Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

Physique 3 : La lumière, modèle ondulatoire

1. Comment s'effectue la diffraction de la lumière ?

En classe de Seconde (voir les *prérequis*, page 10), nous avons vu que l'œil humain n'est sensible qu'aux radiations lumineuses dont les longueurs d'onde sont comprises entre 400 nm et 800 nm. La notion de longueur d'onde sous-entend que la lumière est une onde.

Confirmons cette hypothèse en réalisant des expériences de diffraction, caractéristiques des phénomènes ondulatoires.

1.1 Mise en évidence du phénomène de diffraction

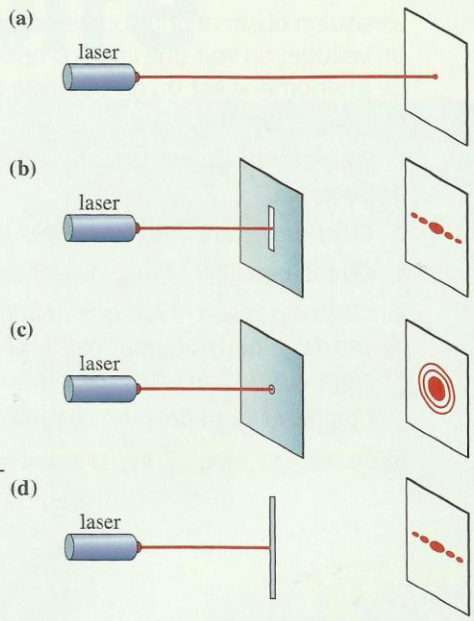
Utilisons le faisceau rouge d'un laser hélium-néon ; la lumière produite est monochromatique de longueur d'onde dans le vide 650 nm.

Activité 1

Comment observer le phénomène de diffraction de la lumière ?

Interposer devant le faisceau laser successivement *[Doc. 1]* :
- une fente verticale très étroite, percée dans une plaque opaque ;
- un petit trou percé dans une plaque opaque ;
- un fil rectiligne vertical, très fin.

Noter les observations.



Doc. 1 (a) *Absence de diffraction. Diffraction d'un faisceau laser par une fente verticale* (b), *un trou circulaire* (c), *un fil rectiligne vertical* (d).

> Observation

Nous observons respectivement les figures du ***document 2***.

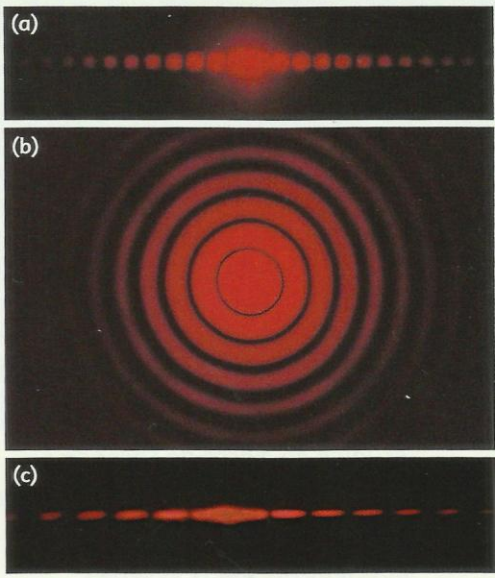
Les **figures de diffraction** de la fente verticale et du fil vertical s'étalent horizontalement, c'est-à-dire perpendiculairement aux directions de la fente et du fil. La figure de diffraction du trou est un disque entouré d'anneaux.

