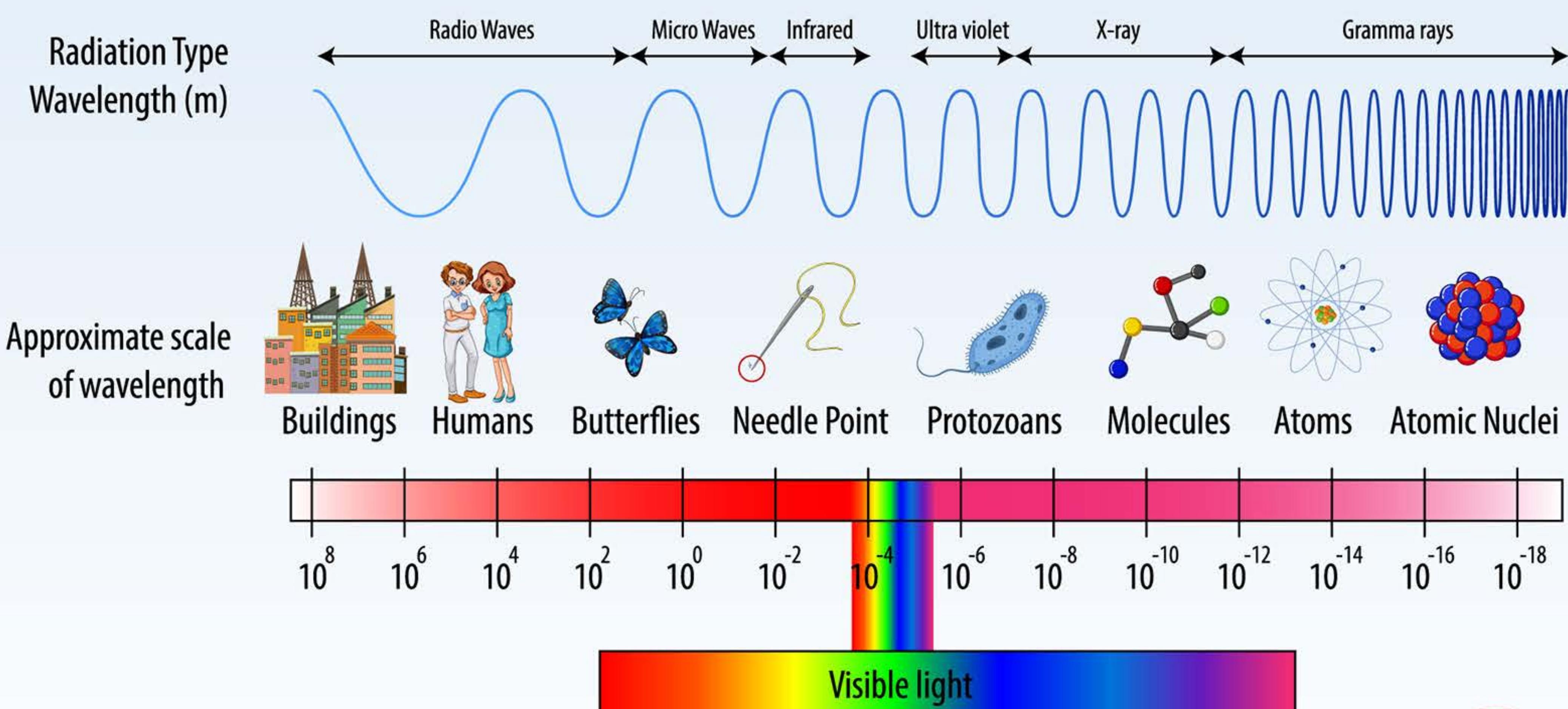
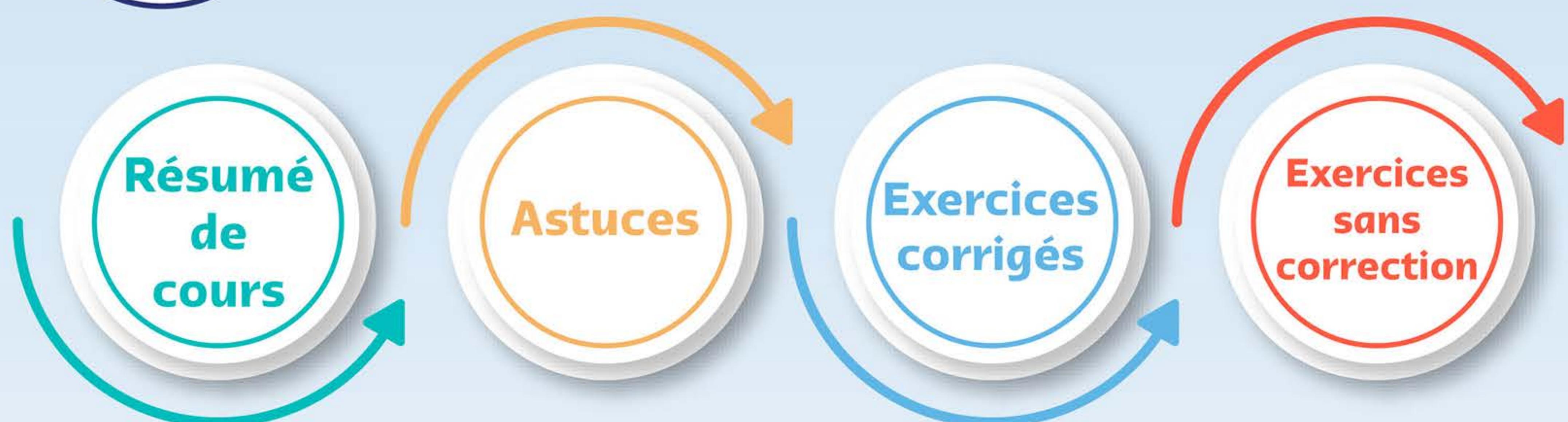


Les Ondes Lumineuses

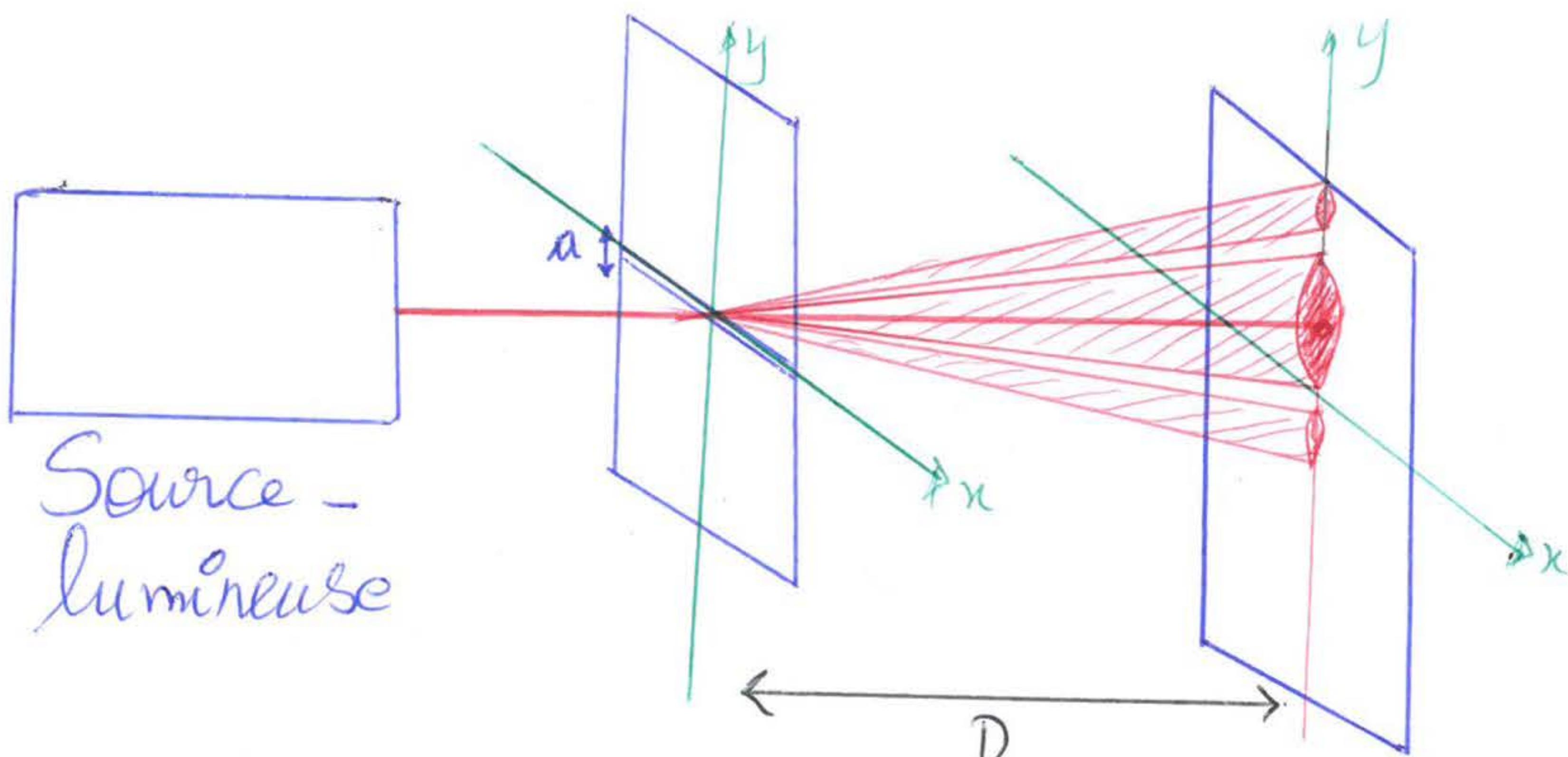
Avec
Prof. Noureddine

#dima_nice
#bac_en
_poche



Les ondes lumineuses - Cours

I - Diffraction:



À la direction de la fente est tirs

↳ à la direction des taches lumineuses.

À de phénomène de diffraction montre que la lumière à une nature ondulatoire. (c'est une onde).

À la condition de diffraction:

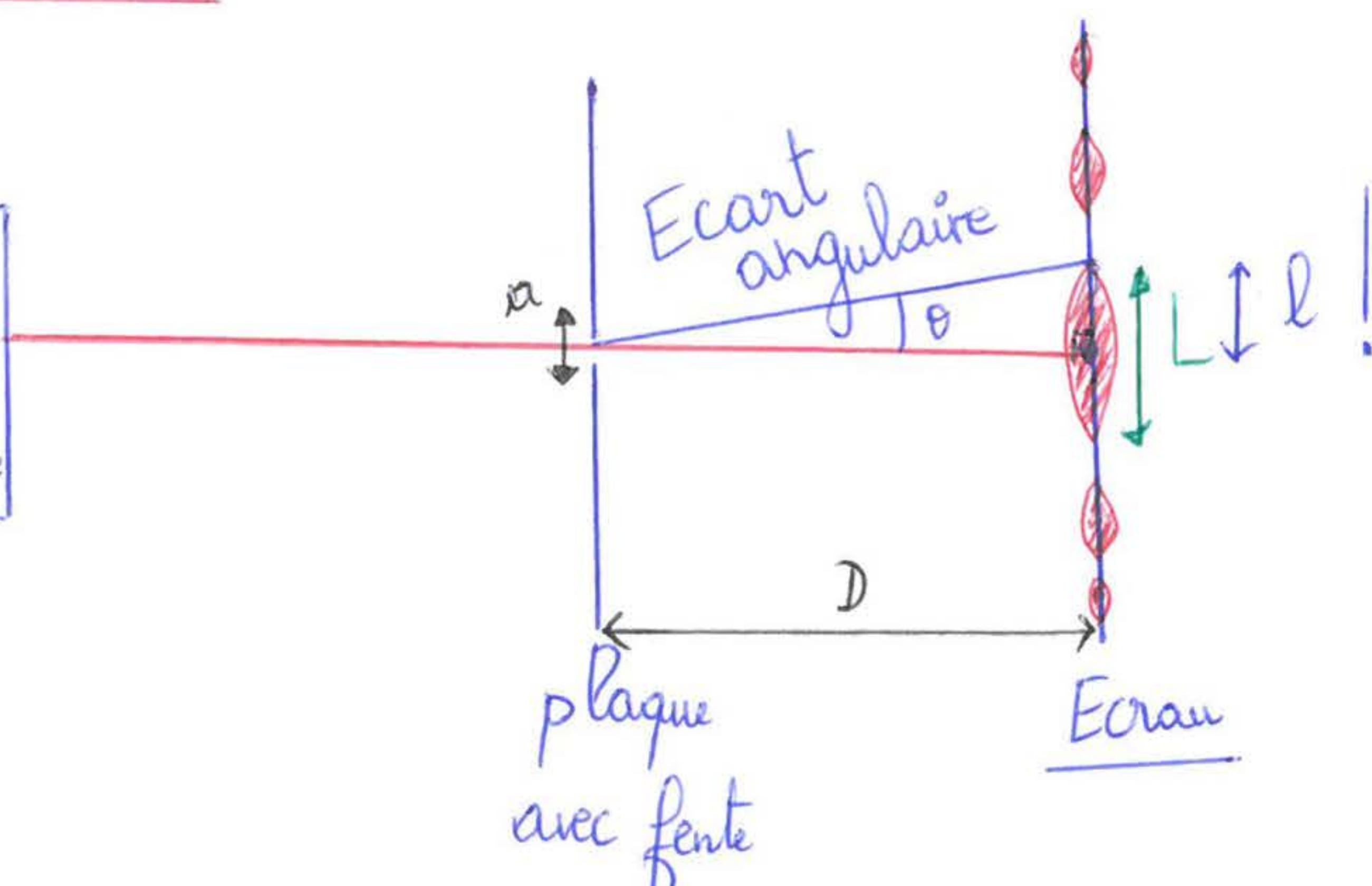
$$\rightarrow a \ll \lambda$$

↳ pour que les taches soient plus claires

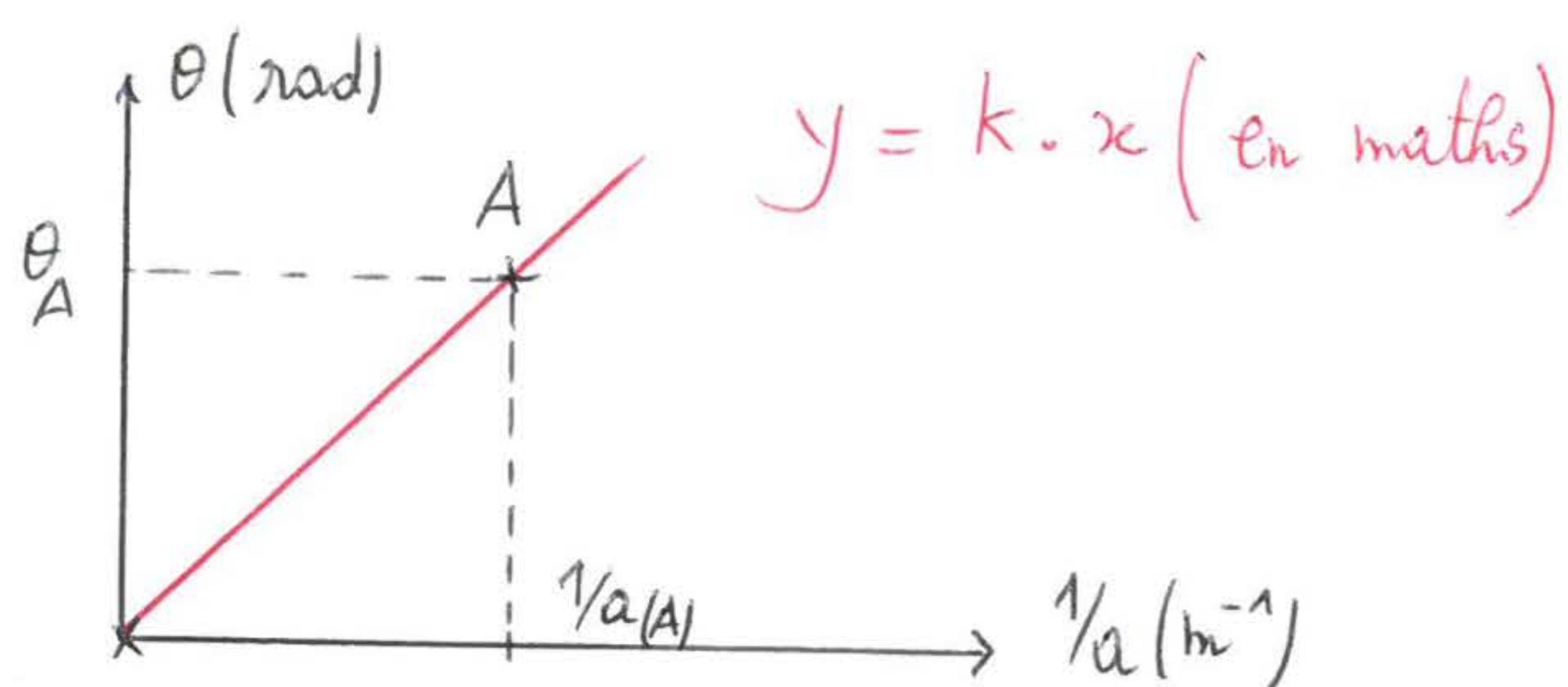
$$10.\lambda \leq a \leq 100.\lambda$$

A Formules :

Source lumineuse monochromatique



- Avec des résultats Expérimentaux, on obtient la courbe :



la courbe est une fonction linéaire :

$$\theta = k \cdot \frac{1}{\lambda}$$

$$\theta = \lambda \cdot \frac{1}{a}$$

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

①

$$k = \frac{\theta_A - 0}{\frac{1}{\lambda_A} - 0}$$

Graphiquement

- $$\bullet \quad \operatorname{tg} \theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D} = \frac{l}{D} ! \quad \text{3endak} \\ \text{tgolek} !$$

⚠ Si θ est petit en rad

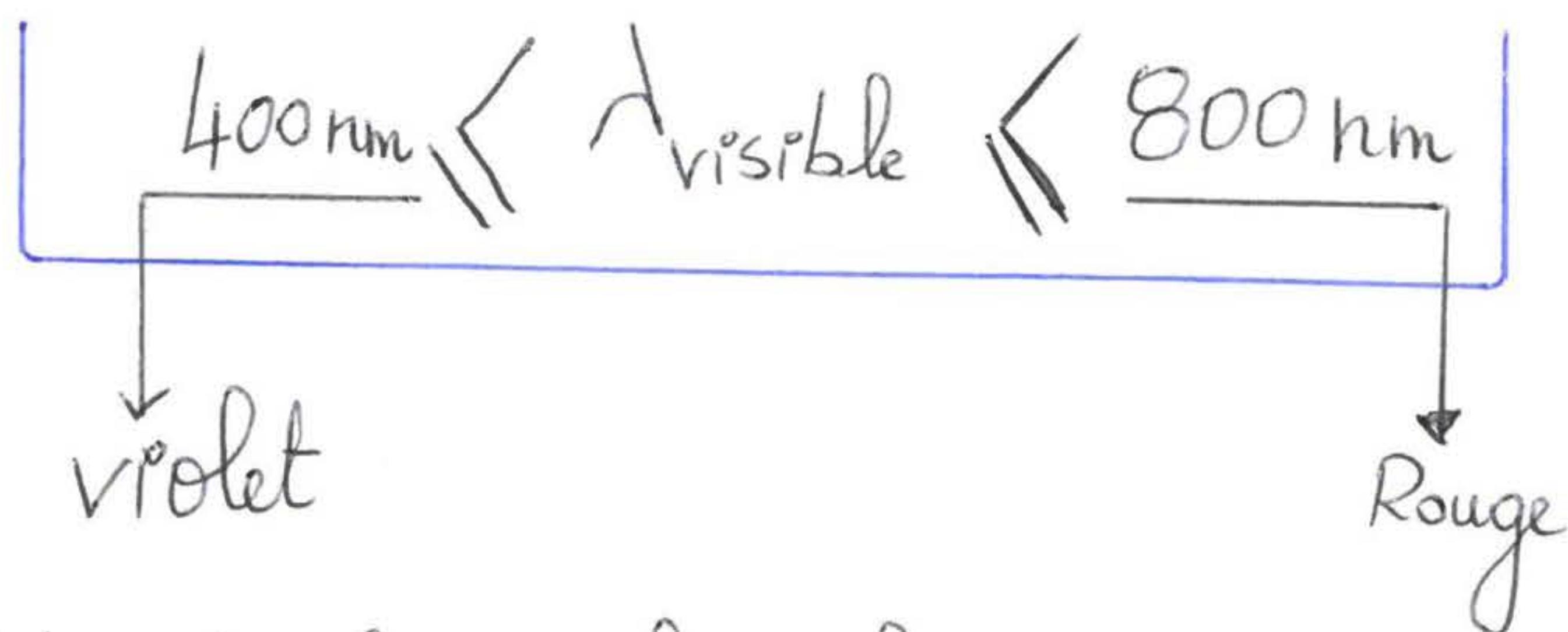


$$\text{tg } \theta \approx 0$$

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


$$\frac{L}{2D} = \frac{N}{a}$$

⚠ Pour la lumière visible : $n_m = 10^{-9} \text{ m}$

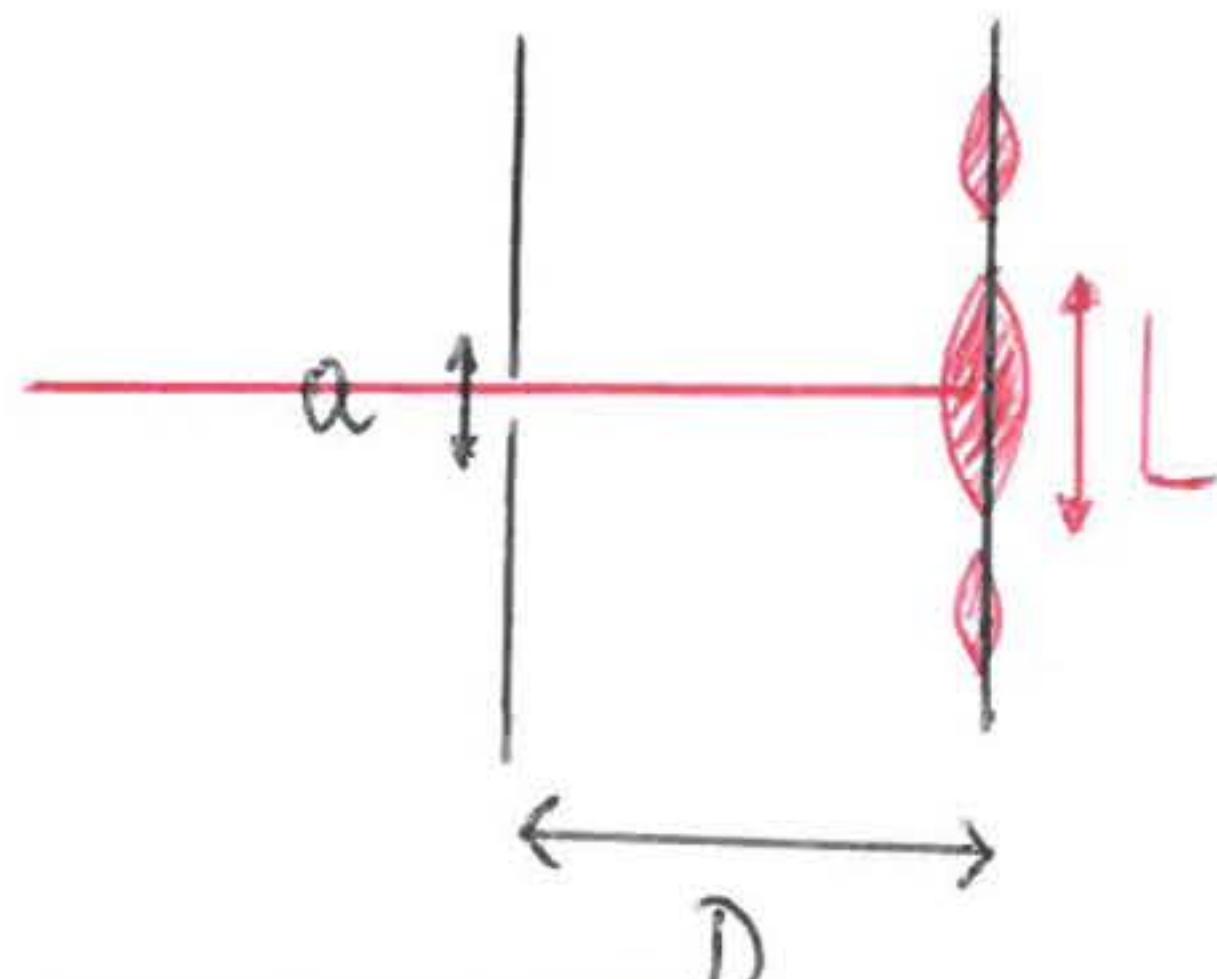


⚠ On obtient la plus large tache centrale avec la couleur rouge.

