

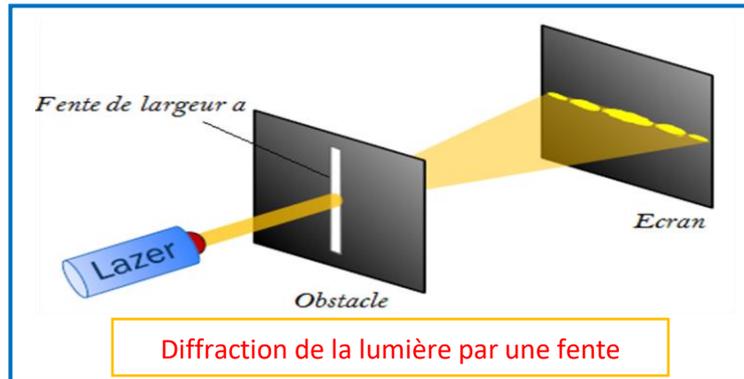
# Propagation d'une onde lumineuse

## Propagation d'une onde lumineuse

### I- Phénomène de diffraction de la lumière:

#### 1) Nature ondulatoire de la lumière:

#### Expérience :



Par analogie avec l'onde mécanique, et comme la lumière subit un phénomène de diffraction lorsqu'elle rencontre un obstacle ou lorsqu'elle passe par une ouverture ; on dit que la lumière est une onde ou bien on dit que la lumière a nature ondulatoire.

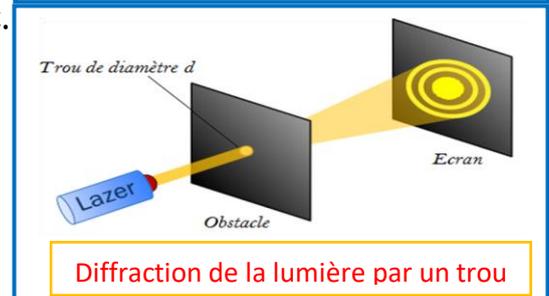
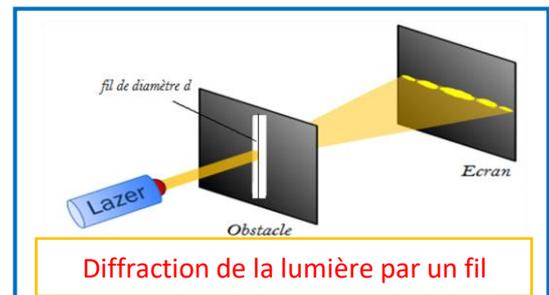
N.B : La lumière est une onde électromagnétique sinusoïdale (et transversale) qui se propage dans les milieux transparents matériel (air, eau, verre,...) et dans le vide (milieu non matériel).

#### Remarques :

- ✓ Pour qu'un phénomène de diffraction se produise, pour une onde lumineuse, il faut que la condition suivante soit réalisée :

$$10\lambda \leq a \leq 100\lambda ;$$

- ✓ Si on remplace la fente par un fil très fin on observe la même figure de diffraction comme dans le cas de la fente.
- ✓ Si la fente (le fil) est horizontale on observe une figure de diffraction verticale et vis versa.
- ✓ Pour un trou la figure de diffraction est une tâche lumineuse centrale entourée de cercles lumineux, séparés par des cercles sombres



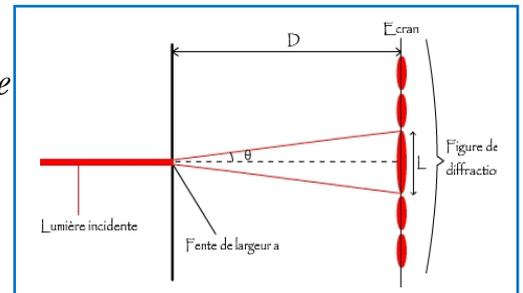
# Propagation d'une onde lumineuse

## 2) Etude du phénomène de diffraction par une fente :

### \*) Ecart angulaire :

L'écart angulaire  $\theta$  entre le milieu de la tâche centrale et la première extinction est donné par la relation :

$$\textcircled{1} \quad \theta = \frac{\lambda}{a} \begin{matrix} (m) \\ (\text{rad}) \\ (m) \end{matrix}$$



On a d'après le schéma :

