

Leçon N°3 : **Propagation d'une onde lumineuse**

Introduction

L'arc en ciel provient de la lumière du soleil qui rencontre les gouttelettes d'eau.

- La lumière est-elle une onde ?
- Comment expliquer le phénomène d'arc en ciel et l'irisation observé sur un cédérom exposé à la lumière ?



I. Nature ondulatoire de la lumière

1. Diffraction de la lumière

Nous avons vu, dans la leçon précédente, que lorsqu'une onde à la surface de l'eau rencontre une petite ouverture, il y avait un phénomène de diffraction de l'onde après l'ouverture. *En est-il de même avec la lumière ?*

Dans un milieu homogène, un faisceau lumineux émis par un laser se propage *en ligne droite* : c'est le *principe de propagation rectiligne*. *Que se passe-t-il lorsque la lumière rencontre une petite ouverture ou un petit obstacle ?*

Expérience :

On interpose devant un faisceau laser successivement :

- Une *fente verticale* très étroite, percée dans une plaque opaque.
- En petit *trou circulaire* percé dans une plaque opaque.

Observations :

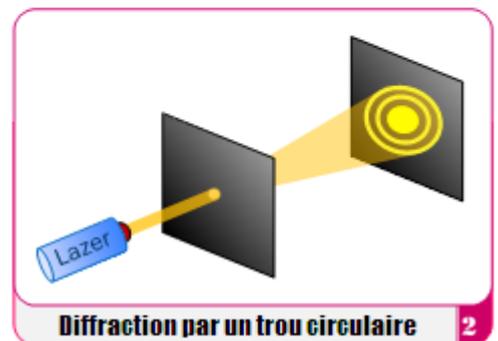
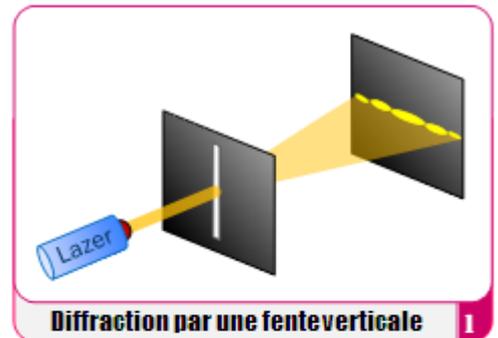
- Le principe de propagation rectiligne de la lumière *ne vérifie pas*.
- Il y a un changement dans la direction des rayons lumineux, de sorte qu'ils peuvent atteindre des autres places derrière l'obstacle, formant séquentiellement des *tâches lumineuses* et d'autres *sombres*.
- La fente et le trou se comportent comme des *sources secondaires* de la lumière.

Conclusion :

On dit que la lumière subit au **phénomène de diffraction**.

Remarque :

- Pour la fente, la forme de diffraction est perpendiculaire à cette fente.
- A l'aide d'un fil vertical fin, on peut obtenir une forme de diffraction similaire à celle obtenue par la fente verticale.



2. Nature ondulatoire de la lumière

Le phénomène de diffraction montre que la lumière est considérée comme *une onde*.

La lumière est donc caractérisée, comme toutes les ondes, par sa *longueur d'onde* λ , sa *période* T , et par sa *fréquence* ν .

Remarque :

La lumière n'est une onde mécanique, c'est une onde électromagnétique qui se propage dans les milieux matériels, et aussi dans le vide.

II. Caractéristiques de l'onde lumineuse

1. Lumière monochromatique et lumière polychromatique

- Une lumière est dite **monochromatique** si elle est composée d'une *seule radiation lumineuse de longueur d'onde déterminée*, donc elle est caractérisée par une *seule couleur*.

Exemple : Lumière d'un laser.

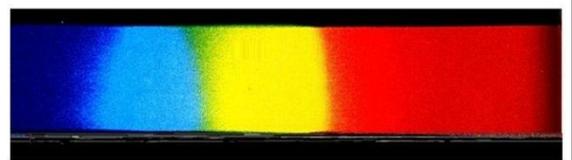
- Une lumière est dite **polychromatique** si elle est composée de *plusieurs radiations de longueurs d'ondes différentes*, donc de *plusieurs couleurs*.

Exemple : Lumière blanche.

Spectre d'un laser hélium-néon



Spectre de la lumière blanche



2. Célérité de la lumière

La célérité v d'une onde lumineuse dans un milieu transparent et homogène est définie par la relation :

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

v : Célérité de l'onde lumineuse en $m.s^{-1}$.