→ types de diffraction :

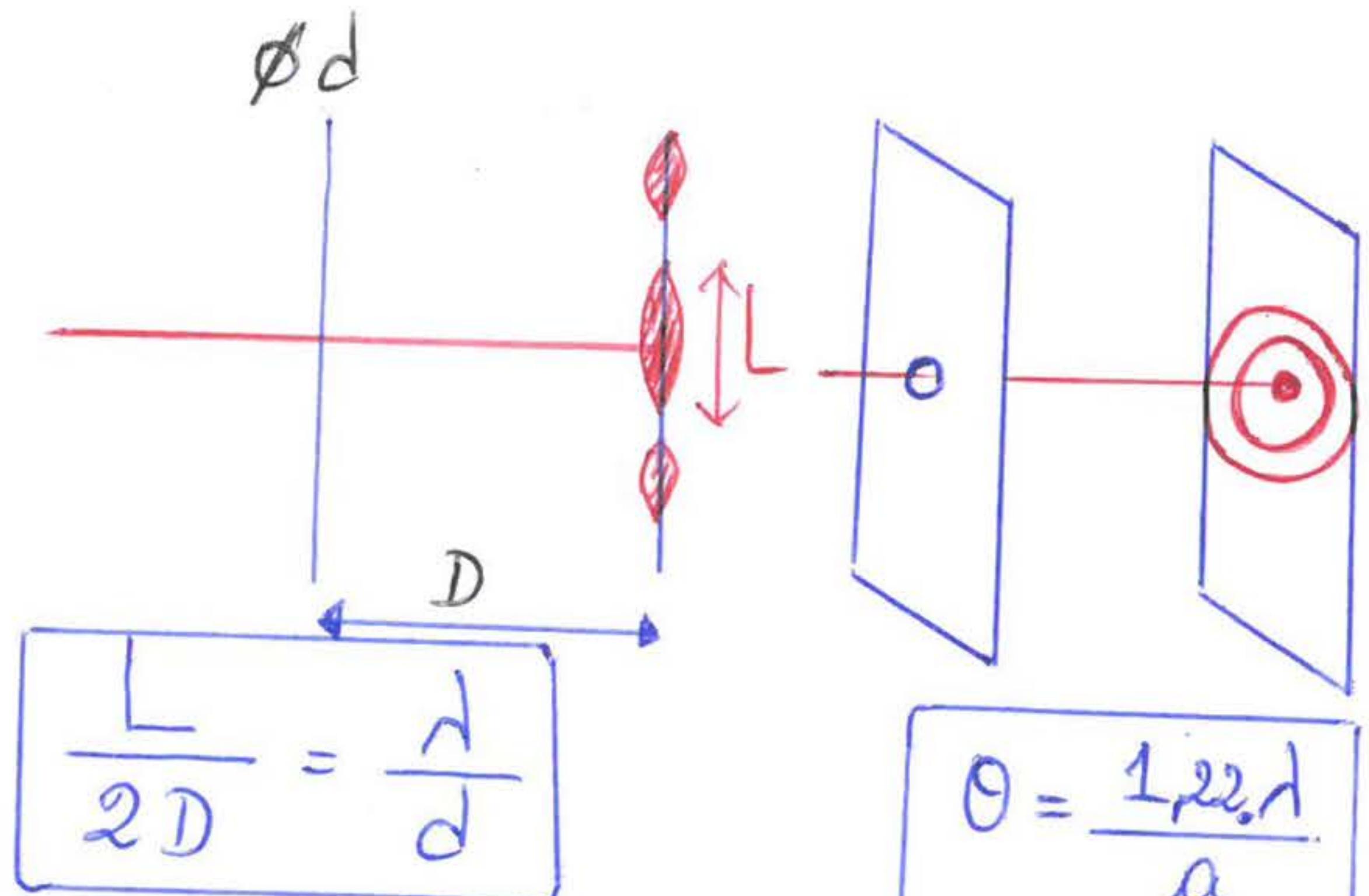
Diffraction de la lumière

Diffraction par fente



$$\boxed{\frac{L}{2D} = \frac{d}{a}}$$

Diffraction par fil fin d'épaisseur $\frac{d}{d}$



$$\boxed{\frac{L}{2D} = \frac{d}{D}}$$

$$\boxed{\Theta = \frac{1,22 \cdot d}{a}}$$

#Bonus

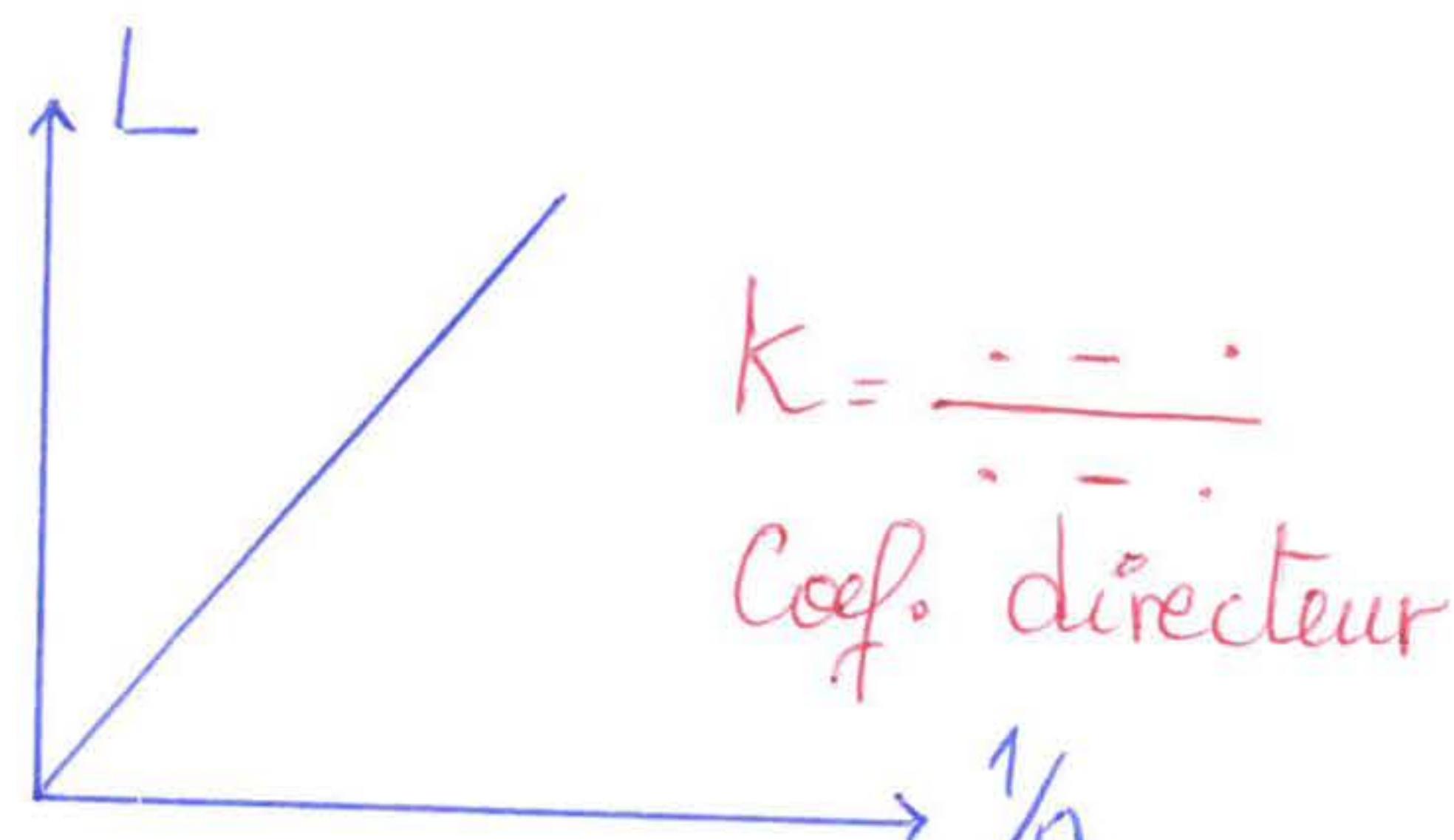
Q- Calculer d ?

- la courbe est une fonction linéaire

$$\boxed{L = K \cdot \frac{1}{a}}$$

- On sait que :

$$\begin{aligned} \frac{L}{2D} &= \frac{d}{a} \\ \Rightarrow L &= 2D \cdot \frac{d}{a} \end{aligned}$$



par analogie :

$$2D\lambda = k$$

$$\lambda = \frac{k}{2D}$$

II - La lumière :

• Définition : C'est une onde électromagnétique qui se propage dans le vide et les milieux matériels transparents, caractérisée par :

↳ sa vitesse v (ms^{-1}) $[C = 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}]$.

↳ sa longueur d'onde λ (m). Dans L'Air

↳ sa fréquence ν (Hz).

↳ **Dans l'air** : $C = \lambda_0 \cdot \nu$

↳ **Dans un milieu** : $v = \lambda \cdot \nu$

• indice de réfraction n :

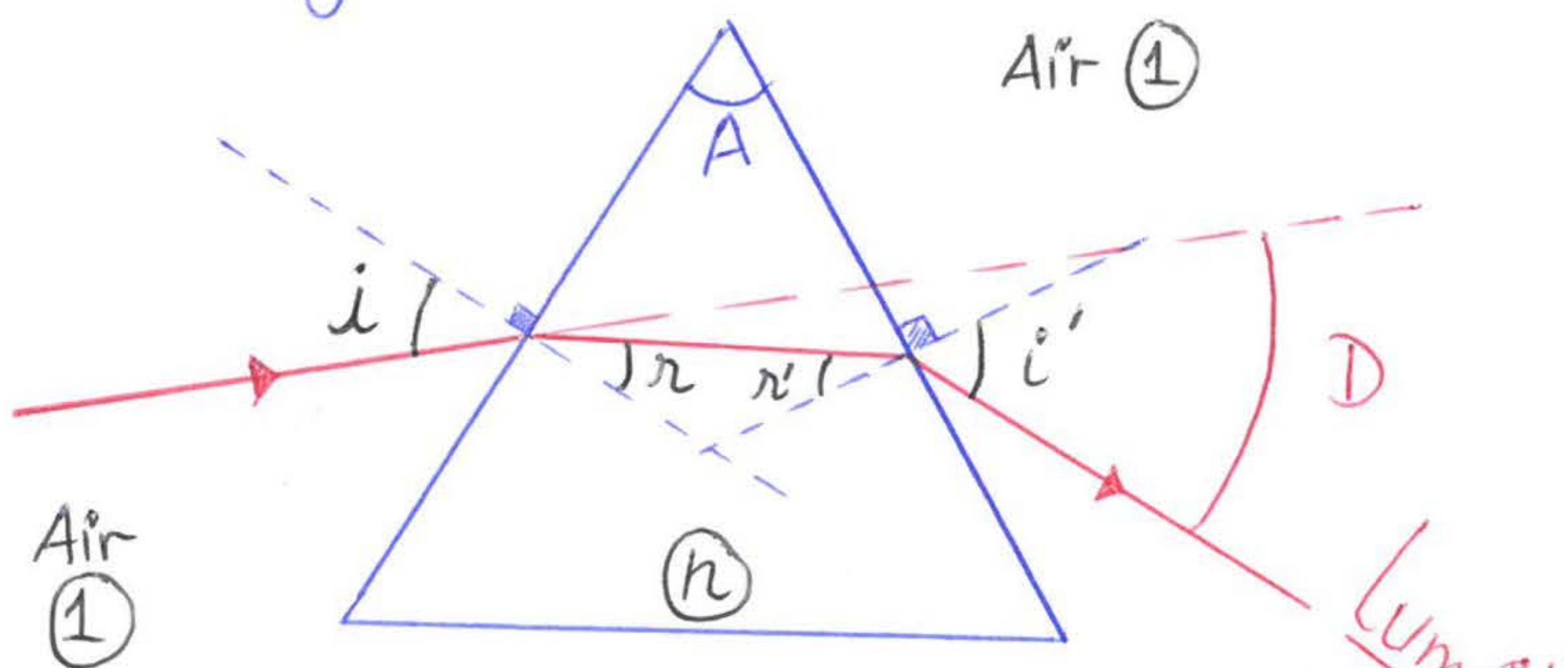
Chaque milieu de propagation est caractérisé par son indice de réfraction n

$$n_{\text{milieu}} = \frac{C}{v_{\text{milieu}}}$$

$$n_{\text{milieu}} = \frac{\lambda_0(\text{Air})}{\lambda_{\text{milieu}}}$$

III - Prisme :

C'est un milieu matériel transparent, caractérisé par son indice de réfraction n , et son angle A .



- ① $1 \cdot \sin i = n \cdot \sin r$
- ② $1 \cdot \sin i' = n \cdot \sin r'$
- ③ $A = r + r'$
- ④ $D = i + i' - A$

Loi de DESCARTES

Lumière monochromatique

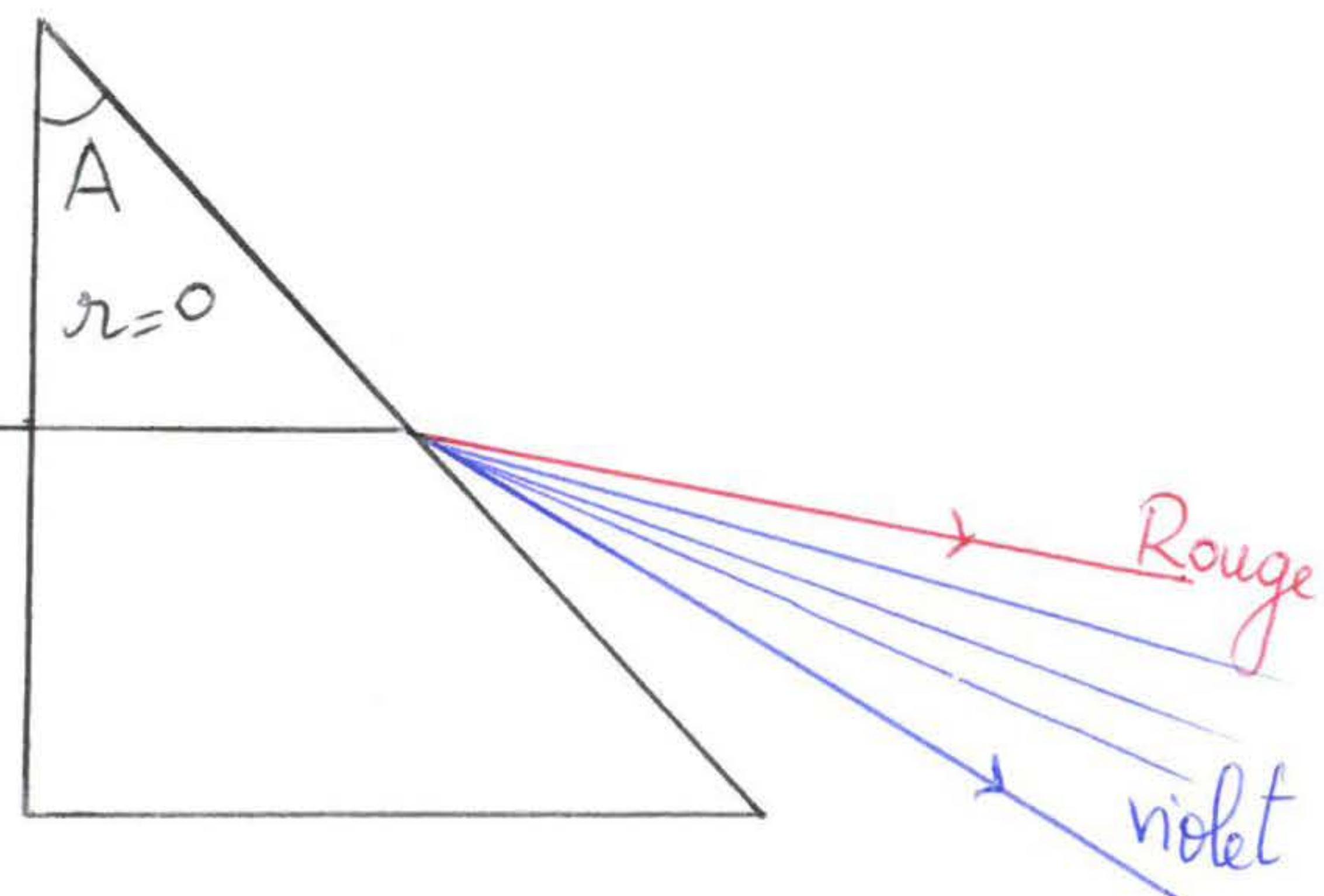
Lumière monochromatique :

C'est une lumière qui ne se disperse pas à travers le prisme.

Lumière polychromatique:

C'est une lumière qui se disperse à travers le prisme.

Lumière Blanche $i = 0$
Incidence normale



Finito ☺

Exercices Corrigés

1 Une radiation émise par une lampe à vapeur de sodium de propage dans l'air (indice de réfraction égal à 1) puis pénètre dans l'eau (indice de réfraction égal à 1,33). La fréquence de cette radiation est égale à $f = 5,09 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

On rappelle que la célérité de la lumière dans le vide est égale à $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

a- Calculer la longueur d'onde λ_1 de cette radiation dans l'air.

b- Calculer la célérité de la lumière dans l'eau.

c- En déduire la longueur d'onde λ_2 de cette radiation dans l'eau.

d- Calculer la variation relative de longueur d'onde lors du passage de l'air à l'eau.

Solution

L'indice de réfraction $n = \frac{C}{V}$ permet de calculer la célérité d'une onde dans un milieu d'indice de réfraction n . D'autre part, la fréquence f de l'onde ou sa longueur d'onde λ se calculent avec $\lambda = \frac{nV}{f}$. Rappelons que la fréquence d'une radiation monochromatique ne change pas lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre.

a- On peut confondre la célérité de la lumière dans l'air et dans le vide, donc: $\lambda_1 = \frac{C}{f} = 589 \text{ nm}$

b- Dans l'eau d'indice de réfraction 1,33, la célérité de la lumière est :

$$V = \frac{C}{n} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,33} \text{ soit } V = 2,26 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

c- La fréquence de cette radiation monochromatique est la même dans l'air et dans l'eau d'où :

$$\lambda_2 = \frac{V}{f} = 443 \text{ nm}$$

d- La variation relative de longueur d'onde

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} = 24,8\%$$

2 Un faisceau laser rouge franchit une fente de largeur a variable puis éclaire un écran.

On représente l'éclairement de l'écran pour les trois valeurs a_1 , a_2 et a_3 de la largeur:

a- Quel phénomène observe-t-on? Classer les trois largeurs a_1 , a_2 et a_3 par ordre croissant.

b- Que devient la deuxième figure si l'on éclaire la fente avec une lumière bleue? On rappelle que $\lambda_{\text{bleu}} < \lambda_{\text{rouge}}$.



Solution

a- Dans les cas 1 et 2, on observe un phénomène de diffraction.

Le phénomène de diffraction est d'autant plus marqué que les dimensions de la fente ou de l'obstacle sont petites. La largeur angulaire de la tache centrale de la figure de diffraction observée est donnée par $\theta = \frac{\lambda}{a}$.

Ce phénomène est plus important dans le cas 2, la largeur de la fente est donc la plus petite.

Dans le cas 3, on n'observe pas de diffraction: la largeur de la fente est trop grande.

On peut alors classer les trois cas par valeurs croissantes de a , soit : $a_2 < a_1 < a_3$.

b- D'après la formule $\theta = \frac{\lambda}{a}$, la largeur de la tache centrale diminue quand la longueur d'onde λ diminue. Puisque $\lambda_{bleu} < \lambda_{rouge}$, le phénomène de diffraction sera moins important avec une lumière bleue; les taches seront moins larges.

3 On réalise une expérience de diffraction de la lumière émise par un laser, de longueur d'onde $\lambda = 633\text{nm}$, à l'aide d'une fente verticale de largeur $a = 100\mu\text{m}$.

On observe la figure de diffraction sur écran situé à une distance $D = 1\text{m}$ de la fente.

1- Calculer la demi-largeur angulaire θ de la tache de diffraction.

2- Calculer la largeur totale L de la tache de diffraction observée sur l'écran. On tracera un schéma. On rappelle que si $\theta \leq 1$, on a $\tan \theta \approx \theta$.(unités radians)

3- Comment varie la largeur L si l'on diminue la distance D de moitié?

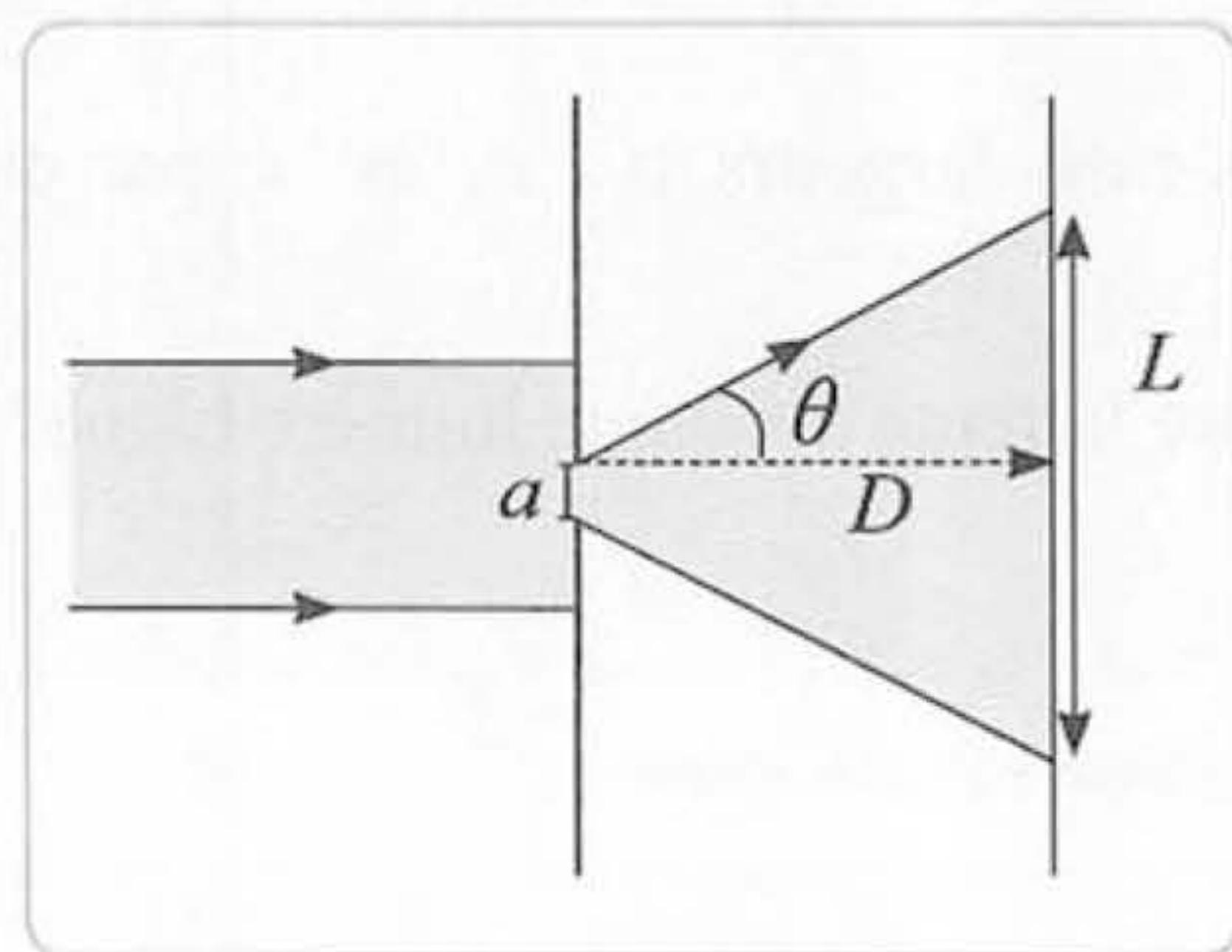
4- Comment varie la largeur L si l'on double la largeur a de la fente?

Solution

1- La demi-largeur angulaire de la tache de diffraction est donc:

$$\theta = \frac{\lambda}{a} = 6,33 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

2- Le schéma de l'expérience est le suivant:



On observe, sur ce schéma, que l'on a la relation: $\frac{L}{2} = D \tan \theta$.

Or, $\tan \theta \approx \theta$ car θ est petit donc $L \approx 2D\theta$.
 $L = 1,26\text{cm}$.

3- Si D est diminuée de moitié, alors L aussi.

$$4- \text{On a } L = 2D\theta = 2D \frac{\lambda}{a}$$

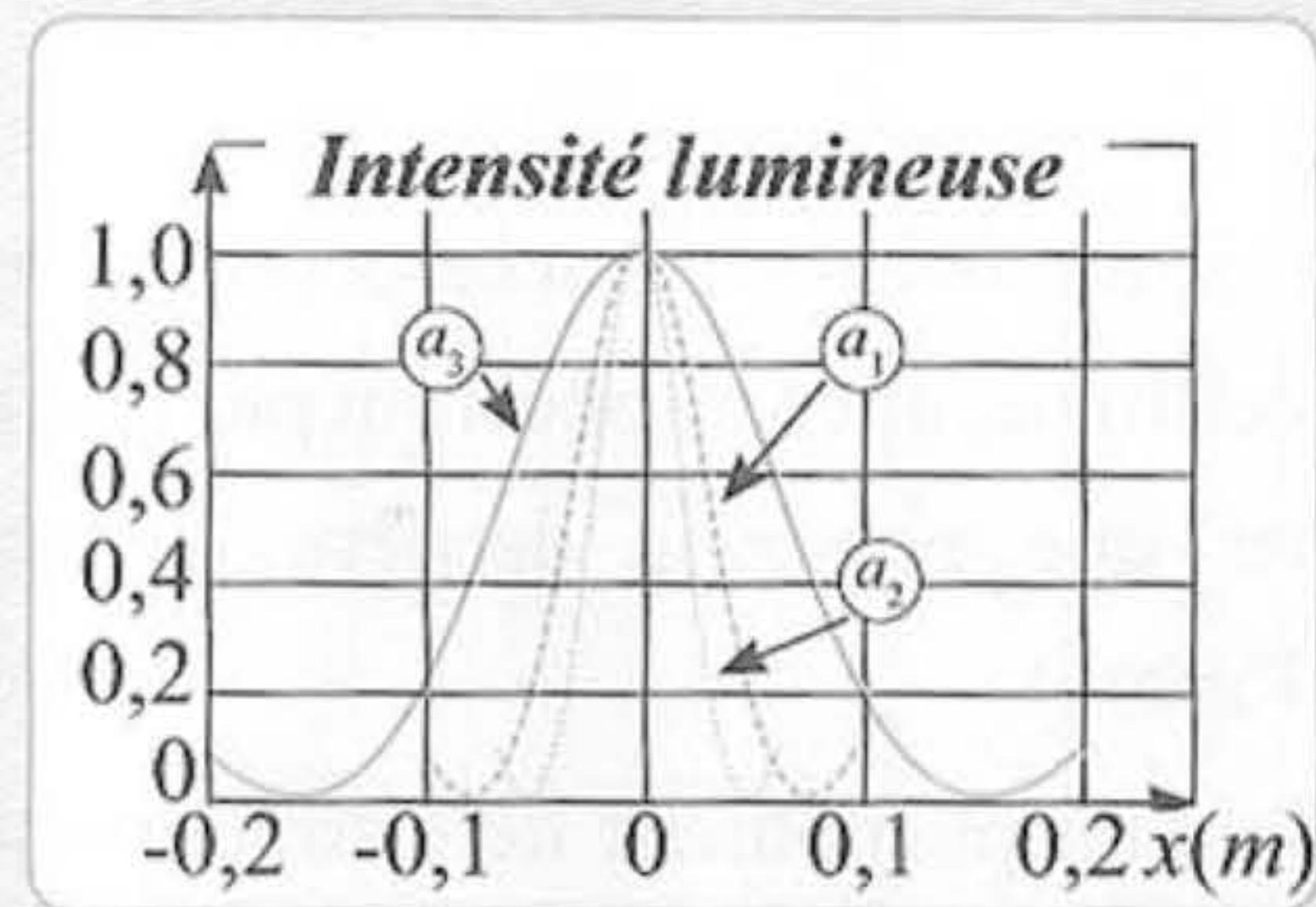
Si on double a , L est diminuée de moitié.

4 On réalise une expérience de diffraction lumineuse en éclairant une fente de diamètre variable a par une radiation monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 633\text{nm}$. L'intensité lumineuse de la figure de diffraction a été relevée (voir graphe ci-contre) pour trois valeurs du diamètre a .

a- Repérer sur le graphe ci-contre ce qui correspond à la tache centrale de diffraction.

b- Classer les trois diamètres a_1 , a_2 et a_3 par valeurs croissantes.

c- Sachant que la distance de la fente à l'écran est égale à 2 mètres, donner les valeurs numériques de a_1 , a_2 et a_3 . On donne: $x_{\text{max}(1)} = 15,8\text{ cm}$; $x_{\text{max}(2)} = 31,6\text{ cm}$; $x_{\text{max}(3)} = 7,9\text{ cm}$.



Solution

a- On a indiqué sur le schéma ci-après la largeur de la tache centrale de diffraction: c'est la région centrale où l'intensité lumineuse est maximale.

b- On observe que la tache correspondant au diamètre a_2 est plus large que celle correspondant au diamètre a_1 , elle-même plus large que celle correspondant au diamètre a_3 . Les diamètres des fentes considérées obéissent à: $a_2 < a_1 < a_3$.

c- La largeur totale L de la tache centrale

de diffraction est donnée par: $L = 2D \frac{\lambda}{a}$. D étant la distance entre l'obstacle et l'écran d'observation, a la largeur de l'obstacle et λ la longueur d'onde du rayon diffracté.

De $L = 2D \frac{\lambda}{a}$, on tire: $a = 2D \frac{\lambda}{L}$.