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

Pour des écarts angulaires faibles on a :  $\tan\theta \approx \theta$  ;

$$\Rightarrow \textcircled{2} \quad \theta = \frac{L}{2D}$$

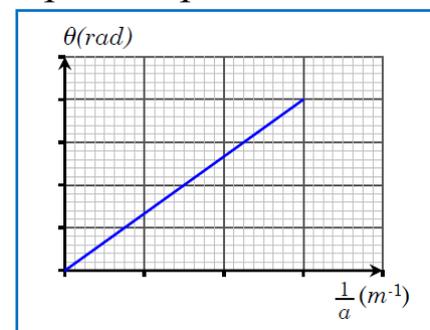
De  $\textcircled{1}$  et  $\textcircled{2}$  on déduit que :

$$\textcircled{3} \quad \frac{\lambda}{a} = \frac{L}{2D}$$

### Remarques :

- Dans le cas d'un fil fin de diamètre  $d$ , il suffit de remplacer  $a$  par  $d$  dans l'expression de l'écart angulaire  $\theta$  :  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  ;
- On peut déterminer la longueur d'onde  $\lambda$  à partir du diagramme de la fonction :  $\theta = f\left(\frac{1}{a}\right)$  ;

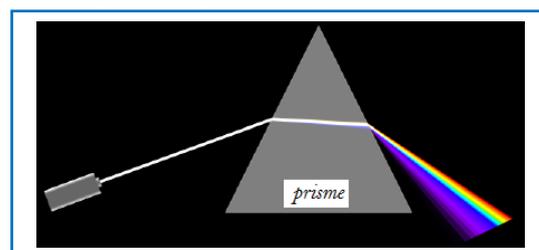
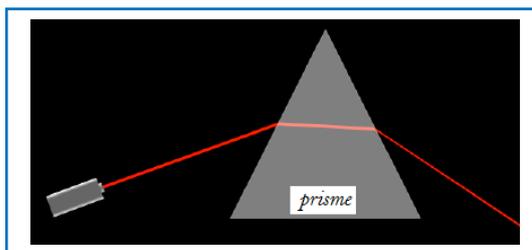
Dans ce cas le coefficient directeur  $k$  représente la longueur d'onde  $\lambda$ ,



## II- Propriétés d'une onde lumineuse :

### 1) Lumière monochromatique et lumière polychromatique :

- La lumière monochromatique est une lumière *n'est pas dispersée par un prisme*.
- La lumière polychromatique est une lumière *dispersée par un prisme*.



# Propagation d'une onde lumineuse

## Exemple :

- Le LASER est une lumière monochromatique, il n'est pas dispersée par le prisme.
- La lumière blanche est dispersée par le prisme, ce qui montre que c'est une lumière polychromatique.

## Remarques :

- La lumière monochromatique est une onde monochromatique progressive et sinusoïdale caractérisée par une unique longueur d'onde  $\lambda$  ;
- Pour chaque onde monochromatique on associe :
- Une fréquence  $\nu$  imposée par la source (ne dépend pas du milieu de propagation)
- Une célérité  $V$  qui ne dépend que de la nature du milieu de propagation.

## 2) Indice de réfraction $n$ :

On définit l'indice de réfraction  $n$ , d'un milieu transparent, par la relation :

$$n = \frac{c}{V} \quad (\text{sans unité})$$

Avec :

$c$  : la célérité de la lumière dans le vide ;  $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ .

$V$  : la célérité de la lumière dans le milieu transparent considéré.

## Remarques :

- Toutes les ondes lumineuses se propagent dans le vide comme toutes les autres ondes électromagnétiques, à la célérité  $c$  ;  $c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- Dans un milieu transparent autre que le vide, les ondes lumineuses se propagent avec une célérité  $V$  inférieure à  $c$ .

## Exemples :

- L'indice du vide :  $n = 1$  ;
- L'indice de l'air :  $n \approx 1$  ; car dans l'air :  $V \approx C$
- L'indice d'un autre milieu transparent :  $n > 1$  ; car dans ce milieu :  $V < C$  .