> Interprétation

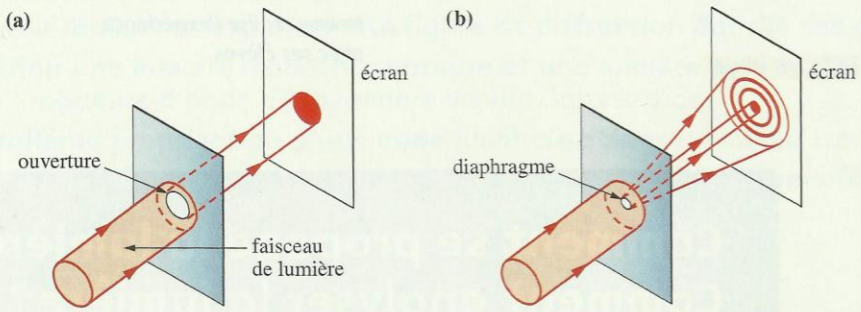
Ces phénomènes sont analogues à ceux que nous pouvons observer lors de la diffraction des ondes mécaniques à la surface de l'eau (voir le *chapitre* 2). Ils s'interprètent par la diffraction de la lumière monochromatique lorsque celle-ci rencontre une ouverture ou un obstacle de faible dimension.

Pour une grande ouverture, les faisceaux lumineux se propagent en ligne droite : il n'y a pas de diffraction *[Doc. 3a]*.

Pour une ouverture de faible dimension, la lumière s'étale de part et d'autre de la direction moyenne *[Doc. 3b]*



Doc. 2 *Diffraction d'un faisceau laser par une fente verticale* (a), *un trou circulaire* (b), *un fil rectiligne vertical* (c).



◀ **Doc. 3** *Avec un diaphragme de large ouverture, la diffraction ne se produit pas* (a). *Avec un diaphragme de petite ouverture, on obtient une figure de diffraction* (b).

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

Le phénomène de diffraction étant caractéristique des ondes, ces expériences confirment l'hypothèse de la **nature ondulatoire de la lumière monochromatique.**

Une lumière monochromatique est une onde qui se propage.

1.2 Caractéristiques de la diffraction d'une onde lumineuse monochromatique par une fente

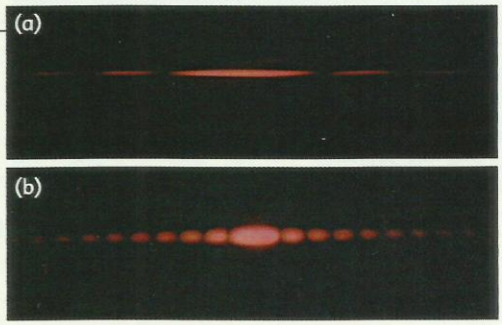
Quelle est l'influence, sur la figure de diffraction, de la taille de l'obstacle et de la nature de la lumière ?

Activité 2

Quelle est l'influence de la largeur de la fente ?

En maintenant fixe la distance entre la fente et l'écran, réaliser la diffraction d'un faisceau laser, successivement par deux fentes très fines, de largeurs différentes [Doc. 4].

1. *Pourquoi choisir des fentes très fines ?*
2. *Noter les observations.*



Doc. 4 *Figures de diffraction de deux fentes de largeurs respectives 0,1 mm (a) et 0,3 mm (b), obtenues avec la même lumière. (Les échelles de représentation sont identiques.)*

> Observation

La largeur de la tache centrale est d'autant plus grande que la fente est plus fine [Doc. 4]. Pour une fente large, on n'observe pas de figure de diffraction.

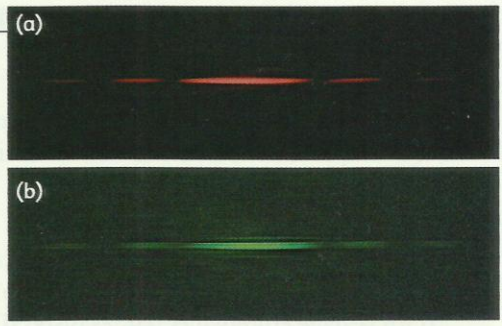
Le phénomène de diffraction est d'autant plus important que la fente est étroite.

Activité 3

Quelle est l'influence de la longueur d'onde ?