On mesure $L = 2x_{\text{max}}$:

$$L_1 = 15,8\text{ cm} \text{ soit } a_1 = 16\mu\text{m};$$

$$L_2 = 31,6\text{ cm} \text{ soit } a_2 = 8\mu\text{m};$$

$$L_3 = 7,9\text{ cm} \text{ soit } a_3 = 32\mu\text{m}.$$

5 Un étudiant est à côté d'un arbre dont le tronc a un diamètre de 1m.

On donne: la célérité du son dans l'air $V = 340\text{m.s}^{-1}$, la célérité de la lumière dans le vide $C = 3.10^8\text{m.s}^{-1}$; l'indice de réfraction de l'air $n \approx 1,0$ et la fréquence de la lumière $f = 5.10^{14}\text{Hz}$.

Le téléphone mobile reçoit des ondes électromagnétiques de fréquence $f = 900\text{MHz}$

1- Peut-il entendre une personne, située de l'autre côté de l'arbre, qui chante un «la» de fréquence $f = 440\text{Hz}$?

2- Peut-il la voir?

3- Peut-il utiliser son téléphone mobile si l'antenne émettrice est située de l'autre côté de l'arbre?

Solution

1- Si les ondes suivent la loi de propagation rectiligne, elles ne pourront pas être reçues par une personne derrière un obstacle (l'arbre).

Seul un phénomène de diffraction permet à l'observateur de recevoir les ondes.

Nous allons donc comparer la longueur d'onde pour conclure quant à l'existence de la diffraction.

La longueur d'onde est:

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{440}$$

$$\lambda = 77\text{cm}$$

Elle est du même ordre de grandeur que la taille de l'obstacle. Il y aura diffraction et l'étudiant pourra entendre la personne derrière l'arbre.

2- L'indice de l'air étant pris égal à 1, la lumière se propage dans l'air avec la même célérité que dans le vide. La longueur d'onde est donc: $\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3.10^8}{5.10^{14}} = 600\text{nm}$.

Elle est très inférieure à la dimension de l'obstacle. Il n'y aura pas diffraction, la lumière suit la loi de propagation rectiligne, on ne peut pas voir la personne derrière l'arbre.

3- La longueur d'onde des ondes reçues par le téléphone est:

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3.10^8}{900.10^6} = 33\text{cm}$$

Elle est du même ordre de grandeur que la dimension de l'obstacle. Il y a diffraction des ondes par le tronc, et l'étudiant peut utiliser son téléphone.

6 Détermination du diamètre d'un fil fin (Bac SM 2010) (Rattrapage)

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 $c = 3,00.10^8 \text{m.s}^{-1}$.

L'écart angulaire θ entre le centre de la tache centrale et la 1^{ère} extinction lors de la diffraction par une fente ou par un fil est exprimé par la relation

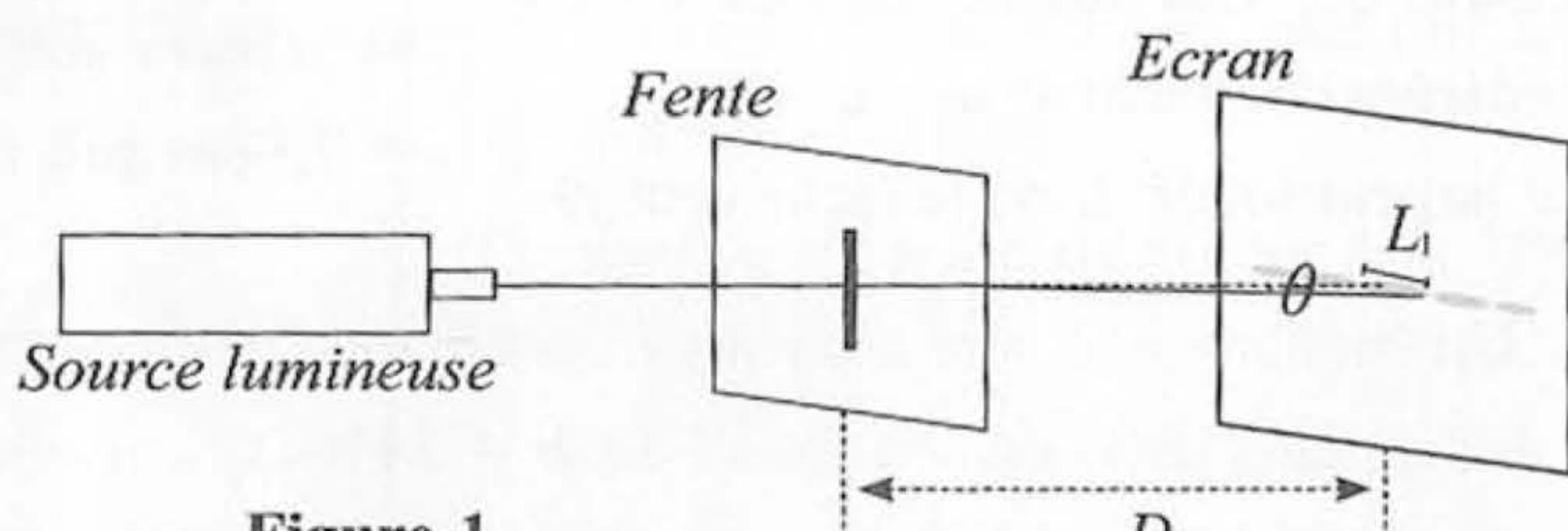


Figure-1

$\theta = \frac{\lambda}{a}$, dont λ est la longueur d'onde et 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 $\nu = 4,44 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$.

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 $L_1 = 6,70 \cdot 10^{-1} \text{ cm}$.

1.1- Cette expérience met en évidence quelle nature de la lumière?

1.2- Trouver l'expression de a en fonction de L_1 , D , ν 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.

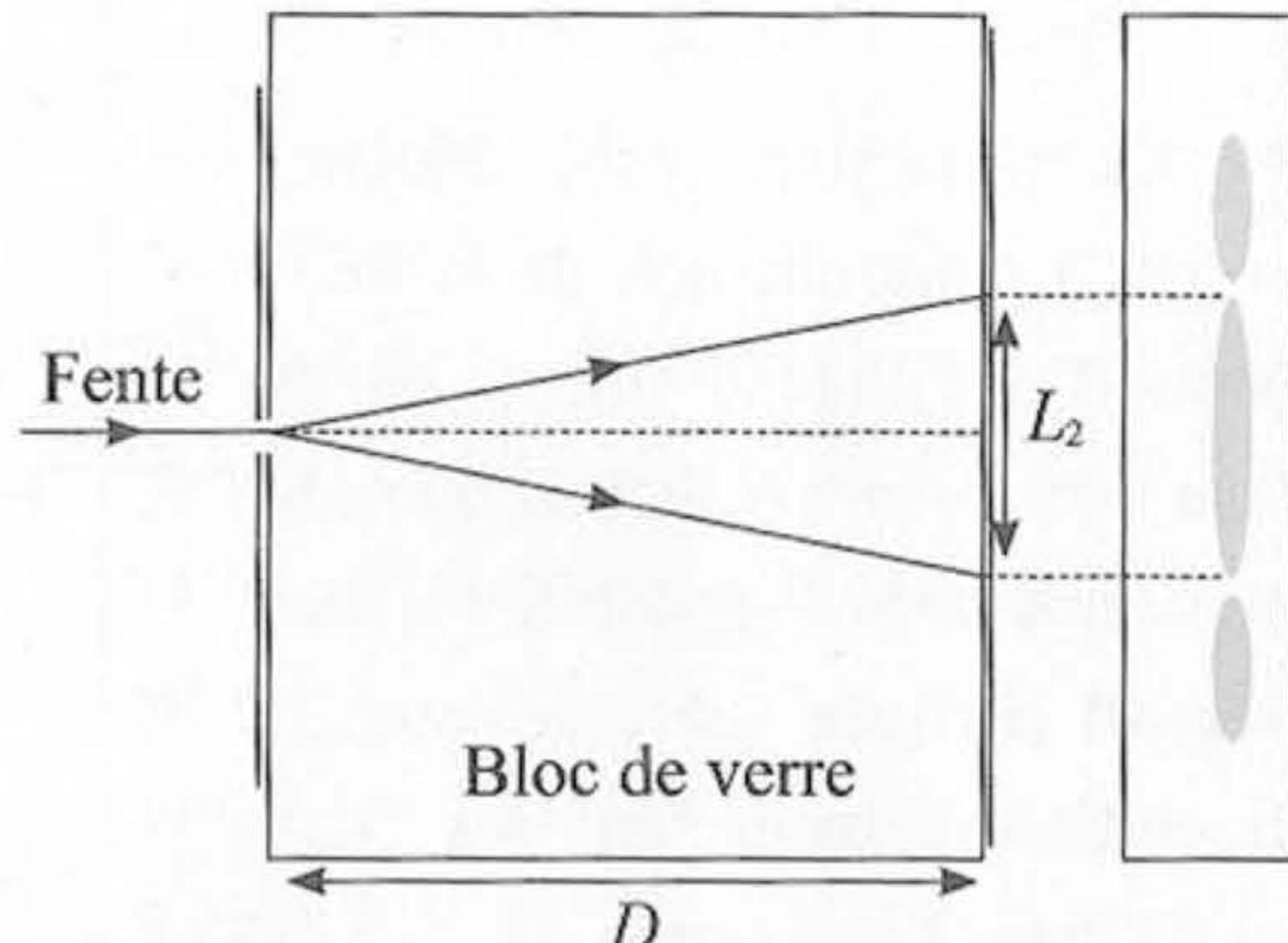


Figure-2

1.1- L'expérience de diffraction montre que la lumière se comporte comme un onde.

$$1.2- \tan \theta = \frac{L_1}{2D} \simeq \theta \text{ et } \theta = \frac{\lambda}{a} = \frac{C}{a \cdot \nu};$$

$$\text{d'où } \frac{L_1}{2D} = \frac{C}{a \cdot \nu}, \text{ donc } a = \frac{2D \cdot C}{L_1 \cdot \nu} \quad (1)$$

$$\text{A.N: } a = 1,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

2- Dans l'air (milieu 1): $L_1 = \frac{2D \cdot C}{a \cdot \nu}$;

dans le verre (milieu 2): $L_2 = \frac{2D \cdot V}{a \cdot \nu}$;

$$\frac{L_2}{L_1} = \frac{C}{V} = n, \quad L_2 = \frac{L_1}{n}$$

3- Le diamètre du fil remplace la largeur a de la fente, d'où:

$$d = \frac{2D.C}{L_3.v}$$

on trouve $d = 66,76 \cdot 10^{-5} m$.

7 La diffraction de la lumière permet la détermination de la fréquence d'une onde lumineuse.

- Une lumière monochromatique de longueur d'onde λ produite par un laser est envoyée successivement, perpendiculairement sur des fils fins de diamètres connus d

- Sur un écran placé à une distance D du fil, la mesure de la largeur L de la tache centrale de diffraction a permis de calculer l'écart angulaire θ correspondant à la tache centrale (figure 1) pour chacun des fils.

Données :

- On prend pour θ angle petit en radian: $\tan \theta \simeq \theta$.

- Vitesse de la lumière dans l'air $C \simeq 3 \cdot 10^8 m.s^{-1}$.

1- Donner la relation entre θ , λ et d .

2- Etablir en utilisant la figure (1), la relation entre L , λ , d et D .

3- On représente sur la figure (2), la courbe de $\theta = f\left(\frac{1}{d}\right)$.

3.1- Déterminer à partir de cette courbe la longueur d'onde λ de la lumière utilisée. En déduire sa fréquence v .

3.2- On éclaire maintenant l'un des fils précédents avec une lumière blanche, au lieu du laser.

Sachant que la longueur d'onde de cette lumière est comprise entre le violet $\lambda_v = 400 nm$ et le rouge $\lambda_r = 800 nm$:

a- déterminer la longueur d'onde de la lumière correspondant à la plus grande largeur de la tache centrale.

b- expliquer pourquoi le centre de la tache principale apparaît blanc sur l'écran.

Solution

$$1- \theta = \frac{\lambda}{d} \quad (1)$$

$$2- \text{La figure donne } \tan \theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}; \text{ or, } \tan \theta \simeq \theta \text{ d'où } \theta = \frac{L}{2D} \quad (2)$$

Les relations (1) et (2) donnent: $\frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{d}$

3.1- $\theta = k \cdot \frac{1}{d}$, la pente k représente λ

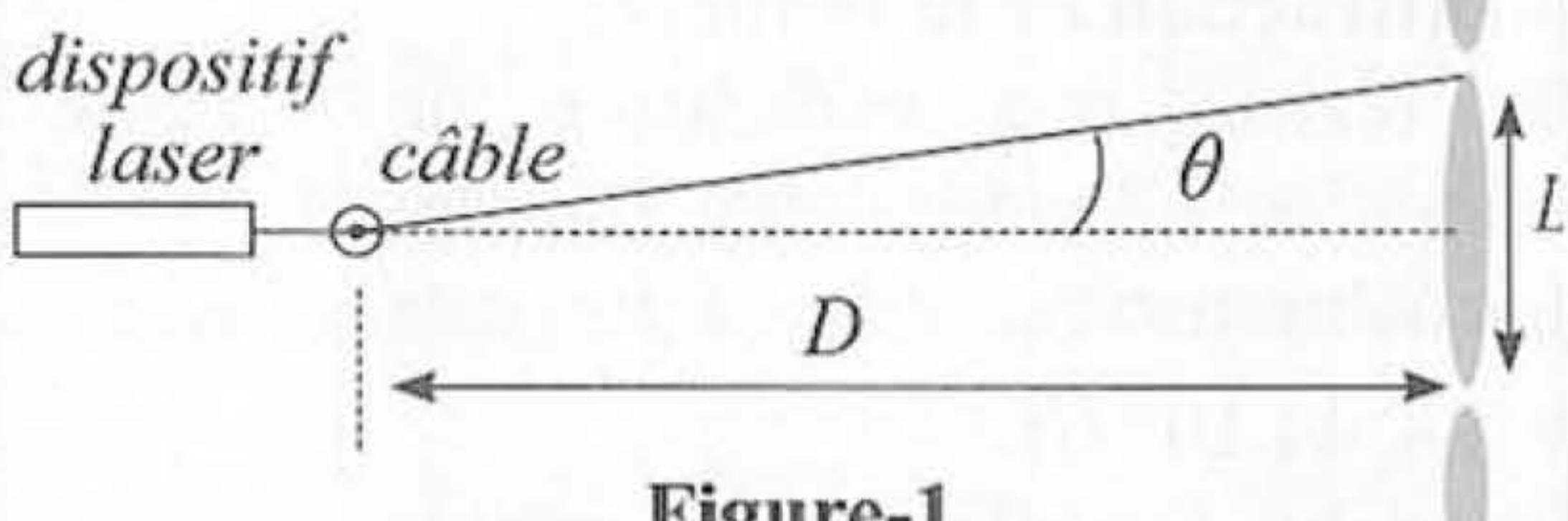


Figure-1

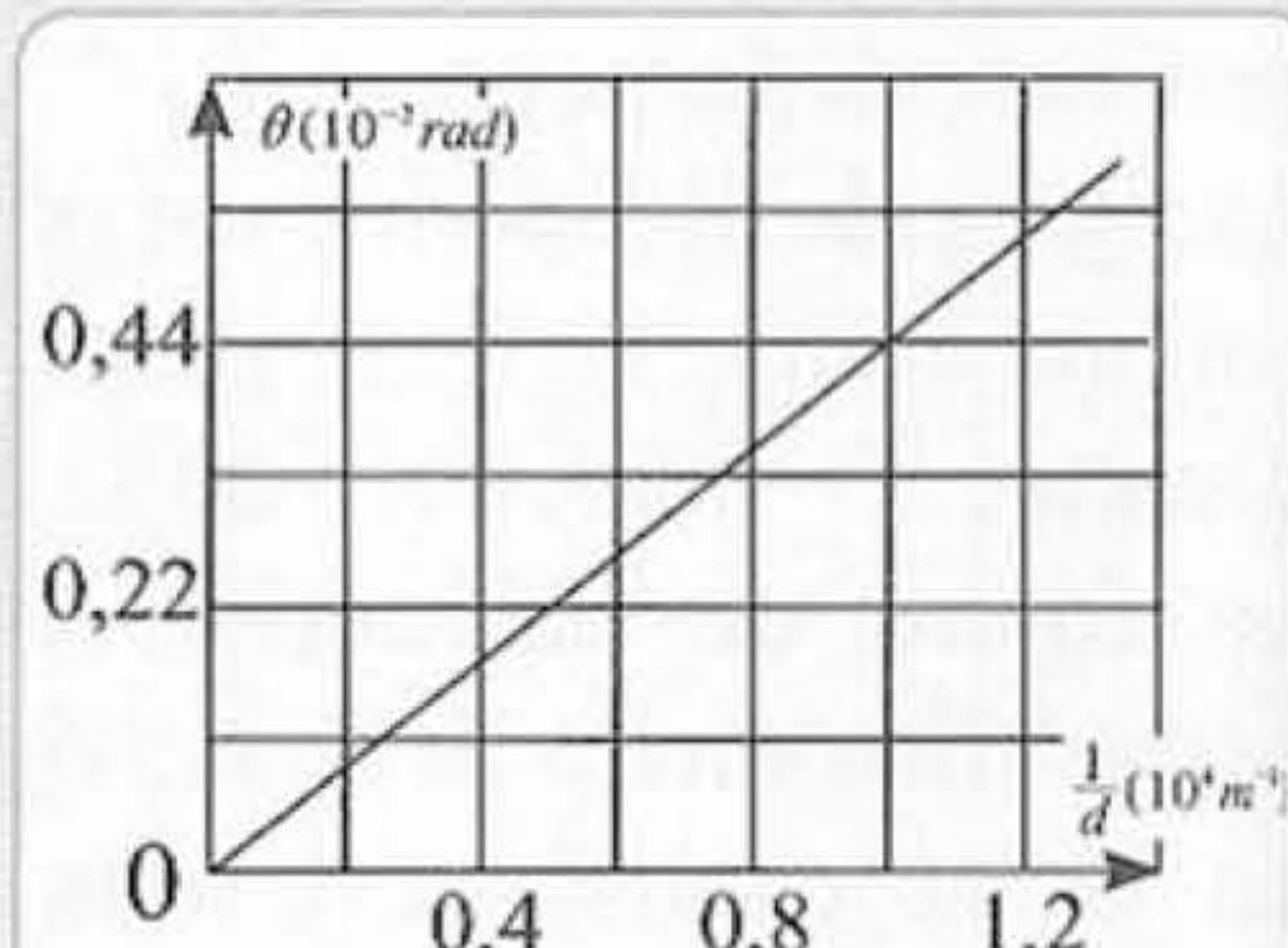


Figure-2

$$\lambda = k = \frac{\Delta\theta}{\Delta\left(\frac{1}{d}\right)}$$

$$\lambda = \frac{(0,44 - 0) \cdot 10^{-2}}{(1 - 0) \cdot 10^4} = 4,4 \cdot 10^{-7} m$$

$$\lambda = 0,44 \mu m$$

$$f = \frac{C}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{4,4 \cdot 10^{-7}} = 6,82 \cdot 10^{14} Hz$$

$$\text{3.2.a- on a } \lambda = \frac{d}{2D} L = \text{cte.}$$

L augmente lorsque λ augmente; la valeur maximale de L est obtenue dans le visible, à l'aide de la lumière rouge $\lambda = 800 nm$.

3.2.b- Chacune des radiations de la lumière blanche donne naissance à une tache centrale ayant la couleur de cette radiation.

Ces taches ont le même centre mais leur largeur L augmente avec λ .

La tache résultante de toutes les couleurs est rouge à la périphérie; mais au centre toutes les couleurs se superposent pour donner le blanc.

8 De la dispersion de la lumière à la diffraction (Bac SM 2013), session normale.

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 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 $C = 3,00 \cdot 10^8 m.s^{-1}$

Couleur de la radiation	rouge (R)	violet (V)
La longueur d'onde dans l'air en (μm)	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 viole (V).

1.1- Exprimer la longueur d'onde λ_R de la radiation rouge dans le verre en fonction de l'indice de réfraction n_R du verre

et de λ_{OR} (longueur d'onde dans l'air de ce rayonnement).

1.2- L'indice de réfraction n d'un milieu transparent pour une 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.

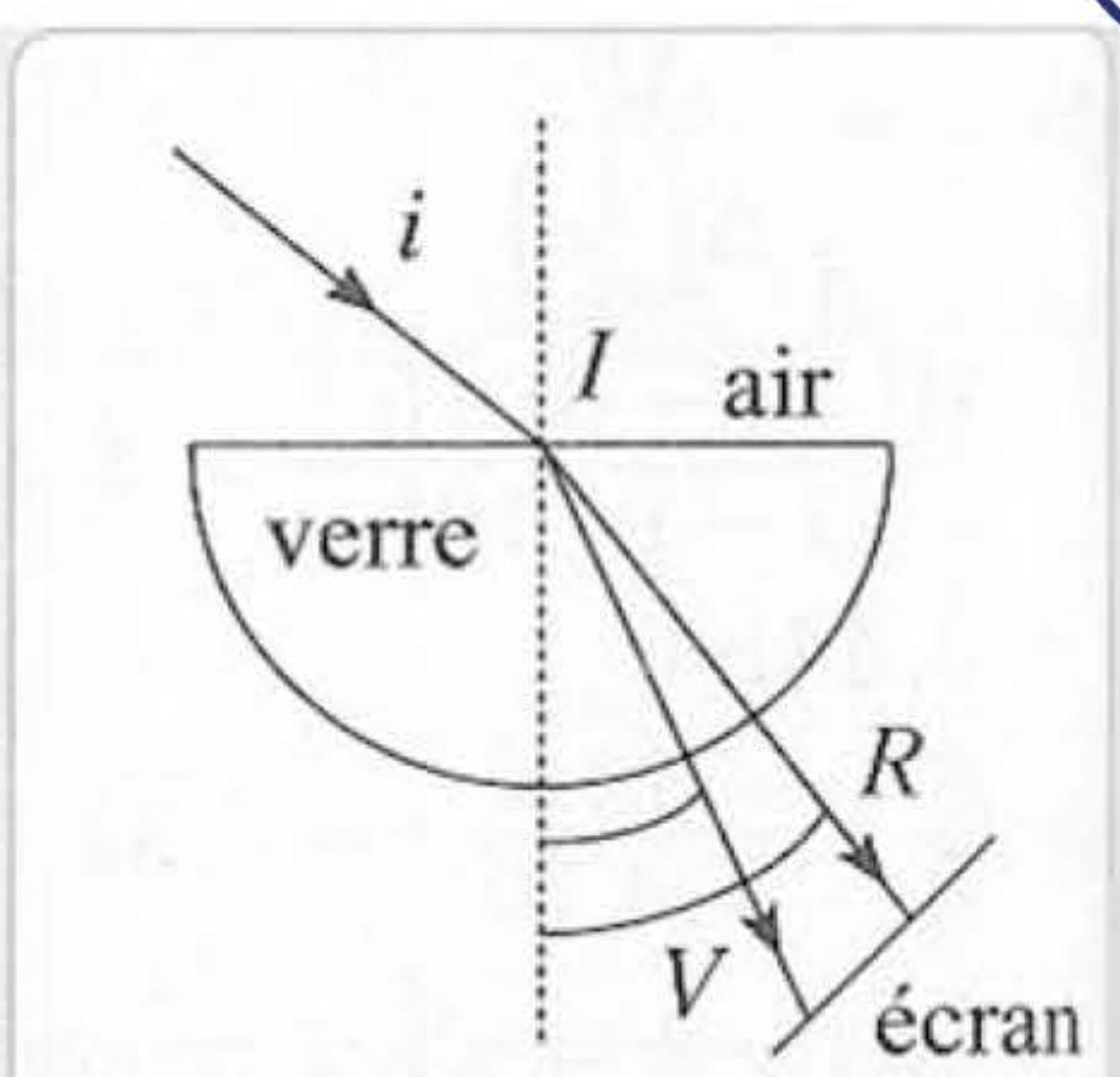


Figure-1

2- Diffraction de la lumière

On réalise l'expérience de la diffraction d'une lumière monochromatique de longueur d'onde λ 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.

