

OPTIQUE

**Tut' rentrée
août 2019**



SOMMAIRE

- I. Introduction à l'optique
 - a. Les ondes électromagnétiques
 - b. Propagation de la lumière au sein d'un matériau
- II. Optique géométrique
 - a. Réfraction et réflexion
 - b. Ouverture numérique
 - c. Dispersion
- III. Lentilles et dioptries
 - a. Lentilles
 - b. Dioptries sphériques
 - c. Lentilles minces
- IV. Les interférences
 - a. Définition
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources : réseau optique
- V. Diffraction
 - a. Définition
 - b. Diffraction par une seule fente
 - c. Diffraction par une ouverture circulaire
 - d. Diffraction par deux fentes

I. INTRODUCTION A L'OPTIQUE

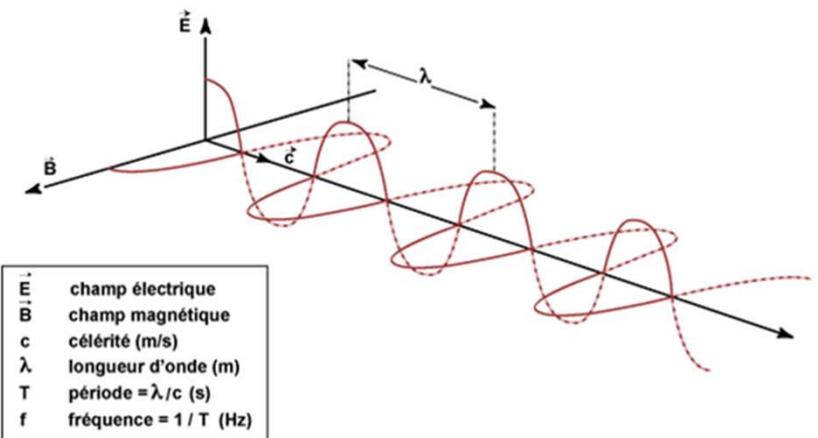


A. LES ONDES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

- I. Introduction à l'optique
 - a. Les ondes électromagnétiques
 - b. Propagation de la lumière au sein d'un matériau

Selon **Maxwell**, une onde lumineuse se définit par l'association d'un **champ électrique** et d'un **champ magnétique perpendiculaires** entre eux.

$$c = \lambda \cdot \nu$$



Une onde est un déplacement d'énergie
sans déplacement de matière

NB : La lumière peut se déplacer dans le vide, mais elle se déplace **AUSSI** dans la **matière** +++

B. PROPAGATION DE LA LUMIÈRE AU SEIN D'UN MATÉRIAU

I.

- Introduction à l'optique
- a. Les ondes électromagnétiques
- b. Propagation de la lumière au sein d'un matériau

$$v = \frac{c}{n} = v \frac{\lambda}{n}$$

Avec $n = \sqrt{\epsilon_r}$



II. OPTIQUE GÉOMÉTRIQUE

Étude des rayons sur des **systemes simples** dont l'ordre de grandeur est supérieur à $1 \mu\text{m}$.



A. RÉFLEXION ET RÉFRACTION

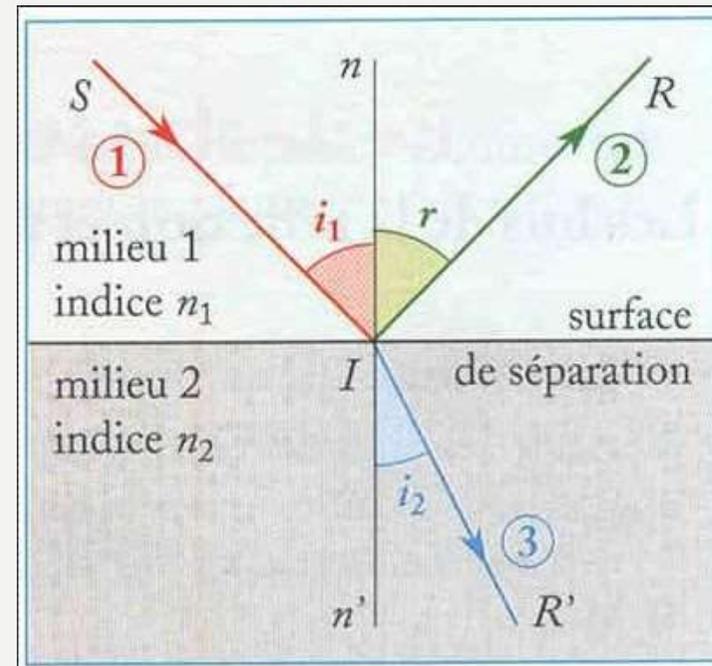
- II. Optique géométrique
- Réflexion et réfraction
 - Ouverture numérique
 - Dispersion

Dans le cas de l'angle réfracté la loi de Snell-Descartes s'applique :

$$n_1 \cdot \sin(\theta_1) = n_2 \cdot \sin(\theta_2)$$

Cas particuliers :

- angle incident = 0 → pas de déviation
- $n_1 = n_2$ → pas de déviation
- $n_1 > n_2$ → possibilité de réflexion totale



CAS PARTICULIER : LA REFLEXION TOTALE

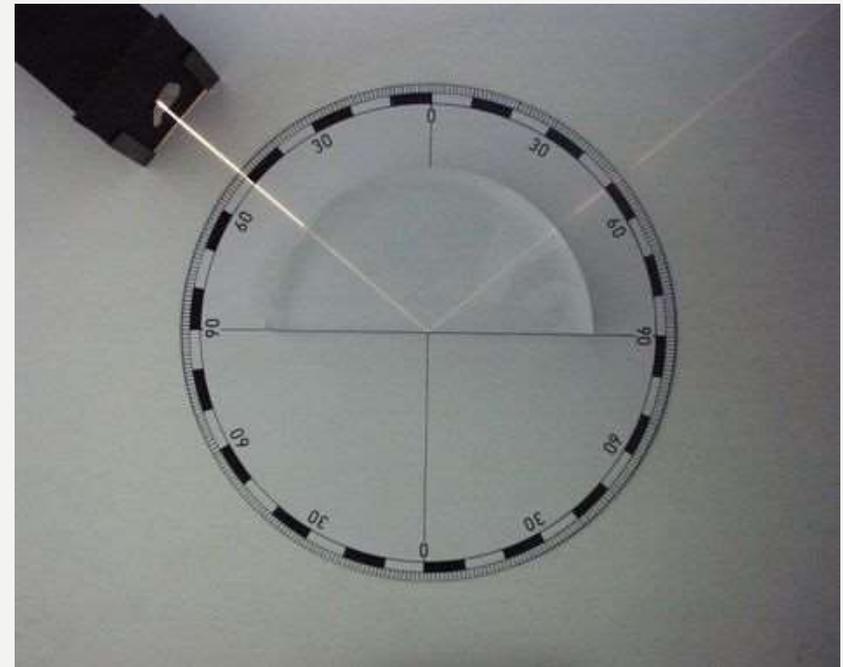
Le **rayon réfracté** existe seulement si :

$$\frac{n_1}{n_2} \sin(\theta_1) < 1$$

Il existe donc un **angle limite** tel que :

$$\sin(\theta_L) = \frac{n_2}{n_1} \Leftrightarrow \theta_L = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right)$$

Si l'angle incident est **supérieur à l'angle limite**, il y a **réflexion totale**.