## 3) Fréquence et longueur d'onde :

✓ Dans le vide :  $c = \frac{\lambda_0}{T} = \lambda_0 \cdot \nu$

✓ Dans un milieu matériel transparent :  $V = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$

## Remarque :

On sait que :  $n = \frac{c}{V}$

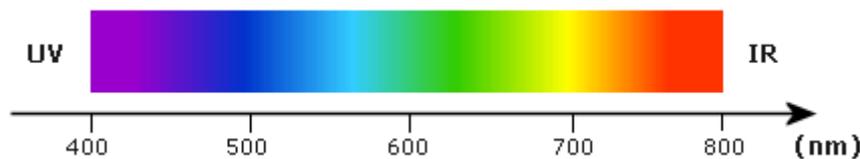
## Propagation d'une onde lumineuse

et on a :  $c = \frac{\lambda_0}{T} = \lambda_0 \cdot \nu$  et  $V = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot \nu$

$\Rightarrow n = \frac{\lambda_0 \cancel{\nu}}{\lambda \cancel{\nu}}$  d'où :  $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$

### 4) Domaine des ondes lumineuses visible :

L'œil humain peut percevoir une lumière dont la longueur d'onde dans le vide compris entre 400nm (le violet) et 800nm (le rouge) :



### \*) Domaine des ultraviolet (U.V) :

Le domaine des ultraviolet correspond aux longueurs d'ondes dans le vide:  $\lambda_0 < 400\text{nm}$

### \*) Domaine des infrarouges (IR) :

Le domaine des infrarouges correspond aux longueurs d'ondes dans le vide:  $\lambda_0 > 800\text{nm}$

### Remarque :

Dans le cas de la lumière blanche (lumière polychromatique): Chaque longueur d'onde donne sa propre figure de diffraction. Lorsqu'elles se superposent toutes, on observe une tâche centrale blanche d'extrémités rouge.

### Exercice 1 : Détermination de la fréquence de l'onde lumineuse (SM 2008 R)

Une lumière monochromatique dont la longueur d'onde  $\lambda$  émit par une source laser rencontre verticalement de fins fils verticaux dont le diamètre  $d$  est connu.

On voit l'aspect de diffraction obtenu sur un écran blanc à distance  $D$  de fil. Nous mesurons la largeur  $L$  de la tache centrale et Nous calculons l'écart angulaire  $\theta$  entre le centre de la tache centrale et la 1<sup>ère</sup> extinction pour un fil particulier. (Figure 1).

Données :

- L'écart angulaire  $\theta$  petit est exprimé par radians, avec  $\tan\theta \approx \theta$ .
- Vitesse de la lumière dans l'air :  $c = 3.10^8\text{m.s}^{-1}$ .

1. Donner La relation entre  $\theta$ ,  $\lambda$  et  $d$ .
2. Trouvez, à l'aide de la figure 1, la relation entre  $L$ ,  $\lambda$ ,  $d$  et  $D$ .

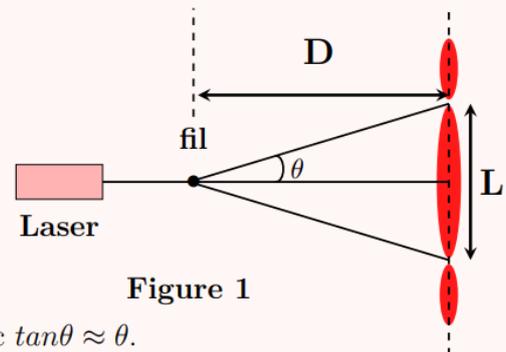


Figure 1



# Propagation d'une onde lumineuse

## Exercice 2 : Détermination du diamètre d'un fil fin (SM 2010 R)

Lorsque la lumière rencontre un obstacle, elle ne se propage plus en ligne droite, il se produit le phénomène de diffraction. Ce phénomène peut être utilisé pour déterminer le diamètre d'un fil très fin.

**Données :**

- La célérité de la lumière dans l'air est  $C = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .
- L'écart angulaire  $\theta$  entre le centre de la tache centrale et la 1ère extinction lors de la diffraction par une fente ou par un fil est exprimé par la relation  $\theta = \frac{\lambda}{a}$  dont  $\lambda$  est la longueur d'onde et  $a$  la largeur de la fente ou le diamètre du fil.

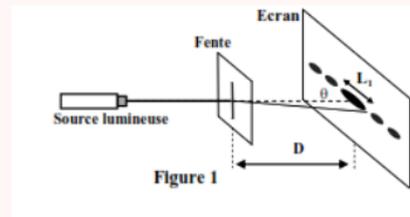
### 1. Diffraction de la lumière :

On réalise une expérience de diffraction à l'aide d'une lumière monochromatique de fréquence  $\nu = 4,44 \times 10^{14} \text{ Hz}$ .

On place à quelques centimètres de la source lumineuse une fente verticale de largeur  $a$ .

