important de savoir retracer. Avec 2 rayons de lumière, on peut avoir l'image.

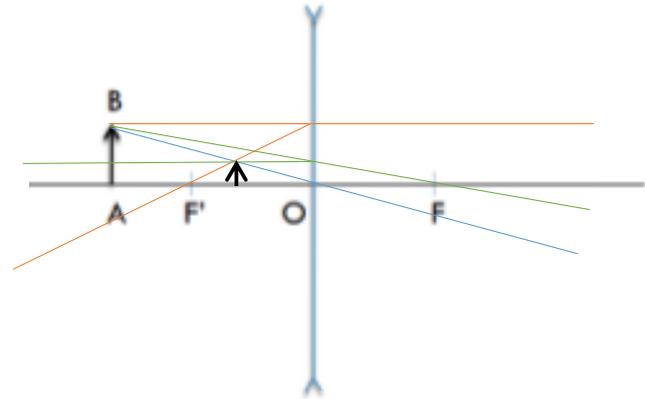
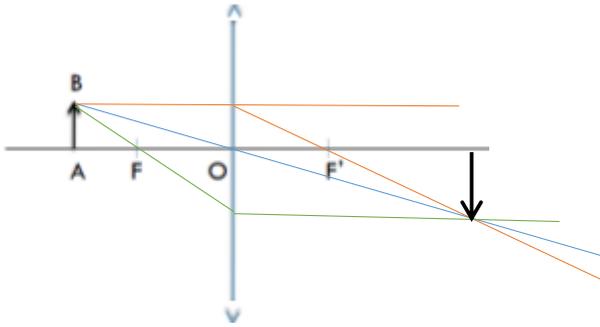
Méthode pour tracer les rayons :

- le premier rayon part du sommet de l'objet et **traverse le centre optique sans déviation**.

Puis 2 possibilités (selon vos préférences) :

- un rayon partant horizontalement du sommet de l'objet jusqu'à la lentille, puis qui se dirige vers le foyer Image
- un rayon passant par le sommet de l'objet et le foyer objet, puis qui part horizontalement à partir de la lentille

Ca peut paraître abstrait, mais avec un petit peu d'entraînement ça passe tout seul !



III) Systèmes optiques simples

A) L'oeil

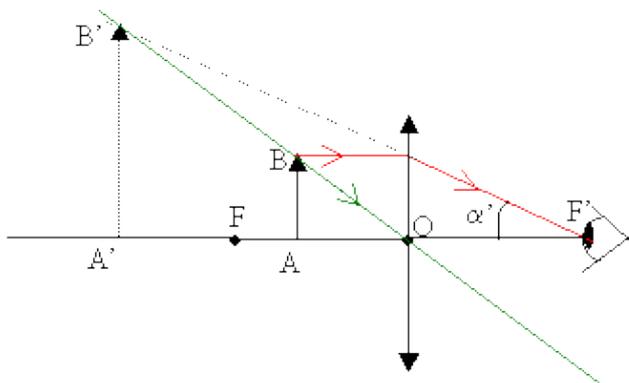
L'oeil est peut être assimilé à une lentille convergente dont la vergence peut varier, de façon à toujours former une image sur la rétine : c'est l'**accommodation**

Distances particulières à connaître :

Punctum proximum : distance minimale de vision distincte (accommodation maximum) noté Pp
chez un œil normal : $\approx 25 \text{ cm}$

Punctum remotum : distance maximale de vision distincte (accommodation minimum) noté Pr
chez un œil normal : $+\infty$

B) La loupe



Une loupe est caractérisée par sa puissance, qui est égale à sa vergence : $P = \frac{1}{f'}$

La loupe est une simple **lentille convergente**. Lorsqu'on place un objet à une distance inférieure ou égale à la distance focale, nous pouvons voir par tracer que l'image se forme à l'arrière de l'objet initial, et est plus grand. Cela signifie que l'œil va interpréter les rayons qu'il reçoit, qui semblent venir d'un objet éloigné et grand : l'objet est agrandi.