B. OUVERTURE NUMÉRIQUE

- II. Optique géométrique
- Réflexion et réfraction
 - Ouverture numérique
 - Dispersion

$$n_{\text{coeur}} > n_{\text{gaine}}$$

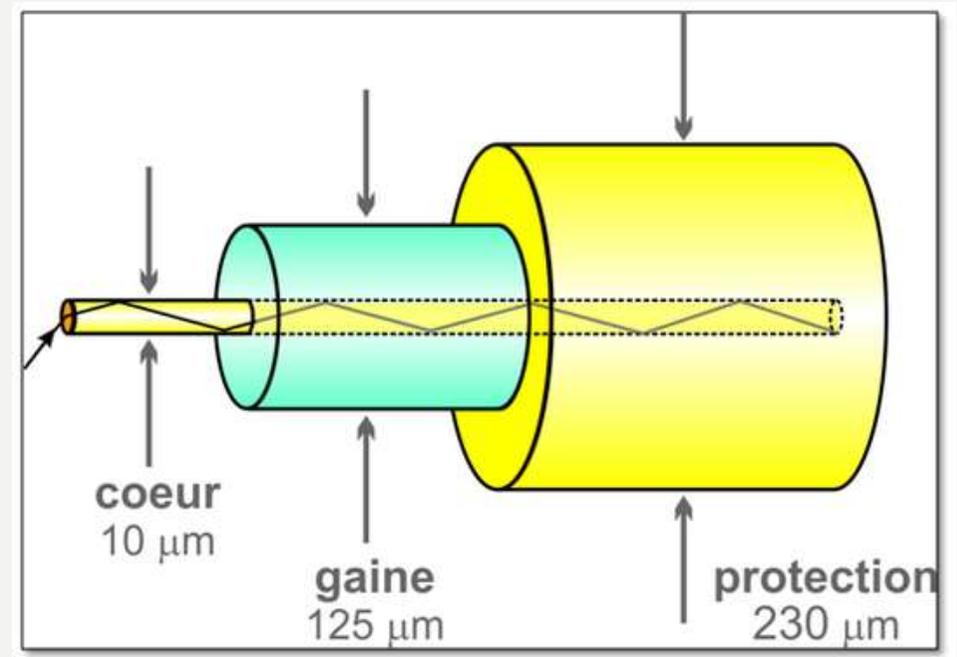
Si on envoie le rayon avec un angle suffisamment « plat », on a un déplacement sur de **très longues distances**

Ouverture numérique

$$n \cdot \sin(\theta_A) = \sqrt{n_{\text{coeur}}^2 - n_{\text{gaine}}^2}$$

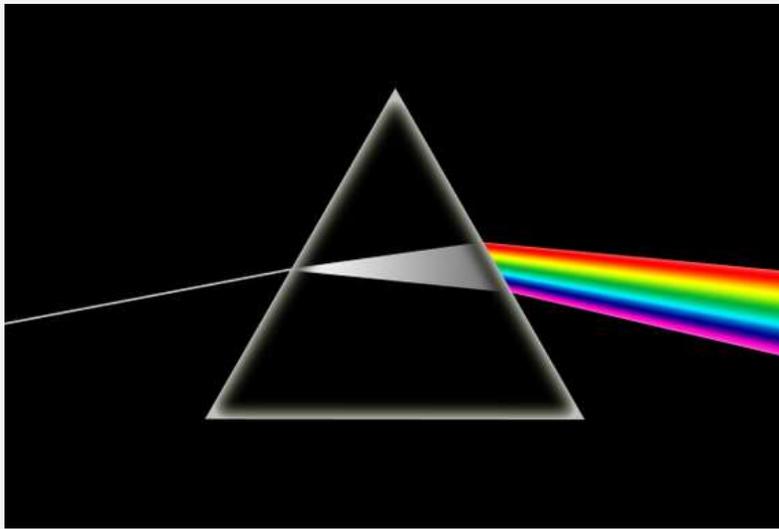
$$NA = n \cdot \sin(\theta_M)$$

Avec θ_M le **demi-angle d'ouverture**



C. DISPERSION

- II. Optique géométrique
 - a. Réflexion et réfraction
 - b. Ouverture numérique
 - c. Dispersion



Loi de Cauchy :

$$n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2}$$

III. LENTILLES ET DIOPTRES



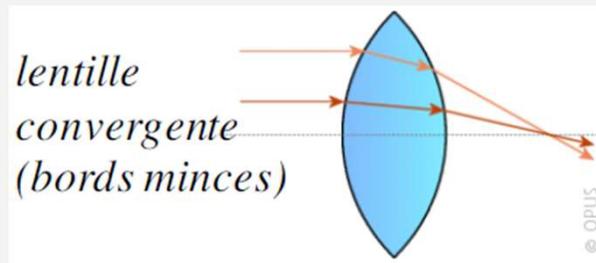
- III. Lentilles et dioptries
 - a. Lentilles
 - b. Dioptries sphériques
 - c. Lentilles minces



A. LENTILLES

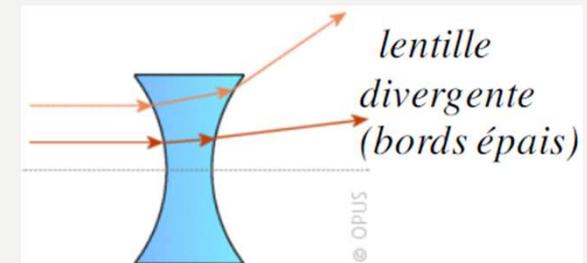
Lentille : association de deux dioptries, souvent sphériques.

Lentille à bords minces :



Convergente

Lentille à bords épais :



Divergente

NB : Les rayons **divergent** depuis un **objet réel** mais **convergent** vers un **objet virtuel**.

B. DIOPTRES SPHÉRIQUES

1) DIOPTRES CONVEXES : $\overline{SC} > 0$

- III. Lentilles et dioptries
 - a. Lentilles
 - b. Dioptries sphériques
 - c. Lentilles minces

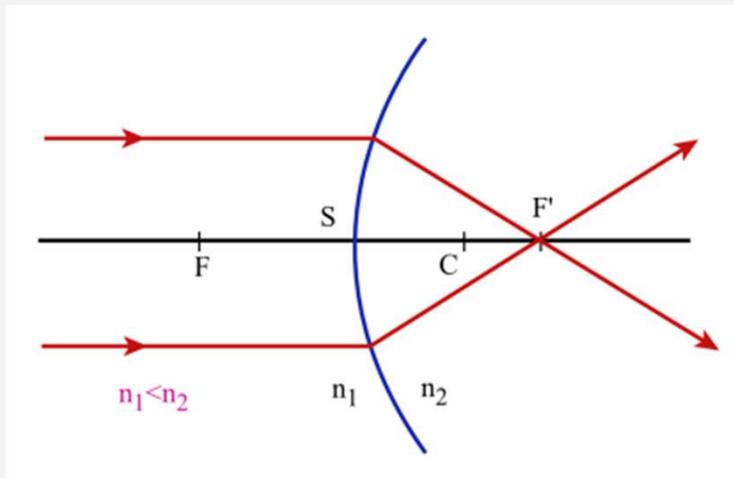
Avec p la distance objet (SA) et p' la distance image (SB)