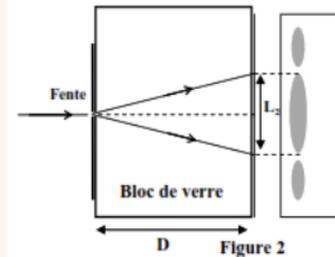
La figure de diffraction est observée sur un écran vertical placé à une distance  $D = 50,0 \text{ cm}$  de la fente.

La figure de diffraction est constituée d'une série de taches situées sur une perpendiculaire à la fente, figure (1).



La tache centrale est plus éclairée et plus large que les autres, sa largeur est  $L_1 = 6,70 \times 10^{-1} \text{ cm}$ .

- 1.1. Quel est la nature de la lumière que montre cette expérience ?
- 1.2. Trouver l'expression de  $a$  en fonction de  $L_1$ ,  $D$ ,  $\nu$  et  $c$ . Calculer  $a$ .



2. On place entre la fente et l'écran un bloc de verre de forme parallélépipédique comme l'indique la figure (2). L'indice de réfraction du verre pour la lumière monochromatique utilisée est  $n = 1,61$ .

On observe sur l'écran que la largeur de la tache lumineuse centrale prend une valeur  $L_2$ .

Trouver l'expression de  $L_2$  en fonction de  $L_1$  et  $n$ .

### 3. Détermination du diamètre du fil de la toile d'araignée :

On garde la source lumineuse et l'écran à leur place. On enlève le bloc de verre et on remplace la fente par un fil rectiligne vertical de la toile d'araignée. On mesure la largeur de la tache centrale sur l'écran, on trouve alors  $L_3 = 1,00 \text{ cm}$ .

Déterminer le diamètre du fil de toile d'araignée.

## Réponse :

.....

.....

.....

.....

# Propagation d'une onde lumineuse

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

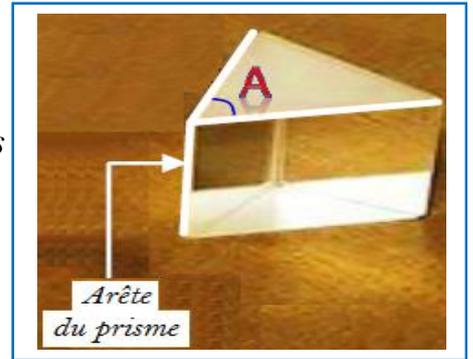
.....

.....

## III- Dispersion des ondes lumineuses :

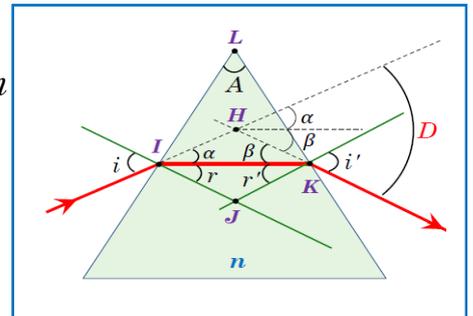
### 1) Le prisme :

Le prisme est un milieu transparent limité par deux faces planes qui se coupent en une ligne rectiligne appelée : arête du prisme. Ces deux faces font un angle  $A$  appelé : angle du prisme.



### 2) Les quatre équations du prisme :

On considère le schéma ci-contre :



- La deuxième loi de Descartes relative à la réfraction aux points I et K :

- Au point I :  $\sin(i) = n \cdot \sin(r)$  (1)

- Au point K :  $\sin(i') = n \cdot \sin(r')$  (2)

- On considère le triangle ILK on a :

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

c-à-d que :  $A - (r + r') + \pi = \pi$

d'où :  $A = (r + r')$  (3)

- Déviation  $D$  :

- 1<sup>ère</sup> déviation  $D_1$  au point I :  $D_1 = \alpha$  avec  $i = \alpha + r$  donc :  $D_1 = i - r$

- 2<sup>ème</sup> déviation  $D_2$  au point K :  $D_2 = \beta$  avec  $i' = \beta + r'$  donc :  $D_2 = i' - r'$

$\Rightarrow$  la déviation  $D$  ; on a :  $D = D_1 + D_2 = i - r + i' - r' = i + i' - (r + r')$

D'où :  $D = i + i' - A$  (4)

# Propagation d'une onde lumineuse

## Exercice 3 : Détermination de la longueur d'onde d'un rayon lumineux (SM 2011 R)

Le milieu de propagation des ondes lumineuses est caractérisé par l'indice de réfraction  $n = \frac{C}{V}$  pour une fréquence donnée, dont  $C$  est la vitesse de propagation de la lumière dans le vide ou dans l'air et  $V$  la vitesse de propagation de la lumière monochromatique dans ce milieu.