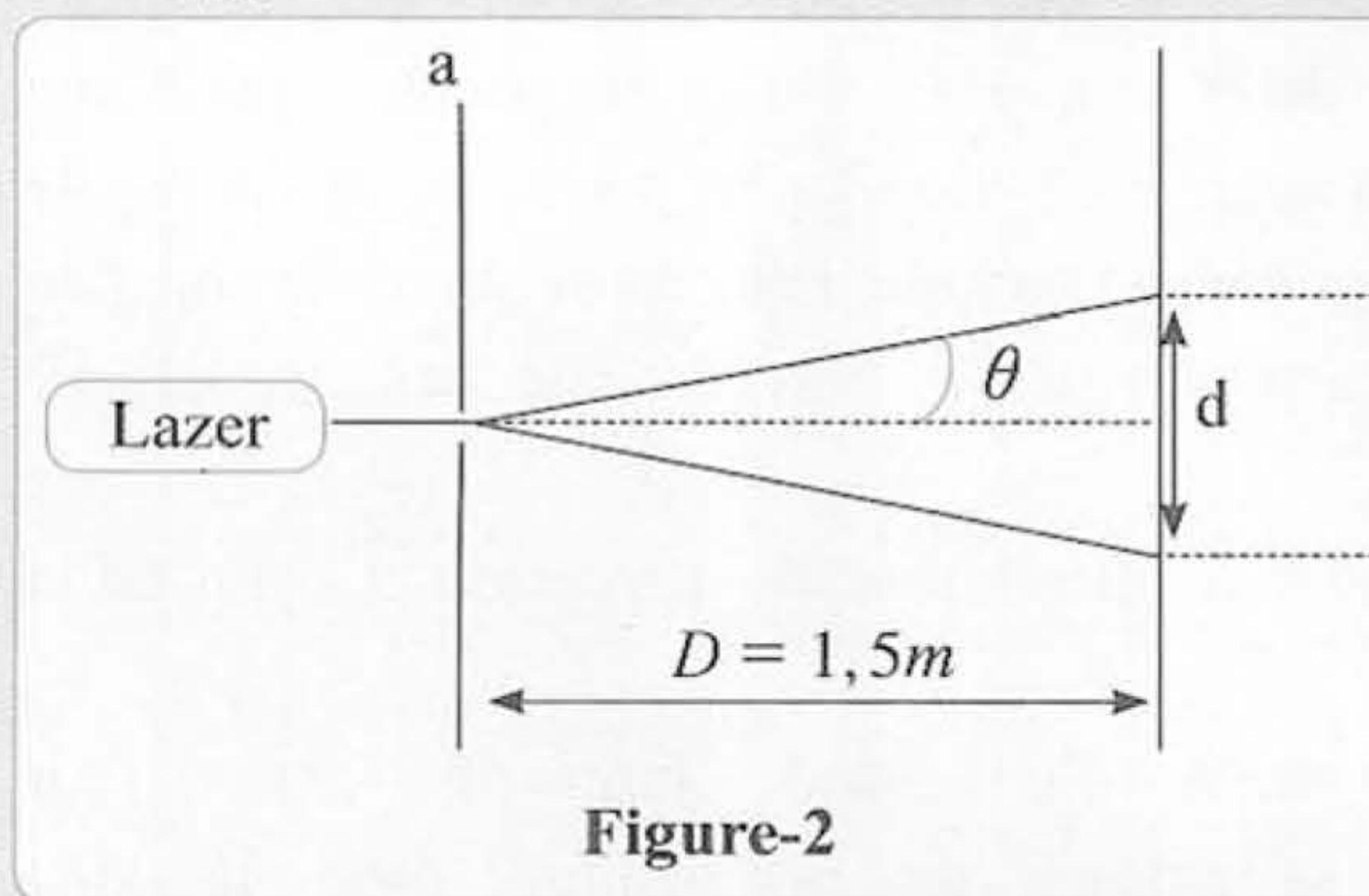


Figure-2

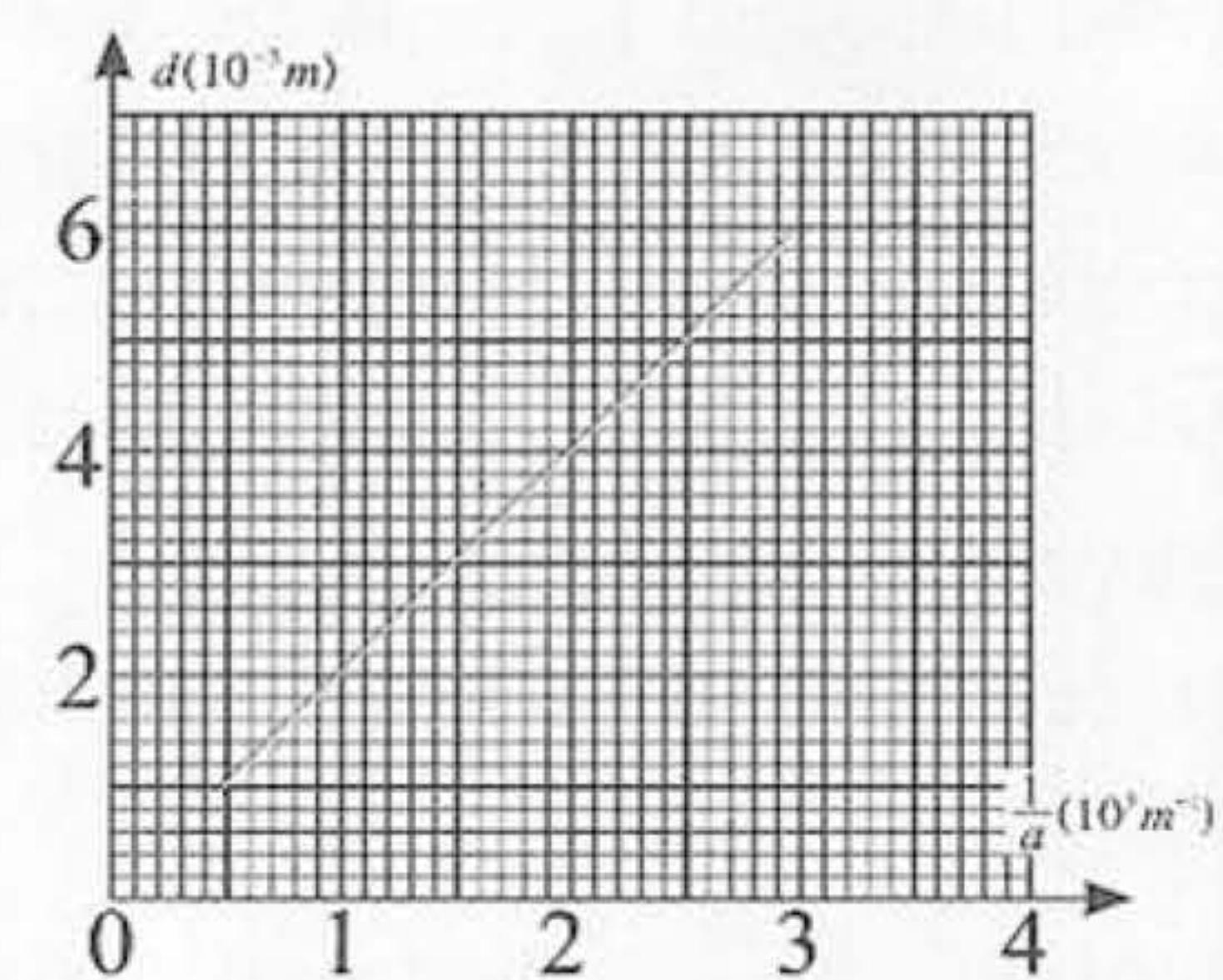


Figure-3

2.1- Trouver l'expression de d en fonction de λ , a et D , sachant que $\theta = \frac{\lambda}{a}$, (θ petit exprimé en rad).

2.2- A l'aide de la figure 3, déterminer la valeur de λ .

Solution

1.1- Pour la radiation rouge on a: dans le vide $\lambda_{OR} = C.T$ et dans le verre $\lambda_R = V_R.T$ (T période du rouge).

En combinant ces deux expressions:

$$\frac{\lambda_{OR}}{\lambda_R} = \frac{C}{V_R} = n_R$$

$$\text{d'où: } \lambda_R = \frac{\lambda_{OR}}{n_R}$$

$$1.2- n_R = A + \frac{B}{\lambda_{OR}^2} \text{ et } n_V = A + \frac{B}{\lambda_V^2}$$

$$n_V - n_R = \left[\frac{B}{\lambda_{OV}^2} - \frac{1}{\lambda_{OR}^2} \right] B$$

$$B = (n_V - n_R) \cdot \frac{\lambda_{OV}^2 \cdot \lambda_{OR}^2}{\lambda_{OR}^2 - \lambda_{OV}^2} = 2,677 \cdot 10^{-3} (\mu\text{m})$$

$$A = n_R - \frac{B}{\lambda_{OR}^2} = n_V - \frac{B}{\lambda_{OV}^2} = 1,505$$

2.1- L'analyse de la figure donne:

$\tan \theta = \frac{d}{2D}$; avec $\tan \theta = \theta$ et la formule $\theta = \frac{\lambda}{a}$ ou obtient: $\frac{d}{2D} = \frac{\lambda}{a}$, d'où $d = 2D \cdot \lambda \cdot \frac{1}{a}$

2.2- La pente k de la droite est $2D\lambda$ d'où

$$\lambda = \frac{1}{2D} \cdot k = \frac{1}{2.15} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1.10^3}$$

$$\lambda \simeq 6,67 \cdot 10^{-7} m = 0,667 \mu m.$$

Avant Isaac Newton, on pensait que le prisme ajoutait des couleurs au faisceau de lumière blanche. Newton place alors un deuxième prisme de telle manière qu'il ne soit atteint que

par une seule couleur et découvre que la couleur reste inchangée.

On dirige, suivant une incidence donnée, le faisceau d'un laser de longueur d'onde $\lambda = 633 nm$ vers l'une des faces du prisme de verre d'indice n placé dans l'air. On observe que ce faisceau est dévié.

Un écran placé derrière le prisme montre un point lumineux de même couleur que le faisceau incident.

1- Quelle est la nature de la lumière émise par le laser? Justifier votre réponse.

2- La célérité de la lumière dans la vide est $C = 3,00 \cdot 10^8 m.s^{-1}$.

2.a- Rappeler la relation entre la longueur d'onde λ de l'onde émise par le laser, sa fréquence ν et sa célérité C . Calculer ν .

2.b- La valeur de ν varie-t-elle lorsque cette onde change de milieu de propagation?

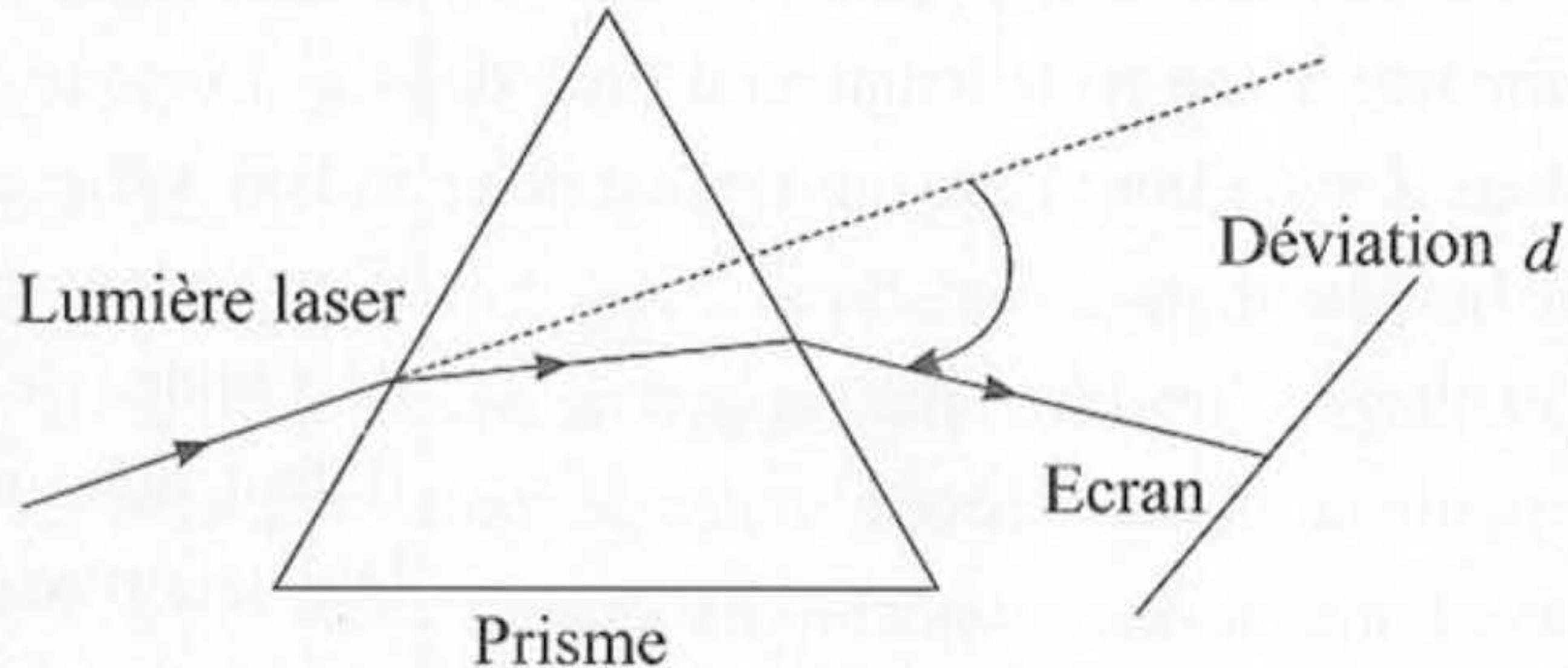
3- Donner les limites des longueurs d'onde dans le vide du spectre visible et les couleurs correspondantes. Situer les domaines des rayonnements ultraviolets et infrarouges par rapport au domaine du spectre visible.

4- L'indice de réfraction du verre pour la fréquence ν de l'onde utilisée est de $n = 1,61$.

4.a- Pourquoi précise-t-on la fréquence ν de l'onde lorsqu'on donne la valeur de n ?

4.b- Calculer la longueur d'onde λ' de cette onde dans le verre.

On remplace la lumière laser par une lumière blanche (c'est-à-dire comprenant toutes les longueurs d'onde données à la question 3).



5- Tracer l'allure de deux rayons de longueur d'onde différente arrivant sur le prisme avec le même angle d'incidence sachant que la déviation d augmente quand la longueur d'onde diminue.

Solution

1- La lumière émise par la laser est composée d'une seule longueur d'onde de valeur $\lambda = 633nm$, cette lumière est donc une lumière monochromatique. L'avantage d'un laser par rapport à une ampoule à incandescence, outre le fait d'avoir une lumière monochromatique, est d'obtenir une lumière de forte luminosité sur une petite surface.

$$2.a- \lambda = C/v \text{ soit } v = C/\lambda,$$

$$\text{Avec: } \lambda = 633nm = 633 \cdot 10^{-9}m$$

$$\text{et } C = 3,00 \cdot 10^8 m.s^{-1},$$

$$\text{on a } v = C/\lambda = 3,00 \cdot 10^8 / 633 \cdot 10^{-9}$$

$$v = 4,74 \cdot 10^{14} Hz$$

2.b- La fréquence v d'une onde ne dépend que de la source de l'onde, par conséquent si l'onde change de milieu sa fréquence v n'est pas modifiée.

3- Le spectre de la lumière visible est compris entre les longueurs d'onde $400nm$ et $800nm$.

$\lambda = 400nm$ correspond au violet et $\lambda = 800nm$ correspond au rouge.

Le domaine des rayonnements ultraviolets (responsables des coups de soleil) est le domaine de longueurs d'ondes inférieures à $400nm$ et le domaine des rayonnements infrarouges (générés par des chauffages électriques) correspond aux longueurs

d'onde supérieures à $800nm$.

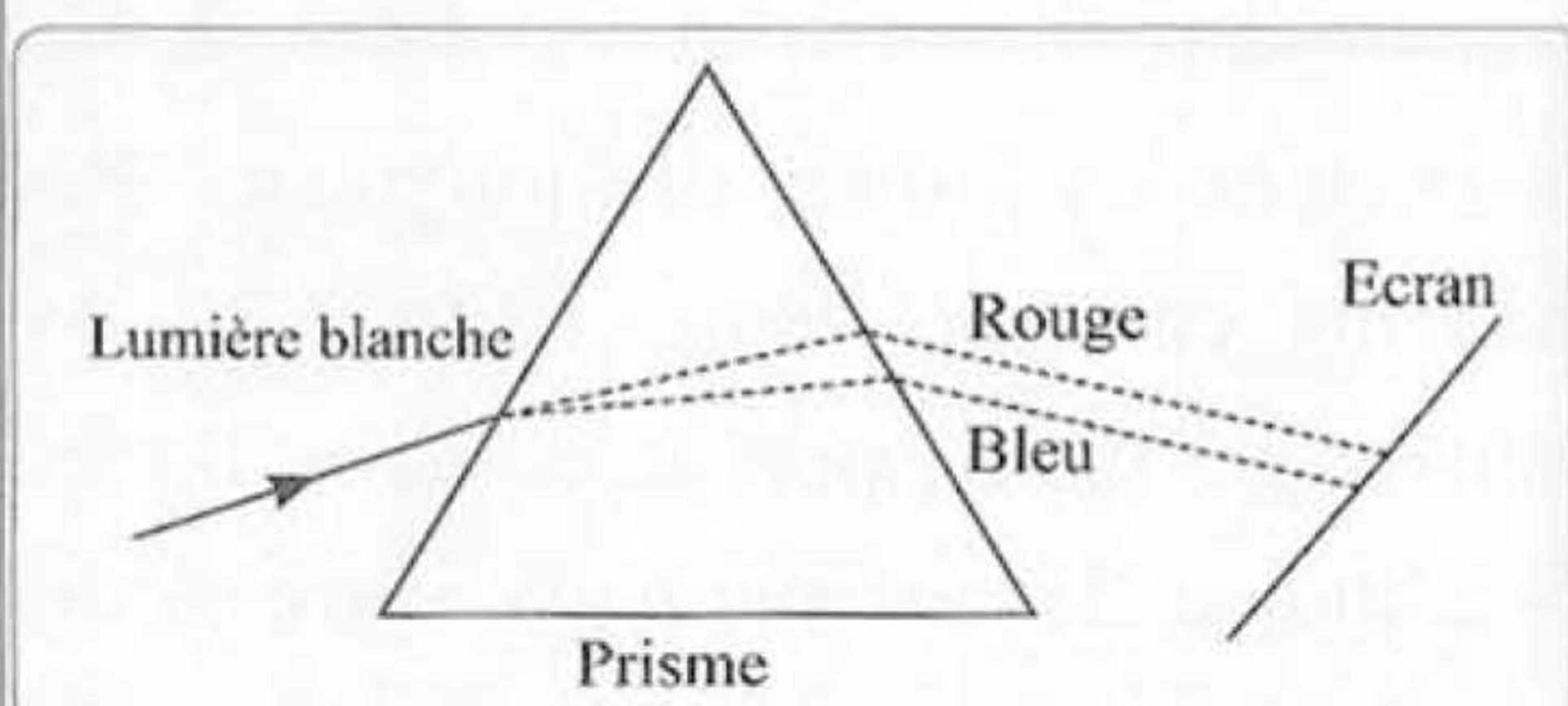
4.a- Lorsque l'indice de réfraction d'un milieu varie en fonction de la longueur d'onde donc en fonction de la fréquence de l'onde, le milieu est dit «dispersif». Il faut donc préciser la fréquence ou la longueur d'onde quand on donne la valeur d'un indice de réfraction.

4.b- La longueur d'onde (λ'), la vitesse (V) de l'onde dans le verre et la fréquence (V) sont liées par la relation: $\lambda' = \frac{V}{v}$.

De plus l'énoncé rappelle que $n = \frac{C}{V}$ soit que $V = \frac{C}{n}$; en combinant les 2 relations précédentes: $\lambda' = \frac{C}{n \times v}$.

Or, on sait que dans le vide: $\lambda = \frac{C}{V}$, alors finalement on obtient: $\lambda' = \frac{\lambda}{n}$

Application numérique: $\lambda' = \frac{633}{1,61} nm$ soit $\lambda' = 393nm$



5- On sait que la déviation d augmente quand la longueur d'onde diminue. De plus on a: λ (bleu) < λ (rouge) alors d (rouge) < d (bleu).

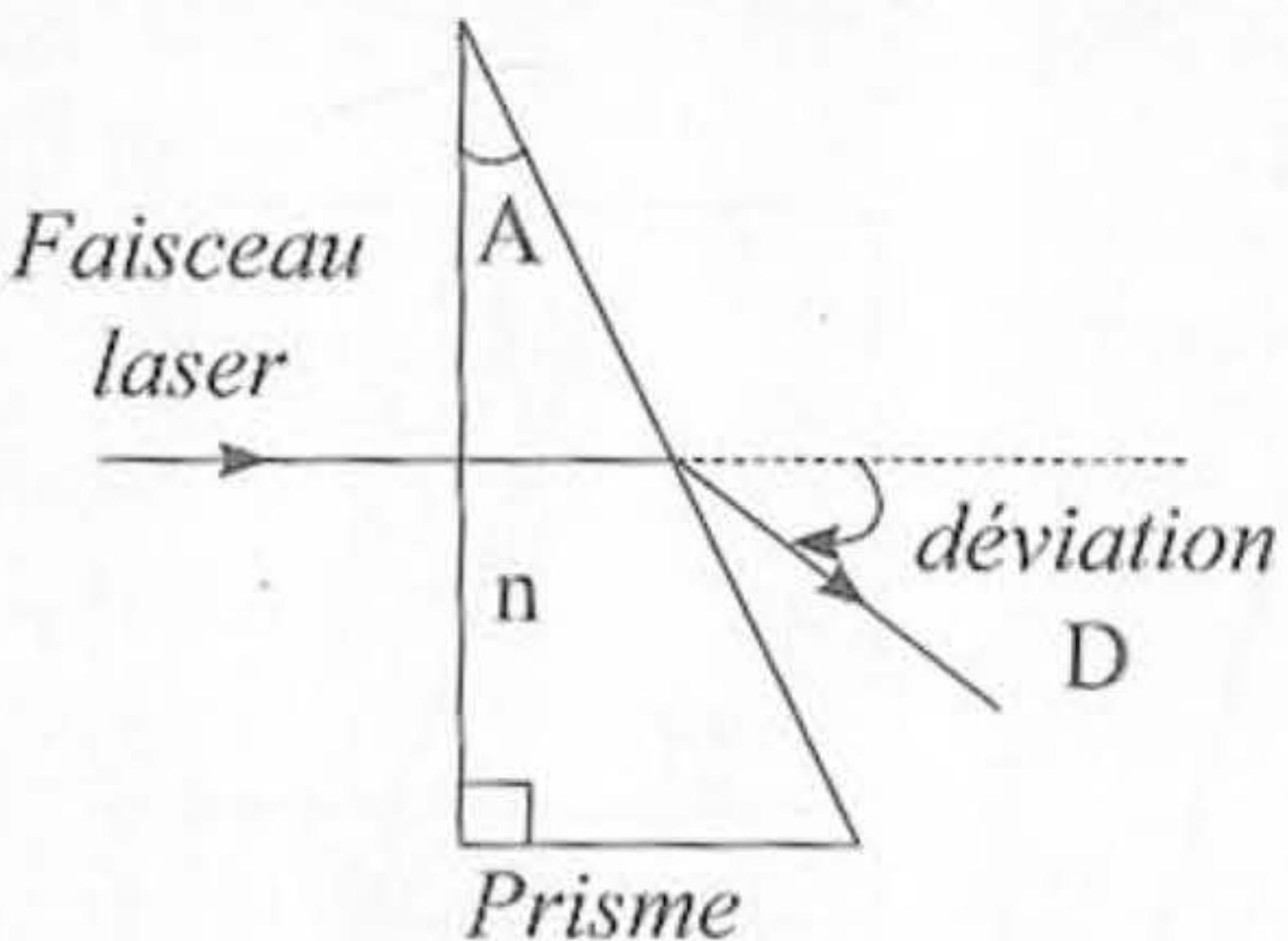
On peut donc compléter le schéma.

10 Un prisme d'angle au sommet $A = 2^\circ$ est éclairé sous incidence normale par une lumière blanche.

La déviation D d'un rayon lumineux par le prisme est donnée par la formule approchée suivante:

$$D = (n - 1)A.$$

où n est l'indice de réfraction du prisme.



1- Si l'on suppose le milieu non dispersif, qu'observe-t-on à la sortie du prisme?

2- Dans l'hypothèse plus réaliste où le milieu est dispersif, on admet que l'indice de réfraction est une fonction décroissante de la longueur d'onde.

Décrire ce que l'on observe à la sortie du prisme.

Solution

1- Si l'on suppose le milieu non dispersif, même pour la déviation. A chaque valeur de alors l'indice de réfraction et donc la la longueur d'onde correspond maintenant déviation D est indépendante de la une valeur de la déviation.

fréquence et donc de la longueur d'onde. Une radiation bleue de longueur d'onde Toutes les radiations qui composent la inférieure à celle d'une radiation rouge lumière blanche sont déviées de la même sera plus déviée car la déviation décroît façon. On obtient donc un faisceau de avec la longueur d'onde.

lumière blanche à la sortie du prisme en A la sortie du prisme, on obtient donc le l'absence de dispersion. spectre de la lumière blanche, du rouge au

2- Si l'indice est une fonction décroissante violet, par ordre de déviation croissante. de la longueur d'onde, alors il en est de

11 Une lumière polychromatique constituée de deux radiations de longueurs d'onde $\lambda_1 = 589,3\text{ nm}$ et $\lambda_2 = 768,2\text{ nm}$ rencontre la surface horizontale d'un volume d'eau en faisant un angle de 5° par rapport à la verticale.

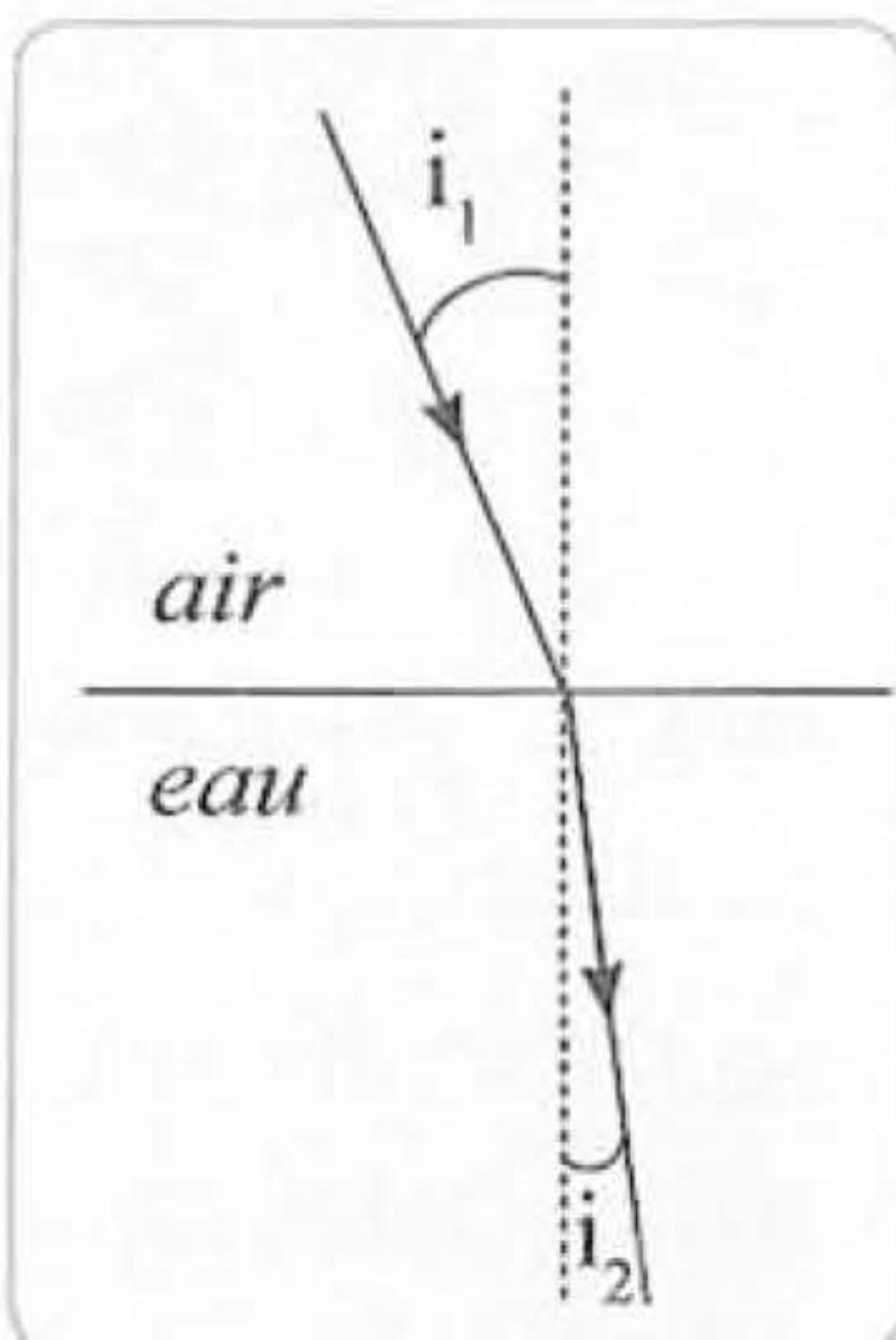
On rappelle que la loi de Descartes s'écrit: $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$

1- Dans l'hypothèse où l'eau est considérée comme non dispersive ($n = 1,33$), calculer en utilisant les lois de la réfraction de Descartes, l'angle que le rayon réfracté forme avec la verticale.

2- Répondre à la même question dans l'hypothèse où l'eau est un milieu dispersif, sachant que: $n_1 = n(\lambda_1) = 1,3300$ et $n_2 = n(\lambda_2) = 1,3289$.

Solution

1-



Pour les deux longueurs d'ondes on a:

$$\sin i_1 = \frac{n_1 \sin i_2}{n_2} = \frac{1. \sin 5^\circ}{1,33}$$

$$i_2 = 3,757^\circ$$

On retrouve un résultat connu: le rayon se rapproche de la normale au diopstre lors de son passage dans un milieu d'indice de réfraction plus élevé.

2- Pour la radiation de longueur d'onde λ_1 , l'indice $n_1 = 1,3300$ et comme précédemment, $i_2 = 3,757^\circ$

Pour la radiation de longueur d'onde λ_2 , l'indice $n_2 = 1,3289$ et l'on obtient:

$$i_2 = 3,760^\circ.$$

On trouve une différence de l'ordre de 3 millièmes de degrés, tout à fait insignifiante!