Réaliser, successivement, la diffraction de deux faisceaux laser (rouge et vert) par une même fente, en maintenant fixe la distance entre la fente et l'écran [Doc. 5].

Noter les observations.



Doc. 5 *Figures de diffraction de la même fente, obtenues avec des faisceaux laser de longueurs d'onde différentes :*
(a) laser rouge : λ_{rouge} = 650 nm ;
(b) laser vert λ_{vert} = 530 nm.
(Les échelles de représentation sont identiques.)

> Observation

La largeur de la tache centrale de diffraction rouge est plus grande que la verte [Doc. 5].

La largeur de la tache centrale de diffraction augmente si la longueur d'onde augmente.

> Interprétation

L'étude théorique du phénomène de diffraction [Doc. 6] montre que :

Lors de la diffraction d'une onde lumineuse monochromatique de longueur d'onde λ par une fente de largeur a, l'écart angulaire θ entre le centre de la tache centrale et la première extinction est donné par :

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

avec θ en radian (rad), λ en mètre (m) et a en mètre.

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

Conséquence : cette relation nous permet de déterminer expérimentalement la longueur d'onde λ de la lumière d'un faisceau laser.

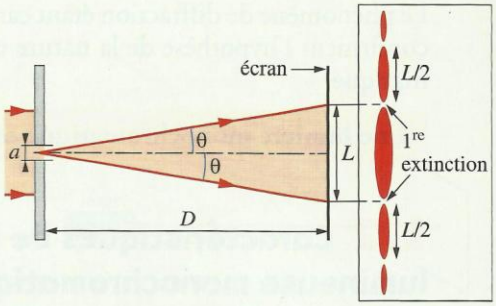
Appelons L la largeur de la tache centrale et D la distance entre la fente et l'écran d'observation. Le schéma du ***document 6*** montre que :

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

En pratique, le rapport $\frac{L}{2D}$ est très petit et $\tan\theta \approx \theta$, avec θ en radian.

D'où : $\theta = \frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a}$, soit $L = 2D.\frac{\lambda}{a}$.

Pour une distance D fixée entre la fente et l'écran, la largeur de la tache centrale est proportionnelle à la longueur d'onde et inversement proportionnelle à la largeur de la fente.



Doc. 6 *Avec une fente horizontale, la figure de diffraction est verticale. L'angle θ est aussi appelé demi-écart angulaire de la tache centrale de diffraction.*

Exercice d'entraînement 1

À partir des ***documents 5 a et b***, page 63, montrer que la largeur L de la tache centrale de diffraction est proportionnelle à la longueur d'onde λ.

Données :

λ_{vert} = 530 nm ; λ_{rouge} = 650 nm.

Les mesures des largeurs des taches centrales rouge L_R et verte L_V sur le ***document 5*** donnent le rapport $\frac{L_V}{L_R} = 0{,}83$.

Le rapport des longueurs d'onde correspondantes est :

$$\frac{\lambda_{vert}}{\lambda_{rouge}} = \frac{530}{650} = 0{,}81.$$

Aux erreurs de mesure près, nous pouvons estimer que les rapports $\frac{L_V}{L_R}$ et $\frac{\lambda_{vert}}{\lambda_{rouge}}$ sont égaux.

La largeur L de la tache centrale est donc proportionnelle à la longueur d'onde λ.

1.3 Caractéristiques de la diffraction de la lumière blanche

Nous venons d'étudier la diffraction d'une lumière monochromatique. Que se passe-t-il dans le cas de la lumière blanche qui est polychromatique?

> Observation

Le document de l'*activité préparatoire A*, page 61, et le ***document 7*** montrent le phénomène de diffraction de la lumière blanche par la trame d'un voilage en tergal et par les pistes d'un CD. Les taches de diffraction sont irisées (elles présentent des couleurs sur les bords).