Formule du grossissement : $G = \frac{Pp}{f'} = P \cdot Pp$

Démonstration :

Le grossissement, c'est l'agrandissement de l'angle de vision donc $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$

α = plus grand angle auquel on verrait l'objet à l'œil nu → au Pp

α' = angle de vision à la loupe

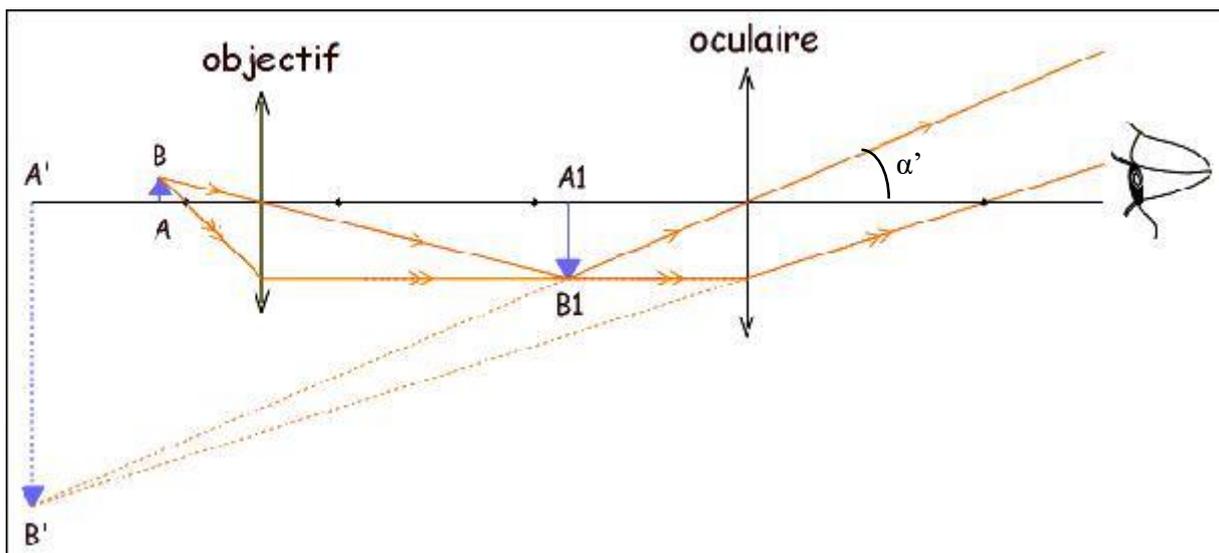
Avec une trigonométrie on trouve que $\tan(\alpha) = \frac{AB}{Pp}$ qu'on simplifie en $\alpha = \frac{AB}{Pp}$

Encore une trigo, dans le petit triangle (entre O, F' et le grand trait rouge)

$$\tan(\alpha') = \alpha' = \frac{AB}{f'}$$

$$\Rightarrow \frac{\alpha'}{\alpha} = \frac{Pp}{f'}$$

Pour un petit angle, on considère que $\tan(\alpha) = \alpha$

C) Le microscope

Le microscope est constitué de 2 lentilles convergentes.

La première, l'**objectif**, a simplement pour but de retourner l'image et de la placer vers le point focal objet de l'autre lentille, l'**oculaire**, pour que celle-ci puisse jouer un rôle proche de la loupe : l'image est créée loin en arrière et est agrandie. L'œil ne reçoit que les rayons finaux, qui semblent être venus de loin, donc l'œil interprète cette image comme s'il voyait directement un objet grand et éloigné.

