



Chapitre 3 : Le modèle ondulatoire de la lumière

Pré requis :

- ✓ TP ϕ de 2^{nde} sur l'épaisseur du cheveu
- ✓ Cours de physique de 2^{nde} sur la lumière : spectres, domaines de longueurs d'ondes de la lumière visible, prisme, indice d'un milieu ...

Connaissances et savoir-faire exigibles :

- (1) Savoir que, étant diffractée, la lumière peut être décrite comme une onde.
- (2) Connaître l'importance de la dimension de l'ouverture ou de l'obstacle sur le phénomène observé.
- (3) Exploiter une figure de diffraction dans le cas des ondes lumineuses (**voir TP ϕ n°2**).
- (4) Connaître et savoir utiliser la relation $\lambda = c/v$, la signification et l'unité de chaque terme.
- (5) Connaître et utiliser la relation $\theta = \lambda/a$, la signification et l'unité de chaque terme.
- (6) Définir une lumière monochromatique et une lumière polychromatique.
- (7) Connaître les limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre visible et les couleurs correspondantes.
- (8) Situer les rayonnements ultraviolets et infrarouges par rapport au spectre visible.
- (9) Savoir que la lumière se propage dans le vide et dans les milieux transparents.
- (10) Savoir que la fréquence d'une radiation monochromatique ne change pas lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre.
- (11) Savoir que les milieux transparents sont plus ou moins dispersifs.
- (12) Définir l'indice d'un milieu transparent pour une fréquence donnée.
- (13) Savoir-faire expérimentaux : (**voir TP ϕ n°2**)
Réaliser un montage permettant de mettre en évidence le phénomène de diffraction dans le cas d'ondes lumineuses.
Réaliser des mesures permettant de vérifier la pertinence de la relation $\theta = \lambda/a$.

Introduction :

Texte historique de Huygens

- 1) Newton s'oppose à Huygens sur la nature de la lumière.
- 2) Newton défend la théorie corpusculaire alors que Huygens défend la théorie ondulatoire.
- 3) La lumière ne transporte pas de matière et deux lumières peuvent se traverser l'une l'autre sans se perturber.
- 4) L'analogie entre la lumière et la propagation du son dans l'air.

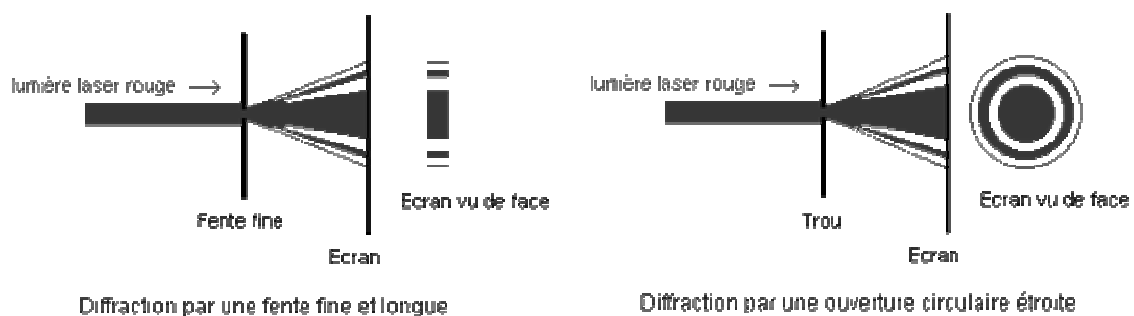
L'analogie entre la lumière et les ondes mécaniques : la diffraction :

- 1) Nature ondulatoire de la lumière ⁽¹⁾ :

Nous avons vu, par exemple grâce à la cuve à onde, que lorsqu'une onde à la surface de l'eau rencontre une petite ouverture, dont la dimension était de l'ordre de la longueur d'onde de l'onde incidente, il y avait un phénomène d'étalement de l'onde après l'ouverture.

En est-il de même avec la lumière ?

a. Expérience :





b. Observations :

Comme dans le cas des ondes mécaniques, **nos observations ne sont pas conformes avec nos prévisions** (guidées par la théorie de la **propagation rectiligne de la lumière**). Il y a **étalement de la lumière** avec en plus l'apparition de **franges successivement brillantes et sombres**.

c. Conclusion :

C'est le physicien **Huygens en 1690** qui propose d'interpréter la lumière comme une onde : en effet, **étant diffractée, la lumière peut être décrite comme une onde**.

2) Caractéristiques de la lumière :

Comme la lumière a un caractère ondulatoire, elle présente les mêmes caractéristiques qu'une onde mécanique :

a. Longueur d'onde dans le vide et fréquence ⁽⁴⁾ :

Une onde lumineuse ou **radiation lumineuse est caractérisée par sa longueur d'onde dans le vide λ exprimée en mètres**.

