

1 Propagation de la lumière dans le vide

1. L'optique géométrique : rappels

- Dans un milieu transparent, homogène et isotrope, la lumière se propage en ligne droite avec une vitesse qui dépend du milieu.
- Le rayon lumineux est le modèle qui représente le chemin suivi par la lumière. Cette notion de rayon lumineux est à la base de l'optique géométrique. Elle permet :
 - d'expliquer la formation des ombres (utilisée pour les calculs de longueurs en classe de seconde) et les conditions de visibilité d'un objet ;
 - de comprendre les phénomènes de réflexion et de réfraction (lois de Descartes) ;
 - la conception d'instruments d'optiques (lunette astronomique, lunette terrestre ou jumelles, appareils de projection ou de rétro projection...).

2. Modèle ondulatoire de la lumière

- L'existence du phénomène de diffraction de la lumière (voir page 32) prouve son caractère ondulatoire.
- La lumière est un ensemble d'ondes électromagnétiques auxquelles l'œil humain est sensible : ces ondes sont appelées ondes lumineuses.

Remarque : selon ce que l'on fait avec la lumière, on la voit comme un grain de lumière appelé « photon » (optique géométrique), ou bien comme une onde (lors d'une diffraction par exemple). On parle de la dualité onde-corpuscule. Ces deux « facettes » de la lumière restèrent longtemps contradictoires l'une de l'autre mais elles sont désormais unifiées par une théorie assez récente : la mécanique quantique.

3. Célérité

- La lumière se propage dans les milieux transparents ; elle est arrêtée par les milieux opaques.
- Contrairement aux ondes mécaniques, les ondes lumineuses se propagent aussi dans le vide. La propagation de ces ondes se fait avec la **même célérité** :

$$c \approx 3,00.10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

4. Fréquence et longueur d'onde dans le vide

● Chaque onde lumineuse est caractérisée par sa fréquence ν (ou sa période T) et sa longueur d'onde λ , dans le vide telle que :

$$\lambda_0 = c \cdot T = \frac{c}{\nu}.$$

Exemple d'application

On veut estimer la distance D à laquelle se trouve un immeuble de hauteur H composé de 18 étages de hauteur $L = 3$ m chacun. En tendant le bras, on observe que le pouce, tenu verticalement, cache exactement l'immeuble. Le pouce, qui mesure $h = 6$ cm, se trouve alors à une distance $d = 0,60$ m de l'œil.

1. Faire un schéma en représentant les rayons lumineux importants.
2. Calculer D en justifiant les hypothèses et les étapes suivies.

Corrigé commenté

1.

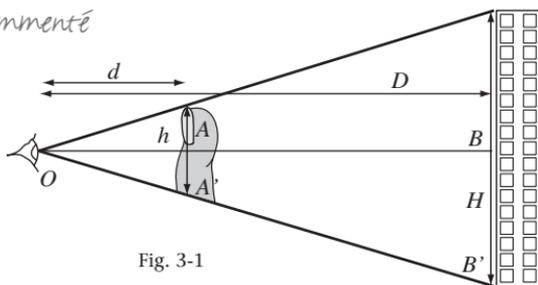


Fig. 3-1

2. **Conseil :** pensez à justifier que les rayons lumineux sont rectilignes.

On suppose que l'air (évidemment transparent) est un milieu homogène et isotrope. La lumière s'y propage donc en ligne droite.

On peut alors appliquer le théorème de Thalès dans les triangles (OBB') et

$$(OAA') : \frac{OA}{OB} = \frac{AA'}{BB'} \text{ soit } \frac{d}{D} = \frac{\frac{h}{2}}{\frac{H}{2}} = \frac{h}{H} \text{ et } D = \frac{H \cdot d}{h}.$$

$$\text{On obtient donc : } D = \frac{18 \cdot L \cdot d}{h}, \text{ AN : } D = \frac{18 \times 3 \times 0,60}{0,06} = 540 \text{ m.}$$

2 La diffraction de la lumière

1. Observation de la diffraction de la lumière émise par un laser

● Si on fait passer le faisceau laser à travers une ouverture circulaire de diamètre de l'ordre du dixième de millimètre, nous constatons que le faisceau émergent diverge. Nous observons sur l'écran (figure 3-2) un cercle brillant entouré d'anneaux noirs et brillants : la figure observée est appelée figure de diffraction.