$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = D$$

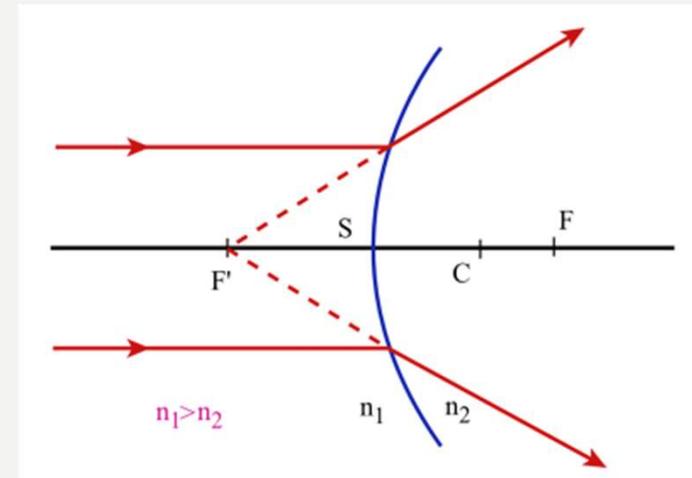
$$D = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f}$$



Lorsque $n_1 < n_2$ un dioptre **convexe** est **convergent**



Lorsque $n_1 > n_2$ un dioptre **convexe** est **divergent**





B. DIOPTRES SPHÉRIQUES

2) DIOPTRES CONCAVES $\overline{SC} < 0$

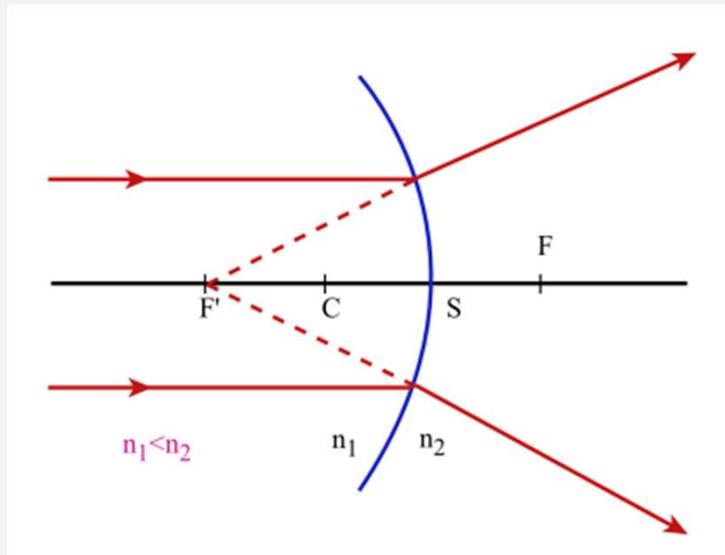
$$\frac{n'}{p'} - \frac{n}{p} = \frac{n' - n}{\overline{SC}} = D$$

$$D = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f}$$

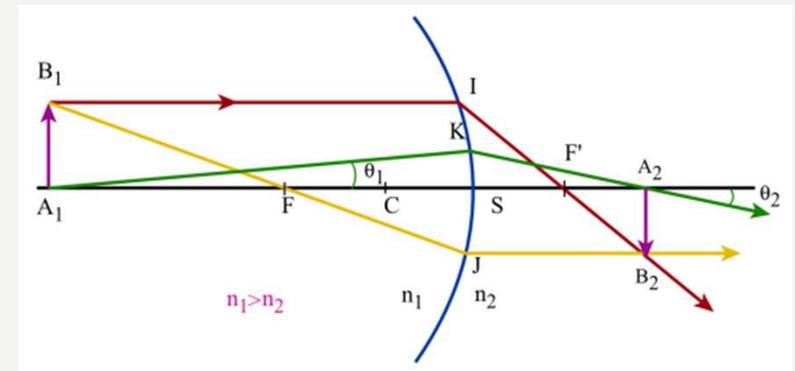
- III. Lentilles et dioptries
- Lentilles
 - Dioptries sphériques
 - Lentilles minces

Avec p la distance objet (SA) et p' la distance image (SB)

Lorsque $n_1 < n_2$ un dioptré **concave** est **divergent**



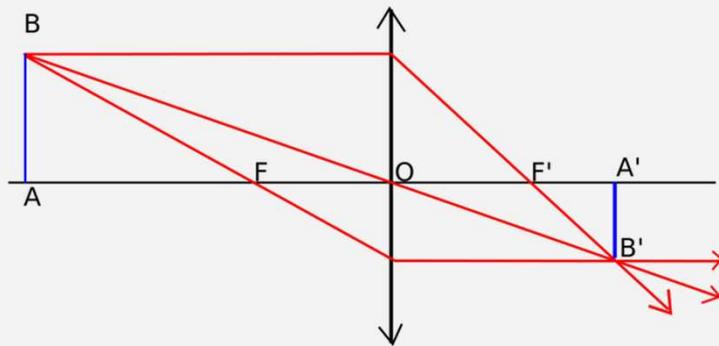
Lorsque $n_1 > n_2$ un dioptré **concave** est **convergent**



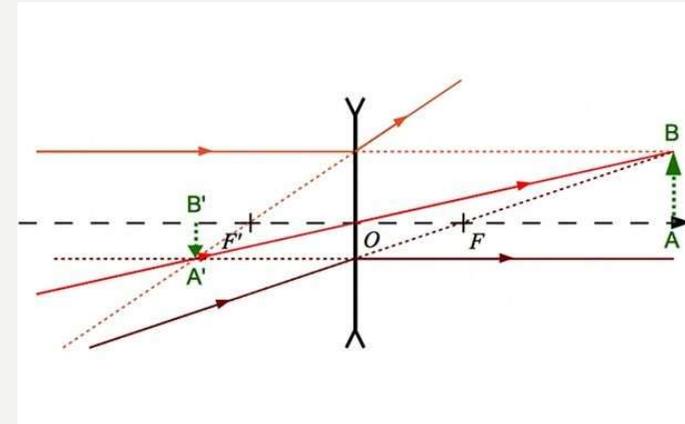


C. LENTILLES MINCES

- III. Lentilles et dioptries
 - a. Lentilles
 - b. Dioptries sphériques
 - c. Lentilles minces