Caractéristiques : la vergence de chaque lentille et l'intervalle optique (distance entre les lentilles)

Formule du grossissement : $\mathbf{G} = \frac{\Delta Pp}{f'_1 f'_2}$

Démonstration :

$$G = \frac{\alpha'}{\alpha}$$

$$\alpha = \frac{AB}{Pp} \text{ (idem loupe)}$$

$$\alpha' = \frac{A_1B_1}{f'_2} \text{ or selon Thalès, } \frac{AB}{A_1B_1} = \frac{AO_1}{A_1O_1}$$

$$\Rightarrow \text{Ici, on dit que } O_1A_1 \approx \Delta \text{ et donc en remplaçant dans l'expression on retrouve } G = \frac{\Delta Pp}{f'_1 f'_2}$$

On peut remarquer que $G_{occ} = \frac{Pp}{f'_2}$

$$\text{Et } G_{obj} = \frac{\Delta}{f'_1}$$

$$\text{Donc } \mathbf{G} = G_{occ} \cdot G_{obj}$$

IV) Interférences

Ce genre de modèle de physique parfait (comme les lentilles) ne fonctionne que quand les dimensions des objets sont largement supérieures à la longueur d'onde de la lumière. On va désormais étudier le comportement de la lumière à travers des fentes de largeur équivalente à cette longueur d'onde.

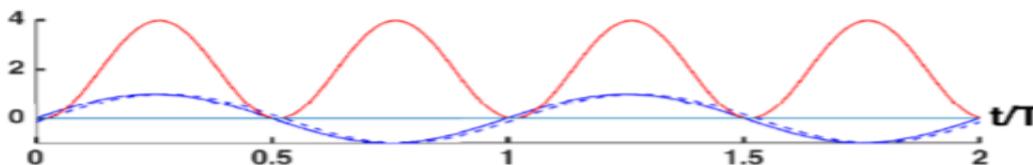
A partir de maintenant, nous considérerons donc les rayons lumineux comme des **ondes**.

A) Interférences constructives, destructives

Ce principe est simple : une onde lumineuse est une perturbation qui se propage de façon périodique.

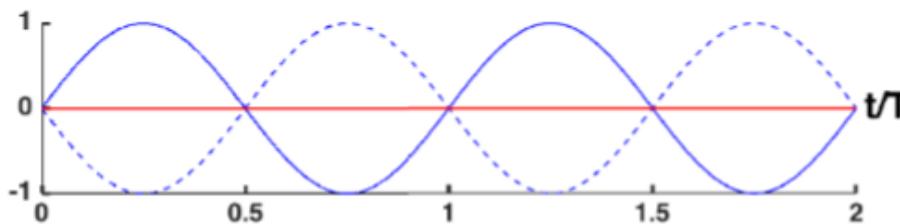
Si on superpose 2 ondes de façon à ce que les maximums de perturbation soient en même temps, on dit que les ondes sont en phase, elles n'ont aucun déphasage. La perturbation sera 2 fois plus importante.

C'est une **interférence constructive**.



Si lors de la superposition, les ondes sont décalées d'une demi longueur d'onde, alors les maximums de perturbation dans un sens auront lieu en même temps que les maximums de perturbation opposée : elles s'annulent entre elles et aucun phénomène n'est visible.

C'est une **interférence destructive**.



Ondes en opposition de phase:
Interférences destructives

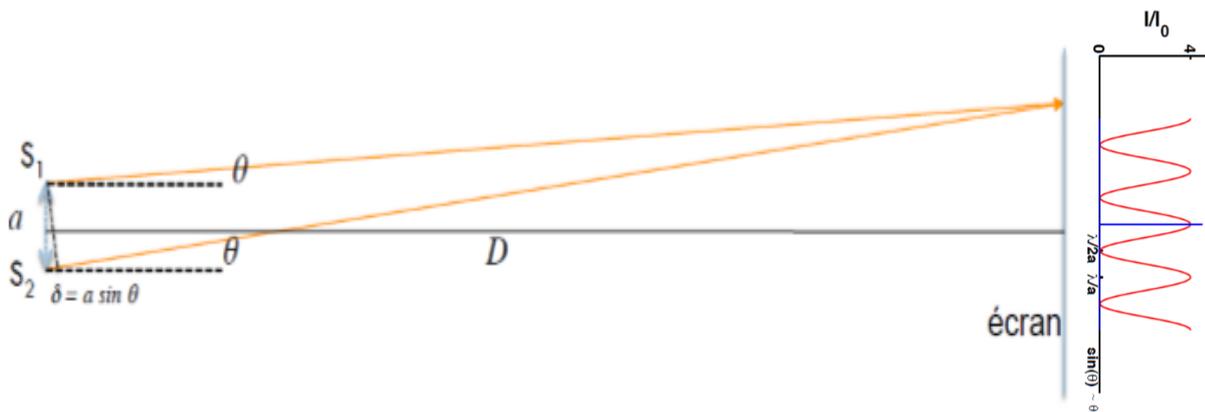
B) Interférences à 2 sources : les fentes d'Young