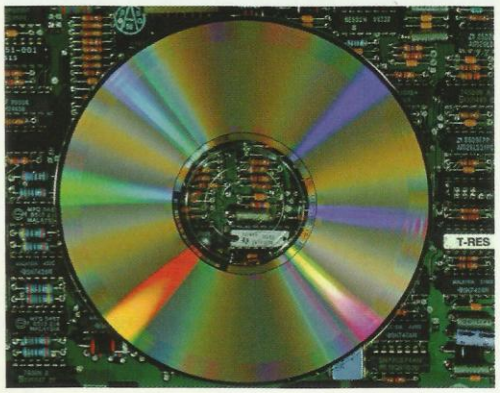
> Interprétation

L'expérience de l'*activité* 3 montre que l'écart angulaire dépend de la longueur d'onde.

La lumière blanche étant constituée d'une infinité d'ondes de longueurs d'onde différentes (on dit qu'elle est polychromatique), celles-ci sont diffractées différemment. Cela donne lieu à des irisations. Le phénomène de diffraction permet de décomposer la lumière blanche [Doc. 7].

La lumière blanche est polychromatique. Elle est constituée d'une infinité d'ondes de longueurs d'onde différentes.

> *Pour s'entraîner : Ex. 3 et 4*



Doc. 7 *Les pistes d'un CD permettent de décomposer la lumière blanche par diffraction.*

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

2. Quelles sont les particularités de la propagation d'une onde lumineuse ?

2.1 Nature des ondes lumineuses

De la lumière nous parvient du Soleil et des autres étoiles, après avoir traversé le vide intersidéral *[Doc. 8]*. La nature des ondes lumineuses diffère donc nettement de celle des ondes mécaniques qui, elles, nécessitent un milieu matériel élastique pour se propager.

Les ondes lumineuses sont des ondes électromagnétiques, comme le sont les ondes de radio, de télévision, les micro-ondes, les infrarouges, les ultraviolets, les rayons X, les rayons γ.

Ces ondes transportent de l'énergie (énergie rayonnante).



Doc. 8 *La lumière émise par le Soleil alimente les capteurs solaires de la station orbitale dans l'espace.*

2.2 Célérité dans le vide

Les ondes lumineuses, comme toutes les ondes électromagnétiques, se propagent dans le vide avec une célérité c voisine de 3×10^8 m . s^{-1}.

La valeur de la célérité de la lumière dans le vide est une constante universelle fixée à : $c = 299\,792\,458$ m . s^{-1}.

La vitesse de la lumière dans le vide est indépendante de la longueur d'onde : le vide n'est donc pas « dispersif ».

2.3 Célérité dans un milieu matériel ; indice d'un milieu

Dans un milieu matériel transparent, une onde lumineuse se propage à une vitesse ϑ inférieure à c.

On définit l'indice de réfraction (ou indice) d'un milieu transparent, pour une longueur d'onde donnée, par le rapport :

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

avec c la célérité de la lumière dans le vide et ϑ la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu.

L'indice d'un milieu est donc un nombre sans dimension, car c'est le rapport de deux vitesses *[Doc. 9]*. Il est toujours supérieur à 1, car $\vartheta < c$.

L'indice de l'air étant très proche de 1, la célérité d'une onde lumineuse a pratiquement la même valeur dans l'air et dans le vide.

Milieu	Indice
air	1,0003
eau	1,33
alcool	1,36
plexiglas	1,51
diamant	2,42

Doc. 9 *Indices de quelques milieux transparents.*

2.4 Fréquence et longueur d'onde

- La **couleur** de la lumière est associée à la fréquence.

Une onde lumineuse monochromatique est caractérisée par sa fréquence ν ; cette fréquence ne change pas quel que soit le milieu de propagation.

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

• Pour une onde de fréquence ν se propageant dans un milieu à la vitesse ϑ, la longueur d'onde est donnée par la relation :

$$\lambda = \vartheta \cdot T = \frac{\vartheta}{\nu}$$

avec λ en mètre (m), ϑ en mètre par seconde (m . s^{-1}), T en seconde (s) et ν en hertz (Hz).