Lentille convergente



Lentille divergente

Le grandissement transverse :

$$\gamma = \frac{A'B'}{AB} = \frac{p'}{p}$$

[Lien](#) vers l'animation

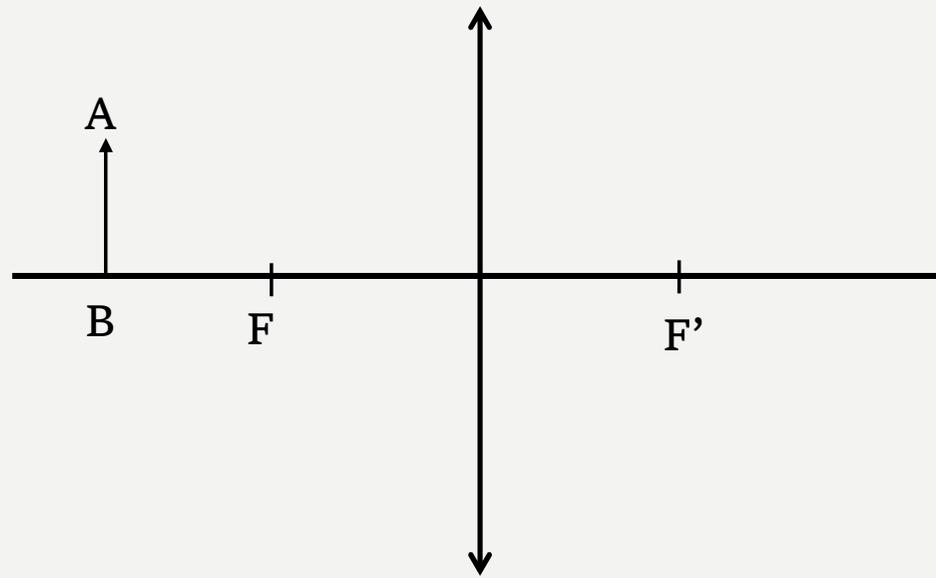
Pour un objet sur le plan focal, le grandissement est **infini**
Pour un objet à une distance 2F le grandissement vaut $\gamma = 1$



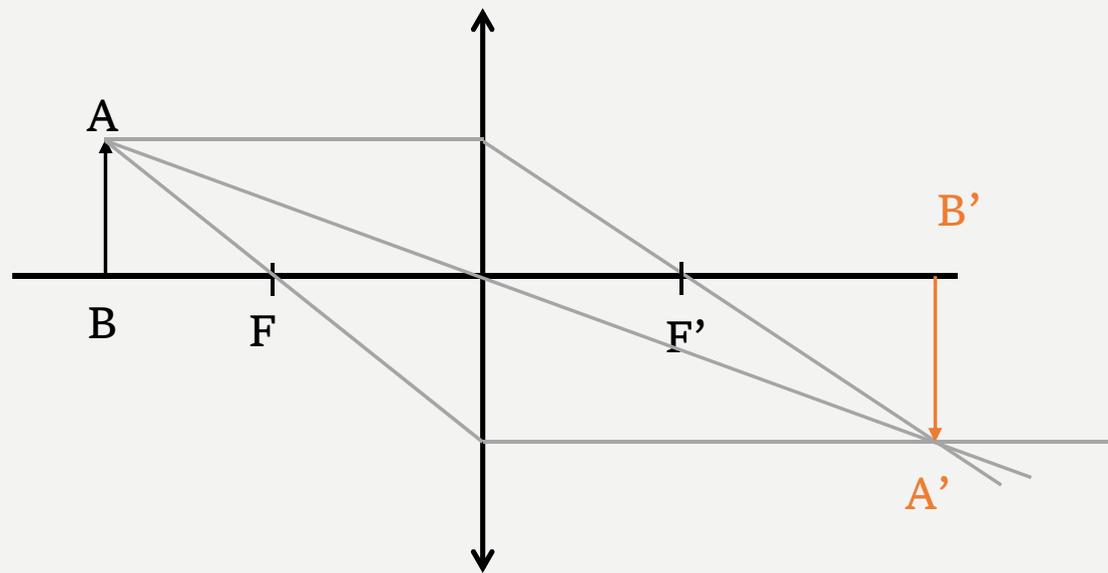
PAUSE

constructions

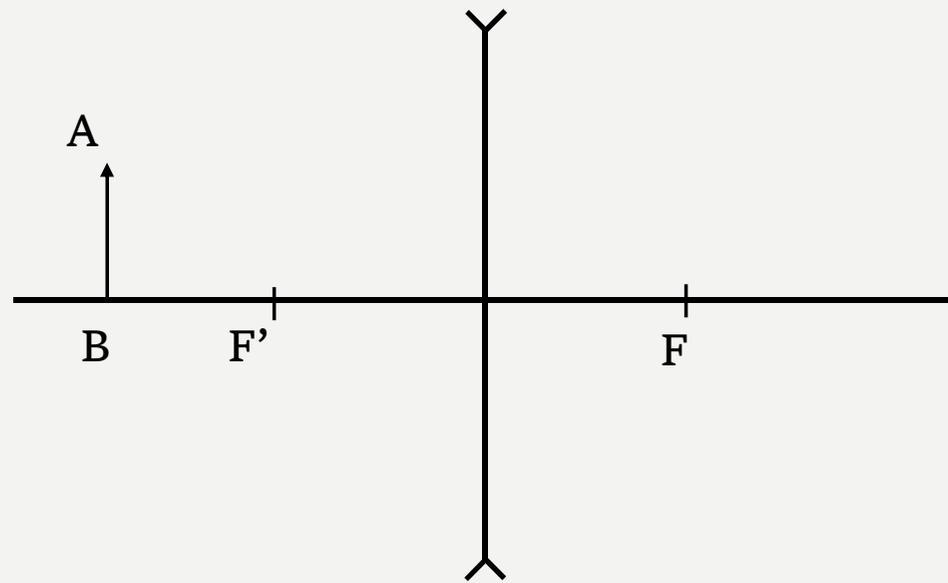
PAUSE CONSTRUCTIONS



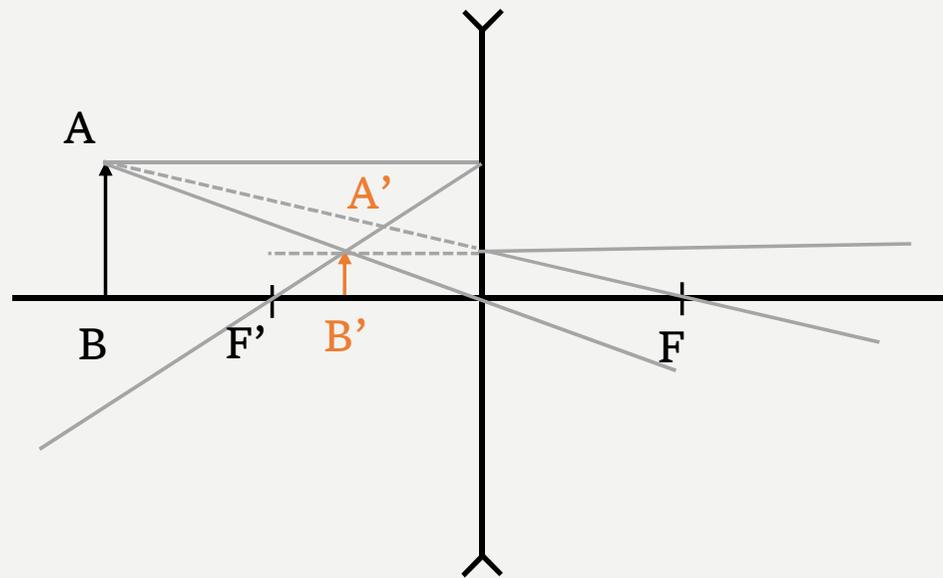
PAUSE CONSTRUCTIONS



PAUSE CONSTRUCTIONS



PAUSE CONSTRUCTIONS



IV. LES INTERFÉRENCES





A. DÉFINITIONS

Les **interférences** sont des modifications de l'intensité lumineuse moyenne lors d'une superposition de signaux sinusoïdaux déphasés.

