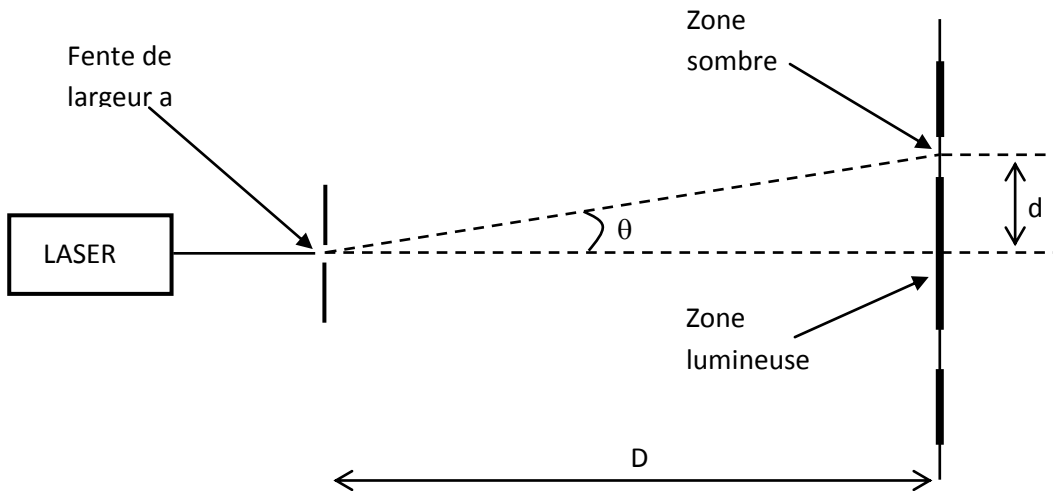


## Exercices ondes lumineuses

### Exercice N°1 : CARACTÈRE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE

On réalise une expérience en utilisant un LASER, une fente de largeur réglable et un écran blanc. Le dispositif (vu de dessus) est représenté ci-dessous :



Les mesures de la largeur de la fente  $a$ , de la distance de la fente à l'écran  $D$  et de la largeur de la zone lumineuse centrale  $2d$  conduisent aux résultats suivants :

$$a = 0,200 \text{ mm}$$

$$D = 2,00 \text{ m}$$

$$2d = 12,6 \text{ mm}$$

1. Quel est le nom du phénomène observé ?

**2. Exploitation des résultats de l'expérience.**

2.1. L'angle  $\theta$  étant « petit », on peut faire l'approximation :  $\tan \theta \approx \theta$  (en rad).

En utilisant les résultats des mesures, calculer la valeur de l'angle  $\theta$  en radians.

2.2. Donner la relation qui lie les grandeurs  $\theta$  (écart angulaire),  $\lambda$  (longueur d'onde de la lumière) et  $a$  (largeur de la fente). Indiquer les unités dans le système international.

Calculer la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$ .

2.3. Quelle est la relation entre  $\lambda$  (longueur d'onde de la lumière),  $c$  (célérité de la lumière) et  $\nu$  (fréquence de la lumière) ?

Indiquer les unités dans le système international.

2.4. Indiquer comment varie  $d$  lorsque :

- on remplace la lumière émise par le LASER (lumière rouge) par une lumière bleue ?
- on diminue la largeur de la fente  $a$  ?

2.5. Qu'est-ce qui différencie une lumière monochromatique d'une lumière polychromatique ?

**3. Dispersion de la lumière.**

On remplace le LASER par une source de lumière blanche et la fente par un prisme en verre.

3.1. Quelle est la grandeur qui ne change pas lors du passage d'une radiation de l'air dans le verre : la longueur d'onde, la fréquence ou la célérité ?

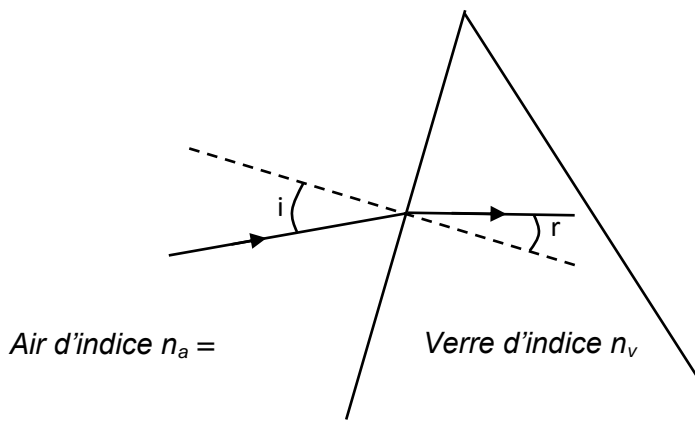
3.2. Donner la relation qui définit l'indice de réfraction d'un milieu transparent pour une radiation lumineuse monochromatique, en précisant la signification des symboles utilisés.