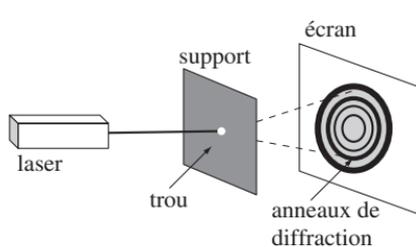


Fig. 3-2

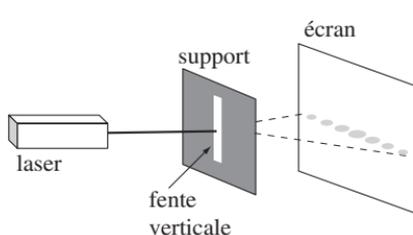


Fig. 3-3

- Remplaçons l'ouverture circulaire par une fente (figure 3-3) : la lumière est diffractée dans une direction perpendiculaire à la fente.
- Un fil rectiligne diffracte la lumière de la même façon qu'une fente.

2. Observation de la diffraction de la lumière blanche

● Lorsqu'on regarde la lumière du jour à travers un voilage fin, on voit apparaître des **taches lumineuses irisées** formant une croix (figure 3-4).

● Chaque maille du tissu diffracte la lumière blanche, l'aspect observé résulte de la superposition des lumières diffractées.

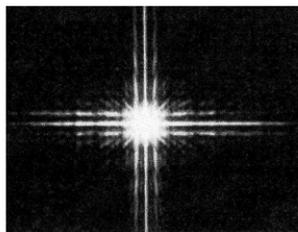


Fig. 3-4

3. Influence de la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle sur le phénomène de diffraction

● On admet, en première approximation, qu'une onde lumineuse traversant une petite ouverture de largeur a (figure 3-5) diverge en formant un cône de demi-angle au sommet θ tel que :

$$\theta = \frac{\lambda}{a}, \text{ avec } \theta \text{ exprimé en radian.}$$

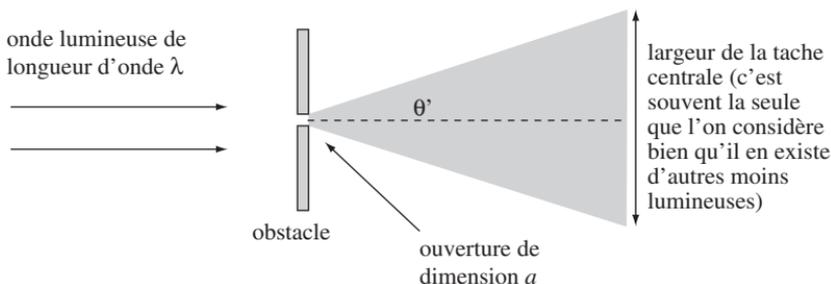


Fig. 3-5

Exemple d'application

On envoie un rayon laser He-Ne ($\lambda = 632 \text{ nm}$) sur une plaque de carton en un point percé d'un petit trou circulaire de diamètre a .

1. Que se passe-t-il si $a = 1 \text{ cm}$?
2. Que se passe-t-il si $a = 10 \mu\text{m}$? Calculer le demi-angle au centre θ en degrés du cône de lumière qui se forme après l'obstacle.

Corrigé commenté

Conseil : pensez à comparer la longueur d'onde du rayonnement et les dimensions du trou.

1. Dans ce cas, $a \gg \lambda_0$. On a donc $\theta = \frac{\lambda_0}{a} \approx 0$.

Il n'y a pas de diffraction visible : le faisceau n'est que diaphragmé.