Il existe trois cas :

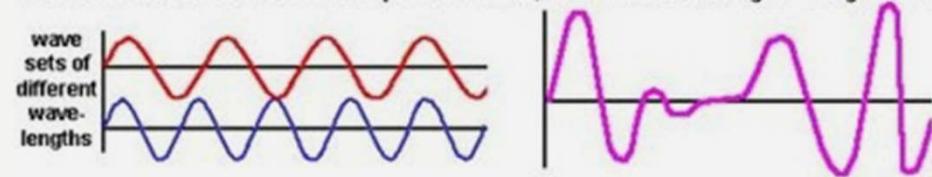
→ **Ondes déphasées** (le cas général) : les ondes sont décalées, entraînant des **variations de l'intensité lumineuse moyenne**

→ **Ondes en phases** : les champs électriques s'additionnent, on parle d'interférences **constructives**

→ **Ondes en opposition de phase** : les champs électriques s'annulent, on parle d'interférences **destructives**

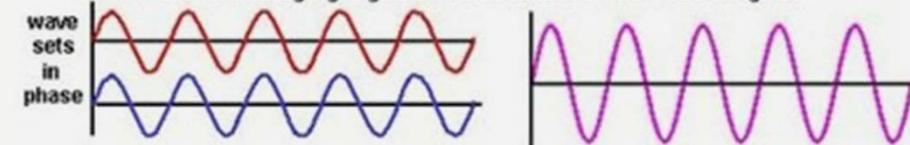
Wave interference with wave set of different wavelengths

Wave sets of different wavelenths result in complex wave patterns: both constructive and destructive patterns occur, sometimes resulting in "rouge waves"



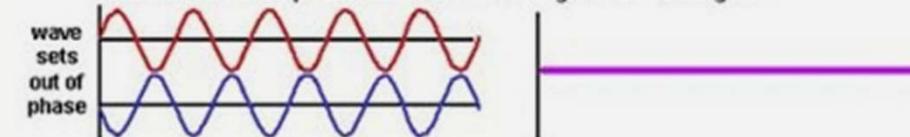
Constructive wave interference

Two wave sets merging together result in combined wave heights.



Destructive wave interference

Two wave sets off phase result in cancelling out wave heights.



- IV. Les interférences
 - a. Définitions
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources



B. INTERFÉRENCES À DEUX SOURCES D'ONDES

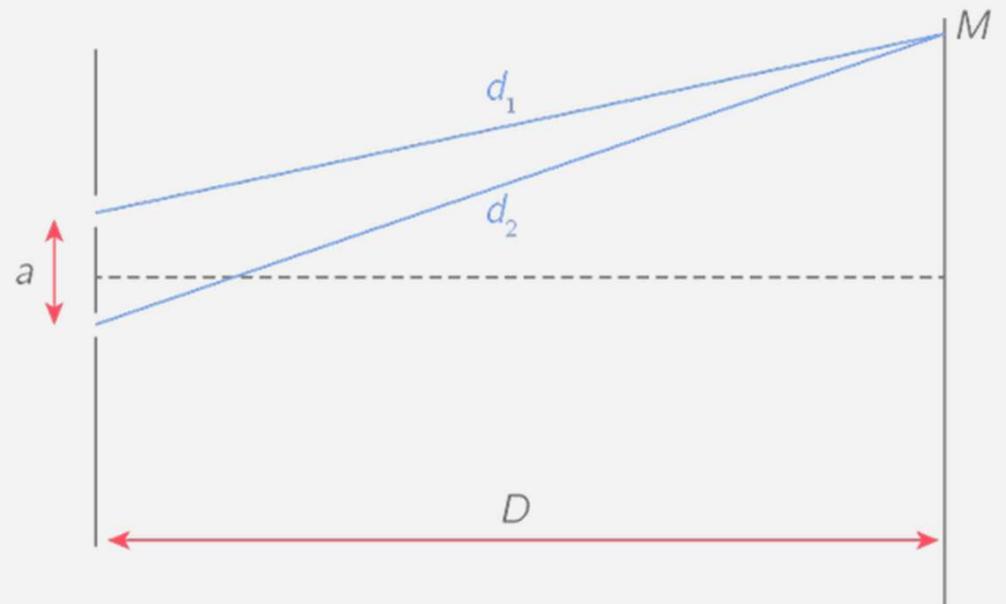
- IV. Les interférences
 - a. Définitions
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources

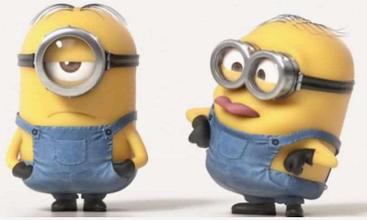
Hypothèse de départ : ondes **monochromatiques** et **cohérentes**.

La **différence de marche** est la différence de chemin parcouru par les deux ondes.

On considère :

$$\delta = n(d_2 - d_1)$$





B. INTERFÉRENCES À DEUX SOURCES D'ONDES

- IV. Les interférences
- Définitions
 - Interférences à deux sources d'ondes
 - Interférences dans les lames minces
 - Interférences à N sources

Franges **claires** :

❖ interférences **constructives**

❖ $\delta = k\lambda$

❖ maxima d'intensité :

$$\frac{\lambda}{a}$$

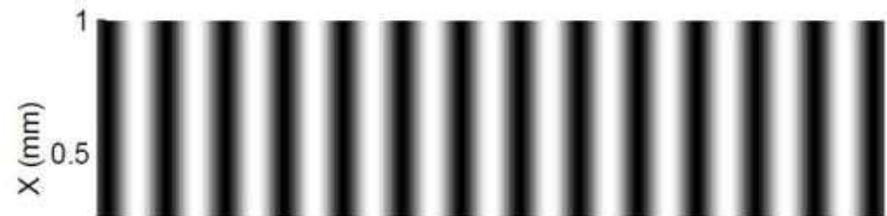
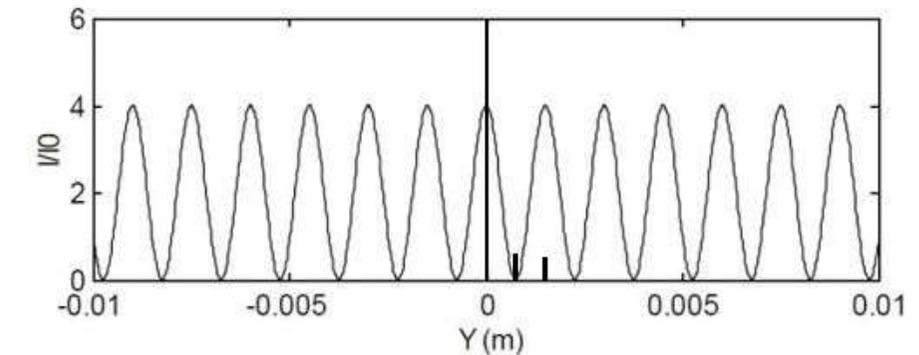
Franges **sombres** :