12

La lumière, Une onde électromagnétique

1- L'onde lumineuse et ses caractéristiques:

On rappelle que dans le vide, toutes les ondes électromagnétiques ont la même célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

1.1- Pour une radiation de fréquence v , donc de période T et de longueur d'onde λ , se propageant dans le vide à la célérité c , on propose les relations suivantes:

$$(a) \lambda = \frac{c}{v} \quad (b) T = \frac{c}{\lambda} \quad (c) \lambda = c.T$$

1.1.1- Donner la définition de la longueur d'onde.

1.1.2- Préciser l'unité de λ . Choisir dans les relations précédentes la (ou les) relations(s) correcte(s).

1.2- Une lampe à vapeur de lithium émet dans le vide une radiation intense de longueur d'onde égale à 571 nm.

Déterminer la fréquence de cette radiation dans le vide.

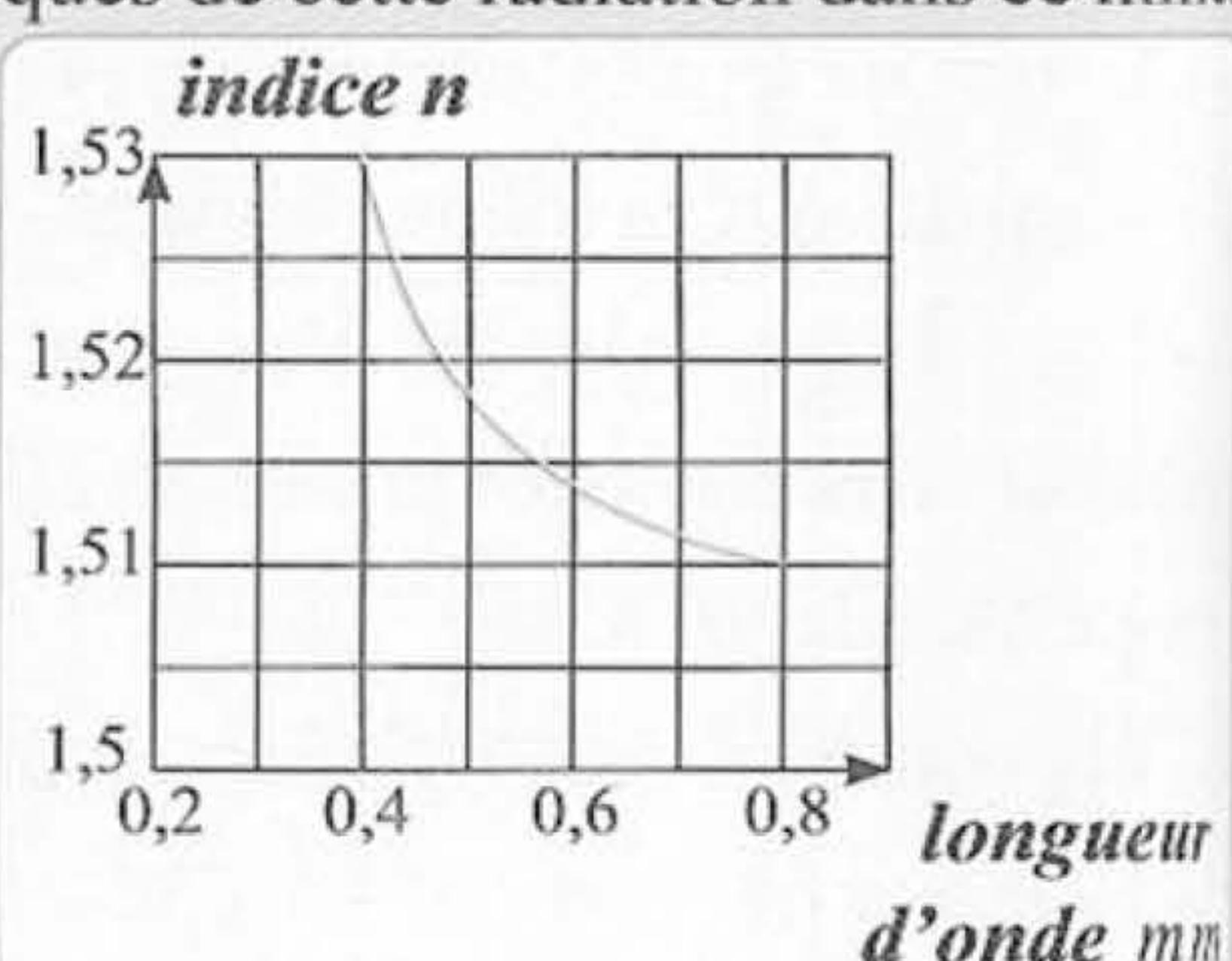
1.3- La radiation émise par la lampe à vapeur de lithium traverse un milieu transparent d'indice $n = 1,5$.

Un élève curieux s'interroge sur les caractéristiques de cette radiation dans ce milieu transparent puis il affirme: «la fréquence est inchangée et la longueur d'onde maintenant égale à 380 nm».

Ces affirmations sont-elles justes ou erronées? justifier.

2- Analyse d'une lumière complexe; le spectromètre à prisme.

2.1- Ce spectromètre utilise les propriétés dispersives d'un prisme en verre.



Lorsqu'une lumière polychromatique est dirigée vers l'une des faces d'un prisme, chaque radiation est déviée d'un angle qui dépend de l'indice et donc de la longueur d'onde dans le vide λ .

Ci-dessous est représentée la variation de l'indice d'un verre en fonction de la longueur d'onde.

2.1.1- Qu'appelle t-on une lumière polychromatique?

2.1.2- A l'aide du graphique, déterminer les indices du prisme en verre pour ces longueurs d'onde limites du domaine visible.

2.2- Une lumière émise par une lampe à vapeur de mercure contient trois radiations intenses de longueur d'onde: 440 nm, 550 nm et 580 nm.

2.2.1- On place sur le trajet de la lumière un filtre qui ne laisse passer que la radiation de longueur d'onde 440 nm et on l'envoie vers le prisme réalisé avec le verre précédent sous une incidence $i_1 = 45^\circ$ (voir la figure).

2.2.1.1- La radiation subit une première réfraction en I sur la face AB du prisme. On rappelle la loi de la réfraction:

$$n_1 \cdot \sin(i_1) = n_2 \cdot \sin(i_2)$$

Milieu (1): air d'indice: $n_1 = 1$ quel que soit λ . Milieu (2): verre.

Déterminer l'angle de réfraction dans le prisme pour cette radiation.

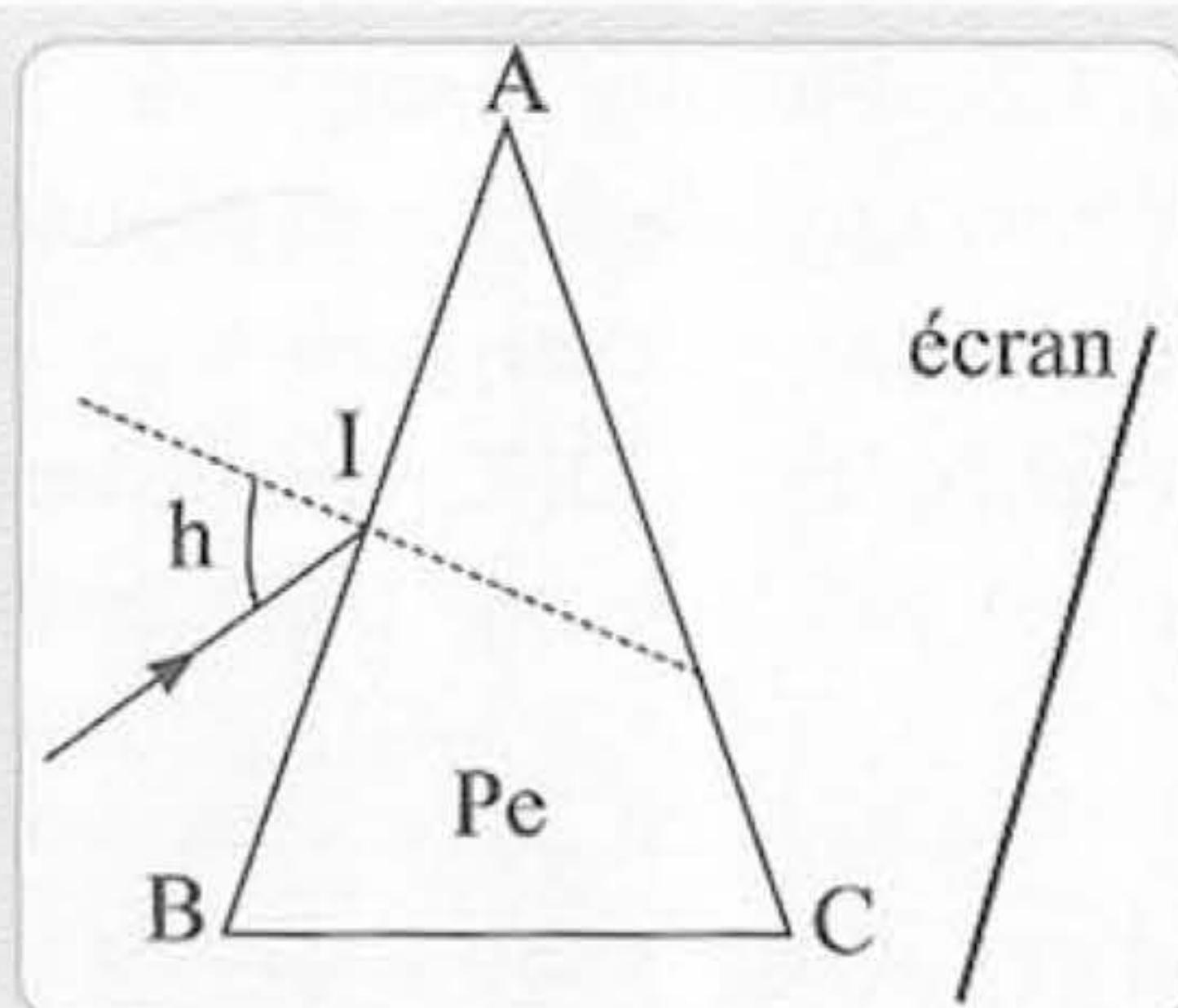
Tracer approximativement le rayon réfracté à l'intérieur du prisme sur la figure(1).

2.2.1.2- A la traversée de la face AC , une nouvelle réfraction se produit en I' et un rayon sort du prisme en présentant un angle de déviation D par rapport au rayon incident en I .

Compléter la marche du rayon lumineux sur la figure 1 et noter l'angle de déviation D

2.3- On enlève le filtre et un écran est placé après le prisme.

Que visualise-t-on sur l'écran lorsque le prisme reçoit l'ensemble de la lumière émise par la lampe à vapeur de mercure? justifier.



Solution

1.1.1- La longueur d'onde d'une onde périodique, de période T ; est la distance parcourue par cette onde pendant une période temporelle T .

1.1.2- λ s'exprime en mètre (m).

Les propositions correctes sont (a) et (c).

$$1.2- v = \frac{c}{\lambda_0} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{571 \cdot 10^{-9}} = 5,25 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

1.3- Dans le verre du prisme:

$$\lambda = V \cdot T = \frac{V}{v}, \text{ or } n = \frac{c}{v}$$

$$\text{alors; } \lambda = \frac{c}{n \cdot v} = \frac{\lambda_0}{n} = \frac{571}{1,5} \simeq 380 \text{ nm}$$

2.1.1- Une lumière polychromatique est une lumière composée de radiations lumineuses de fréquences différentes.

2.1.2- Pour la radiation violette: $n_v = 1,53$ et pour la radiation rouge: $n_R = 1,51$.

2.2.1- La loi de Descartes pour la réfraction s'écrit:

$$\sin i_2 = \frac{n_1 \cdot \sin i_1}{n_2} = \frac{1 \cdot \sin 45^\circ}{1,52} = 0,465$$

$$\text{On trouve } i_2 = 27,7^\circ$$

2.2.2- Puisque l'angle de la réfraction prisme suivant des trajets différents. d'un rayon du faisceau dépend de l'indice de réfraction du prisme par rapport à ce rayon et par conséquent les différents rayons du faisceau n'ont pas le même trajet et ils quittent le prisme suivant des trajets différents. Sur l'écran, on obtient un spectre de la lumière étudié, dans lequel le rayon le plus dévié est le violet et le rayon le moins dévié est le rouge.

13 (Bac SM 2011 - Rattrapage)

Le milieu de propagation des ondes lumineuses est caractérisé par l'indice de réfraction $n = \frac{c}{v}$ pour une fréquence donnée, 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 λ d'une lumière monochromatique dans l'air

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

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

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

1.1- Choisir la réponse juste:

La figure de diffraction observée sur l'écran se forme:

- a- Suivant l'axe $x'x$
- b- Suivant l'axe $y'y$

1.2- Trouver l'expression de λ en fonction de a, L , et D . Calculer λ .

On rappelle que l'écart angulaire est $\theta(\text{rad}) = \frac{\lambda}{a}$.

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

Un rayon lumineux (R_i) monochromatique

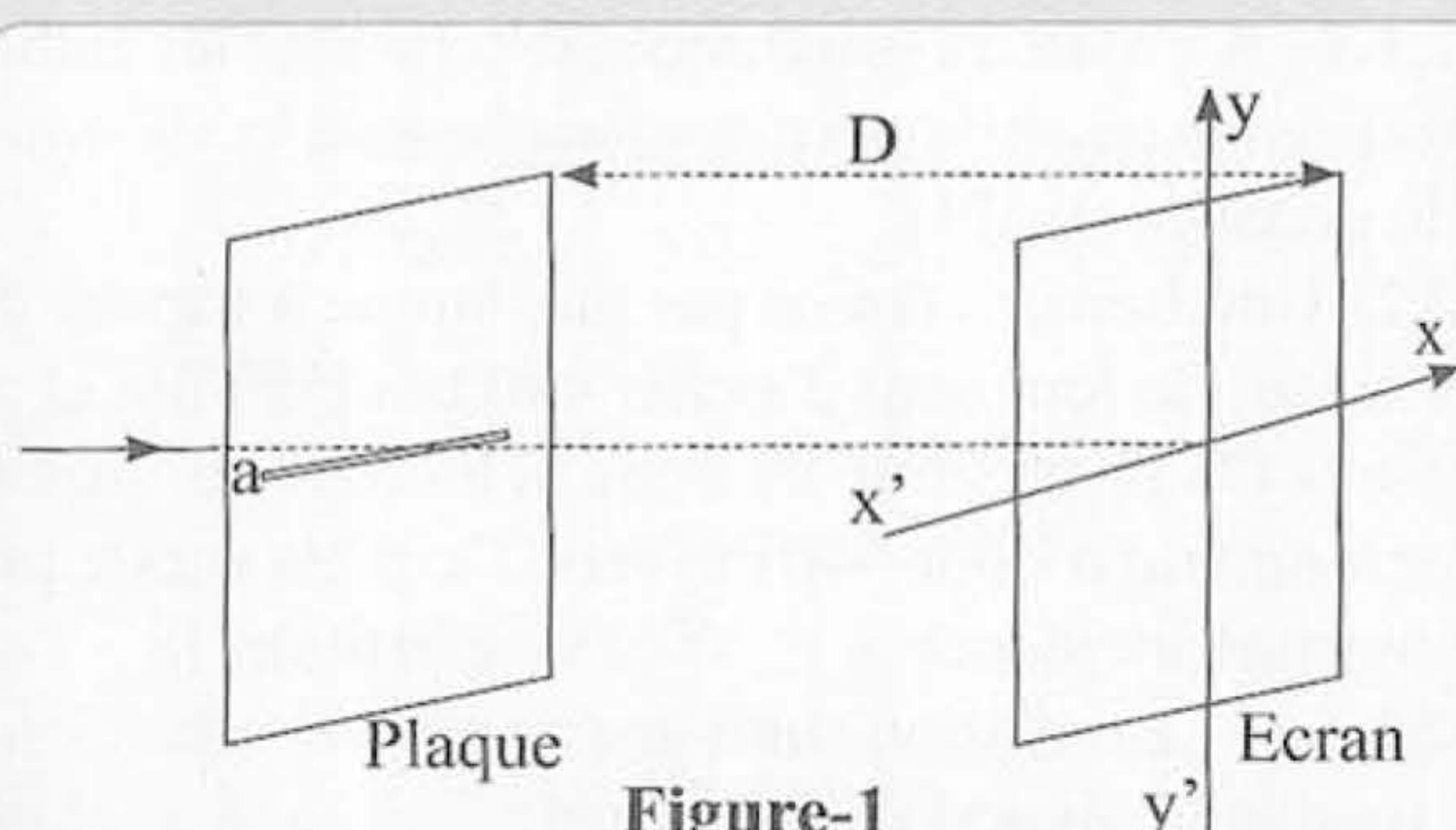


Figure-1

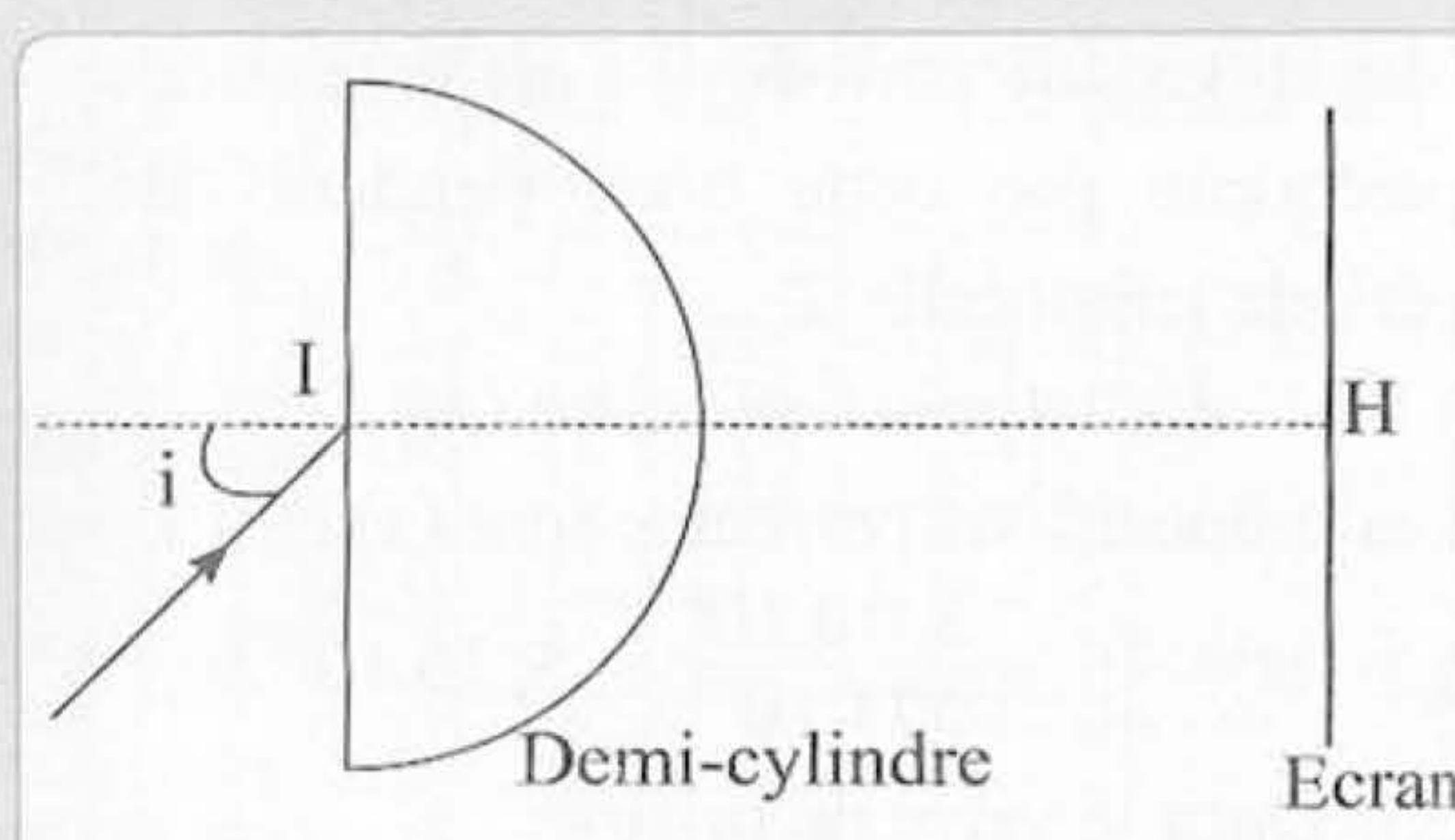


Figure-2

de fréquence $\nu_1 = 3,80 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ 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 $\nu_2 = 7,50 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ 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 telle 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 ν_1 est $n_1 = 1,626$.
- L'indice de réfraction de l'air est 1,00.
- $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

2.1- Montrer que la valeur de l'indice de réfraction du verre pour le rayon lumineux de fréquence ν_2 est $n_2 = 1,652$.

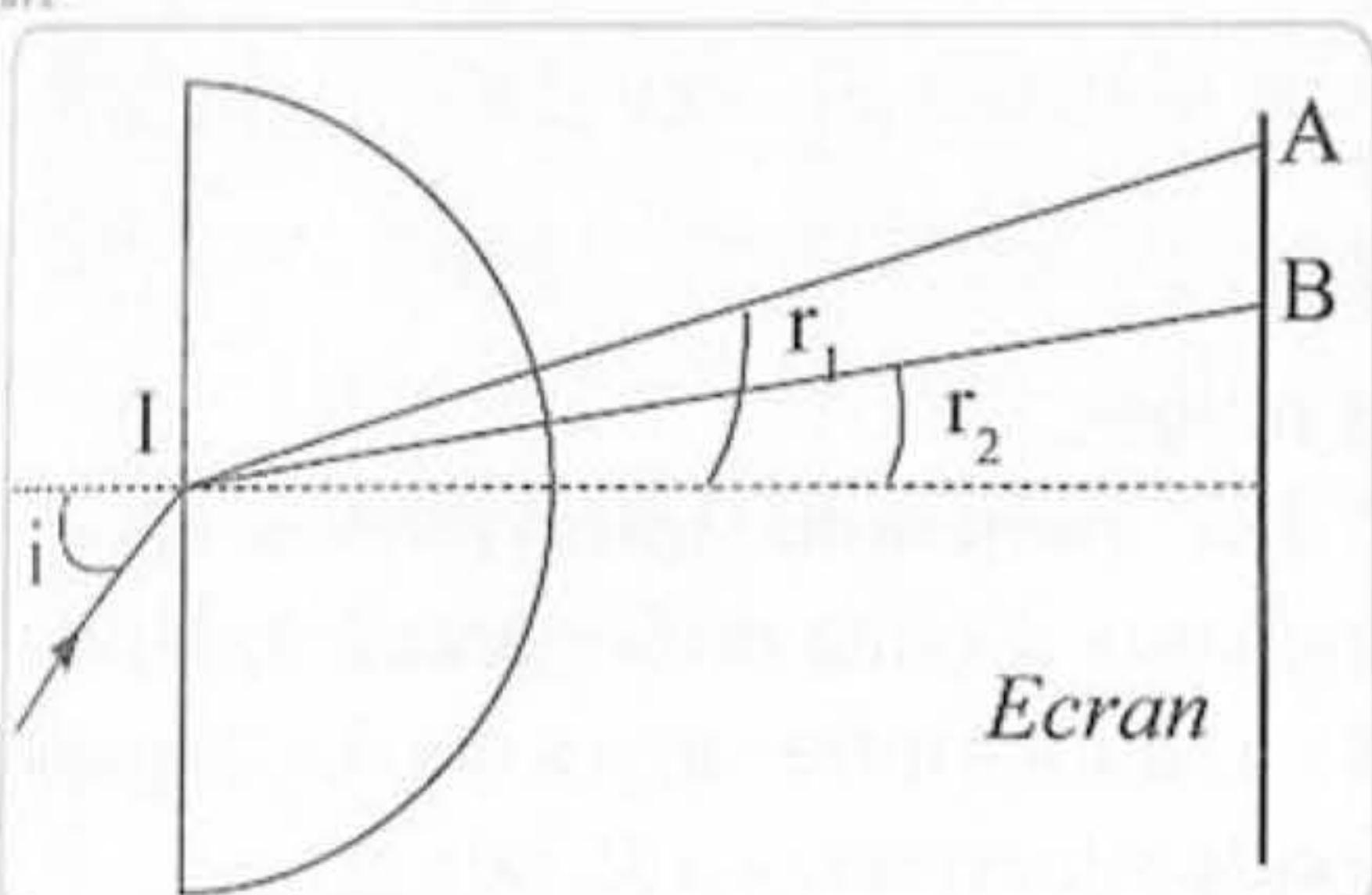
2.2- trouver l'expression de la longueur d'onde λ_2 du rayon lumineux de fréquence ν_2 dans le verre, en fonction de c, n_2 et ν_2 . Calculer λ_2 .

Solution

1.1- (b); la fente est horizontale, la figure Les deux rayons arrivent sous la même de diffraction est donc verticale selon $y'y$. incidence (même i).