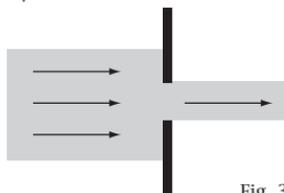


Fig. 3-6

2. Ici a est plus petit. Il y a formation

d'un cône de diffraction tel que : $\theta = \frac{\lambda_0}{a}$.

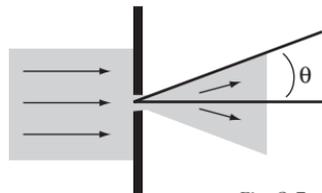


Fig. 3-7

$$\text{AN: } \theta = \frac{632 \cdot 10^{-9}}{10 \cdot 10^{-6}} = 6,32 \cdot 10^{-2} \text{ rad} = 6,32 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{360}{2 \cdot \pi} \approx 3,6^\circ$$

3 Lumières monochromatique et polychromatique ; indice d'un milieu transparent

1. Lumière monochromatique

- Une lumière monochromatique (composée d'une seule couleur) est caractérisée par sa fréquence ν . Cette lumière monochromatique produit sur l'œil une sensation de couleur déterminée, qui est liée à sa fréquence. La fréquence d'une radiation monochromatique (donc la couleur) ne change pas lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre.
- Dans un milieu donné, une lumière monochromatique peut être caractérisée par sa longueur d'onde λ :

$$\lambda = \frac{V}{\nu}$$

où V représente la célérité de l'onde dans le milieu considéré. On voit bien que la longueur d'onde dépend de ce milieu.

2. Lumière polychromatique

- Une lumière polychromatique est constituée de plusieurs lumières monochromatiques.
- Les lumières monochromatiques du domaine du visible composant la lumière blanche ont des longueurs d'onde, **dans le vide**, comprises entre 400 nm et 800 nm.
- Les radiations ultraviolettes et infrarouges encadrent le spectre de la lumière visible.

3. Propagation dans les milieux transparents : indice du milieu

- La célérité de la lumière dépend du milieu dans lequel elle se propage :
 - dans le vide : $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,
 - dans l'eau : $V_{\text{eau}} \approx 2,26 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- On définit l'indice de réfraction n d'un milieu matériel transparent comme étant le rapport de la célérité de la lumière dans le vide par la célérité de la lumière dans le milieu considéré :

$$n = \frac{c}{V}, \quad n \text{ étant sans dimension.}$$

- La célérité V de la lumière dans un milieu matériel transparent étant toujours inférieure à sa célérité dans le vide, alors n est toujours supérieur à 1.

$$n > 1$$

Exemples : n_{air} (à 0°C , 10^5Pa) = $1,00029 \approx 1,00$; $n_{\text{eau}} \approx 1,33$; $n_{\text{verre}} \approx 1,50$.

- Par suite, la longueur d'onde d'une onde lumineuse dépend du milieu dans lequel elle se propage. Comme $\lambda_0 = \frac{c}{\nu}$ et $\lambda = \frac{V}{\nu}$, on a : $\lambda = \frac{V}{c} \lambda_0$.

On obtient donc : $\lambda = \frac{\lambda_0}{n}$ ou $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$.

Exemple d'application

On admet que la sensation « couleur jaune » est due aux ondes électromagnétiques visibles ou lumières monochromatiques dont les fréquences sont comprises entre $\nu_{\text{min}} = 5,0 \cdot 10^{14}$ Hz et $\nu_{\text{max}} = 5,3 \cdot 10^{14}$ Hz. On admet que la célérité dans l'eau est sensiblement la même pour les diverses lumières monochromatiques et est égale à $225\,000 \text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$. Préciser les longueurs d'onde correspondantes lorsque ces lumières se propagent dans l'air, puis dans l'eau.

Corrigé commenté

Indication : considérer que la célérité de la lumière est indépendante de sa fréquence revient à négliger le caractère dispersif de l'eau. Pour l'air, on fait toujours cette approximation.

