

## Propagation d'une onde lumineuse

### Exercices corrigés

#### Exercice 1 :

Un professeur de physique désire, avec ses élèves, de connaître la longueur d'onde d'un faisceau laser.

Il utilise un fil calibré ( $a=0,180\text{mm}$ ) pour réaliser le montage de diffraction étudié en classe.

Il place un écran de distance  $D = 2,00\text{m}$  et mesure la longueur pour la tache centrale  $L = 1,10\text{ cm}$ .

1- Donner la relation liant la longueur d'onde  $\lambda$  et la dimension de l'obstacle  $a$  qui caractérise la diffraction.

2- A l'aide d'un schéma, établir la relation exprimant  $L$  en fonction de  $\lambda$ ,  $D$  et  $a$ .

Pour les petits angles on a :  $\tan\theta \approx \theta$

3- Comment varie la longueur  $L$  de la tache centrale si on diminue l'épaisseur du fil ? Justifier ta réponse.

4- Calculer la longueur d'onde  $\lambda$  du faisceau laser utilisé.

5- Comment varie la longueur  $L$  de la tache centrale si on diminue l'épaisseur du fil ? Justifier ta réponse.

5- La valeur indiquée par le constructeur :  $\lambda_{théo} = 480\text{ nm}$ . Calculer l'écart relatif avec la valeur trouvée par le prof. Expliquer d'où provient cette erreur et proposer une méthode qui aura donné une meilleure précision.

Donnée : écart relatif sur la mesure de  $X$  :  $r = \frac{|X_{mesuré} - X_{théorique}|}{X_{théorique}}$

#### Exercice 2 :

Le laser (acronyme de l'anglais light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) est depuis 50 ans, un outil indispensable utilisé dans de nombreux domaines (transfert d'information par fibre optique, métrologie, applications médicales, nucléaires...). Le contrôle de la valeur de la longueur d'onde de la radiation émise est indispensable, sa précision peut même atteindre  $10^{-5}\text{ nm}$  dans certains cas.

Objet : Diffraction de la lumière pour déterminer la longueur d'onde d'un Laser

Le faisceau LASER éclaire une fente de la largeur  $a$  (voir le schéma ci-contre). Sur un écran placé à la distance  $D = 1,50 \text{ m}$  de la fente, on observe une figure de diffraction constituée de taches lumineuses.

En modifiant la largeur  $a$  de la fente, on mesure la largeur  $\ell$  de la tache centrale observée. Les résultats expérimentaux permettent de tracer la courbe  $\ell = f(1/a)$  donnée sur la figure 2.