1.2- La formule de la diffraction par une fente est pour la tache centrale $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et; la figure permet d'obtenir: $\tan \theta = \frac{L}{2D}$
 $\tan \theta \approx \theta$; alors $\frac{L}{2D} = \frac{\lambda}{a}$ d'où
 $y = \frac{La}{2D}$

2.1-



Appliquons la loi de Descartes pour la réfraction: $\sin i = n \cdot \sin r$

Puisque $n_2 > n_1$, on déduit que $r_2 < r_1$.

$$\sin r_1 = \frac{\sin i}{n_1} = \frac{\sin 60^\circ}{1,626} = 0,5326$$

$$r_1 = 32,18^\circ$$

$$\alpha = r_1 - r_2; r_2 = r_1 - \alpha = 31,617^\circ$$

$$n_2 = \frac{\sin i}{\sin r_2} = 1,652$$

$$2.2- n_2 = \frac{c}{\nu_2} = \frac{c}{\lambda \cdot \nu_2}, \text{ d'où } \lambda_2 = \frac{c}{n_2 \cdot \nu_2}$$

$$\lambda_2 = \frac{3,00 \cdot 10^8}{1,652 \cdot 7,50 \cdot 10^{14}}$$

$$\lambda_2 = 2,42 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 0,242 \mu\text{m}$$

1- Un prisme, ayant pour section droite un triangle équilatéral, reçoit sur l'une de ses faces un rayon de lumière blanche sous une incidence d'environ 55° .

a- Qu'observe-t-on lors de l'émergence du faisceau lumineux?

b- Les limites des longueurs d'onde du spectre visible dans le vide sont:

Limite inférieure, $\lambda_v = 0,38\mu m$, violet profond ;

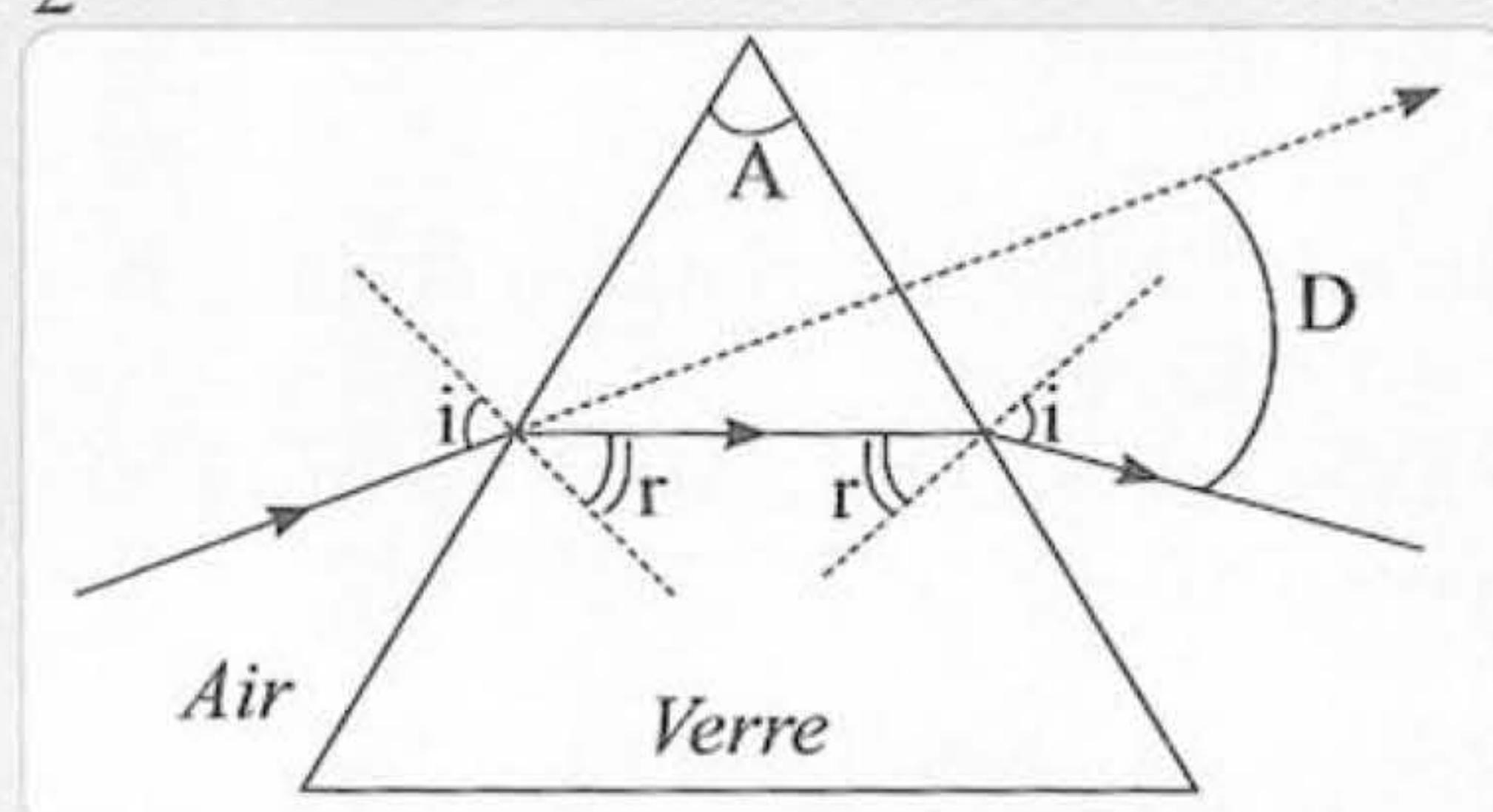
Limite supérieure, $\lambda_r = 0,80\mu m$, rouge profond.

Situer les rayonnements ultraviolets et infrarouges par rapport à ce spectre visible.

2- L'angle de déviation d'un rayon dépend de i et i' et A .

Dans le cas particulier où $i' = i$, la loi de Descartes permet d'obtenir:

$$\sin\left(\frac{D+A}{2}\right) = n \sin\frac{A}{2}, \text{ avec } A \text{ la valeur de l'angle au sommet du prisme.}$$



Marche d'un rayon lumineux à travers un prisme

Pour trois longueurs d'onde λ , les valeurs des déviations minimums D_m sont mesurées avec un appareil de précision et notées sur le tableau suivant:

λ	434nm	589nm	768nm
D	$53,75^\circ$	$51,18^\circ$	$49,97^\circ$

Calculer les indices de réfraction du verre du prisme, pour chaque longueur d'onde.

3.a- Calculer la célérité de la lumière dans le verre, pour chaque longueur d'onde.

b- La célérité de la lumière dans le verre du prisme est-elle fonction de la fréquence des radiations considérées?

Solution

1.a- A l'émergence du faisceau lumineux, les rouges.

on observe la dispersion de la lumière sous la forme d'un «éventail» représentant les couleurs de l'arc-en-ciel. Ce phénomène s'appelle la dispersion de la lumière blanche par un prisme.

Les radiations les plus déviées sont les violettes et les bleues. Les radiation sont les orangées et

b- Les radiations ultraviolettes ont des longueurs d'onde inférieures à $0,38\mu m$ et les radiations infrarouges ont des longueurs d'onde supérieures à $0,80\mu m$.

2- Par hypothèse, la section droite du prisme est un triangle isocèle. Les angles au sommet ont donc pour valeur $A = 60,00^\circ$.

• L'indice de réfraction du verre pour transparent est donné par la relation:

chaque longueur d'onde est donné par la relation:

$$n = \frac{\sin\left(\frac{D+A}{2}\right)}{\sin\frac{A}{2}}$$

$$\text{Pour } \lambda = 434\text{nm}, n(434\text{nm}) = \frac{\sin\left(\frac{53,75 + 60,00}{2}\right)}{\sin\frac{60,00}{2}}$$

On trouve $n(434\text{nm}) = 1,675$

Pour $\lambda = 589\text{nm}$, $n(589\text{nm}) = 1,650$;

Pour $\lambda = 768\text{nm}$, $n(768\text{nm}) = 1,638$

1. a- Par définition, l'indice n_i d'un milieu

$n_i = \frac{c}{v_i}$. D'où, la célérité du verre pour une radiation déterminée: $v_i = \frac{c}{n_i}$

$$V(434\text{nm}) = \frac{299792458}{1,675}, \text{ ou encore } n(434\text{nm}) = 1,790 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$V(589\text{nm}) = 1,817 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$V(768\text{nm}) = 1,830 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

b- La célérité de la lumière dans le verre du prisme est fonction de la longueur d'onde dans le vide de la radiation considérée. Par définition, le milieu est dispersif, ce que l'expérience confirme.

15 On envoie sur un prisme en verre d'angle $A = 30^\circ$, sous une incidence normale (voir fig), un mince faisceau d'une lumière polychromatique contenant une radiation violette de longueur d'onde dans le vide $\lambda_v = 0,434\mu\text{m}$ et une radiation rouge de longueur d'onde dans le vide $\lambda_r = 0,656\mu\text{m}$.

Les indices du prisme pour ces radiations sont $n_r = 1,571$ et $n_v = 1,594$.

L'indice de réfraction de ce prisme pour une radiation de longueur d'onde dans le vide λ est donné par la relation:

$$n = A + \frac{R}{\lambda^2}$$

Célérité de la lumière dans le vide et dans l'air: $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s}$

1- Calculer les fréquences v_r et v_v de ces deux radiations.

2- Justifie que les rayons du faisceau ne subissent pas de déviation dans le prisme.

3- Exprimer l'angle d'incidence r' au point J en fonction de A .

4- En utilisant la loi de réfraction pour un rayon du faisceau, au point J .

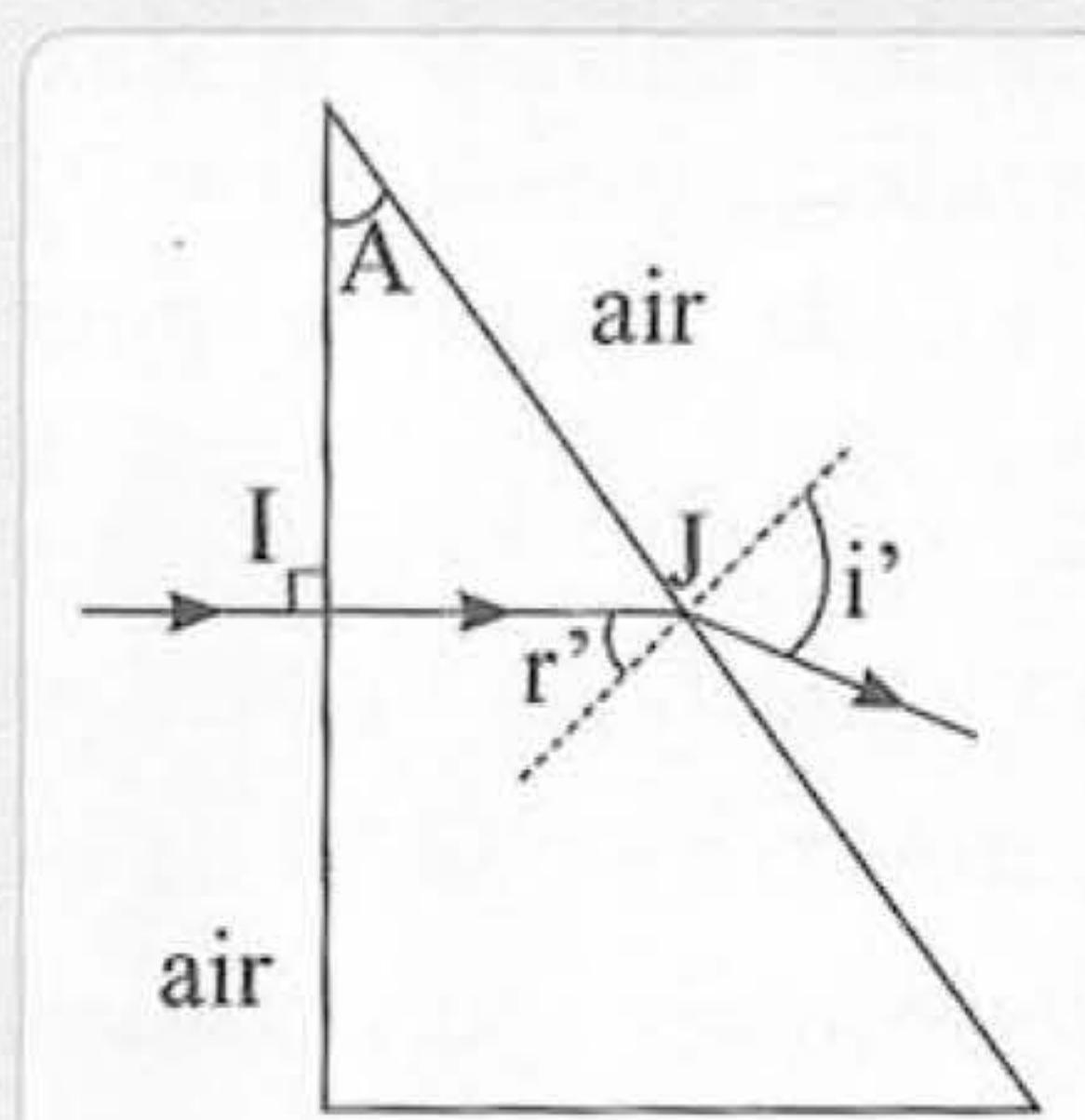
Exprimer l'angle i' en fonction de A et n .

En déduire que l'angle de déviation s'exprime en fonction de A et n .

5- Sachant que $A = 30^\circ$;

Calculer la valeur de l'angle de déviation D_r pour la radiation rouge et D_v pour la radiation violette.

Que peut-on conclure?



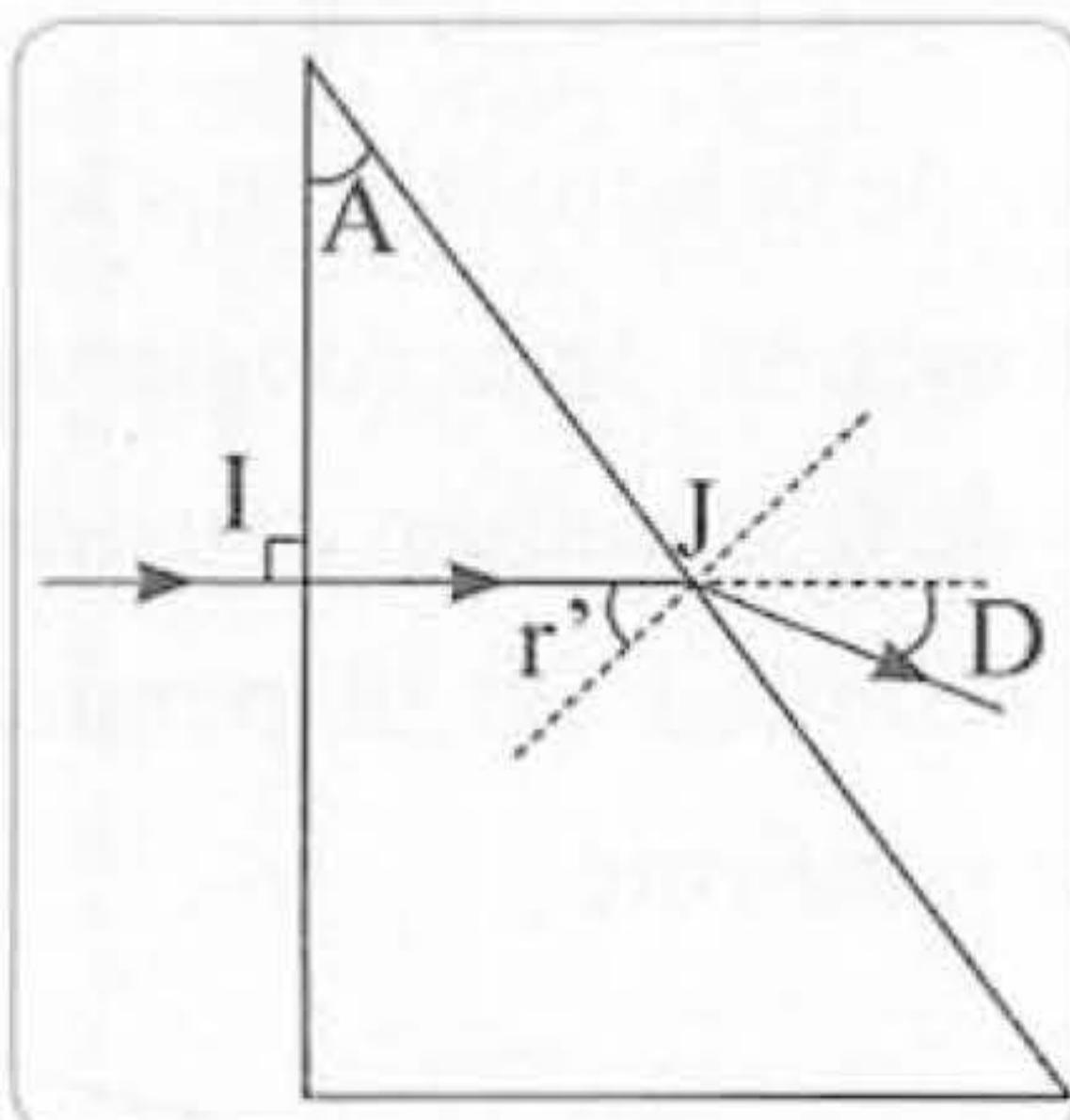
Solution

1- Dans le vide: $\lambda = \frac{c}{v}$, d'où $v = \frac{c}{\lambda}$

$$v_R = \frac{c}{\lambda_R} = \frac{3,10^8}{0,656 \cdot 10^{-6}} = 4,57 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$v_V = \frac{c}{\lambda_V} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{0,434 \cdot 10^{-6}} = 6,912 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

2-



L'incidence sur le dioptre air-verre est normale, cela veut dire que l'angle d'incidence est nul. ($i = 0$)

La loi de Descartes pour la réfraction

s'écrit: $n_{air} \sin i = n_{verre} \cdot \sin r$
On a $\sin i = 0$, donc $\sin r = 0$ et $r = 0 (\forall n)$.

Tous les rayons du faisceau polychromatique suivent le même trajet IJ .

3- La figure ci-contre donne: $\alpha = \frac{\pi}{2} - A$ et $r' = \frac{\pi}{2} - \alpha$
donc: $r' = A$

$$4- n \cdot \sin r' = n_{air} \sin i'$$

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

$$D = i' - r' = i' - A = \sin^{-1}(n \cdot \sin A) - A$$

$$D_R = \sin^{-1}(n_R \cdot \sin A) - A = 21,76^\circ$$

$$D_V = \sin^{-1}(n_V \cdot \sin A) - A = 22,84^\circ$$

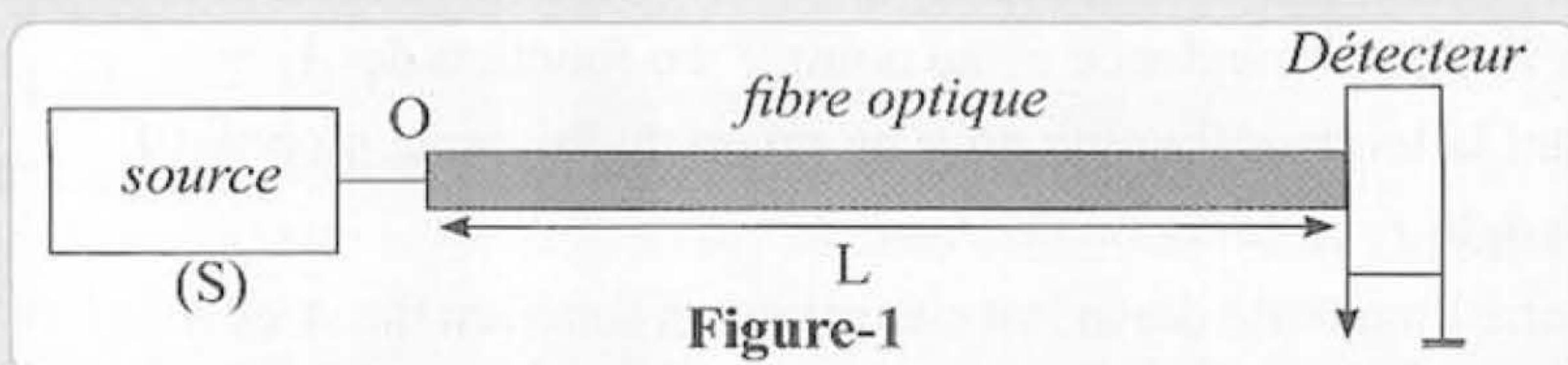
- Le prisme permet de séparer les radiations d'une lumière polychromatique.

- La radiation bleue est beaucoup plus déviée que la radiation rouge.

16 Les fibres optiques sont des tubes très fins (comme des cheveux) en verre ou en plastique utilisés pour véhiculer une lumière transportant des informations. Contrairement au fil de cuivre, les fibres optiques permettent la transmission des informations sans atténuation et avec un grand débit.

Une source lumineuse envoie à l'extrémité O d'une fibre optique un mince faisceau lumineux composé d'une radiation rouge de fréquence v_R et une radiation bleue de fréquence v_B .

Ces radiations parviennent au point O à la date $t = 0$ et se propagent horizontalement le long de la fibre de longueur L figure (1).



Un capteur relié à l'autre extrémité de la fibre a permis de détecter les signaux reçus figure (2).

La sensibilité horizontale est $4 \cdot 10^{-3} \mu\text{s}/\text{division}$.

L'indice de réfraction du verre de la fibre optique utilisé dans cette expérience est exprimé par la relation suivante:

$$n = 1,47 + 5,94 \cdot 10^{-32} \cdot v^2$$

v étant la fréquence de la radiation transversant la fibre exprimée Hertz.

Données: fréquence de la radiation rouge $v_r = 4,12 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$; fréquence de la radiation bleue: $v_b = 7,20 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

On prend pour la célérité de la lumière dans le vide et dans l'air: $C = 3,10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

1- Choisir la ou (les) bonne(s) réponse (s):

1.1- Lorsqu'un rayon lumineux de fréquence v se propage dans un milieu transparent, alors, sa vitesse de propagation s'exprime par:

a- $V = c \cdot n$; b- $V = \frac{c}{n}$; c- $V = \frac{n}{c}$.

1.2- La longueur d'onde associée à ce rayon est:

a- $\lambda = v \cdot \nu$; b- $\lambda = \frac{\nu}{v}$; c- $\lambda = \frac{v}{\nu}$

2- Répondre par «vrai» au «faux»

Lorsqu'un rayon lumineux passe d'un milieu transparent à un autre milieu transparent, alors: a- Sa vitesse varie;

b- Sa couleur change;

c- Sa fréquence varie;

d- Sa longueur d'onde varie.

3- Calculer l'indice de réfraction n_r de la fibre optique pour la radiation rouge et l'indice n_b de la fibre pour la radiation bleue.

4- Déterminer les vitesses V_r et V_b de ces radiations dans la fibre.

Cette différence est liée à quel phénomène physique?

5- Déterminer la longueur L de la fibre.

6- On envoie maintenant dans la fibre optique des impulsions lumineuses très brèves de fréquence N . Chaque impulsion est constituée des ondes lumineuses dont les longueurs d'ondes λ sont situées entre λ_b et λ_r .

Chacune de ces ondes véhicule une information.

Sachant que pour augmenter le débit des informations véhiculées par les ondes lumineuses, il faut augmenter la fréquence N des impulsions, montrer que cette fréquence ne doit pas atteindre un seuil N qu'il faut déterminer.

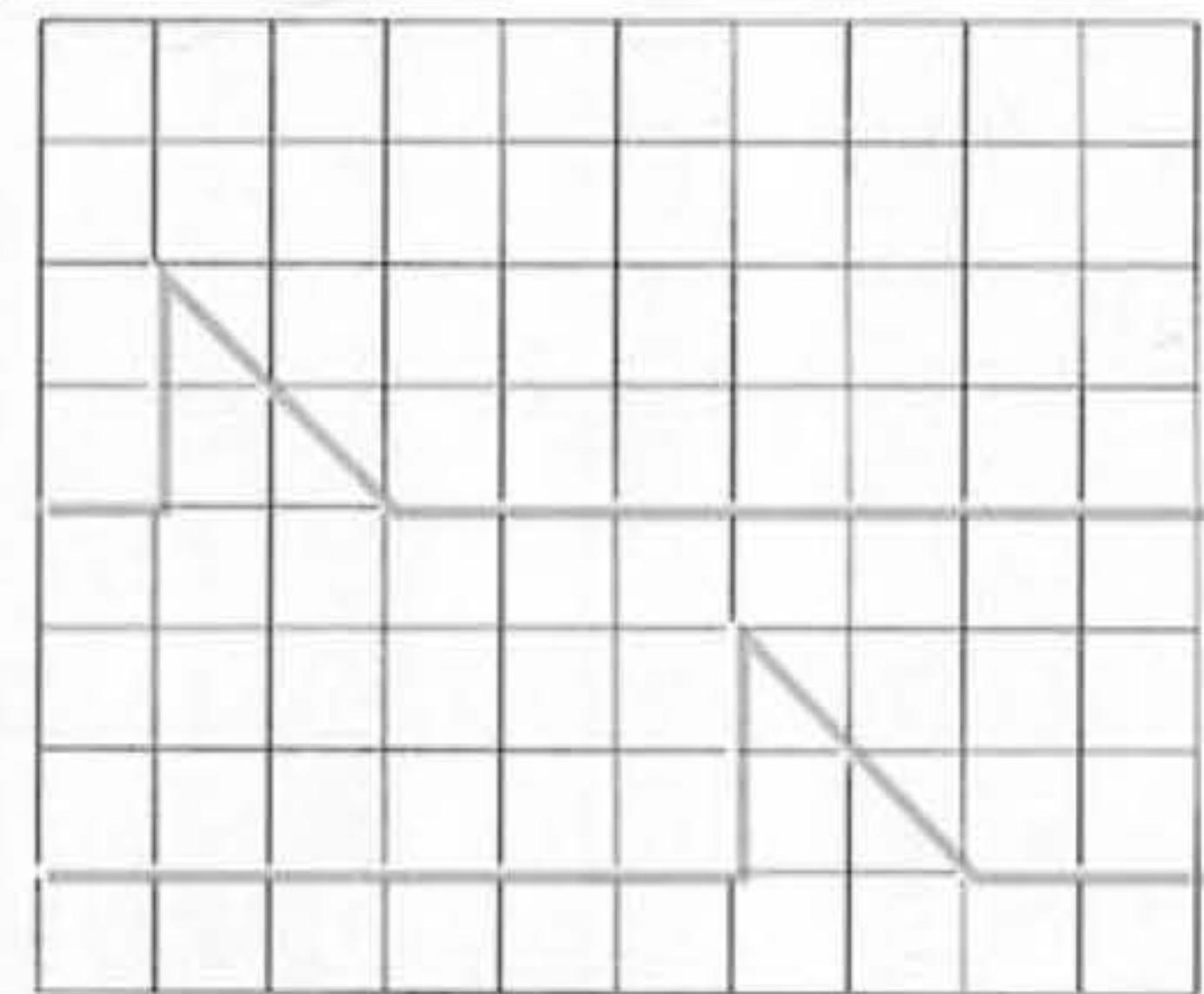


Figure-2

1.1- b- Vrai

1.2- c- Vrai

2- a- Vrai ; d-Vrai

3-

$$n_R = 1,47 + 5,94 \cdot 10^{-32} (4,12 \cdot 10^{14})^2$$

$$n_R = 1,48$$

$$n_B = 1,47 + 5,94 \cdot 10^{-32} (7,20 \cdot 10^{14})^2$$

$$n_B = 1,50$$

$$4- V_R = \frac{c}{n_R} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{1,48} = 2,03 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_B = \frac{c}{n_B} = \frac{3,00 \cdot 10^8}{1,50} = 2,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

Cette différence est liée au phénomène de la dispersion.

La fibre optique est un milieu transparent dispersif.

$$5- L = v_R \cdot t_R \text{ et } L = v_B \cdot t_B$$

On remarque $v_R > v_B$ alors $t_R < t_B$

La durée Δt séparant l'arrivée de les deux rayons est:

$$\Delta t = t_B - t_R = \frac{L}{v_B} - \frac{L}{v_R} = L \left(\frac{1}{v_B} - \frac{1}{v_R} \right) = L \left(\frac{v_R - v_B}{v_R \cdot v_B} \right)$$

$$L = \frac{v_R \cdot v_B}{v_R - v_B} \cdot \Delta t$$

Graphiquement:

$$\Delta t = 5 \text{ div} = 20 \cdot 10^{-3} \mu\text{s}$$

$$L = \frac{2,03 \cdot 2,00 \cdot 10^{16}}{(2,03 - 2,00) \cdot 10^8} \cdot 2 \cdot 10^{-8} \simeq 271 \text{ m}$$

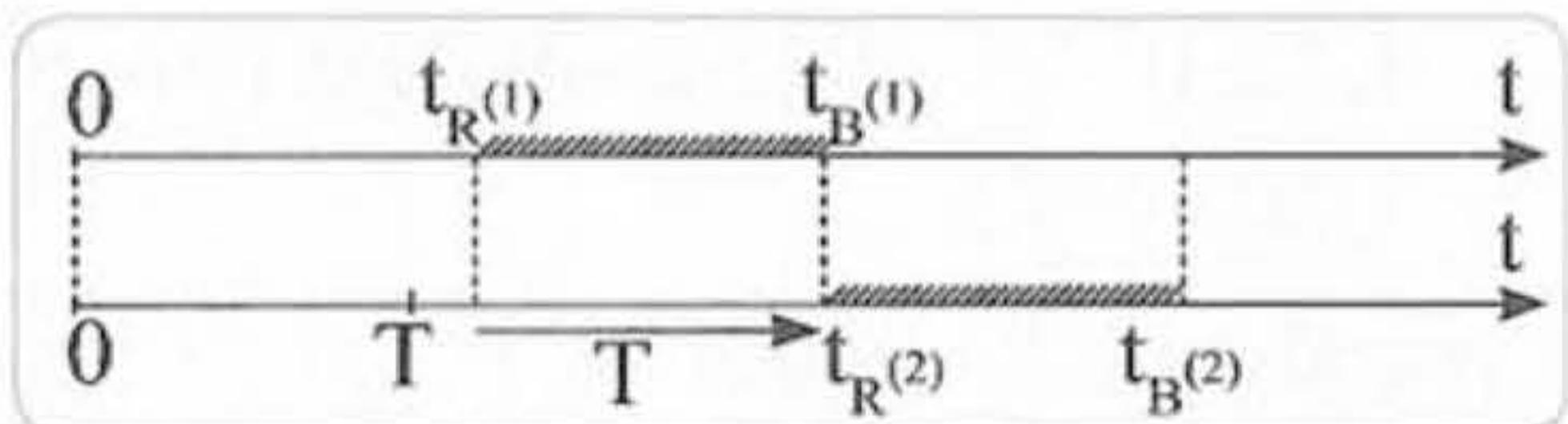
6- Si les impulsions sont envoyées trop rapidement il peut y avoir un brouillage (mélange) des informations au niveau du capteur.