Comme la vitesse ϑ dépend du milieu de propagation, on peut en conclure que :

Pour une onde donnée, la longueur d'onde dépend du milieu de propagation.

• Dans le cas du vide, la longueur d'onde, notée λ_0, est égale à :

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

Le spectre d'une lumière monochromatique, comme celui d'un laser utilisé au lycée, ne comporte qu'une seule raie *[Doc. 10]*. En revanche, le spectre d'une lumière polychromatique peut comporter plusieurs raies *[Doc. 11 et 12]* ou une infinité de radiations comme celui de la lumière blanche *[Doc. 13]*.

Très souvent, les tables de données indiquent les longueurs d'onde dans le vide *[Doc. 12 et 13]*.

Lampe à mercure		
couleur de la raie	λ_0 (nm) dans le vide	$\nu \times 10^{14}$ (Hz)
violette	404,6	7,41
bleue	435,6	6,88
verte clair	546	5,49
jaune	577	5,20

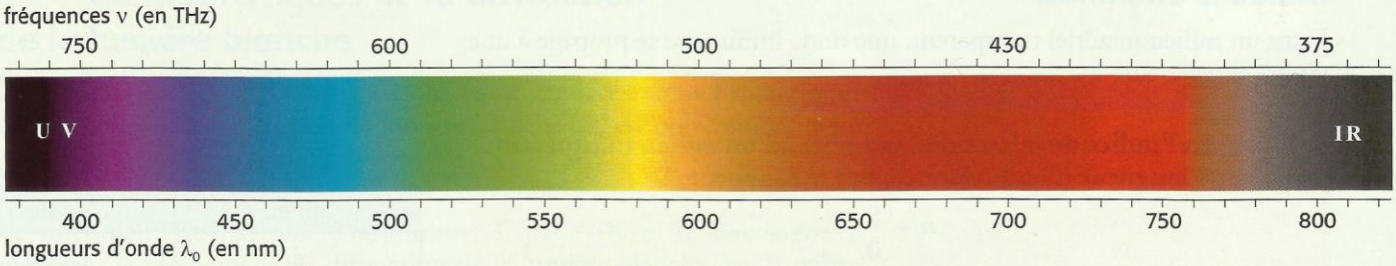
Doc. 12 *Le spectre de la lumière émise par une lampe à vapeur de mercure comporte quelques radiations caractérisées par leurs longueurs d'onde dans le vide ou par leurs fréquences. C'est une lumière polychromatique.*



Doc. 10 *Spectre d'une lumière monochromatique, celle d'un laser.*



Doc. 11 *Spectre de raies d'une lampe à vapeur de mercure.*



Doc. 13 *Les radiations visibles par l'œil humain (1 THz = 10^{12} Hz).*

Exercice d'entraînement 2

Un laser utilisé au lycée porte l'indication : « longueur d'onde dans le vide λ_0 = 632 nm ».

1. Quelle est la fréquence de la lumière de ce laser ?
2. Quelle est la célérité de cette lumière dans l'eau ?
3. Quelle est, dans l'eau, la longueur d'onde de la lumière de ce laser ?

Données : indice de l'eau pour cette onde : n = 1,33 ;
célérité de la lumière dans le vide : c = 3,00 × 10^8 m . s^{-1}.

Pour s'entraîner : Ex. 7 et 8

1. La fréquence est :

$$\nu = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{632 \times 10^{-9}} = 4{,}74 \times 10^{14} \text{ Hz.}$$

2. La célérité dans l'eau est :

$$\vartheta = \frac{c}{n} = \frac{3{,}00 \times 10^8}{1{,}33} = 2{,}25 \times 10^8 \text{ m . s}^{-1}.$$

3. La longueur d'onde dans l'eau est donc :

$$\lambda_{eau} = \frac{\vartheta}{\nu} = \frac{2{,}25 \times 10^8}{4{,}74 \times 10^{14}} = 475 \times 10^{-9} \text{ m} = 475 \text{ nm.}$$

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع

Talamid.ma : هذا الملف تم تحميله من موقع

3. Comment s'effectue la dispersion de la lumière blanche ?

L'*activité préparatoire B*, page 61, montre que la lumière polychromatique est décomposée par un prisme de verre. Quelle est l'origine de ce phénomène ?

