

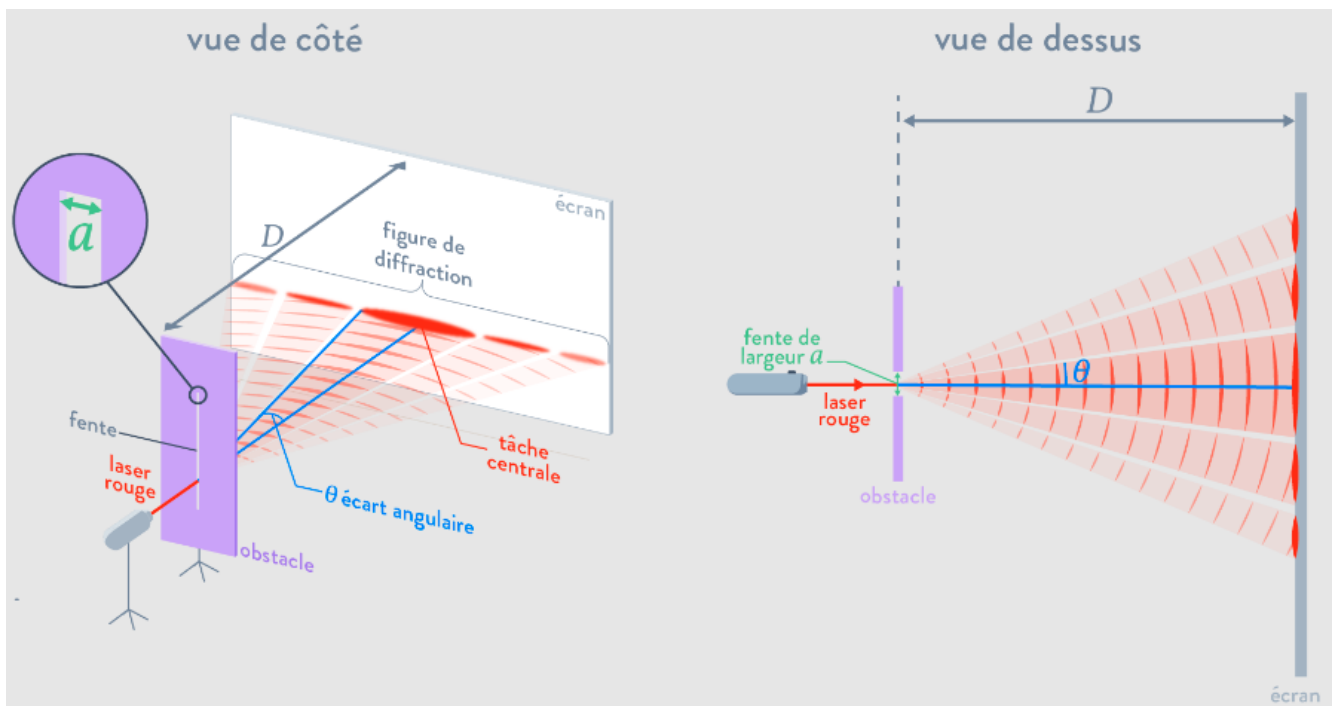
Leçon N°3: Propagation d'une onde lumineuse

I Mise en évidence expérimentale de la diffraction de la lumière :

I.1 Expérience:

Dans cette première expérience envoyons à l'aide d'une source laser un faisceau lumineux étroit de longueur d'onde $\lambda = 633\text{nm}$ sur un écran.

On intercale entre l'écran et la source laser une plaque portant une fente de largeur a .



- Sur l'écran de projection situé à une distance D de la fente on observe une tâche centrale plus large entourée de part et d'autre par des tâches secondaires moins larges et moins brillantes.
- La fente se comporte comme une source lumineuse fictive, ce phénomène s'appelle diffraction de la lumière.

Remarque:

- En remplaçant la fente par un obstacle très fin (un cheveu par exemple) on obtient les mêmes résultats que ceux trouvés précédemment.
- En utilisant une plaque contenant un trou circulaire, on obtient une tâche lumineuse circulaire entourée d'anneaux concentriques d'intensité de plus en plus faible.
- On constate expérimentalement que :
 - La largeur de la tâche centrale augmente lorsque la largeur de la fente diminue.
 - La largeur de la tâche centrale augmente avec la longueur de l'onde lumineuse. (et aussi avec la distance D).



I.2 Conclusion:

Le phénomène de diffraction montre que la lumière a un aspect ondulatoire.

La lumière peut donc être caractérisée comme toutes les ondes, par sa célérité, sa fréquence et sa longueur d'onde.