Pour que ces interférences fonctionnent, il faut que les ondes soient bien comme il faut : si on a plein d'ondes lumineuses qui arrivent n'importe comment, on n'observera pas le phénomène

Les ondes sont : **Monochromatiques** (une seule longueur d'onde)

Cohérentes : le déphasage est constant (elles démarrent toutes en même temps)

Le principe est de faire jouer les interférences constructives et destructives pour dessiner un motif lumineux



Les deux sources sont écartées d'une distance a .

Si les ondes se rejoignent en un point situé en face du milieu des sources, les 2 ondes parcourent exactement la même distance.

Donc si on considère cette distance comme une succession de longueur d'ondes, les ondes parcourent exactement le même nombre de longueurs d'onde \rightarrow comme elles partent en phase, elles arrivent en phase. On a donc une tache centrale

Puis en s'éloignant sur le côté, une onde parcourt une distance inférieure et l'autre supérieure. Il y a donc un déphasage qui apparaît : les maxima ne se situent plus au même endroit, et l'intensité diminue. Plus on s'éloigne du centre, plus ce déphasage est important, jusqu'au moment où il atteint la moitié de la longueur d'onde : les maxima sont synchronisés avec les minima et on a des interférences destructives.

Puis en continuant de s'éloigner l'intensité augmente à nouveau jusqu'à atteindre une nouvelle interférence constructive...

L'intervalle angulaire entre deux franges claires ou deux franges sombres (interfrange) est à

connaître : $\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$

Démonstration :

Pour les maxima, il faut que le déphasage soit de $k\lambda$ (k étant un entier quelconque)

On dirige les rayons selon un angle θ (qu'on considère identique pour les 2 rayons, cet angle variant peu et étant très petit)

En dessinant la différence de marche (notée δ), on voit une figure de trigonométrie, qui donne :

$$\sin(\theta) = \frac{\delta}{a}$$

Pour de très petits angles, $\sin(\theta) \approx \theta$, on remplace donc : $\theta = \frac{\delta}{a}$

On cherche pour quelle différence d'angle on aura un déphasage de λ ! Donc on cherche $\Delta\theta$ tel que $\delta = \lambda$

On se rappelle que pour $\theta=0$ et bien on a une frange claire, donc on cherche simplement θ tel qu'on ait à nouveau une frange claire.

$\theta = \frac{\lambda}{a}$ \rightarrow l'intervalle angulaire de l'interfrange étant constant, il vaut : $\Delta\theta = \frac{\lambda}{a}$

On cherche maintenant l'interfrange i

On a l'intervalle angulaire de l'interfrange et la distance D entre la source et l'écran, on déduit l'interfrange :

$$\sin(\Delta\theta) = \frac{i}{D}$$

Approximation des petits angles $\rightarrow \Delta\theta = \frac{i}{D} \rightarrow i = \frac{D\lambda}{A}$ (retrouvé en remplaçant $\Delta\theta$ par son expression)

C) Interférences à N sources

Quand on reproduit l'expérience des fentes d'Young en mettant plus de sources.