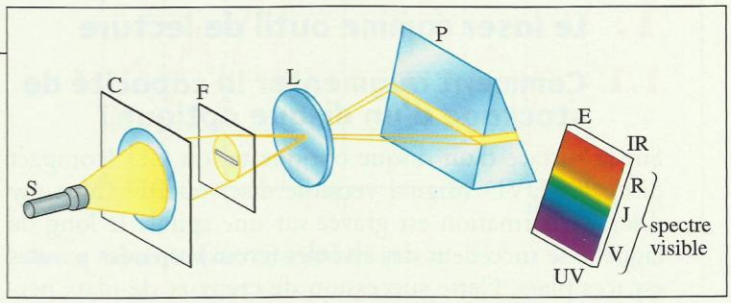
Activité 4

Comment décomposer la lumière blanche avec un prisme ?

Réaliser le spectre de la lumière blanche par un prisme [Doc. 14].

Une lentille forme l'image de la fente F sur un écran E.

1. *Noter les observations.*
2. *Comment interpréter le phénomène ?*



Doc. 14 *Montage expérimental pour observer la dispersion de la lumière blanche.*
S : source de lumière blanche ; C : condenseur ; F : fente dans l'écran opaque : lentille ; P : prisme.

> Observation

En observant le spectre obtenu, on constate que la lumière violette est plus déviée que la lumière rouge [Doc. 15].



Doc. 15 *Les radiations violettes sont plus déviées par le prisme que les radiations rouges.*

> Interprétation

Le prisme dévie différemment chacune des ondes monochromatiques qui composent la lumière blanche et peut ainsi les séparer. Chacune de ces ondes est caractérisée par une fréquence particulière. Or les réfractions sur chacune des faces du prisme obéissent à la loi de Descartes [Doc. 16] :

$$n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2.$$

Donc, des déviations différentes d'ondes de fréquences différentes impliquent des indices de réfraction différents, donc des vitesses de propagation différentes [Doc. 16].

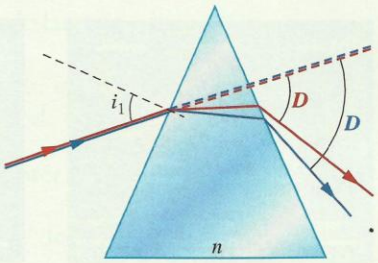
L'indice et la vitesse de propagation des ondes dépendent donc de la fréquence : le verre du prisme est donc dispersif (voir le *chapitre* 2, page 45).

Un milieu est dispersif si la vitesse de propagation de la lumière dans ce milieu et donc l'indice de réfraction dépendent de la fréquence.

Le phénomène de dispersion permet d'interpréter la décomposition de la lumière blanche par un prisme (voir l'*activité préparatoire B*, page 61).

Par temps de pluie, la formation d'un arc-en-ciel (voir la photographie de la page 60) est due à la décomposition de la lumière blanche du Soleil par des gouttes d'eau présentes dans l'atmosphère qui joue le rôle de milieu dispersif.

Tous les milieux, sauf le vide, sont plus ou moins dispersifs. L'air est très peu dispersif pour les ondes lumineuses ; de plus, comme son indice est voisin de 1, il se comporte optiquement comme le vide.



Doc. 16 *Les deux réfractions successives lors de la traversée du prisme montrent que l'indice du verre est différent pour ces deux radiations colorées.*

> Pour s'entraîner : Ex. 9

Talamid.ma : للمزيد من الملفات قم بزيارة الموقع