L'objectif de cet exercice est d'étudier la propagation de deux rayons lumineux monochromatiques de fréquences différentes dans un milieu dispersif.

### 1. Détermination de la longueur d'onde $\lambda$ d'une lumière monochromatique dans l'air :

On réalise l'expérience de diffraction en utilisant une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  dans l'air.

On place à quelques centimètres de la source lumineuse une plaque opaque dans laquelle se trouve une fente horizontale de largeur  $a = 1,00$  mm (figure 1).

On observe sur un écran vertical placé à  $D = 1,00$  m de la fente des taches lumineuses. La largeur de la tâche centrale est  $L = 1,40$  mm.

1.1. Choisir la réponse juste :

La figure de diffraction observée sur l'écran est :

- Suivant l'axe  $x'x$ ;
- Suivant l'axe  $y'y$ .

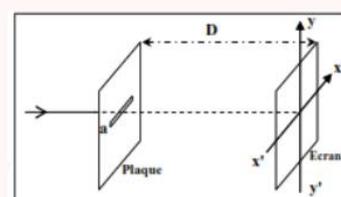


Figure1

1.2. Trouver l'expression de  $\lambda$  en fonction de  $a$ ,  $L$ , et  $D$ . calculer  $\lambda$ .

### 2. Détermination de la longueur d'onde d'une lumière monochromatique dans le verre transparent.

Un rayon lumineux ( $R_1$ ) monochromatique de fréquence  $\nu_1 = 3,80 \times 10^{14}$  Hz arrive sur la face plane d'un demi cylindre en verre transparent au point d'incidence  $I$  sous un angle d'incidence  $i = 60^\circ$ . Le rayon ( $R_1$ ) se réfracte au point  $I$  et arrive à l'écran vertical au point  $A$  (figure 2).

On fait maintenant arriver un rayon lumineux monochromatique ( $R_2$ ) de fréquence  $\nu_2 = 7,50 \times 10^{14}$  Hz sur la face plane du demi cylindre sous le même angle d'incidence  $i = 60^\circ$ .

On constate que le rayon ( $R_2$ ) se réfracte aussi au point  $I$  mais il arrive à l'écran vertical en un autre point  $B$  de tel sorte que l'angle entre les deux rayons réfractés est  $\alpha = 0,563^\circ$ .

Données :

- L'indice de réfraction du verre pour le rayon lumineux de fréquence  $\nu_1$  est  $n_1 = 1,626$ .
- L'indice de réfraction de l'air est 1,00.
- $c = 3,00 \times 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.

- Montrer que la valeur de l'indice de réfraction du verre pour le rayon lumineux de fréquence  $\nu_2$  est  $n_2 = 1,652$ .
- Trouver l'expression de la longueur d'onde  $\lambda_2$  du rayon lumineux de fréquence  $\nu_2$  dans le verre, en fonction de  $c$ ,  $n_2$  et  $\nu_2$ . Calculer  $\lambda_2$ .

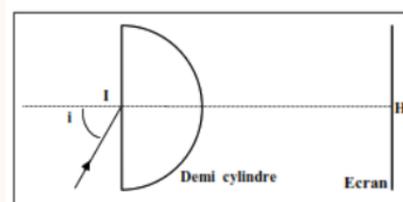


Figure2

## Propagation d'une onde lumineuse

### Réponse :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

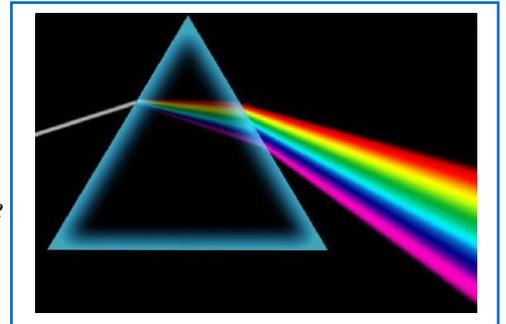
.....

### 3) Dispersion de la lumière blanche par un prisme :

- Chaque faisceau lumineux traverse le prisme taillé dans un verre d'indice  $n$ , est dévié. Il subit deux réfractions successives.