λ : Longueur d'onde lumineuse en m .

T : Période de l'onde lumineuse en s .

ν : Fréquence de l'onde lumineuse en Hz .

Remarques :

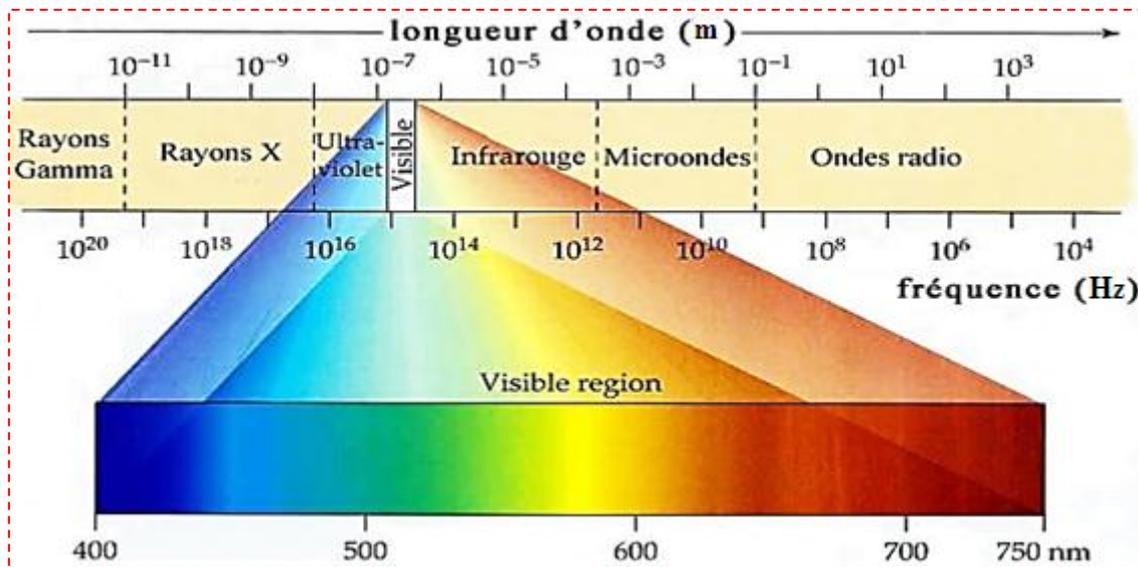
- La célérité v d'une onde lumineuse *dépend du milieu de propagation*.
- La fréquence ν de l'onde lumineuse est *indépendante du milieu de propagation*, elle dépend seulement de la *source*.
- Dans le *vide*, la célérité de la lumière est notée c , et son expression est :

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

La lumière se propage dans le vide avec une célérité égale à $c = 299\,792\,458\,m.s^{-1}$, et on utilise souvent la valeur approximative : $c = 3 \times 10^8\,m.s^{-1}$

3. Lumières, couleurs et domaines de radiations

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



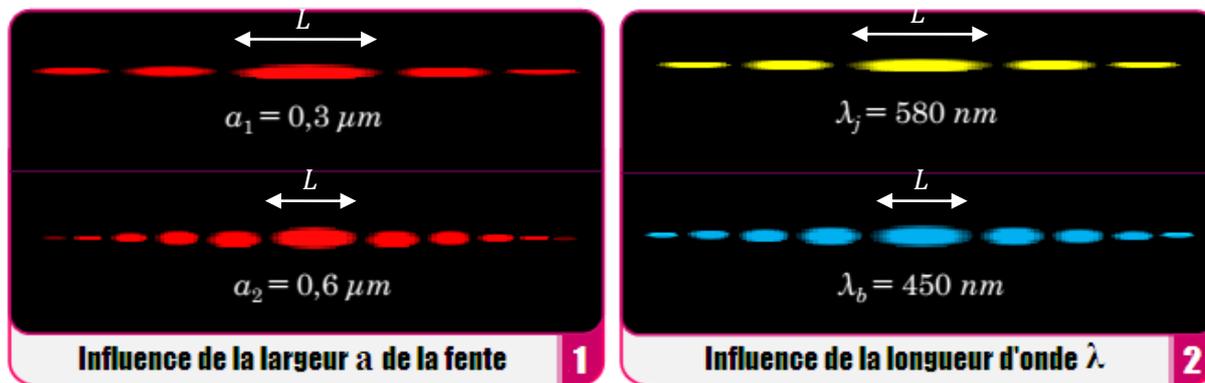
- Si $\lambda < 400 \text{ nm}$: les radiations appartiennent au domaine des **ultraviolets**.
- Si $400 \text{ nm} < \lambda < 800 \text{ nm}$: les radiations appartiennent au domaine *des radiations visibles*. Ces couleurs sont : **Violet, Indigo, Bleu, Vert, Jaune, Orange**, et **rouge**.
- Si $\lambda > 800 \text{ nm}$: les radiations appartiennent au domaine des **infrarouges**.