❖ interférences **destructives**

❖ $\delta = \left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda$

❖ minima d'intensité :

$$\frac{\lambda}{2a}$$





B. INTERFÉRENCES À DEUX SOURCES D'ONDES

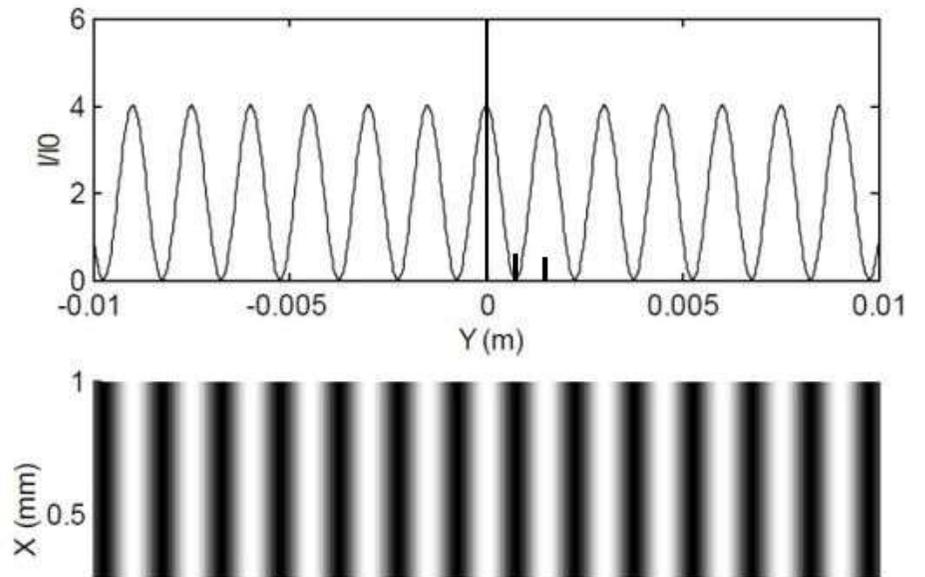
- IV. Les interférences
 - a. Définitions
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources

Angle entre chaque pic : **intervalle angulaire**

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

Interfrange : distance entre deux franges claires (ou sombres)

$$i = \frac{\lambda D}{a}$$

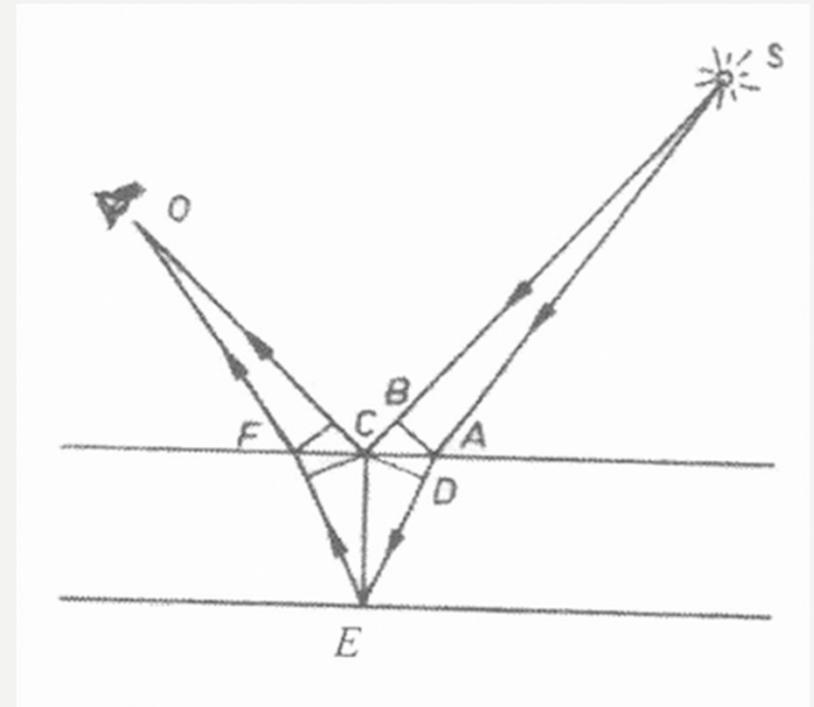




C. INTERFÉRENCES DANS LES LAMES MINCES

- IV. Les interférences
 - a. Définitions
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources

Postulat de départ : source étendue





© Peyo

C. INTERFÉRENCES DANS LES LAMES MINCES

1^{ER} CAS : INDICES OPTIQUES IDENTIQUES DE CHAQUE CÔTÉ

- IV. Les interférences
 - a. Définitions
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources

Différence de marche admise :

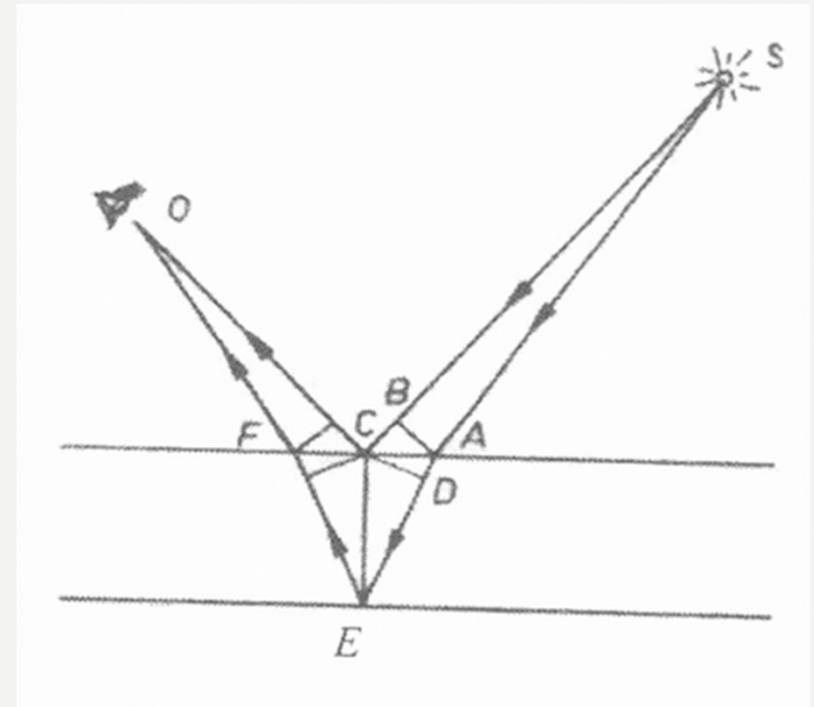
$$\delta = 2ne + \frac{\lambda}{2}$$

Interférences **constructives** :

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

Interférences **destructives** :

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$





C. INTERFÉRENCES DANS LES LAMES MINCES

2^{ÈME} CAS : INDICE OPTIQUE SUPÉRIEUR APRÈS LA LAME MINCE

- IV. Les interférences
 - a. Définitions
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources

Différence de marche admise :