Celle-ci est reliée à la période de l'onde T ou à sa fréquence ν par l'intermédiaire de la célérité :

$$\lambda = c \times T = \frac{c}{\nu}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda : \text{longueur d'onde dans le vide (m)} \\ T : \text{période (s)} \\ \nu : \text{fréquence (Hz)} \\ c : \text{célérité (m/s)} \end{array} \right.$$

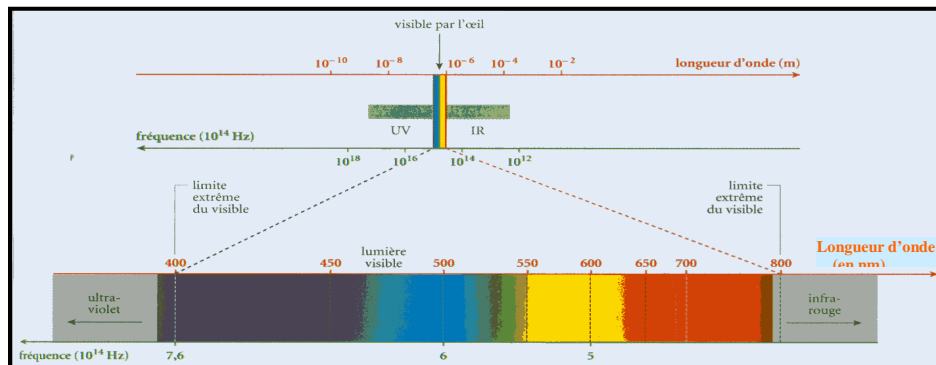
b. Célérité :

Dans le vide et pratiquement dans l'air, **toutes les radiations lumineuses se propagent avec la même célérité $c = 3.00 \times 10^8$ m/s, quelque soit leur fréquence**.

c. Lumières, couleurs et domaines de radiations ⁽⁷⁾ et ⁽⁸⁾ :

Les valeurs des longueurs d'onde λ des radiations lumineuses nous permettent de les classer en différents domaines :

- **Si $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$** , la radiation appartient au domaine des **radiations visibles** :
En effet l'œil n'est sensible qu'à ce domaine de longueur d'onde, et nous permet de voir toutes les couleurs :



- **Si $\lambda < 400 \text{ nm}$** , la radiation appartient au domaine des **ultraviolets**.
- **Si $\lambda > 800 \text{ nm}$** , la radiation appartient au domaine des **infrarouges**.

d. Définitions ⁽⁶⁾ :

- Une lumière est dite **monochromatique** lorsqu'elle est composée d'**une seule radiation de longueur d'onde déterminée** (donc d'une seule couleur).
Ex : Lumière d'un laser.
- Une lumière est dite **polychromatique** si elle est composée de **plusieurs radiations de longueurs d'ondes différentes** (donc de plusieurs couleurs).
Ex : Lumière blanche.

Exercices n°1 et 2

3) Retour sur la diffraction : influence de la dimension de l'ouverture :

a. Expérience ⁽²⁾ :

On recommence l'expérience de diffraction en utilisant **deux fentes de taille différente**. On observe les différences entre les figures de diffraction.

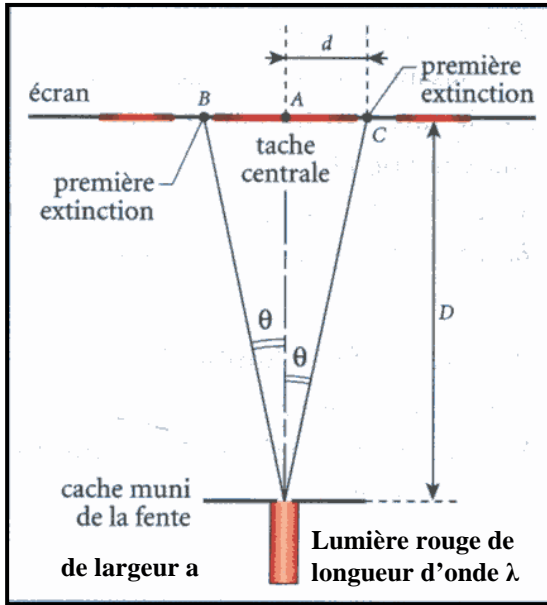
Observations :

Plus la fente est fine et étroite, plus la lumière s'étale et plus la **taille de la tâche centrale de la figure de diffraction est grande**.

b. Une relation qui régit le phénomène ⁽⁵⁾ :

On voit donc qu'il y a un lien direct entre la taille de l'ouverture et la figure de diffraction.