III. Diffraction d'une onde monochromatique

1. Les paramètres influençant la diffraction de la lumière monochromatique par une fente

On constate expérimentalement que :

- La largeur L de la tâche centrale *augmente* lorsque la largeur a de la fente *diminue* (Fig.1).
- La largeur L de la tâche centrale *augmente* avec la longueur de l'onde lumineuse λ (Fig.2).



2. L'écart angulaire θ

L'écart angulaire θ est l'angle entre le centre de la *tache centrale* et la *première tache sombre*, il est exprimé par la relation :

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

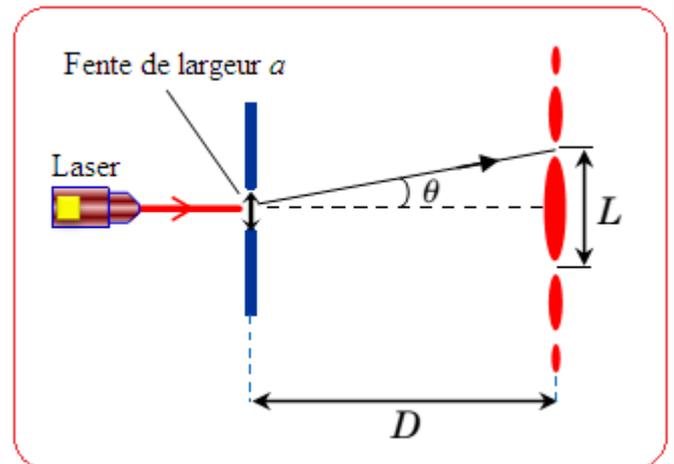
θ : L'écart angulaire en *radian (rad)*.

λ : La longueur d'onde en *mètre (m)*.

a : La largeur de la fente en *mètre (m)*.

3. La relation entre la longueur d'onde λ , la largeur de la fente a , la largeur de la tâche centrale L , et la distance entre la fente et l'écran

D'après la figure ci-contre, on a :



Pratiquement, lorsque $L \gg D$, l'écart angulaire θ est très petit, dans ce cas, on peut utiliser l'approximation suivante :

D'où :

Finalement :

IV. Dispersion de la lumière

1. Rappel : Réfraction de la lumière

a. Définition

Expérience :

On immerge partiellement une paille dans un bêcher plein d'eau.

- La paille semble être brisée au niveau de la surface libre de l'eau.
- Cette expérience illustre le phénomène de réfraction de la lumière.



Définition :

La réfraction est le changement de direction que subit un rayon lumineux quand il traverse la surface de deux milieux transparents différents. Un rayon perpendiculaire à la surface n'est pas dévié.

b. Indice de réfraction d'un milieu transparent

L'indice de réfraction n d'un milieu transparent est défini par la relation :

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

c : La célérité de la lumière dans le vide.

v : La vitesse de propagation de la lumière dans le milieu transparent.

Remarques :

- L'indice de réfraction est une grandeur *sans unité*, et toujours, on a : **1**.
- L'indice de réfraction *dépend de la longueur d'onde* du rayon lumineux. En effet :

Radiation	en nm	L'indice de réfraction
Violet	434	1,652
Bleu	486	1,641
Jaune	589	1,629
Orange	656	1,627
Rouge	768	1,618

2. Dispersion de la lumière par un prisme

a. Définition du prisme

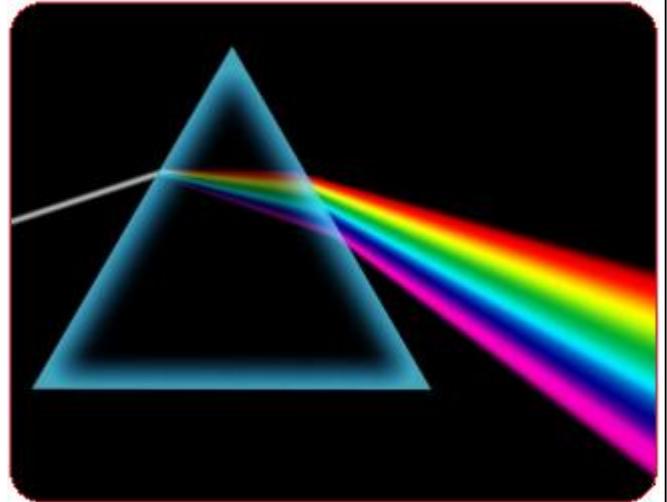
Un prisme est un milieu transparent et homogène limité par deux dioptries plans non parallèles qui constituent les faces du prisme, celles-ci se coupent suivant une droite appelée l'arête du prisme.