3.3. On donne : célérité de la lumière dans le vide  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ; indice du verre utilisé  $n = 1,50$  pour une radiation lumineuse donnée.

Calculer la célérité de cette radiation dans le verre.

3.4. Qu'appelle-t-on milieu dispersif ?

Lorsque la lumière passe de l'air dans le prisme, elle est déviée :



Relation de Descartes

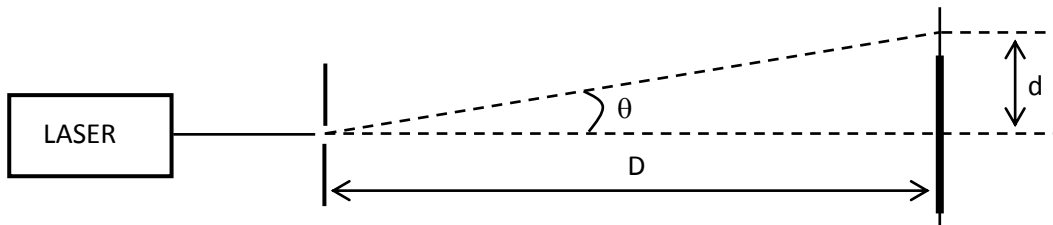
Pour une lumière monochromatique :

$$n_a \cdot \sin i = n_v \cdot \sin r$$

On observe que si on fixe la valeur de  $i$ , la valeur de  $r$  varie lorsque la fréquence de la radiation incidente varie.

3.5. Dédurre de ces informations, à partir de la relation de Descartes et de la définition de l'indice de réfraction que le verre est dispersif.

## Correction de l'exercice N°1 : CARACTÈRE ONDULATOIRE DE LA LUMIÈRE



1. Il se produit le phénomène de **diffraction**.

2. **Exploitation des résultats de l'expérience.**

$$2.1. \tan \theta = \frac{d}{D}$$

L'angle  $\theta$  étant « petit », on peut faire l'approximation :  $\tan \theta \approx \theta$  (en rad) alors  $\theta = \frac{d}{D}$

$$\theta = \frac{(12,6 \times 10^{-3})/2}{2,00} = 3,15 \times 10^{-3} \text{ rad}$$

$$2.2. \theta = \frac{\lambda}{a} \text{ avec } \lambda \text{ en mètres, } \theta \text{ en radians et } a \text{ en mètres}$$

donc  $\lambda = \theta \cdot a$

$$\lambda = 3,15 \times 10^{-3} \times 0,200 \times 10^{-3} = 6,30 \times 10^{-7} \text{ m} = 630 \text{ nm}$$

$$2.3. \lambda = \frac{c}{\nu} \text{ avec } \lambda \text{ en mètres, } c \text{ en mètres par seconde et } \nu \text{ en hertz.}$$

$$2.4. \text{ D'après 2.1. et 2.2., on obtient } \frac{d}{D} = \frac{\lambda}{a}, \text{ soit } d = \frac{\lambda}{a} \cdot D$$

- Si on remplace la lumière émise par le LASER (lumière rouge) par une lumière bleue, alors on **diminue la longueur d'onde  $\lambda$** .  $a$  et  $d$  ne variant pas, alors  **$d$  diminue**.

- Si on diminue la largeur de la fente  $a$ , avec  $\lambda$  et  $D$  constantes ; alors  **$d$  augmente**.

2.5. Une lumière monochromatique est constituée d'une seule radiation lumineuse de fréquence bien déterminée. Tandis qu'une lumière polychromatique est constituée par l'association d'au moins deux radiations monochromatiques de fréquences différentes.

## 3. Dispersion de la lumière.

3.1. Seule la **fréquence** ne change pas lors du passage d'une radiation de l'air dans le verre.

3.2. Soit  $n$  l'indice de réfraction du milieu transparent considéré,  $v$  la célérité de la radiation monochromatique dans ce milieu et  $c$  la célérité de la lumière dans le vide, on a  $n = \frac{c}{v}$ .