I.3 Etude de la diffraction d'un faisceau laser par une fente:

I.3.1 L'écart angulaire:

L'écart angulaire θ est l'angle sous lequel on voit la moitié de la tâche centrale depuis la fente de diffraction. D'après la figure

On a

$$\tan\theta = \frac{L}{2.D}$$

avec :

-L le largeur de la tâche centrale, en mètre (m);

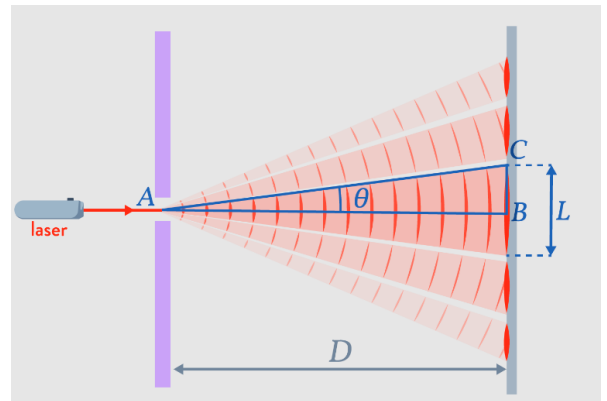
-D la distance entre l'obstacle et l'écran, en mètre(m);

Pour les angles petits θ mesurés en radian, on peut écrire :

$\tan\theta \approx \theta$ et $\sin\theta \approx \theta$ et $\cos\theta \approx 1$

donc :

$$\theta = \frac{L}{2.D}$$



I.3.2 Relation entre l'écart angulaire et la largeur de la fente:

*Expérience:

On pose l'écran à une distance $D=1,5m$ puis on fait varier la largeur de la fente et on mesure dans chaque cas la largeur L de la tâche centrale. Tableau des résultats:

$a(\mu.m)$	100	120	200	250	300
$L(mm)$	19	15.8	9.5	7.6	6.3
$\theta(\times 10^{-3} rad)$	6.33	5.26	3.17	2.53	2.1
$\frac{1}{a}(\times 10^3 mm^{-1})$	10	8.33	5	4	3.33

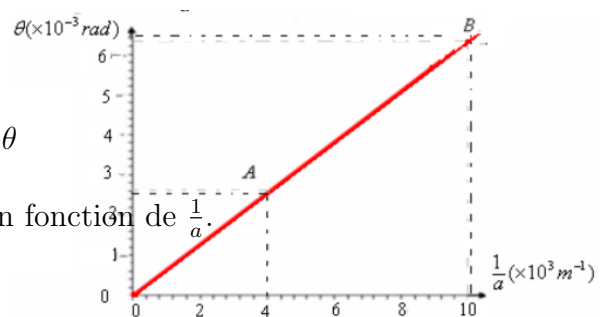
Représentation de la courbe de variation de $\frac{1}{a}$ en fonction de θ

On constate que θ est proportionnelle à $\frac{1}{a}$, donc $\theta = K \cdot \frac{1}{a}$

K: c'est le coefficient directeur de la droite qui représente θ en fonction de $\frac{1}{a}$.

le coefficient directeur K :

$$k = \frac{\Delta\theta}{\Delta\frac{1}{a}} = \frac{\theta_B - \theta_A}{(\frac{1}{a})_B - (\frac{1}{a})_A} = \frac{(6.33 - 2.53) \cdot 10^{-3}}{(10 - 4) \cdot 10^3 m} = 633 \cdot 10^{-9} = 633 nm = \lambda$$



donc

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

Expression de la largeur de la fente: $\frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2.D}$

On constate expérimentalement que la largeur de la tâche augmente avec l'augmentation de D et de la longueur d'onde et elle diminue avec l'augmentation de la largeur (a) de la fente, ce qui est en accord avec les résultats de l'expérience.

Remarque: la diffraction par un trou circulaire de diamètre a, l'écart angulaire est donné par la relation suivante: $\theta = \frac{1,22 \cdot \lambda}{a}$.

Dans le cas de la diffraction par un fil de diamètre d, l'écart angulaire est donné par la relation suivante $\theta = \frac{\lambda}{a}$

Exercice d'application 1:



On réalise une expérience de diffraction, par un fil fin rectiligne, de la lumière laser, de longueur d'onde λ . On observe, sur un écran l'image ci-contre :

1. Schématiser l'expérience en précisant l'orientation du fil.
2. La figure de diffraction est la même que celle qui est donnée par une fente ayant une largeur égale au diamètre a du fil. Si D est la distance entre le fil et l'écran d'observation, et L la largeur de la tache centrale, quelle relation permet de déterminer λ ? Préciser ces grandeurs sur le schéma.
3. Calculer λ

Données : $D = 7,70m$; $L = 2,0cm$; $a = 0,50mm$

II Caractéristiques des ondes lumineuses :

II.1 Onde électromagnétique:

La lumière n'est une onde mécanique, c'est une onde électromagnétique qui se propage dans les milieux transparents et dans le vide. La vitesse de propagation de la lumière dans le vide (et dans l'air) est $c = 3.10^8 m/s$ (on l'appelle célérité).