L'angle A entre les deux dioptries non parallèles est dite l'angle du prisme.



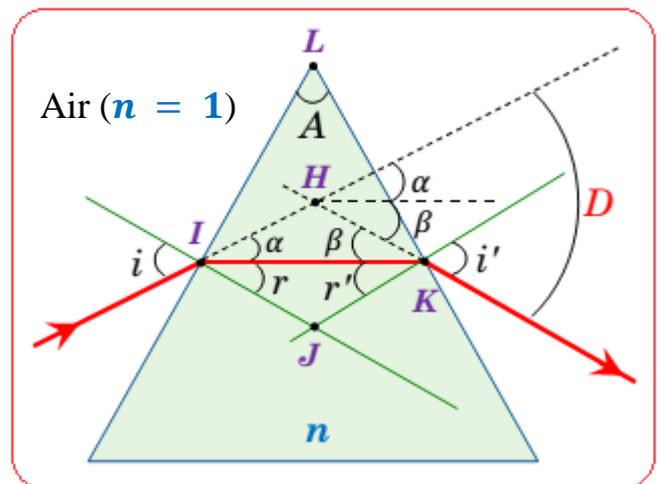
b. Dispersion de la lumière par un prisme

- Lorsque la lumière blanche traverse un prisme, on observe la formation d'un ensemble des couleurs similaires aux couleurs de l'arc en ciel. Ces couleurs sont appelées le *spectre de la lumière blanche*, on dit que la lumière blanche *s'est dispersée* après avoir traversé le prisme.
- On constate que la *lumière violette* est la *plus déviée*, et que la *lumière rouge* est la *moins déviée*.
- Le prisme *dévie différemment* chacune des ondes monochromatiques qui composent la lumière blanche et peut ainsi les *séparer*, cette phénomène est appelée *dispersion de la lumière blanche*.



c. Les relations d'un prisme

- On appelle **D** l'angle entre la direction du *rayon incident HI* et la direction du *rayon émergent HK* : *l'angle de déviation*.
- **i** : *l'angle d'incidence*.
- **r** : *l'angle de réfraction du rayon incident au point I*.
- **r'** : *l'angle d'incidence au point K*.
- **i'** : *l'angle de réfraction au point K*.
- **n** : *l'indice de réfraction du prisme*.



Les relations d'un prisme :

- La loi de Descartes pour la réfraction au point I :

$$\sin i = n \cdot \sin r$$

- La loi de Descartes pour la réfraction au point K :

$$n \cdot \sin r' = \sin i'$$

- Triangle ILK :

$$A + \left(\frac{\pi}{2} - r\right) + \left(\frac{\pi}{2} - r'\right) = \pi$$

⇔

$$A - (r + r') + \pi = \pi$$

⇔

$$A = r + r'$$

- D'autre part :

$$D'où : \quad ; \quad ;$$

$$(i - r) + (i - r) = (i - r) - (r - i)$$

$$(i - r)$$

d. Explication du phénomène de dispersion de la lumière blanche

Le faisceau lumineux arrivé à la 1^{ère} face du prisme est constitué d'une ensemble des rayons lumineux *parallèles*, ç-à-d elles ont le même l'angle d'incidence i .

On considère la radiation rouge et la radiation violette, tel que

Puisque l'indice de réfraction du prisme dépend de *la longueur d'onde λ* , et de *la fréquence ν* de la radiation lumineuse, donc : n

- La relation : r , donne :
- La relation : e , donne :
- La relation : $,$ donne :
- La relation : $(i - r) A$, donne :

Les deux rayons rouge et violet *n'ont pas le même angle de déviation*, ce qui donne la séparation des rayons lumineux : c'est le *phénomène de dispersion*.

Remarque :

Les déviations différentes des radiations de fréquences différentes impliquent des indices de réfractons différents, donc des vitesses de propagation différentes.

La **vitesse v de propagation** des différentes radiations dépend donc de la **fréquence ν** :

Le verre du prisme est un *milieu dispersif*.