3.3. D'après la réponse précédente :  $v = \frac{c}{n}$

$$v = \frac{3,00 \times 10^8}{1,50} = 2,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

3.4. Dans un milieu dispersif, la célérité d'une onde dépend de sa fréquence.

3.5. D'après la relation de Descartes, avec  $n_a = 1,0$ , on obtient  $\sin i = n_v \cdot \sin r$ , soit  $n_v = \frac{\sin i}{\sin r}$ .

L'énoncé indique qu'avec l'angle  $i$  constant, et la fréquence  $\nu$  qui varie alors  $r$  varie. On en déduit que l'indice de réfraction du verre  $n_v$  varie selon la fréquence.

D'autre part  $n_v = \frac{c}{v}$ , où  $C$  est constante. Donc si  $n_v$  varie selon la fréquence alors  $v$  aussi.

Le verre est un milieu est dispersif.

## EXERCICE I. LA LUMIÈRE : UNE ONDE

Le texte ci-dessous retrace succinctement l'évolution de quelques idées à propos de la nature de la lumière.

**Huyghens** (1629-1695) donne à la lumière un caractère ondulatoire par analogie à la propagation des ondes à la surface de l'eau et à la propagation du son.

Pour Huyghens, le caractère ondulatoire de la lumière est fondé sur les faits suivants:

- « le son ne se propage pas dans une enceinte vide d'air tandis que la lumière se propage dans cette même enceinte. La lumière consiste dans un mouvement de la matière qui se trouve entre nous et le corps lumineux, matière qu'il nomme éther ».

- « la lumière s'étend de toutes parts<sup>①</sup> et, quand elle vient de différents endroits, même de tout opposés<sup>②</sup>, les ondes lumineuses se traversent l'une l'autre sans s'empêcher<sup>③</sup> »

- « la propagation de la lumière depuis un objet lumineux ne saurait être<sup>④</sup> par le transport d'une matière, qui depuis cet objet s'en vient jusqu'à nous ainsi qu'une balle ou une flèche traverse l'air ».

**Fresnel** (1788-1827) s'attaque au problème des ombres et de la propagation rectiligne de la lumière.

Avec des moyens rudimentaires, il découvre et il exploite le phénomène de diffraction.

Il perce un petit trou dans une plaque de cuivre. Grâce à une lentille constituée par une goutte de miel déposée sur le trou, il concentre les rayons solaires sur un fil de fer.

Extraits d'articles parus dans l'ouvrage « Physique et Physiciens » et dans des revues « Sciences et Vie ».

① de toutes parts = dans toutes les directions

③ sans s'empêcher = sans se perturber

② de tout opposés = de sens opposés

④ ne saurait être = ne se fait pas

## 1. QUESTIONS À PROPOS DU DOCUMENT ENCADRÉ

### 1.1. Texte concernant Huyghens

1.1.1. Quelle erreur commet Huyghens en comparant la propagation de la lumière à celle des ondes mécaniques?

1.1.2. Citer deux propriétés générales des ondes que l'on peut retrouver dans le texte de Huyghens.

## 1.2. Texte concernant Fresnel

1.2.1. *Fresnel a utilisé les rayons solaires pour réaliser son expérience.*

Une telle lumière est-elle monochromatique ou polychromatique?

1.2.2. *Fresnel exploite le phénomène de diffraction de la lumière par un fil de fer.*

Le diamètre du fil a-t-il une importance pour observer le phénomène de diffraction? Si oui, indiquer quel doit être l'ordre de grandeur de ce diamètre.

### 2. DIFFRACTION

*On réalise une expérience de diffraction à l'aide d'un laser émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ .*

*À quelques centimètres du laser, on place successivement des fils verticaux de diamètres connus.*

*On désigne par  $a$  le diamètre d'un fil*

*La figure de diffraction obtenue est observée sur un écran blanc situé à une distance  $D = 1,60$  m des fils. Pour chacun des fils, on mesure la largeur  $L$  de la tache centrale.*

*À partir de ces mesures et des données, il est possible de calculer l'écart angulaire  $\theta$  du faisceau diffracté (voir figure 1 ci-après).*

Figure 1  
(Vue du dessus)