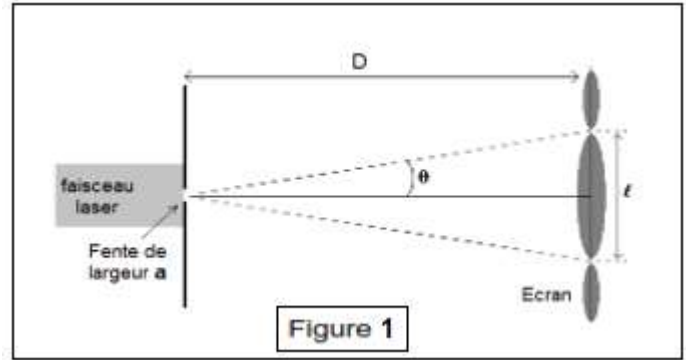


Figure 1

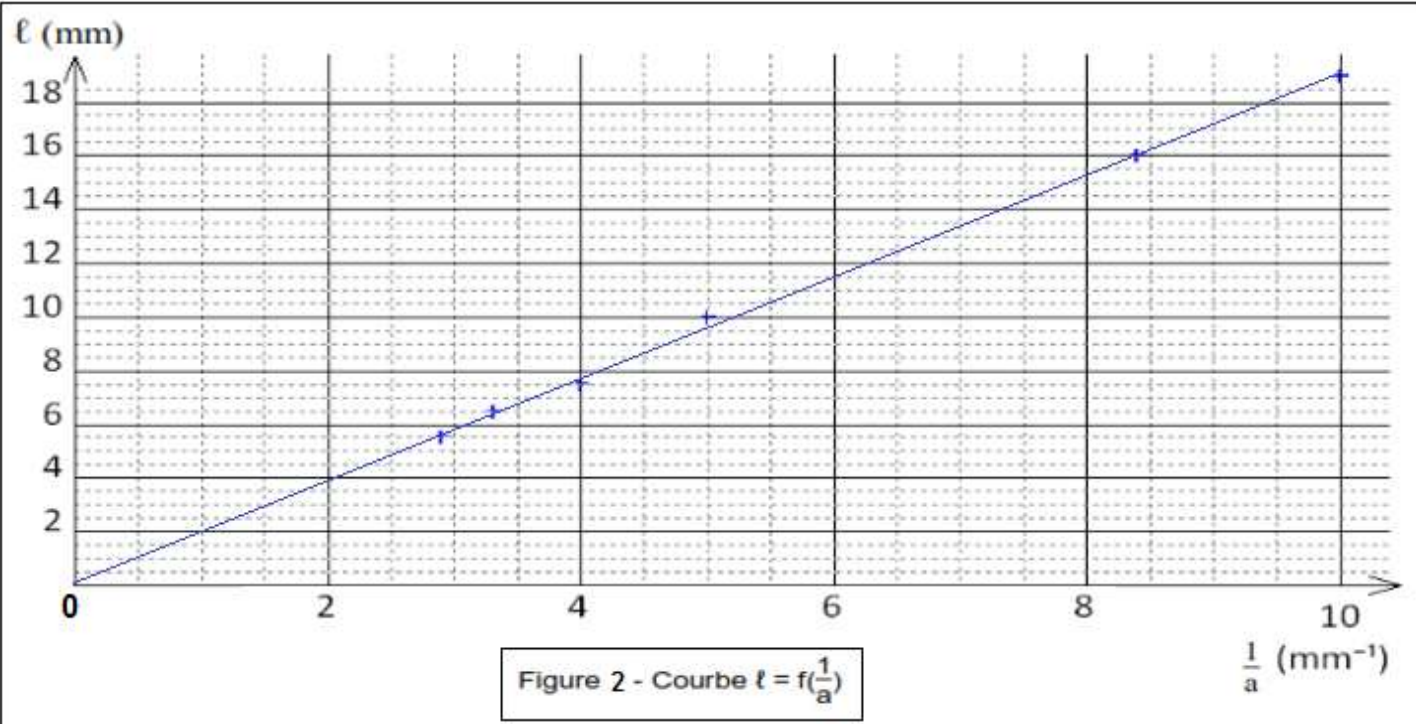


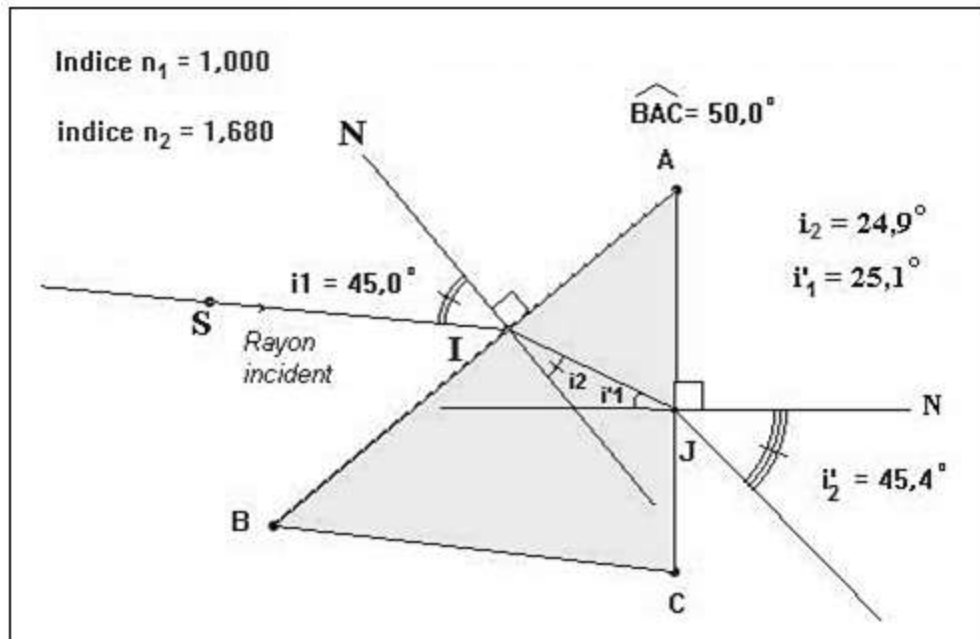
Figure 2 - Courbe  $\ell = f(1/a)$

- 1- A quelle condition le phénomène de diffraction est-il observé ?
- 2- En supposant l'angle  $\theta$  petit, démontrer que  $\ell = (2 \times \lambda \times D) \times \frac{1}{a}$ . Pour des petits angles,  $\tan \theta \approx \theta$  (en rad)
- 3- A partir de la courbe  $\ell = f(1/a)$  donnée sur la figure 2, déterminer la valeur de la longueur d'onde  $\lambda$  en m puis en nm.
- 4- Montrer que l'approximation fait sur l'angle  $\theta$  est exacte. ( $\theta$  est petit)