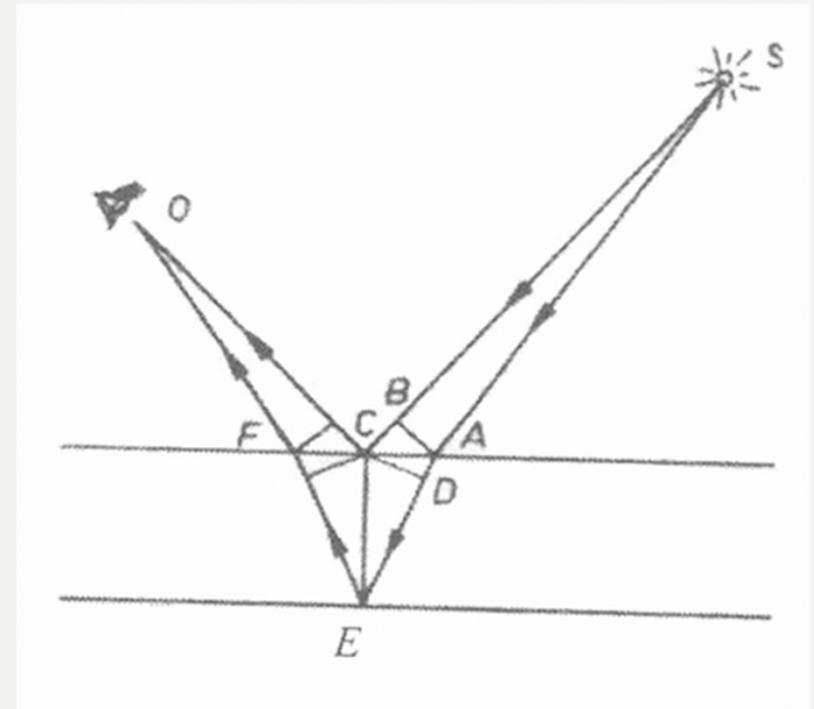
$$\delta = 2ne$$

Interférences destructives :

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

Interférences constructives :

$$e = \frac{\lambda}{2n}$$



QCM TIME !

QCM : Soit une lame mince sur des verres de lunettes. On souhaite avoir des interférences destructives, mais on ne sait pas quelle épaisseur leur donner. Sachant que l'indice optique du verre est $n_2 = 1,5$ et l'indice optique de l'air est $n_1 = 1$ et que la longueur d'onde vaut $\lambda = 600 \text{ nm}$, quelle(s) épaisseur(s) parmi les suivantes conviendrait(aient) ?

- A) 100 nm
- B) 150 nm
- C) 200 nm
- D) 250 nm
- E) 300 nm

QCM TIME !

QCM : Soit une lame mince sur des verres de lunettes. On souhaite avoir des interférences **destructives**, mais on ne sait pas quelle épaisseur leur donner. Sachant que l'indice optique du verre est $n_2 = 1,5$ et l'indice optique de l'air est $n_1 = 1$ et que la longueur d'onde vaut $\lambda = 600 \text{ nm}$, quelle(s) épaisseur(s) parmi les suivantes conviendrait(aient) ?

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

QCM TIME !

QCM : Soit une lame mince sur des verres de lunettes. On souhaite avoir des interférences **destructives**, mais on ne sait pas quelle épaisseur leur donner. Sachant que l'indice optique du verre est **$n_2 = 1,5$** et l'indice optique de l'air est **$n_1 = 1$** et que la longueur d'onde vaut **$\lambda = 600 \text{ nm}$** , quelle(s) épaisseur(s) parmi les suivantes conviendrait(aient) ?

$$e = \frac{\lambda}{4n}$$

$$e = \frac{600}{4 \times 1,5}$$

$$e = 100 \text{ nm}$$

$$e = 100 \times 2 = 200 \text{ nm}$$

$$e = 100 \times 3 = 300 \text{ nm}$$

QCM TIME !

QCM : Soit une lame mince sur des verres de lunettes. On souhaite avoir des interférences destructives, mais on ne sait pas quelle épaisseur leur donner. Sachant que l'indice optique du verre est $n_2 = 1,5$ et l'indice optique de l'air est $n_1 = 1$ et que la longueur d'onde vaut $\lambda = 600 \text{ nm}$, quelle(s) épaisseur(s) parmi les suivantes conviendrait(aient) ?

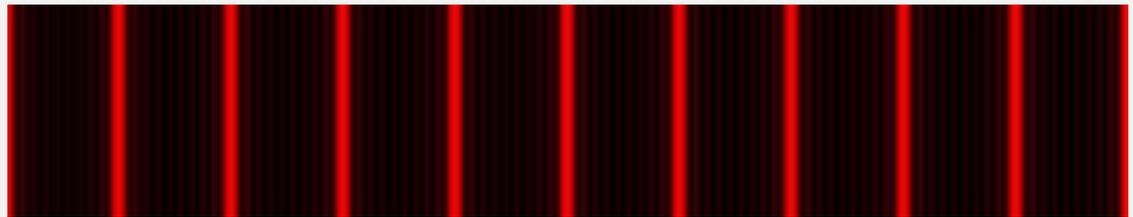
- A) 100 nm
- B) 150 nm
- C) 200 nm
- D) 250 nm
- E) 300 nm

Réponses A, C, E



D. INTERFÉRENCES À N SOURCES

- IV. Les interférences
 - a. Définitions
 - b. Interférences à deux sources d'ondes
 - c. Interférences dans les lames minces
 - d. Interférences à N sources



Maxima d'intensité :

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



Largeur angulaire :

$$\Delta\theta = \frac{\lambda}{Na}$$



V. LA DIFFRACTION



A. DÉFINITIONS

- V. La diffraction
 - a. Définitions
 - b. Diffraction par une seule fente
 - c. Diffraction par une ouverture circulaire
 - d. Diffraction par deux fentes

La **diffraction** correspond à la **modification de la propagation d'une onde** suite à un obstacle du **même ordre de grandeur** que la longueur d'onde

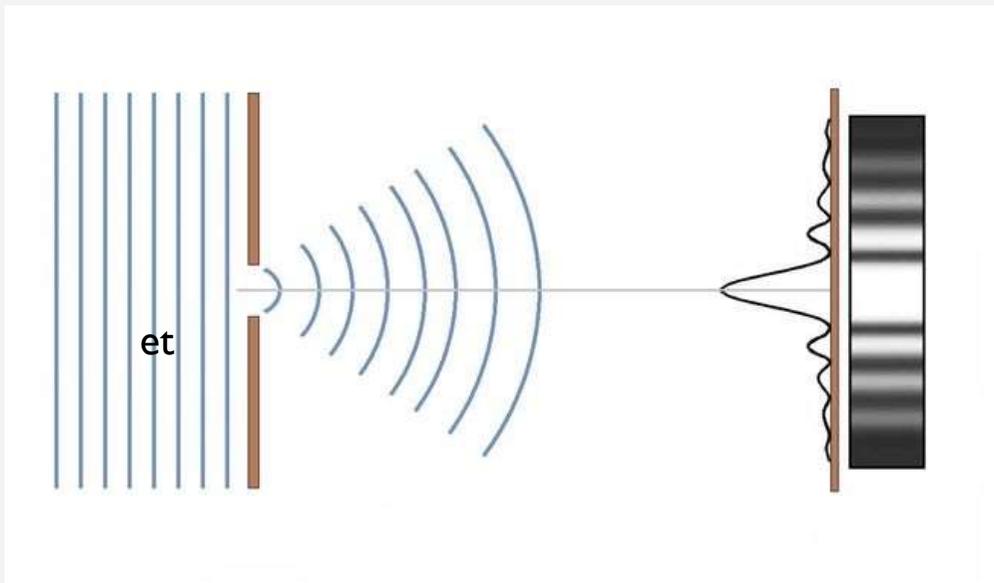
Elle concerne les **sources étendues** et non pas **ponctuelles** !!