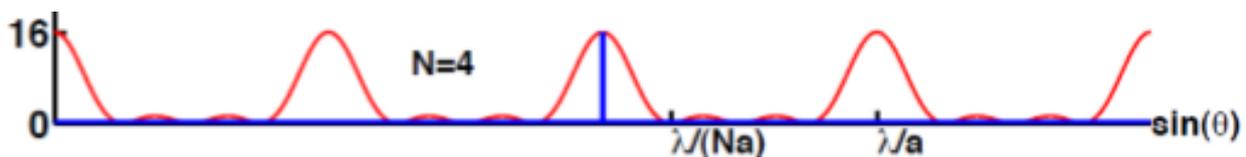
Les maxima d'intensité se trouvent aux mêmes endroits : $\Delta\theta = \lambda/a$ (ce qui paraît logique, c'est la même chose en soi) mais l'interprétation des motifs entre les franges lumineuses est plus compliquée à expliquer... Du coup on saute la démonstration ! (youpi)

Il faut juste savoir la décrire:

Pour n fentes, entre deux franges claires, il va y avoir **$N-2$ petites franges intermédiaires** réparties uniformément, toutes de même intensité.

Du coup l'intervalle angulaire entre 2 mini-franges vaut $\Delta\theta = \frac{\lambda}{Na}$

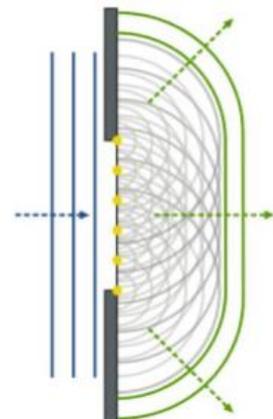
Autre info importante : savoir l'intensité des maxima d'intensité, notés $I/I_0 = N^2$



V) Diffraction

A) Principe de Huygens Fresnel

Selon lui, lorsqu'un front d'onde (c'est la « ligne » la plus éloignée à laquelle se trouve l'onde ou l'ensemble d'ondes à chaque instant) atteint une ouverture large, celle-ci se comporte comme une succession de petites ouvertures, ce qui nous donne donc un système d'interférences à n sources. Sauf que là, ça s'appelle la diffraction.



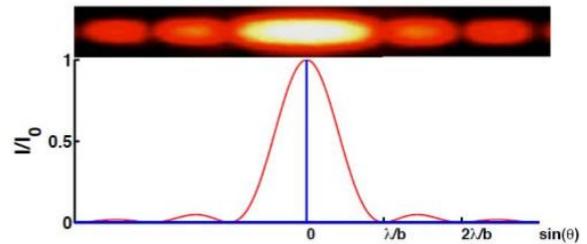
B) Figures de diffraction

Par une fente : on a une tache centrale très intense, et des taches satellites de plus en plus proches, petites et sombres → non périodique

Position des minima d'intensité : $\theta = \frac{k\lambda}{b} \Rightarrow$

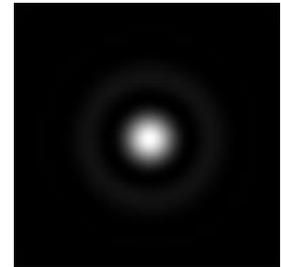
largeur angulaire de la tache centrale : $\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b}$

b étant la taille de l'ouverture (largeur de la fente)



Par un trou circulaire : Ca ressemble beaucoup, on a une tache centrale circulaire très intense (appelée **tâche d'Airy**), avec des bandes circulaires satellites qui vont en s'estompant.

Demi-largeur angulaire de la tache : $\theta = \frac{0,6\lambda}{rn}$



C) Diffraction par 2 fentes ou plus

Tout ce qu'il y a à savoir, c'est qu'on a à la fois le phénomène de diffraction et d'interférences (à 2 ou n fentes)

Mais alors, à quoi ça ressemble ?

C'est un joli bordel <3

On dessine une figure de diffraction globale, ponctuée par la figure d'interférence. En gros, on a les deux en même temps, mais c'est la diffraction qui domine !