Rappel : la célérité de la lumière dans l'air est supposée connue : $V_{\text{air}} \approx c \approx 3,00 \cdot 10^8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

On a $\lambda = \frac{V}{\nu}$, donc $\lambda_{\text{air max}} = \frac{V_{\text{air}}}{\nu_{\text{min}}}$ et $\lambda_{\text{air min}} = \frac{V_{\text{air}}}{\nu_{\text{max}}}$.

$$\text{AN : } \lambda_{\text{air max}} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{5,0 \cdot 10^{14}} \approx 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m et } \lambda_{\text{air min}} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{5,3 \cdot 10^{14}} \approx 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ m .}$$

Pour la couleur jaune dans l'air, on a : $5,7 \cdot 10^{-7} \text{ m} \leq \lambda \leq 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

De même, $\lambda_{\text{eau max}} = \frac{V_{\text{eau}}}{\nu_{\text{min}}}$ et $\lambda_{\text{eau min}} = \frac{V_{\text{eau}}}{\nu_{\text{max}}}$.

On calcule $\lambda_{\text{eau max}} \approx 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$ et $\lambda_{\text{eau min}} \approx 4,2 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

Pour la couleur jaune dans l'eau, on obtient : $4,2 \cdot 10^{-7} \text{ m} \leq \lambda \leq 4,5 \cdot 10^{-7} \text{ m}$.

4 Phénomène de dispersion de la lumière blanche par un prisme

1. Milieux dispersifs

- Dans certains milieux matériels transparents, la célérité de la lumière dépend de la fréquence de la lumière considérée. Comme dans le cas des ondes mécaniques, ces milieux sont dits dispersifs.
- L'indice de réfraction du milieu dépend donc dans ce cas non seulement du milieu mais aussi de la fréquence de l'onde lumineuse qui s'y propage.

2. Le prisme

- Éclairé de lumière blanche, le prisme décompose cette lumière en un spectre coloré continu. Une tradition mythique veut que l'on distingue sept couleurs (violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge) dans ce spectre (arc-en-ciel) mais il est clair que la couleur varie continûment du violet au rouge et qu'il y a donc une infinité de couleurs.

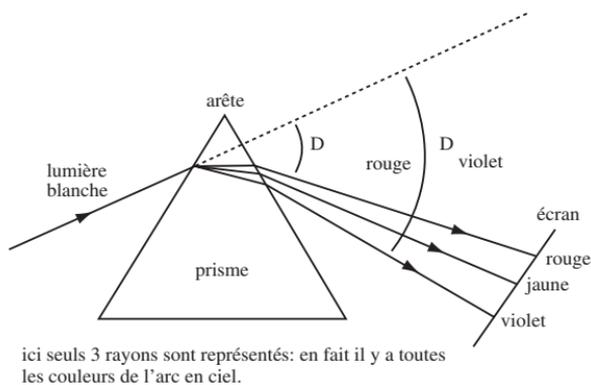


Fig. 3-8

- Dans un milieu transparent comme le verre, les diverses radiations n'ont pas la même vitesse : cette vitesse décroît des radiations rouges aux radiations violettes. En conséquence, l'indice n du verre constituant un prisme décroît quand la longueur d'onde augmente : $n_{400\text{nm}} = 1,7$ et $n_{650\text{nm}} = 1,5$.
- Les radiations qui constituent la lumière blanche ne subissent pas la même réfraction. Le violet est plus réfracté (plus dévié) que le jaune, qui lui-même est plus dévié que le rouge : c'est la dispersion de la lumière.

Exemple d'application

On envoie un faisceau de lumière monochromatique sur un prisme en verre. Que lui arrive-t-il lors de la traversée du prisme ?

Corrigé commenté

Indication : exploitez le caractère monochromatique de la lumière.

Comme, par définition, cette lumière n'est composée que d'une seule couleur, il n'y aura pas de dispersion. Ce rayon subit une réfraction sur la face d'entrée et une autre sur la face de sortie. Ce rayon est donc simplement dévié.