### Exercice 3 :

On dispose d'étudier les conditions de dispersion de la lumière blanche par un prisme pour lequel la réfraction est  $1,680$  à  $470 \text{ nm}$  (radiation bleue) et  $1,596 \text{ nm}$  (radiation rouge).

Les notations adaptées pour les angles sont données sur le schéma ci-après.



On envoie sur une face du prisme d'angle  $\hat{A} = 50^\circ$  un mince faisceau de lumière blanche d'indice  $i_1 = 45^\circ$ .

- 1- Calculer l'angle de réfraction  $i_{2B}$  pour la radiation bleue puis l'angle de réfraction  $i_{2R}$  Pour la radiation rouge.
- 2- Pour les deux radiations, en déduire la déviation due à la première surface de séparation traversée.
- 3- Dans le cas de la radiation bleue, l'angle d'indice sur la face de sortie du prisme,  $i'_1$  vérifie la relation :  $\hat{A} = i_2 + i'_1$ . En déduire la valeur numérique de  $i'_1$  pour chaque radiation étudiée.
- 4- Quels sont les valeurs des angles de sortie du prisme  $i'_{2B}$  et  $i'_{1R}$  pour chaque radiation.
- 5- Calculer la déviation  $D$  subie par le pinceau incident à sa sortie du prisme en fonction de  $i_1$ ,  $i'_2$  et  $A$ . En déduire les déviations subies respectivement par la lumière bleue et par la lumière rouge.

## Exercice 4 :

### Propagation d'une onde lumineuse

#### 1- Phénomène de diffraction :

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

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

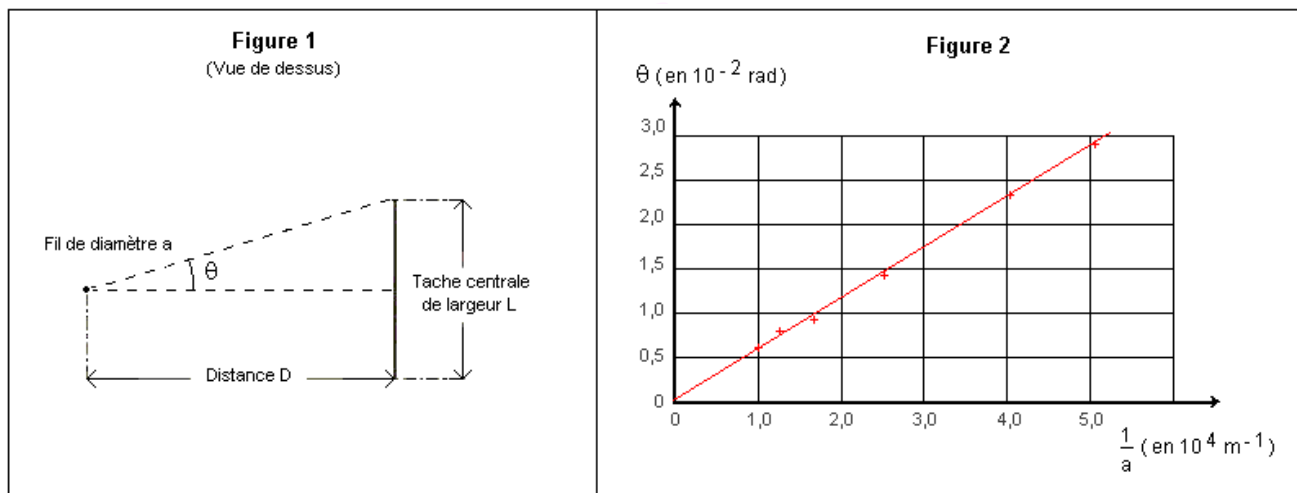
On distingue par  $a$  le diamètre d'un fil.

La figure de diffraction obtenue est observée sur un écran blanc situé à une distance  $D = 1,60 \text{ m}$  des fils.