- Avec un faisceau de lumière blanche, la déviation n'est pas la même selon la longueur d'onde dans le vide de chaque radiation : on obtient une figure colorée :

« *spectre de la lumière blanche* »



**Remarque :** *Interprétation de la dispersion de la lumière blanche :*

- Les relations (1) et (2) montrent que l'angle d'émergence  $i'$  dépend de l'indice de réfraction  $n$ , et puisque  $D$  dépend de  $i'$ , donc elle dépend aussi de  $n$ .

⇒ Les déviations  $D$  des différentes radiations monochromatiques dépendent de l'indice de réfraction  $n$  qui varie d'une couleur à une autre : plus l'indice  $n$  est élevé plus la déviation  $D$  est grande.

- Plus la longueur d'onde  $\lambda$  dans le milieu transparent est élevée plus l'indice de réfraction  $n$  est faible ( $n = \frac{\lambda_0}{\lambda}$ ) plus la déviation  $D$  est faible ( $D_R < D_V$  car  $\lambda_R > \lambda_V$ ).

## Propagation d'une onde lumineuse

### Exercice 4 : De la dispersion de la lumière à la diffraction (SM 2013 N)

La fréquence d'une radiation lumineuse ne dépend pas du milieu de propagation ; elle dépend uniquement de la fréquence de la source. La vitesse de propagation d'une onde lumineuse dans un milieu transparent et elle est toujours plus petite que la vitesse de sa propagation dans le vide et sa valeur dépend du milieu de propagation. On constate aussi que l'onde lumineuse se diffracte lorsqu'elle traverse une fente de largeur relativement faible.

L'objectif de cet exercice est d'étudier le phénomène de dispersion et celui de la diffraction.

**Données :** La vitesse de propagation d'une onde lumineuse dans l'air est approximativement égale à sa vitesse de propagation dans le vide  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ .

Couleur de la radiation	rouge(R)	violet (V)
La longueur d'onde dans l'air en $\mu\text{m}$	0,768	0,434
L'indice de réfraction du verre	1,51	1,52

#### 1- Dispersion de la lumière :

Un faisceau parallèle de lumière blanche arrive au point I de la surface d'un demi-disque en verre ; on observe sur l'écran (fig 1) les sept couleurs du spectre allant du rouge (R) au violet (V).

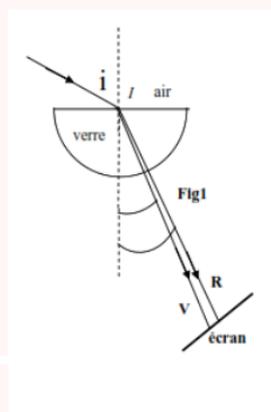
1-1- Exprimer la longueur d'onde  $\lambda_R$  de la radiation rouge dans le verre en fonction de l'indice de réfraction  $n_R$  du verre et de  $\lambda_{0R}$  (longueur d'onde dans l'air de ce rayonnement).

1-2- L'indice de réfraction  $n$  d'un milieu transparent pour une radiation monochromatique de longueur d'onde  $\lambda_0$  dans l'air est

$$\text{modélisé par la relation : } n = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$$

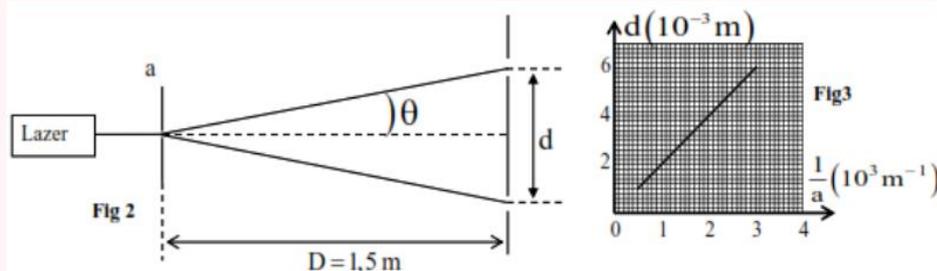
Dont A et B sont des constantes qui dépendent du milieu.

Calculer la valeur de A et celle de B pour le verre utilisé.



#### 2- Diffraction de la lumière :

On réalise l'expérience de la diffraction d'une lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  dans l'air émise par un dispositif laser, en utilisant une fente de largeur  $a$  comme l'indique la figure 2. On mesure la largeur  $d$  de la tache centrale pour différentes valeurs de la largeur  $a$  de la fente et on représente graphiquement  $d = f \left( \frac{1}{a} \right)$  ; on obtient alors la courbe indiquée dans la figure 3.





# *Propagation d'une onde lumineuse*

---