B. DIFFRACTION PAR UNE SEULE FENTE

- V. La diffraction
 - a. Définitions
 - b. Diffraction par une seule fente
 - c. Diffraction par une ouverture circulaire
 - d. Diffraction par deux fentes

On observe une tâche centrale très intense et des tâches satellites moins intenses



Position des minima :

$$\theta = \frac{k\lambda}{b}$$

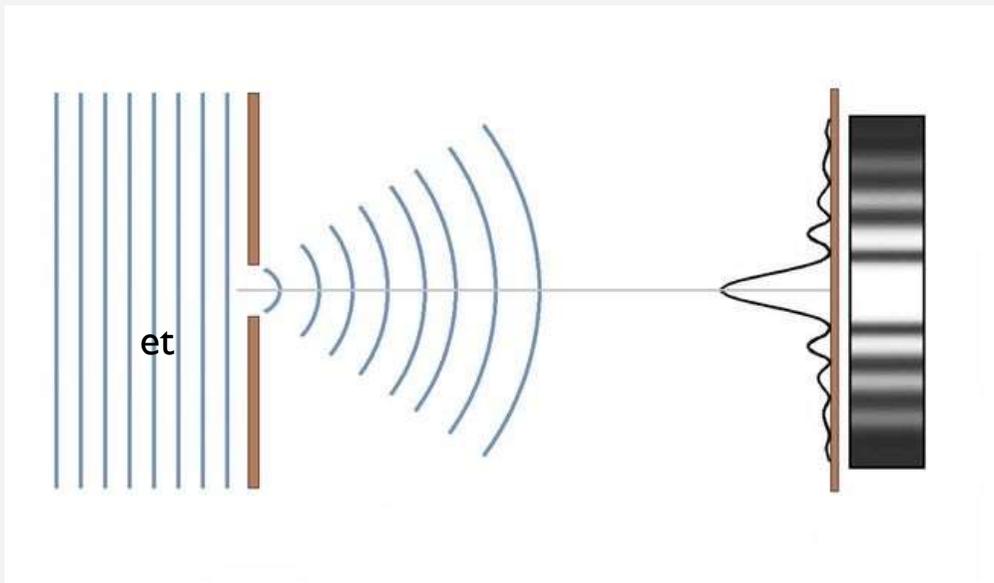
Largeur angulaire de la tâche centrale :

$$\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b}$$

B. DIFFRACTION PAR UNE SEULE FENTE

- V. La diffraction
 - a. Définitions
 - b. Diffraction par une seule fente
 - c. Diffraction par une ouverture circulaire
 - d. Diffraction par deux fentes

On observe une tâche centrale très intense et des tâches satellites moins intenses



On peut également observer un phénomène de diffraction dans le cas d'un **cheveu** faisant obstacle à un **laser monochromatique**, auquel cas :

$$\Delta\theta = \frac{L}{D}$$

$$\Delta\theta = \frac{2\lambda}{b}$$

$$b = \frac{2\lambda D}{L}$$

C. DIFFRACTION PAR UNE OUVERTURE CIRCULAIRE

- V. La diffraction
 - a. Définitions
 - b. Diffraction par une seule fente
 - c. Diffraction par une ouverture circulaire
 - d. Diffraction par deux fentes

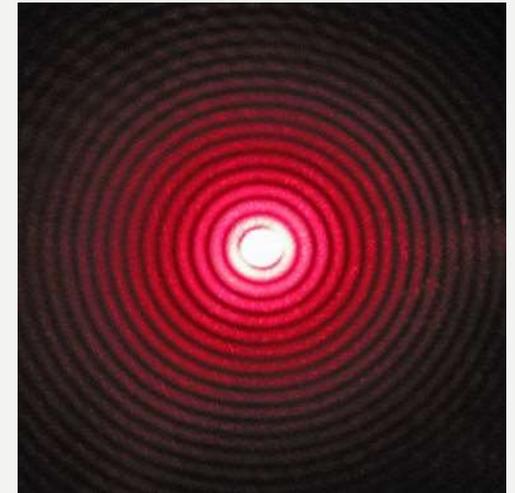
On observe une **tâche centrale** (ou tâche d'Airy) intense et des tâches satellites moins intenses

Demi-largeur angulaire dans le **vide** :

$$\theta = \frac{0,61\lambda}{r}$$

Demi-largeur angulaire dans le **pas-vide** :

$$\theta = \frac{0,61\lambda}{rn'}$$



D. DIFFRACTION PAR DEUX FENTES

- V. La diffraction
 - a. Définitions
 - b. Diffraction par une seule fente
 - c. Diffraction par une ouverture circulaire
 - d. Diffraction par deux fentes

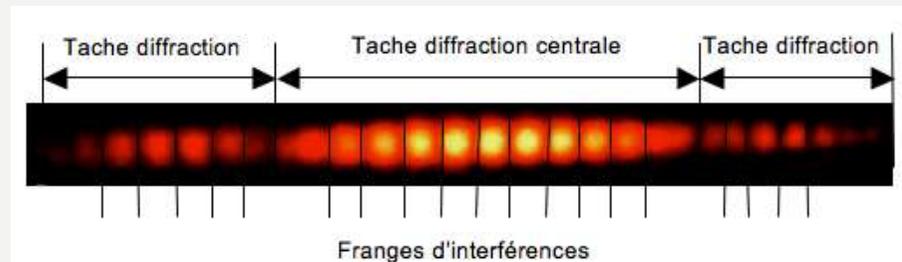
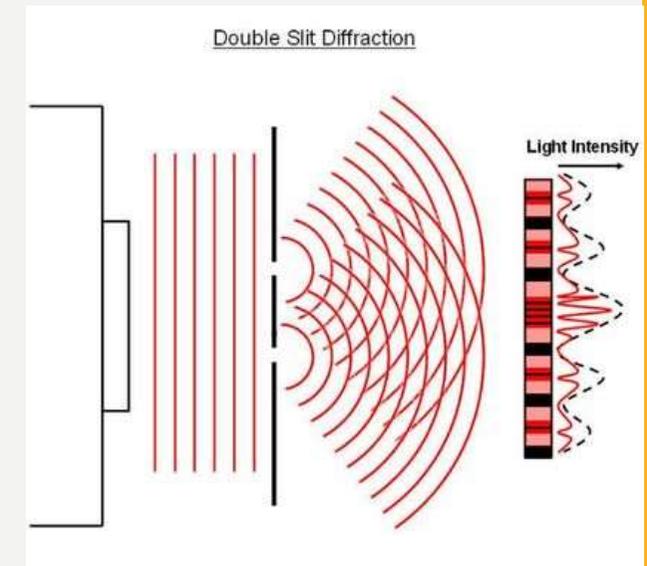
Chaque fente entraîne un phénomène de diffraction
Les deux fentes réunies entraînent un **phénomène d'interférences**

Les **interférences** se manifestent par des **variations rapides** d'intensité lumineuse

→ **largeur angulaire** : $\frac{\lambda}{a}$

La **diffraction** se manifeste par des **variations lentes** d'intensité lumineuse

→ **dimension angulaire** : $\frac{\lambda}{b}$





LA PHYSIQUE VOUS
REMERCIE POUR VOTRE
ATTENTION PENDANT CE
COURS PLUTÔT
COMPLEXE