Pour chacun des fils, on mesure la largeur  $L$  de la tache centrale.

A part

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



1-1- 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.

1-2- Donner la relation liant  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$ .

1-3- On trace la courbe  $\theta = f(1/a)$ . Celle-ci est donnée sur la figure 2 ci-dessus.

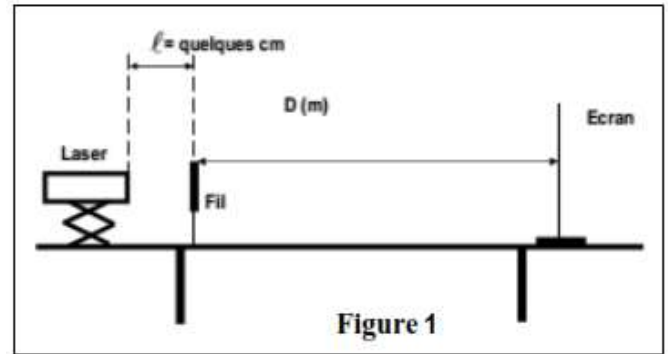
Montrer que la courbe obtenue est en accord avec l'expression de  $\theta$  donnée à la question 2.2.

1-4- Comment, à partir de la courbe précédente, pourrait-on déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  de la lumière monochromatique utilisée ?

1-5- En utilisant la figure 2, préciser parmi les valeurs de longueurs d'onde proposées ci-dessous, quelle est celle de la lumière utilisée.

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

1-6- 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 l'aspect de la figure observée.

## 2- Phénomène de dispersion

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

2-1- Quelle caractéristique d'une onde lumineuse monochromatique est invariante quel que soit le milieu transparent traversé ?

2-2- Donner la définition de l'indice de réfraction  $n$  d'un milieu homogène transparent, pour une radiation de fréquence donnée.

2-3- 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 ?

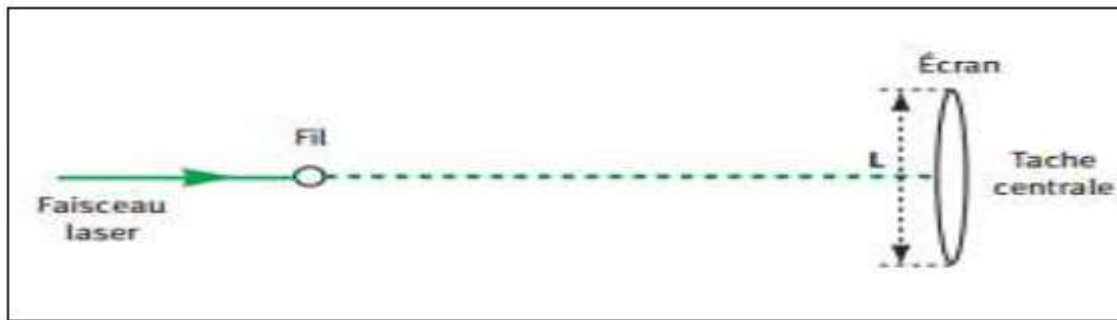
2-4- A la traversée d'un prisme, lorsqu'une lumière monochromatique passe de l'air (d'indice  $n_a = 1$ ) à du verre (d'indice  $n_v > 1$ ), les angles d'incidence ( $i_1$ ) et de réfraction ( $i_2$ ), sont liés par la relation de Descartes :  $\sin i_1 = n_v \sin i_2$

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

## Exercice 5 :

Un faisceau de lumière, parallèle monochromatique, de longueur d'onde  $\lambda$ , produit par une source laser, arrive sur un fil vertical, de diamètre  $a$  ( $a$  est de l'ordre du dixième de millimètre). N place un écran à une distance  $D$  est grande devant  $a$  (voir document1).

La figure 2 présente l'expérience vue de dessus : le fil est perpendiculaire au plan de la figure.