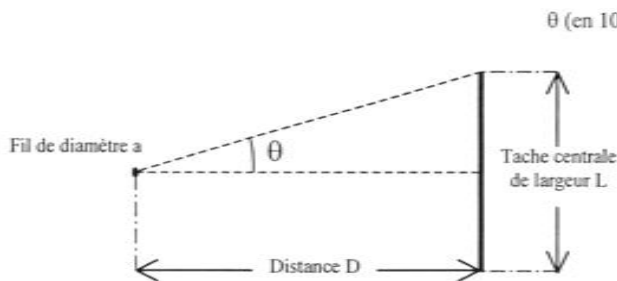
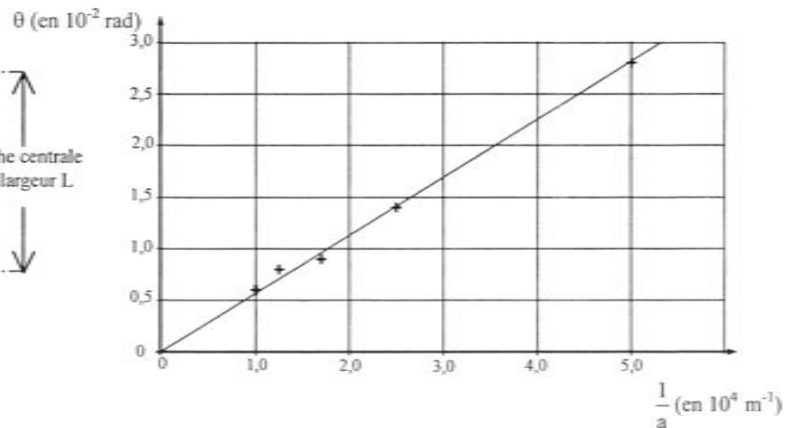


Figure 2



2.1. *L'angle  $\theta$  étant petit,  $\theta$  étant exprimé en radian, on a la relation:  $\tan \theta \approx \theta$ .*

Donner la relation entre  $L$  et  $D$  qui a permis de calculer  $\theta$  pour chacun des fils.

2.2. Donner la relation liant  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$ . Préciser les unités de  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$ .

2.3. *On trace la courbe  $\theta = f(\frac{1}{a})$ . Celle-ci est donnée sur la figure 2 ci-dessus :*

Montrer que la courbe obtenue est en accord avec l'expression de  $\theta$  donnée à la question 2.2.

2.4. Comment, à partir de la courbe précédente, pourrait-on déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière monochromatique utilisée ?

2.5. En utilisant la figure 2, préciser parmi les valeurs de longueurs d'onde proposées ci-dessous, quelle est celle de la lumière utilisée.

560cm ; 560mm ; 560  $\mu\text{m}$  ; 560nm

2.6. *Si l'on envisageait de réaliser la même étude expérimentale en utilisant une lumière blanche, on observerait des franges irisées.*

En utilisant la réponse donnée à la question 2.2., justifier succinctement l'aspect «irisé» de la figure observée.

### 3. DISPERSION

*Un prisme est un milieu dispersif : convenablement éclairé, il décompose la lumière du faisceau qu'il reçoit.*

**3.1.** Quelle caractéristique d'une onde lumineuse monochromatique est invariante quel que soit le milieu transparent traversé ?

**3.2.** Donner la définition de l'indice de réfraction  $n$  d'un milieu homogène transparent, pour une radiation de fréquence donnée.

**3.3.** Rappeler la définition d'un milieu dispersif.

Pour un tel milieu, l'indice de réfraction dépend-il de la fréquence de la radiation monochromatique qui le traverse ?

**3.4.** À la traversée d'un prisme, lorsqu'une lumière monochromatique de fréquence donnée passe de l'air (d'indice  $n_a = 1$ ) à du verre (d'indice  $n_v > 1$ ), les angles d'incidence ( $i_1$ ) et de réfraction ( $i_2$ ), sont liés par la relation de Descartes-Snell:  $\sin(i_1) = n_v \sin(i_2)$

Expliquer succinctement, sans calcul, la phrase « Un prisme est un milieu dispersif : convenablement éclairé, il décompose la lumière du faisceau qu'il reçoit ».

## Correction EXERCICE I. LA LUMIÈRE : UNE ONDE

### 1.1. Texte concernant Huygens

<http://labolycee.org> ©

**1.1.1.** Les ondes mécaniques nécessitent un **milieu matériel** (solide, liquide ou gaz) pour se propager tandis que les ondes lumineuses peuvent se propager en l'absence de matière c'est-à-dire dans le vide. Le concept "d'éther" est inutile.