Considérons, deux impulsions successives

notées (1) et (2).

Si (1) est envoyée à $t = 0$, elle sera reçue pendant la durée $\tau = t_R - t_B = 2 \cdot 10^{-2} \mu\text{s}$

La deuxième impulsion est envoyée à $t = T$, elle sera reçue entre $T + t_R$ et $T + t_B$.



Pour éviter le brouillage, il faut que le rayon le plus rapide de l'impulsion (2) arrive après le rayon le plus lent de l'impulsion (1).

C'est-à-dire: $t_R(2) > t_B(1)$

$$\text{Or: } t_R(2) = t_R(1) + T$$

$$t_R(1) + T > t_B(1)$$

$$T > t_B(1) - t_R(1) = \tau$$

$$\frac{1}{N} > \tau, N < \frac{1}{\tau} = N_{\max}$$

$$N < N_{\max} = \frac{1}{\tau} = \frac{1}{2 \cdot 10^{-8}} = 5 \cdot 10^7 \text{ Hz}$$

Exercices non Corrigés

28

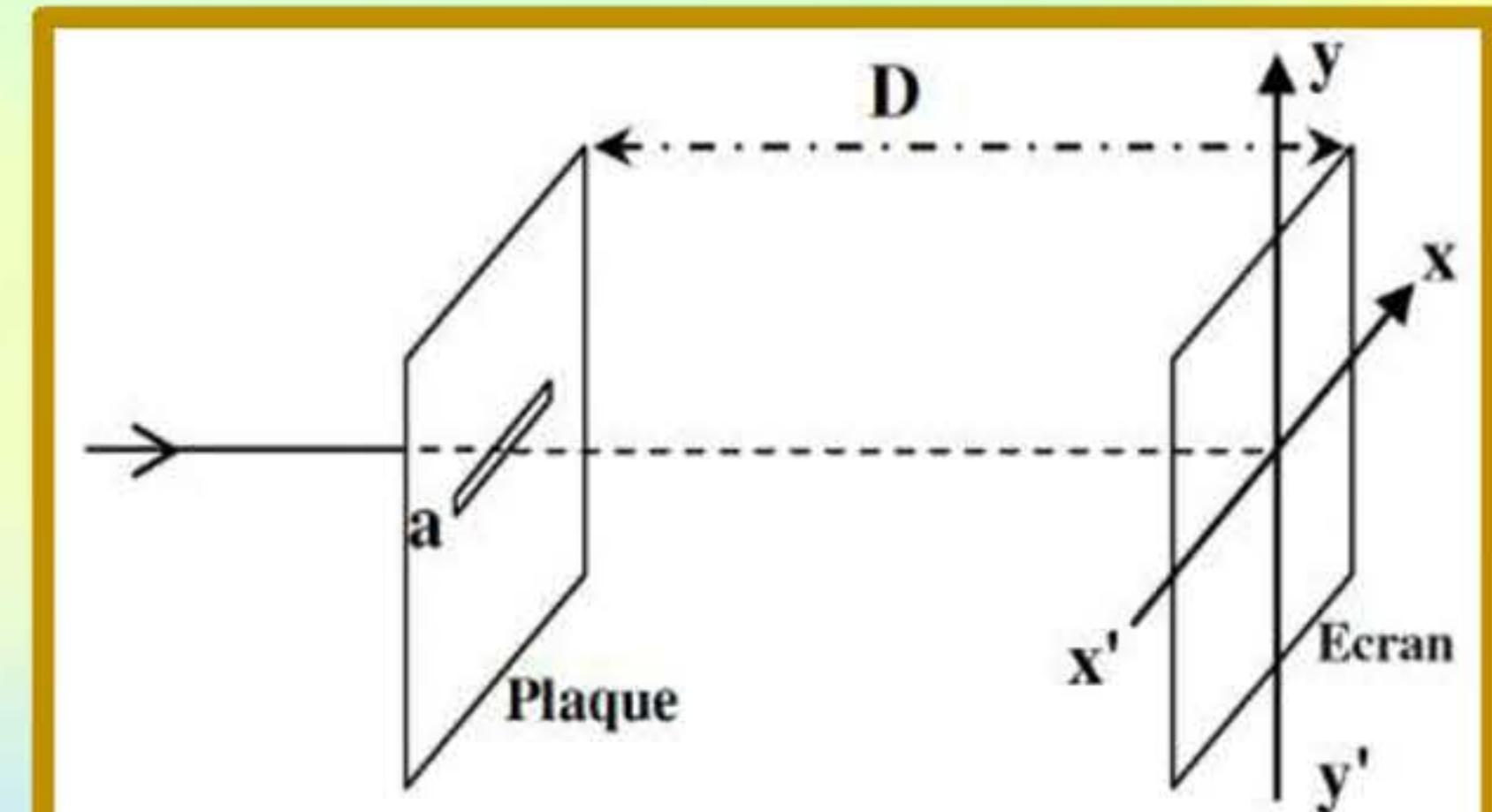
Exercice 1

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

On place à quelques centimètres de la source lumineuse une plaque opaque dans laquelle se trouve une fente horizontale de largeur $a=1\text{m}$ de la fente des taches lumineuses. La largeur de la tache centrale est $L=1,40\text{ mm}$

- 1- Une onde lumineuse est-elle une onde mécanique ? Justifier
- 2- La diffraction est-elle observée sur l'axe xx' ou sur yy' ?
- 3- Quelle expression lie les grandeurs θ , λ et a ?
- 4- Trouver l'expression de λ en fonction de a , L et D . Calculer λ

On prend $\tan\theta \approx \theta$



Exercice 2

On éclaire un prisme successivement par deux radiations lumineuses : l'une est rouge et l'autre est jaune.

Données :

- ✓ La célérité de la lumière dans le vide : $c = 3.10^8 \text{ m/s}$.
- ✓ La longueur d'onde de la radiation rouge dans le prisme est $\lambda_r = 474 \text{ nm}$.
- ✓ La fréquence de la radiation rouge est : $\nu_r = 3,91.10^{14} \text{ Hz}$.
- ✓ Les longueurs d'onde de la radiation jaune sont : $\lambda_{0j} = 589 \text{ nm}$ dans le vide et $\lambda_j = 355 \text{ nm}$ dans le prisme.

- 1- Calculer la fréquence ν_j de la radiation jaune.
- 2- Calculer les célérités v_j et v_r des radiations jaune et rouge dans le prisme.
- 3- Quelle propriété du prisme est mise en évidence par les résultats de la question 2.

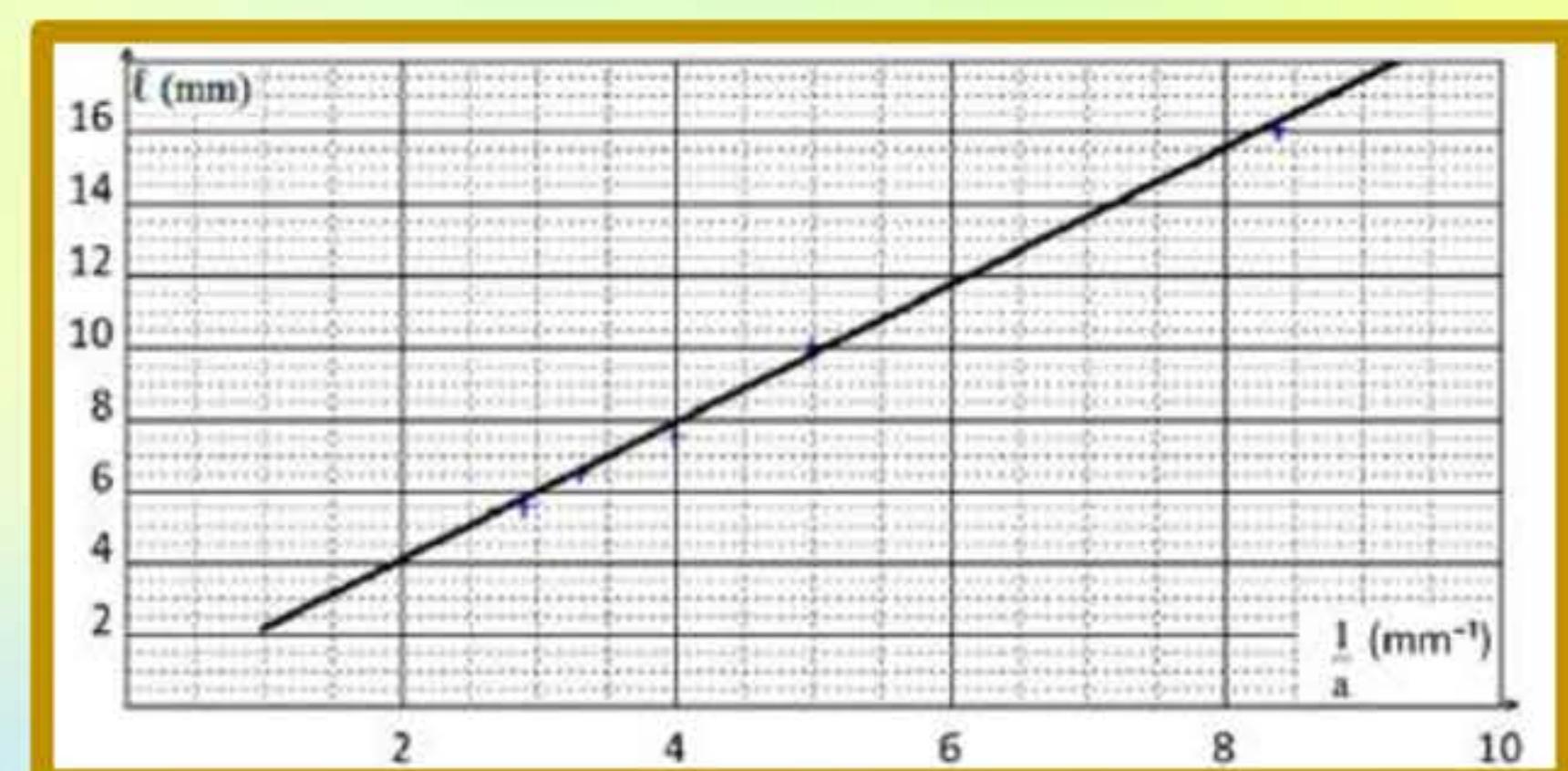
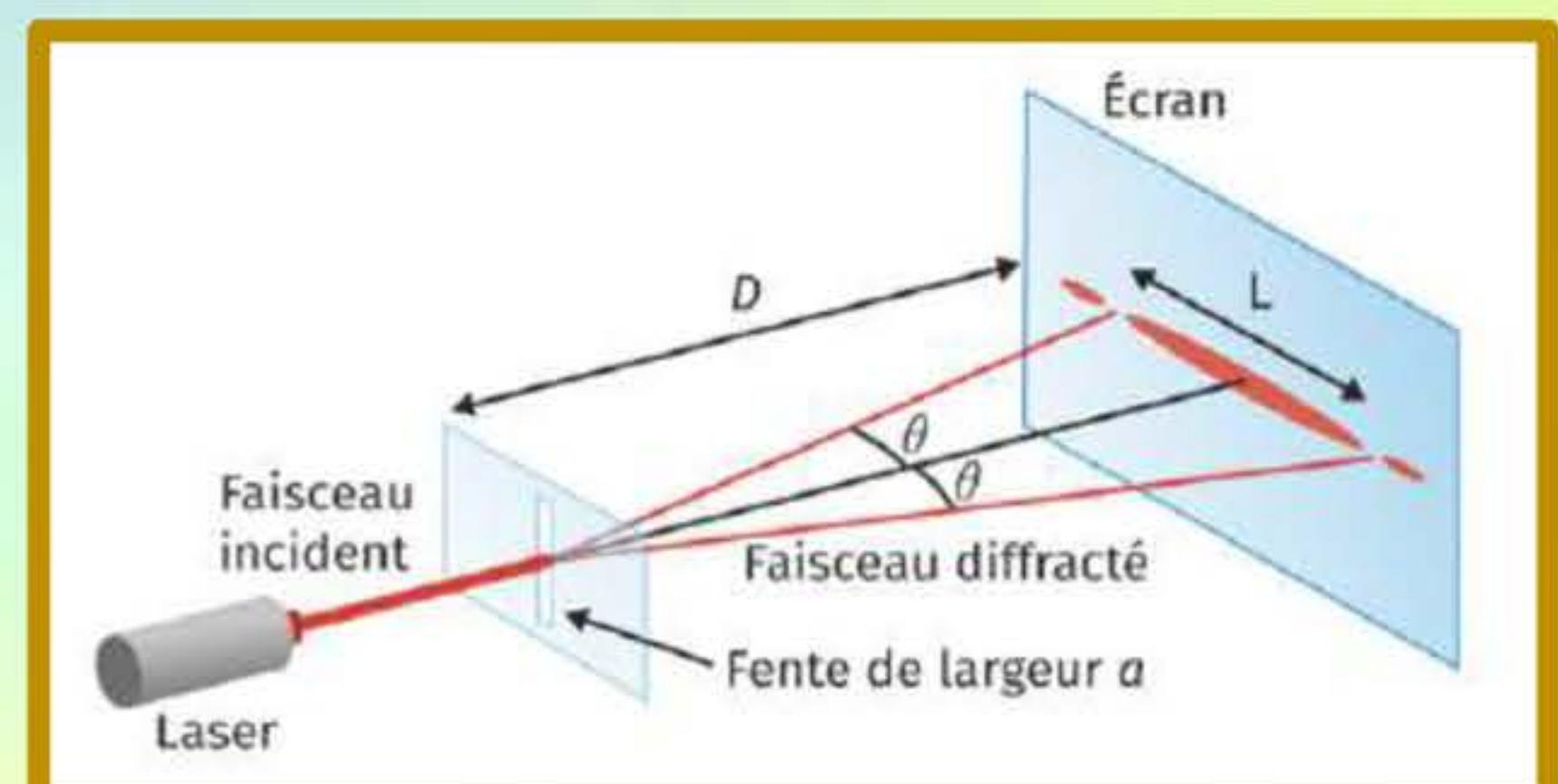
Exercice 3

Sur le trajet d'un faisceau laser, on intercale une fente de largeur a . Sur un écran place à la distance $D = 1,5 \text{ m}$ de la fente on observe une figure de diffraction.

l représente la largeur de la tache centrale et θ représente l'écart angulaire exprimé en radian.

Expérimentalement on mesure la largeur de la tache centrale L pour différentes valeurs de la largeur de la fente. On porte les valeurs obtenues et on trace la courbe $L=f(1/a)$ donnée sur le graphique ci-dessous.

- 1- Quelle est la nature de la lumière mis en évidence par cette expérience ?
- 2- Monter que : $L = \frac{2D\lambda}{a}$; (on prend $\tan\theta \approx \theta$)
- 3- A partir du graphique, déterminer la longueur d'onde λ de la lumière utilisée.



Exercice 4

L'étude du phénomène de diffraction de la lumière permet de déterminer la fréquence d'une onde lumineuse.

Une lumière monochromatique de longueur d'onde λ produite par un laser successivement et perpendiculairement sur des fils fins de diamètres connus d .

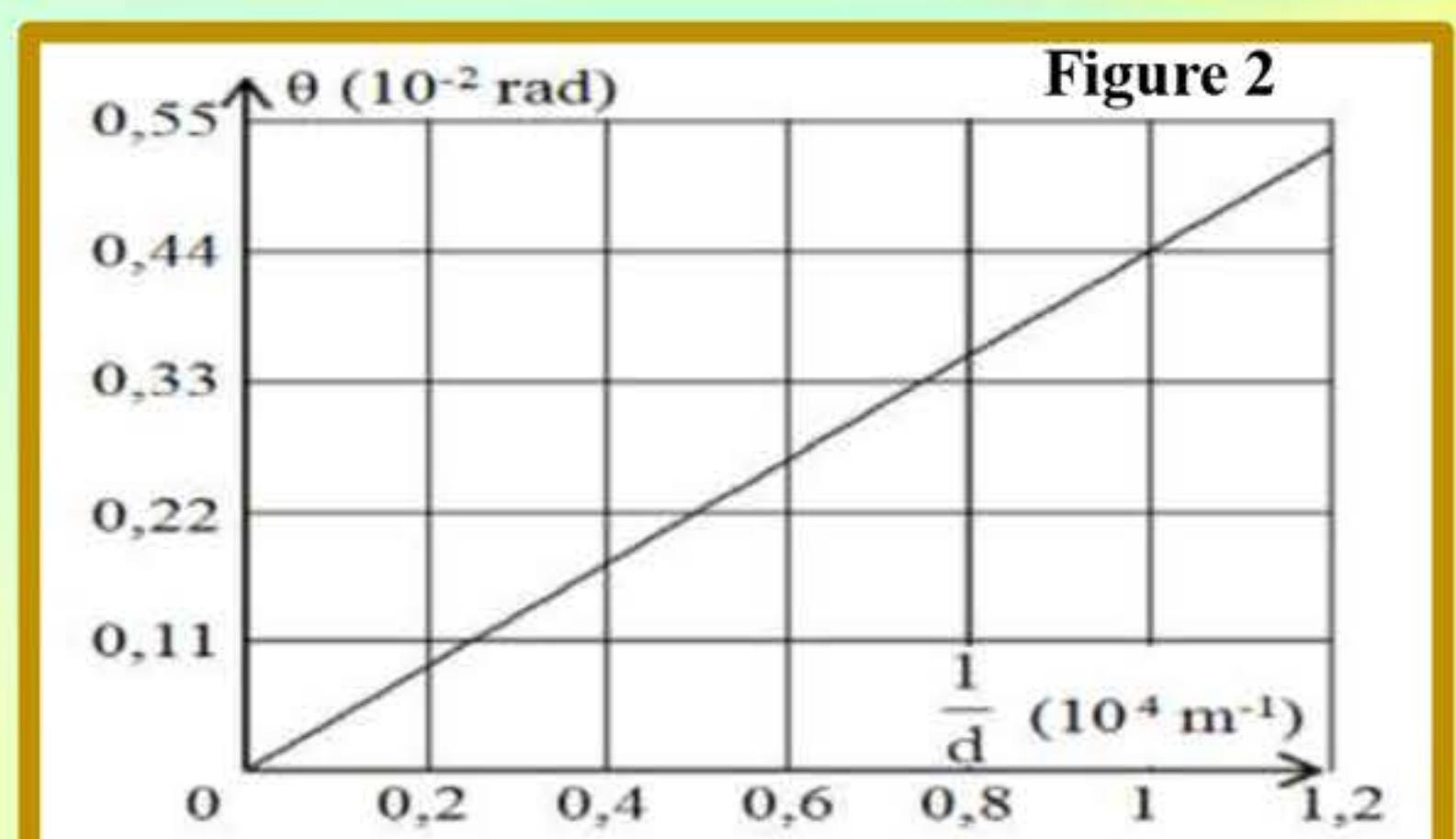
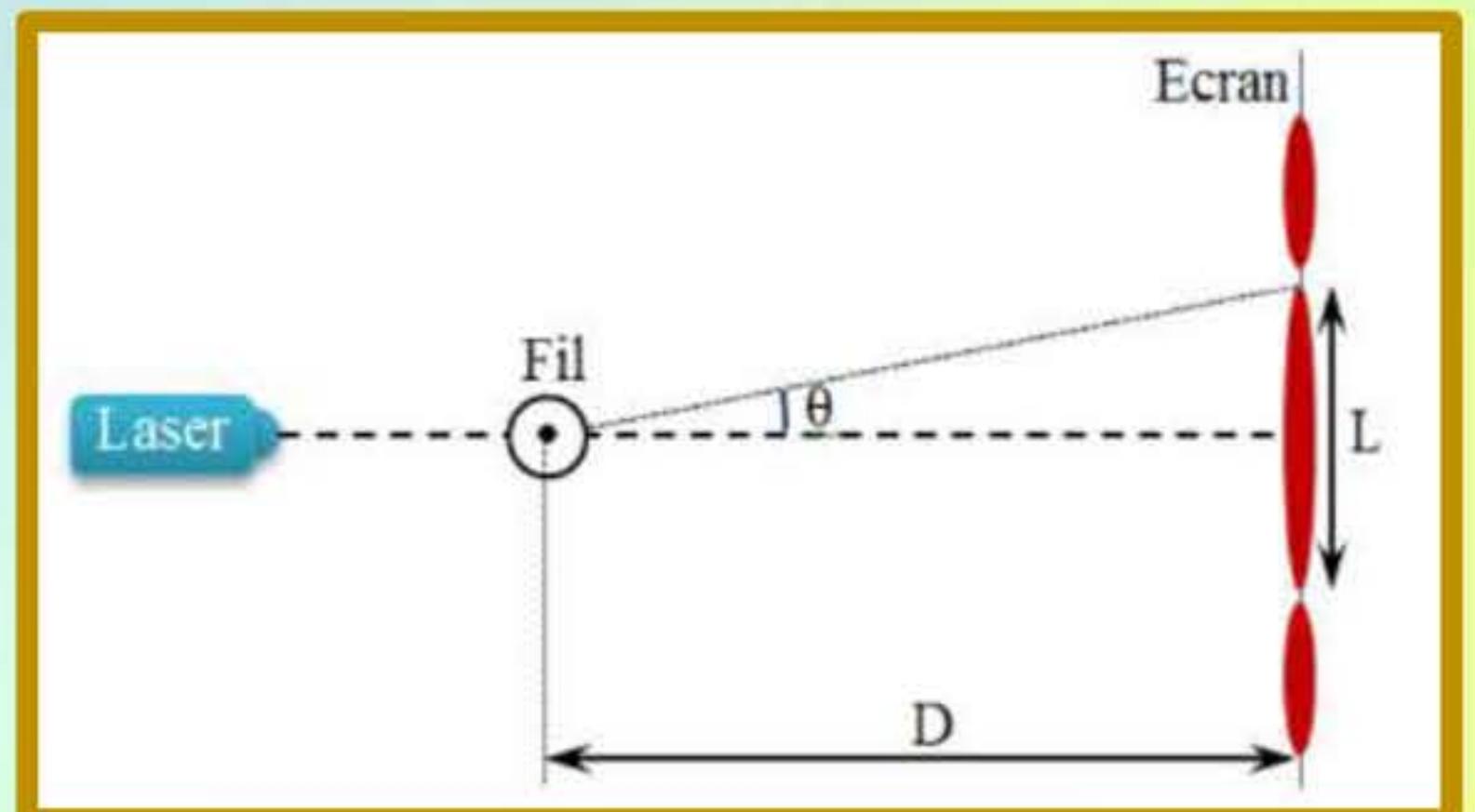
On observe le phénomène de diffraction sur un écran situé à la distance D des fils

Pour chacun des fils, on mesure la largeur de la tache centrale L et on déduit la valeur de l'écart angulaire θ entre le milieu de la frange centrale et la 1ère extinction.

Données :

Pour des petits angles θ , on considérera : $\tan \theta \approx \theta$ (rad)

La célérité de la lumière dans l'air est : $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$



- 1- Préciser le caractère de la lumière mis en évidence par l'expérience de la figure
- 2- Quelle la seule grandeur d'une onde lumineuse qui ne change pas quel que soit le milieu de propagation ?
- 3- Donner la relation entre θ , λ et d .
- 4- Établir en utilisant la figure, la relation entre L , λ , d et D .
- 5- La figure 2 représente la courbe $\theta = f(1/d)$:
 - 5.1- Déterminer graphiquement la longueur d'onde λ de la lumière monochromatique utilisée.
 - 5.2- En déduire la fréquence v de cette onde.
- 6- On éclaire maintenant l'un des fils précédents avec une lumière blanche, au lieu de
 - 6.1- Sachant que les longueurs d'ondes du spectre visible sont comprises entre : $\lambda_V = 400 \text{ nm}$ (Violet) et $\lambda_R = 800 \text{ nm}$ (Rouge).
 - 6.2- Préciser la longueur d'onde correspondante à la plus grande largeur de la tache centrale
 - 6.3- Expliquer pourquoi le milieu de la frange centrale apparaît blanc sur l'écran.