- 1- Quel enseignement sur la nature de la lumière ce phénomène apport-t-il ?
  - 2- La lumière émise par la source laser est dite monochromatique. Quelle est la signification de ce terme ?
  - 3- Faire apparaître sur la figure 2, l'écart angulaire  $\theta$  et la distance D entre le fil et l'écran.
  - 4- En utilisant la figure 2, exprimer l'écart angulaire  $\theta$  en fonction des grandeurs L et D sachant que pour de petits angles exprimés en radian :  $\tan \theta \approx \theta$ .
  - 5- Quelle expression mathématique lie les grandeurs  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $a$  ? (On suppose que la loi est la même que pour une fente de largeur a). Préciser les unités respectives de ces grandeurs physiques.
  - 6- En utilisant les résultats précédents montrer que la largeur L de la tache centrale de diffraction s'exprime par :  $L = \frac{2 \times \lambda \times D}{a}$
  - \* On dispose de deux fils calibrés de diamètres respectifs  $a_1 = 60 \mu m$  et  $a_2 = 80 \mu m$ .
  - 7- On place successivement ces deux fils verticaux dans le dispositif présenté par la figure 1. On obtient sur l'écran deux figures de diffraction distinctes notées A et B ci-dessous.
- Associer, en justifiant à chacun des deux fils la figure de diffraction qui lui correspond.

	A
	B

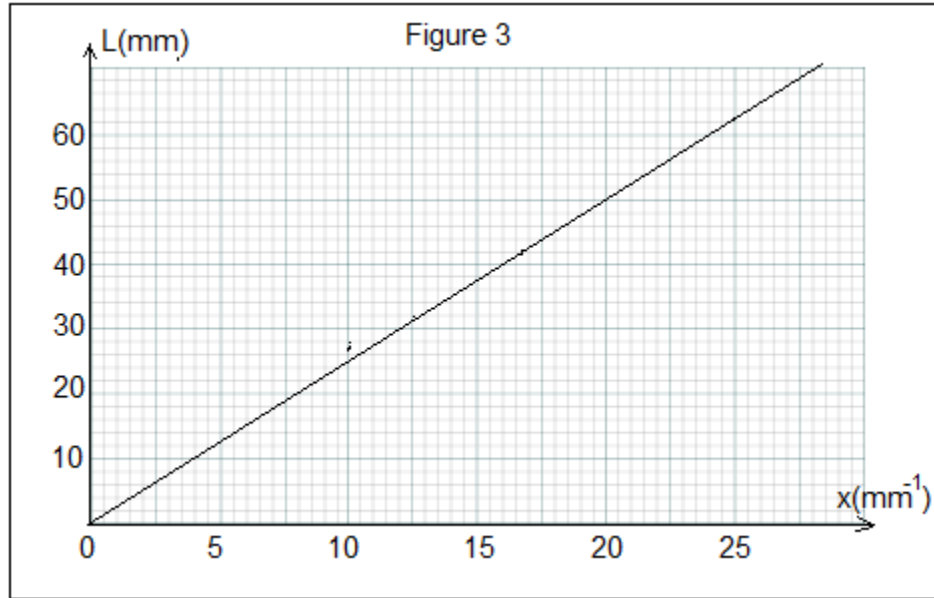
- \* On cherche maintenant à déterminer expérimentalement la longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  de la lumière monochromatique émise par la source laser utilisée. Pour cela, on place devant le faisceau laser des fils calibrés verticaux. On désigne par « a » le diamètre d'un fil. La figure de diffraction obtenue est observée sur l'écran situé à une distance  $D = 2,50 m$  des fils. Pour chacun des fils, on mesure la largeur L de la tache centrale de diffraction.

On obtient les résultats suivants :

$a(mm)$	0,040	0,060	0,080	0,100	0,120
$L(mm)$	63	42	32	27	22
$x = \frac{1}{a}(mm^{-1})$					

8- Compléter la 3<sup>ème</sup> ligne du tableau en calculant la valeur de  $x$  en  $mm^{-1}$ .

9- La figure 3 représente la courbe  $L = f(x)$ , montrer que l'allure de la courbe est en accord avec l'expression de  $L$  donnée à la question 6.



10- Donner l'équation de la courbe  $L = f(x)$  et en déduire la longueur d'onde  $\lambda$  (en m puis en nm) dans le vide de la lumière monochromatique de la source laser.

11- Calculer la fréquence  $f$  de la lumière monochromatique de la source laser.

12- On éclaire avec cette source laser un verre d'indice de réfraction  $n = 1,64$ .

A la traversée de ce milieu transparent dispersif, les valeurs de la fréquence, de longueur d'onde et de la couleur associées à cette radiation varient-elles ?

13- compléter le tableau suivant :

Milieu de propagation	Fréquence (Hz)	Longueur d'onde (nm)	Vitesse de propagation ( $m.s^{-1}$ )
Air			
verre			

Données : Célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air  $c = 3,00.10^8 m.s^{-1}$

$$\text{Indice de réfraction } n = \frac{c}{v}$$