On peut quantifier ce lien par une relation mathématique :



Soit :

λ : longueur d'onde de la lumière utilisée (**m**)

a : largeur de la fente (**m**)

θ : demi largeur angulaire de la tâche centrale de diffraction (entre le milieu de la tâche et le centre de la première extinction) (**rad**)

$$\text{on a : } \theta = \frac{\lambda}{a}$$

Cela confirme nos observations : plus **a** est petit, plus θ est grand.

Attention !!!

L'apparence de la figure de diffraction dépend aussi de la distance entre la fente et l'écran puisque :

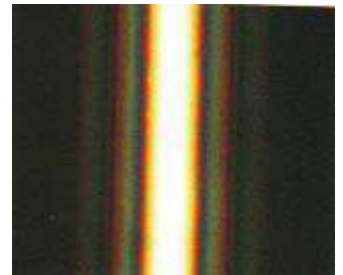
$$\tan \theta \approx \theta = \frac{d}{D}$$

c. Mais si θ dépend de λ , qu'obtient-on en diffractant de la lumière blanche ?

On effectue l'expérience de diffraction de la lumière blanche avec une fente, on observe.

On obtient une irisation des franges de part et d'autre de la frange centrale qui elle, est blanche.

En effet, les radiations de longueur d'onde différente sont diffractées différemment, les figures de diffraction pour chaque couleur se superposent.



II Propagation de la lumière dans les milieux transparents :

1) Définition ⁽⁹⁾ :

La lumière est une onde qui se propage dans le vide est dans tous milieux transparents.

2) Caractéristiques de cette propagation :

a. Invariance de la fréquence d'une radiation monochromatique ⁽¹⁰⁾ :

La **fréquence** d'une radiation monochromatique est **imposée par la source**, elle ne dépend donc pas du milieu de propagation et **reste inchangée quand la lumière passe d'un milieu transparent à une autre**.

b. Indice d'un milieu transparent ⁽¹²⁾ :

Pour une radiation lumineuse de fréquence donnée, la **célérité de propagation** de cette onde **dépend et est une caractéristique du milieu transparent** dans laquelle elle se propage.



On définit alors l'**indice de réfraction** du milieu :

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

- n : indice de réfraction du milieu (sans unité)
- c : célérité de l'onde dans le vide (m/s)
- v : célérité de l'onde dans le milieu considéré (m/s)

Cet indice de réfraction est **supérieure ou égal à 1** puisqu'il ne peut exister de célérité plus grande que celle de la lumière dans le vide.

<u>Milieu</u>	<u>Indice n</u>
Air, vide	1
Eau	1.33
Ethanol	1.36
Plexiglas	1.50
Verre	1.50
Diamant	2.42

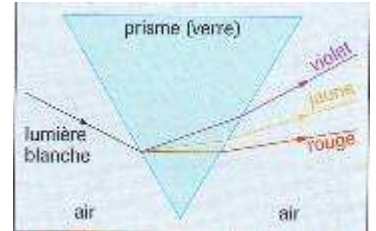
3) Milieux transparents dispersifs ou non dispersifs ⁽¹¹⁾ :

a. Expérience :

Après avoir réalisé un faisceau mince de lumière blanche, on fait passer celui-ci à travers un prisme.

Observations :

Dans une direction déviée par rapport à la direction du faisceau incident, on observe le **spectre de la lumière blanche** qui est composé de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel.



Quels phénomènes de dispersion sont observables dans la vie de tous les jours ?
Arc-en-ciel / bulle de savon / surface eau essence ...

site web : <http://www.ens-lyon.fr/Planet-Terre/Infosciences/Climats/Rayonnement/Arc-en-ciel/arc.htm>
<http://villemin.gerard.free.fr/Scienmod/ArcCiel.htm>

b. Interprétations :

On a effectué une expérience de dispersion de la lumière blanche.

Le matériau dans lequel est taillé le prisme est ce que l'on appelle un **milieu dispersif** :

Dans ces milieux, la célérité des ondes dépend de leur fréquence. Ainsi l'indice du milieu dépend également de la fréquence de la radiation lumineuse.

Ex : Pour le verre : $n_{\text{ROUGE}} = 1.510$ / $n_{\text{ORANGE}} = 1.515$ / $n_{\text{VIOLET}} = 1.520$

Un milieu est donc non dispersif lorsque la célérité des ondes et l'indice du milieu ne dépendent pas de leur fréquence (vide, air).

c. Remarques :

- Il existe des milieux transparents plus ou moins dispersifs :
Un milieu est **d'autant plus dispersif que son indice dépend plus fortement de la fréquence** de la lumière qui s'y propage.
- **Seule une lumière polychromatique peut-être décomposée par un milieu dispersif.** Le spectre d'une lumière monochromatique sera composé un seule raie.

Exercices n°11, 13 et 15 p 70-71