II.2 Lumière monochromatique et lumière polychromatique:

II.2.1 Lumière monochromatique :

- Toute radiation lumineuse ayant une seule couleur est dite monochromatique. Elle est caractérisée par sa fréquence ν qui ne change pas avec le milieu de propagation.
- Exemple : laser est une source de lumière monochromatique c'est-à-dire composée d'une seule radiation.
- La longueur d'onde d'une lumière monochromatique dépend du milieu de propagation $\lambda = \frac{v}{\nu}$.
- La vitesse de propagation de la lumière dépend du milieu de propagation.
- Exemples : La vitesse dans le vide et La vitesse dans l'air : $c = 3.10^8 m/s$, La vitesse dans le verre $v_{verre} = 2.10^8 m/s$, dans l'eau: $v_{eau} = 2,25.10^8 m/s$.

Remarque: La vitesse de propagation de la lumière dans le vide est : $c = 3.10^8 m/s$, par conséquence la relation précédente $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$ avec λ_0 est la longueur de l'onde lumineuse dans le vide.

II.2.2 lumière polychromatique :

La lumière blanche (ou lumière visible) est une lumière polychromatique composée de plusieurs radiations monochromatiques

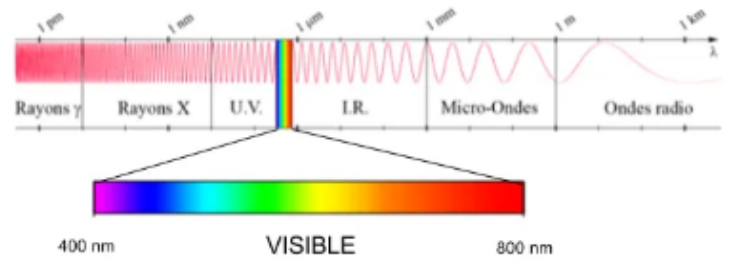
Le mot polychromatique signifie composée de plusieurs couleurs .

Exemples : la lumière du soleil, celle de la lampe à incandescence ou de la bougie

Le domaine de la lumière blanche (visible) est $400nm \leq \lambda \leq 800nm$ à l'extérieur de ce domaine de la lumière est invisible

pour $\lambda \geq 800nm$ domaine de l'infrarouge

pour $\lambda \leq 400nm$ domaine de l'ultraviolet



II.3 Indice de réfraction d'un milieu transparent :

Chaque milieu transparent est caractérisé par son indice de réfraction qui est donné par la relation suivante:

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

n: indice de réfraction.

c: célérité de la lumière dans le vide.

v: Vitesse de propagation de la lumière dans le milieu.

Exemples :

-l'indice de réfraction de l'air : $n_{air} = \frac{c}{v_{air}} = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^8} = 1$

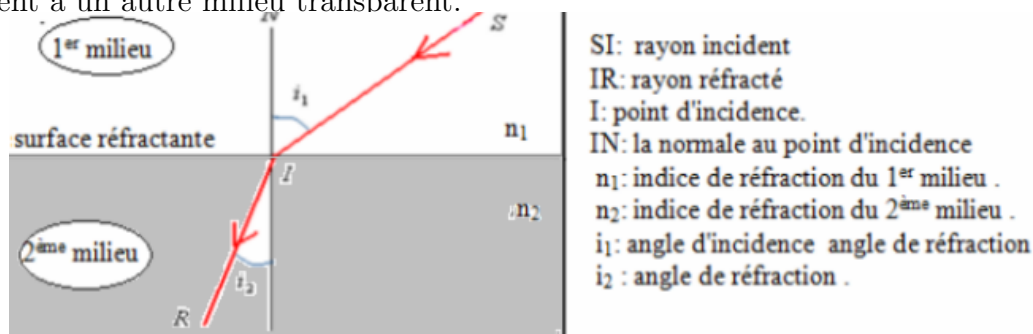
-l'indice de réfraction du verre : $n_{verre} = \frac{c}{v_{verre}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 10^8} = 1.5$

-l'indice de réfraction de l'eau : $n_{eau} = \frac{c}{v_{eau}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2.25 \cdot 10^8} = 1.33$

Remarque: Dans le vide on $c = \lambda_0 \cdot \nu$ Or dans un milieu donné : $v = \lambda \cdot \nu$ donc $n = \frac{c}{v} = \frac{\lambda_0}{\lambda}$

II.4 Réfraction de la lumière :

La réfraction de la lumière est le changement de direction que subi un rayon lumineux lorsqu'il passe d'un milieu transparent à un autre milieu transparent.



-Loi de Descartes de réfraction de la lumière: $n_1 \sin(i_1) = n_2 \sin(i_2)$ 2ème loi de réfraction

-Lorsque la lumière passe d'un milieu moins réfringent à un milieu plus réfringent ($n_2 \geq n_1$) , le rayon réfracté s'approche de la normale.