**1.1.2.** "La lumière s'étend de toutes parts" : On retrouve l'idée qu'une onde se propage dans **toutes les directions** qui lui sont offertes.

"Les ondes lumineuses se traversent l'une l'autre sans s'empêcher" : On retrouve l'idée que deux ondes peuvent **se croiser sans se perturber**.

"la propagation de la lumière depuis un objet lumineux ne saurait être<sup>4</sup> par le **transport** d'une matière" : On retrouve l'idée qu'une onde réalise un transport d'énergie sans transport de matière.

### 1.2. Texte concernant Fresnel

**1.2.1.** La lumière blanche du Soleil est **polychromatique**. Elle est constituée d'une infinité de radiations de fréquences différentes.

**1.2.2.** Le diamètre du fil **joue un rôle** sur le phénomène de diffraction, en effet plus le diamètre du fil est petit et plus le phénomène de diffraction est marqué.

Ordre de grandeur du diamètre du fil: il doit se rapprocher le plus possible de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de la lumière ( Fresnel utilise de la lumière visible dont  $400 \leq \lambda \leq 800 \text{ nm}$  ).

**Remarque:** Ne pas dire que  $\lambda$  doit être inférieure ou égale au diamètre du fil. Car alors comment expliquer que dans l'expérience présentée ensuite , il y a bien diffraction pour  $1/a = 1,0 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$ , soit  $a = 1,0 \cdot 10^2 \mu\text{m}$  alors que  $\lambda = 560 \text{ nm} = 0,560 \mu\text{m}$ .

## 2. DIFFRACTION

**2.1.** D'après la figure 1 :  $\tan \theta = \frac{L}{2D}$  comme  $\theta$  est petit, on a  $\tan \theta = \theta$  soit  $\theta = \frac{L}{2D}$

**2.2.** On a  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  avec  $\theta$  en radian ;  $\lambda$  et  $a$  en mètre.

**2.3.** La courbe  $\theta = f(1/a)$  est une droite passant par l'origine, or l'expression précédente montre que  $\theta$  et  $1/a$  sont proportionnels (coefficient directeur  $\lambda$ ). La figure 2 est en **accord** avec la relation. .

**2.4.** Le **coefficient directeur** de la droite représentative de  $\theta = f(1/a)$  est égal à la longueur d'onde  $\lambda$ .

**2.5.** A l'aide de la figure 2, on peut calculer le coefficient directeur de la droite :

soit le point ( $\frac{1}{a} = 3,5 \cdot 10^4 \text{ m}^{-1}$  ;  $\theta = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ rad}$ )

$$\lambda = \theta \cdot a \quad \lambda = 2,0 \cdot 10^{-2} \times \frac{1}{3,5 \cdot 10^4} = 5,7 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad \text{donc la valeur à retenir est } \lambda = \mathbf{560 \text{ nm}}$$

**2.6.** La lumière blanche est polychromatique, donc elle contient des radiations de longueurs d'onde différentes qui donneront des taches de largeurs différentes sur l'écran.

Au centre de l'écran, juste en face du fil, toutes les radiations colorées se superposent, on obtient du blanc.

Autour seules certaines radiations se superposent, cela crée des irisations, c'est à dire des couleurs.

### 3. DISPERSION

**3.1.** La fréquence d'une onde lumineuse **ne dépend pas** du milieu de propagation.

**3.2.** L'indice optique  $n$  d'un milieu transparent est le quotient de la célérité  $c$  ( $3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ ) de la lumière dans le vide et de la célérité  $v$  de la lumière dans ce milieu :  $\mathbf{n = c / v}$

**3.3.** Un milieu est dit dispersif si la célérité des ondes qui le traverse dépend de leur fréquence. Comme  $n$  dépend de  $v$  et que, dans un milieu dispersif,  $v$  dépend de la fréquence alors on en conclut que l'indice  $n$  d'un milieu dispersif dépend de la fréquence.

**3.4.** Pour un même angle d'incidence  $i_1$ , l'angle de réfraction  $i_2$  sera différent pour deux ondes lumineuses monochromatiques de célérités différentes (c'est à dire de fréquences différentes, c'est à dire de couleurs différentes). Les différentes composantes d'une lumière polychromatique seront donc déviées différemment lors de la traversée d'un prisme qui décompose ainsi la lumière polychromatique.