-Lorsque la lumière passe d'un milieu plus réfringent à un milieu moins réfringent ($n_2 \leq n_1$) , le rayon réfracté s'écarte de la normale.

Application 2:

On envoie un faisceau de lumière de telle façon qu'il forme un angle de 70° avec la surface de l'eau.

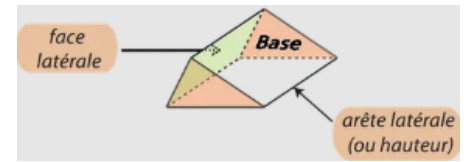
1.Sachant que l'indice de réfraction de l'air est $n_{air} = 1$ et celui de l'eau est $n_{eau} = 1,33$, déterminer la valeur de l'angle de réfraction.

2.Quelle sera la valeur de l'angle d'incidence si l'angle de réfraction est égal à 30° ?

III Dispersion de la lumière:

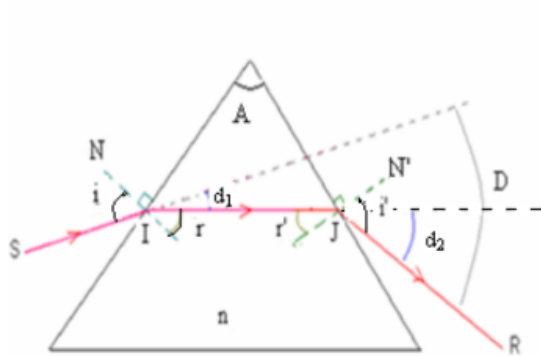
III.1 Le prisme:

Le prisme est un milieu transparent et homogène limité par deux faces planes non parallèles, la face opposée à l'arête est la base du prisme.



III.2 Trajet d'un faisceau lumineux à travers le prisme:

On envoie un faisceau de lumière monochromatique sur la face d'un prisme, on constate que le faisceau subit une réfraction sur la première face puis sur la deuxième face puis dévie vers la base du prisme.



i : angle d'incidence sur la première face.
 I : point d'incidence sur la première face.
 IN : la normale en I à la première face du prisme.
 r : angle de réfraction sur la première face.
 r' : angle d'incidence sur la deuxième face.
 i' : angle de réfraction sur la deuxième face.
 J : point d'incidence sur la deuxième face.
 JN' : la normale en J à la deuxième face du prisme.
 A : angle du prisme.
 n : indice de réfraction du prisme.
 D : angle de déviation.

III.3 Les relations du prisme:

- Dans le triangle AIJ on a $A + (\frac{\pi}{2} - r) + (\frac{\pi}{2} - r') = \pi \Rightarrow A - r - r' = 0$
 donc

$$A = r + r'$$

En appliquant la loi de réfraction sur la première face du prisme: $\sin i = n \cdot \sin r$

En appliquant la loi de réfraction sur la deuxième face du prisme: $n \sin r' = \sin i'$

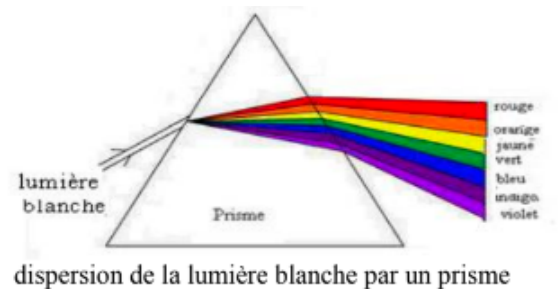
L'angle de déviation: $D = d_1 + d_2 = (i - r) + (i' - r') = i + i' - (r + r') = i + i' - A$
 donc

$$D = i + i' - A$$

III.4 Dispersion de la lumière par un prisme:

++bonus++

Envoyons un faisceau de lumière blanche sur la première face d'un prisme, on obtient le spectre de la lumière blanche composé des couleurs suivantes: rouge, orange, jaune, vert, bleu, indigo et violet. Le prisme sépare les couleurs en les réfractant différemment cette décomposition de la lumière s'appelle dispersion.



dispersion de la lumière blanche par un prisme

- La lumière blanche est composée d'un ensemble de lumières colorées appelées radiations.
- La dispersion de la lumière blanche par est due au fait que l'indice de réfraction du prisme dépend de la fréquence de l'onde lumineuse qui le traverse.
- L'indice de réfraction d'un prisme est une fonction décroissante de la longueur de l'onde comme l'indique la relation de Cauchy :

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

- λ : La longueur de l'onde lumineuse.
- a et b sont des constantes.

- Par conséquent chaque radiation va subir une déviation différente par le prisme ce qui entraîne la dispersion de la lumière. Donc le prisme est un milieu dispersif.