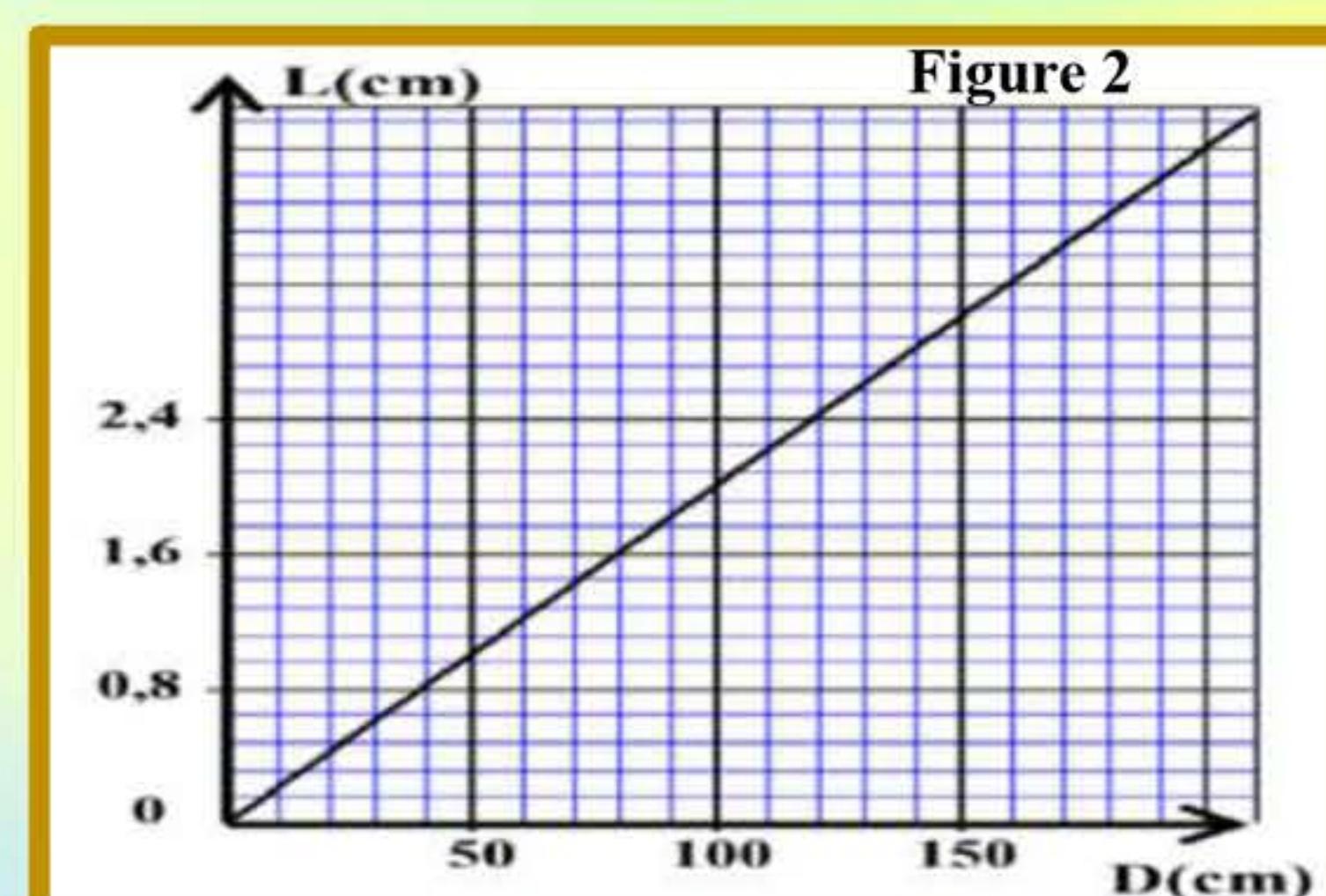
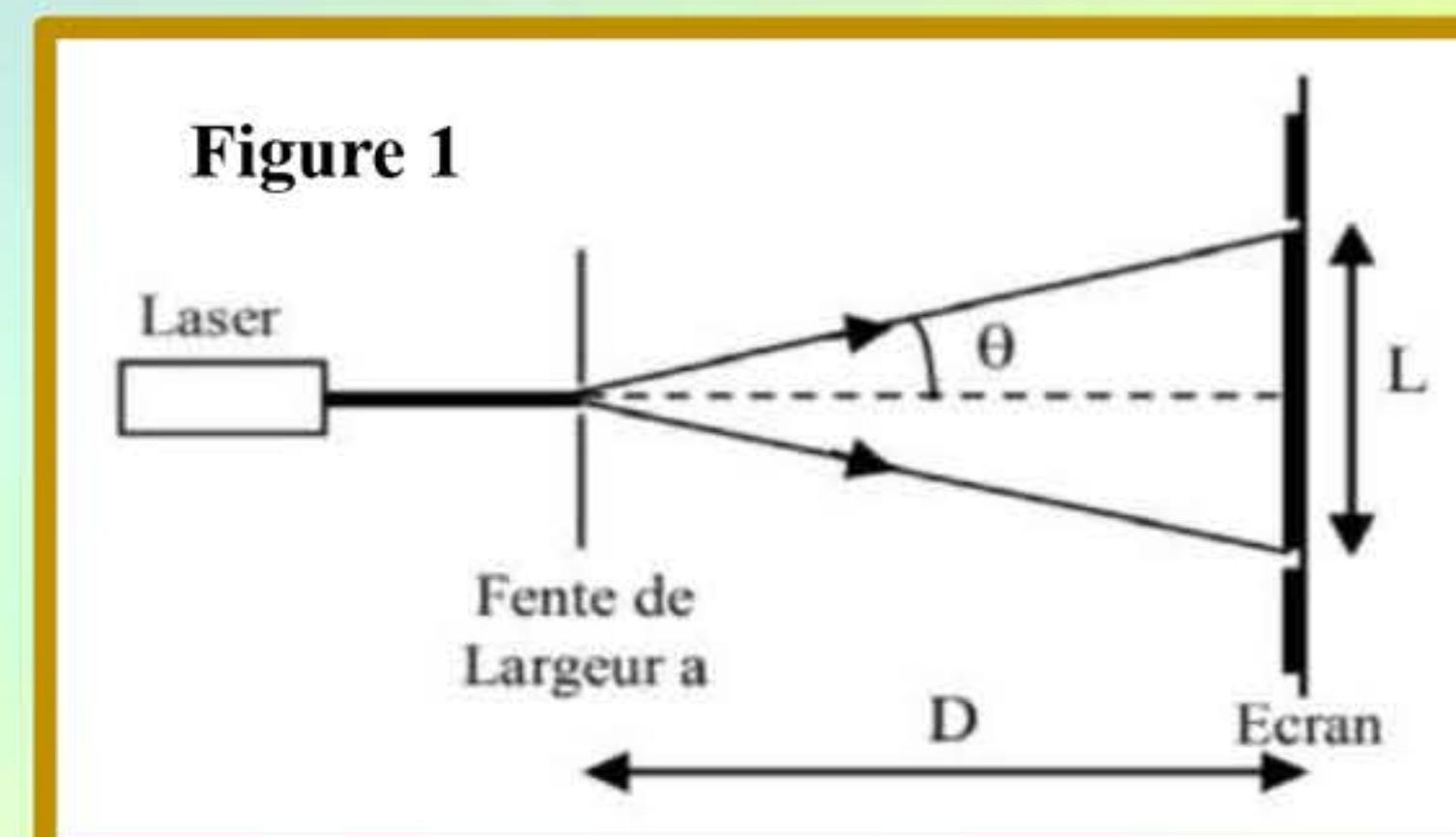
Exercice 5

On éclaire avec une radiation laser ayant une longueur d'onde λ , une fente fine horizontale de largeur $a = 0,06 \text{ mm}$. On observe sur un écran, placé à une distance D de la fente, un ensemble de taches de direction verticale. La tache centrale a une largeur L (figure 1).

On change la distance D et on mesure à chaque fois la largeur L .

La courbe de la figure 2 donne les variations de L en fonction de D : $L = f(D)$.

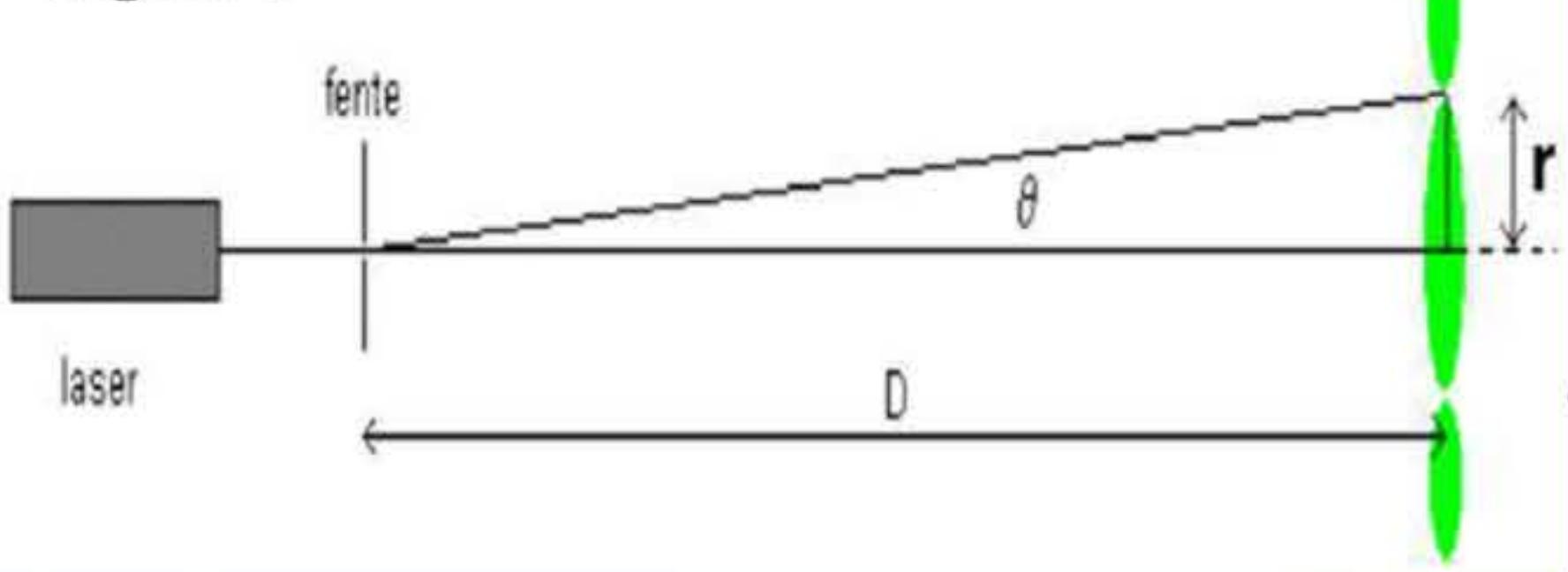
- 1- Établir l'expression de L en fonction de λ , a et D . (θ étant petit, on prend $\tan \theta \approx \theta$).
- 2- En exploitant la courbe $L = f(D)$, montrer que $\lambda = 600 \text{ nm}$.
- 3- On fixe l'écran à une distance $D_1 = 2 \text{ m}$ de la fente, et on remplace la fente par un cheveu fin de diamètre d . On obtient alors, avec la même radiation de longueur d'onde λ , une tache centrale de largeur $L_1 = 3 \text{ cm}$. Déterminer le diamètre d du cheveu.



Exercice 6

Un faisceau de lumière, parallèle monochromatique, de longueur d'onde dans le vide λ , produit par une source laser, arrive sur une fente verticale de diamètre a . On place un écran à une distance $D = 2\text{m}$ de cette fente ; la distance D est grande devant a (figure 1).

Figure 1



- La lumière émise par la source laser est dite monochromatique. Quelle est la signification de ce terme ?
- Justifier la nature ondulatoire de la lumière.
- En s'aidant des deux figures 2 et 3, identifier la couleur de laser utilisé.
- On éclaire avec cette source laser un prisme en verre d'indice de réfraction $n = 1,68$. Calculer la valeur de la longueur d'onde λn de cette onde dans ce milieu transparent.
- On remplace le prisme par un disque en verre d'épaisseur e . Expliquer comment peut-on déterminer le centre de ce disque à l'aide du laser utilisé et d'une règle. On pourra s'aider des schémas bien adéquats.

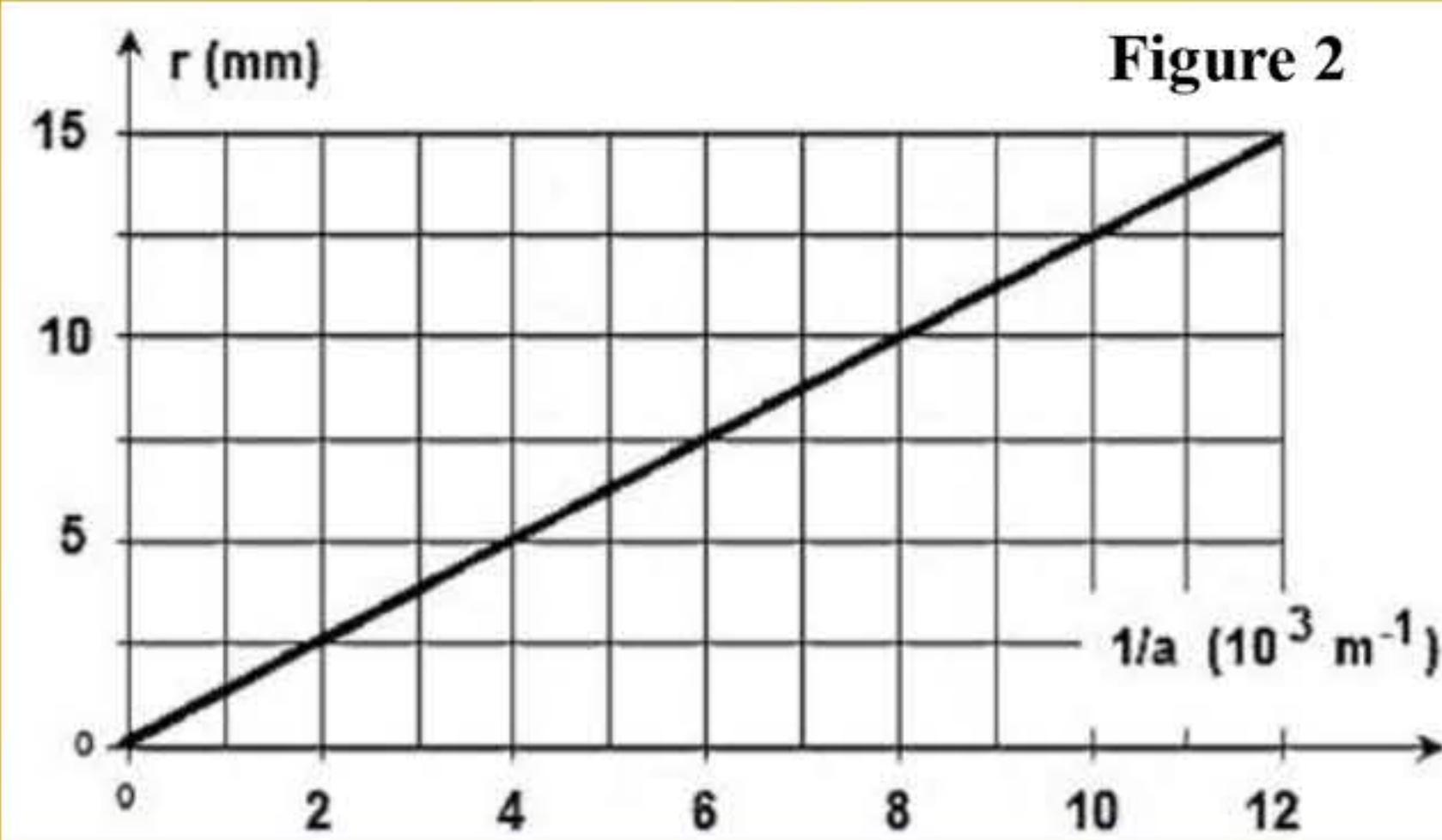


Figure 3

Longueur d'onde (nm)	Couleur de laser
487,4	Bleue
433	Verte
625	Rouge

Exercice 7

❖ Vérification de la longueur d'onde d'une des diodes laser utilisées

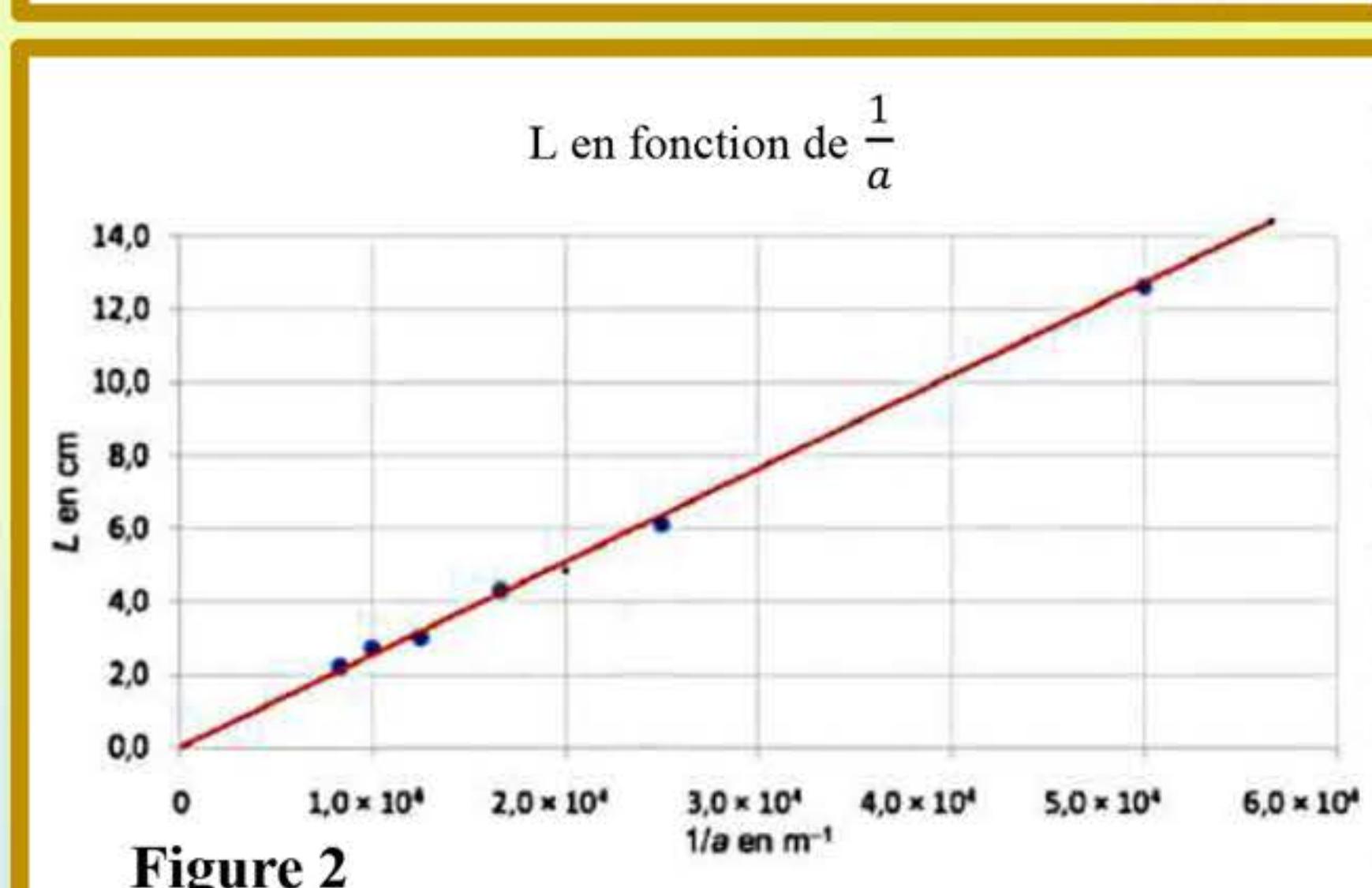
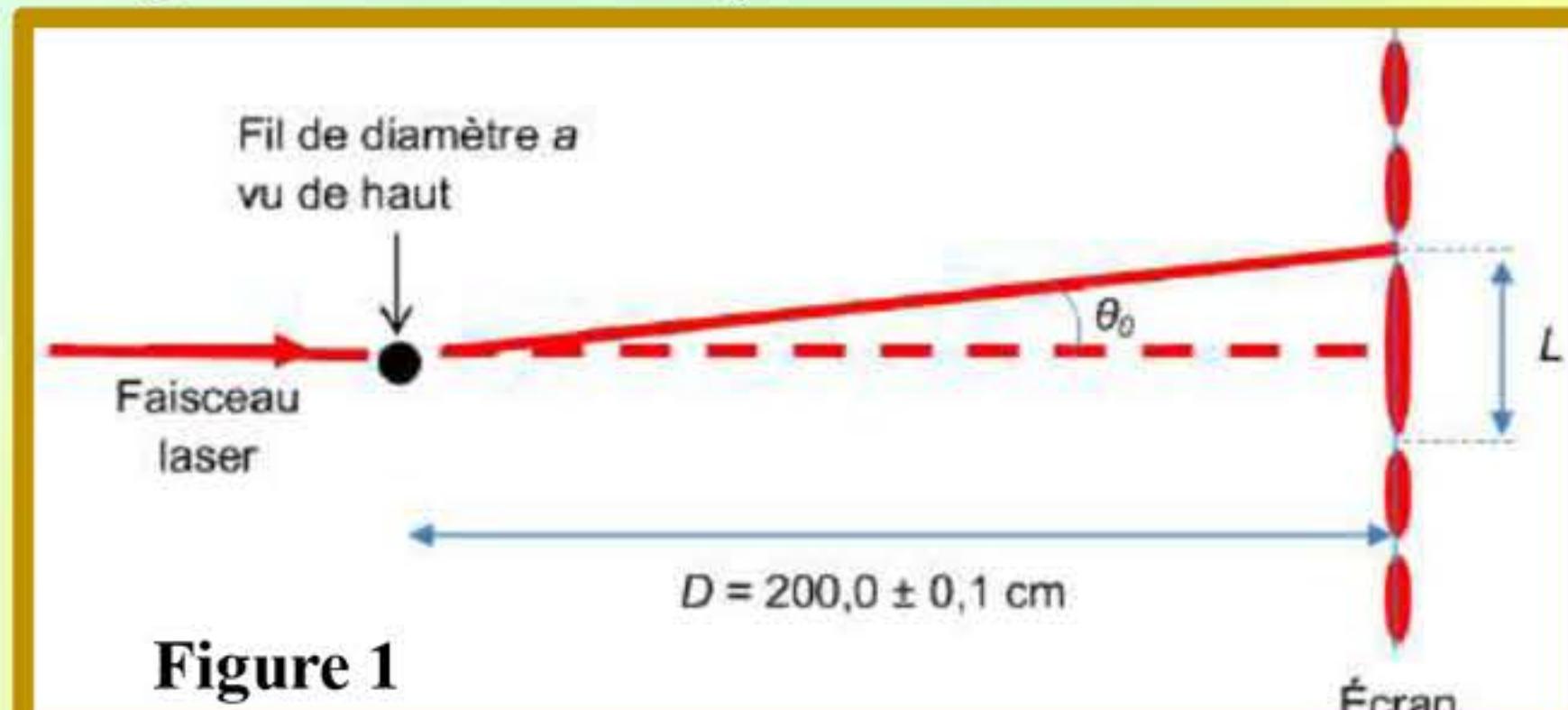
L'objectif de cette partie est de vérifier la valeur de la longueur d'onde λ d'une des diodes laser utilisées dans l'appareil de granulométrie. Sur le trajet du faisceau laser, on intercale des fils de différents diamètres. Sur un écran placé à une distance D , on observe une figure de diffraction. L représente la largeur de la tache centrale et θ_0 le demi-angle au sommet exprimé en radian.

- Rappeler une principale propriété du faisceau d'un laser.
- Pour une longueur d'onde donnée, décrire l'évolution du demi-angle θ_0 en fonction du diamètre a du fil. Donner la relation qui lie λ , θ_0 et a .
- On fait l'hypothèse que l'angle θ_0 est petit. Dans ce cas, on peut écrire $\tan \theta_0 \approx \theta_0$ avec θ_0 en radian. À l'aide du schéma, démontrer que la largeur de la tache centrale est donnée par l'expression :

$$L = k \cdot \frac{1}{a} \quad \text{avec } k = 2\lambda \cdot D$$

- Expérimentalement, on mesure la largeur de la tache centrale L pour des fils calibrés de différentes valeurs de diamètre a . on porte les valeurs obtenues sur le graphique ci-contre (figure 2).

À partir du graphique, déterminer la longueur d'onde λ de la diode laser utilisée.

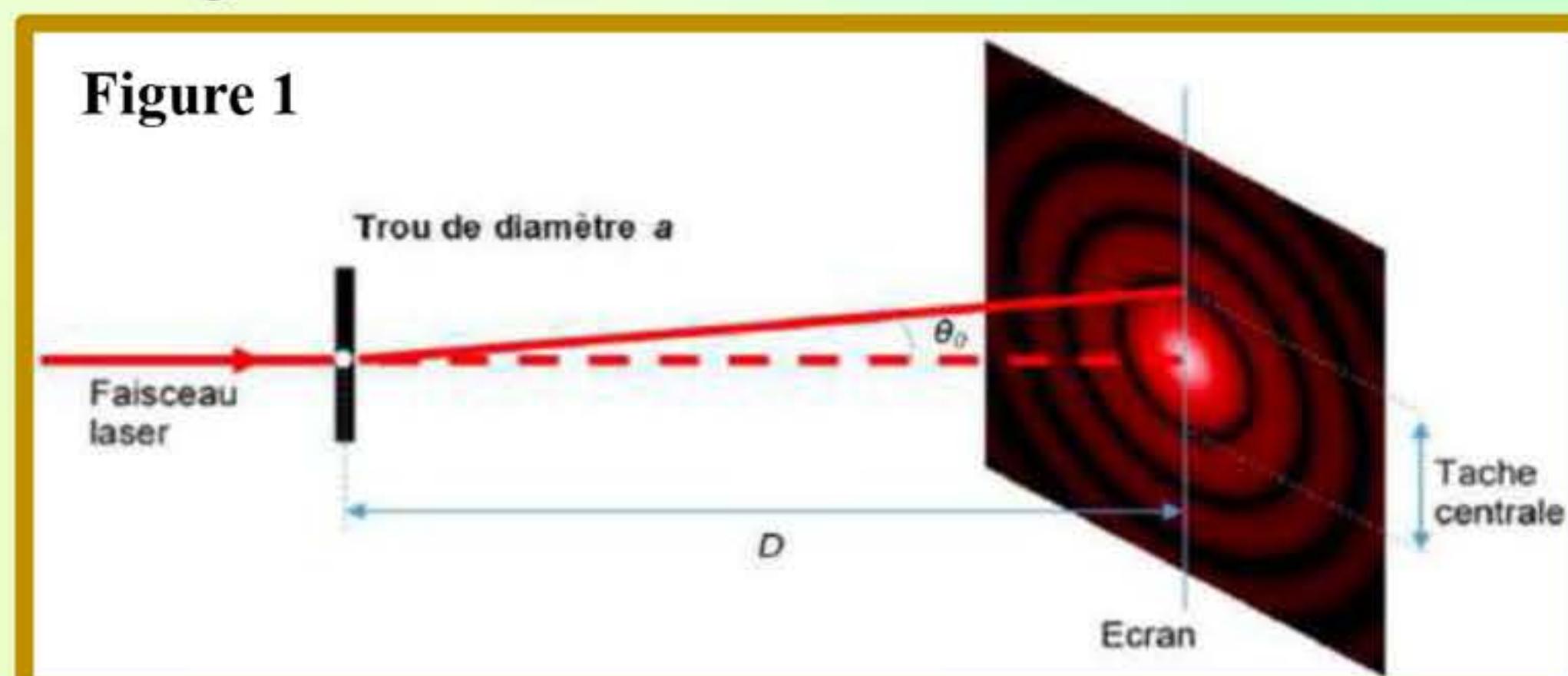


❖ **Etude de la diffraction par la poudre de cacao :**

Le succès du chocolat est lié à la granulométrie de chacun des constituants. Cette dernière propriété représente un enjeu important du procédé de fabrication puisque des particules trop finement broyées rendront le chocolat collant alors que de trop grosses particules lui donneront un aspect granuleux à l'œil et en bouche. La mesure de la taille des particules, par diffraction laser, est une technique simple et rapide, adaptée à la détermination de la distribution granulométrique de tous les types de chocolat comme les chocolats de couverture utilisés pour le nappage, les chocolats au lait ou les chocolats agglomérés utilisés pour les recettes instantanées.

Type de chocolat	De couverture	Au lait	Aggloméré
Le diamètre moyen recommandé de la poudre de cacao pour un type de chocolat	10 µm	30 µm	300 µm

Dans cette partie, on considère que l'on peut déterminer le diamètre moyen des grains de cacao d'une poudre donnée en utilisant une figure de diffraction réalisée avec la diode laser de longueur d'onde $\lambda = 635\text{nm}$ - Figure 1



La figure de diffraction par un trou circulaire est constituée de cercles concentriques alternativement brillants et sombres avec :

$$\sin\theta_0 = \frac{1,22\lambda}{a}$$

λ : longueur d'onde du faisceau laser, exprimée en mètre

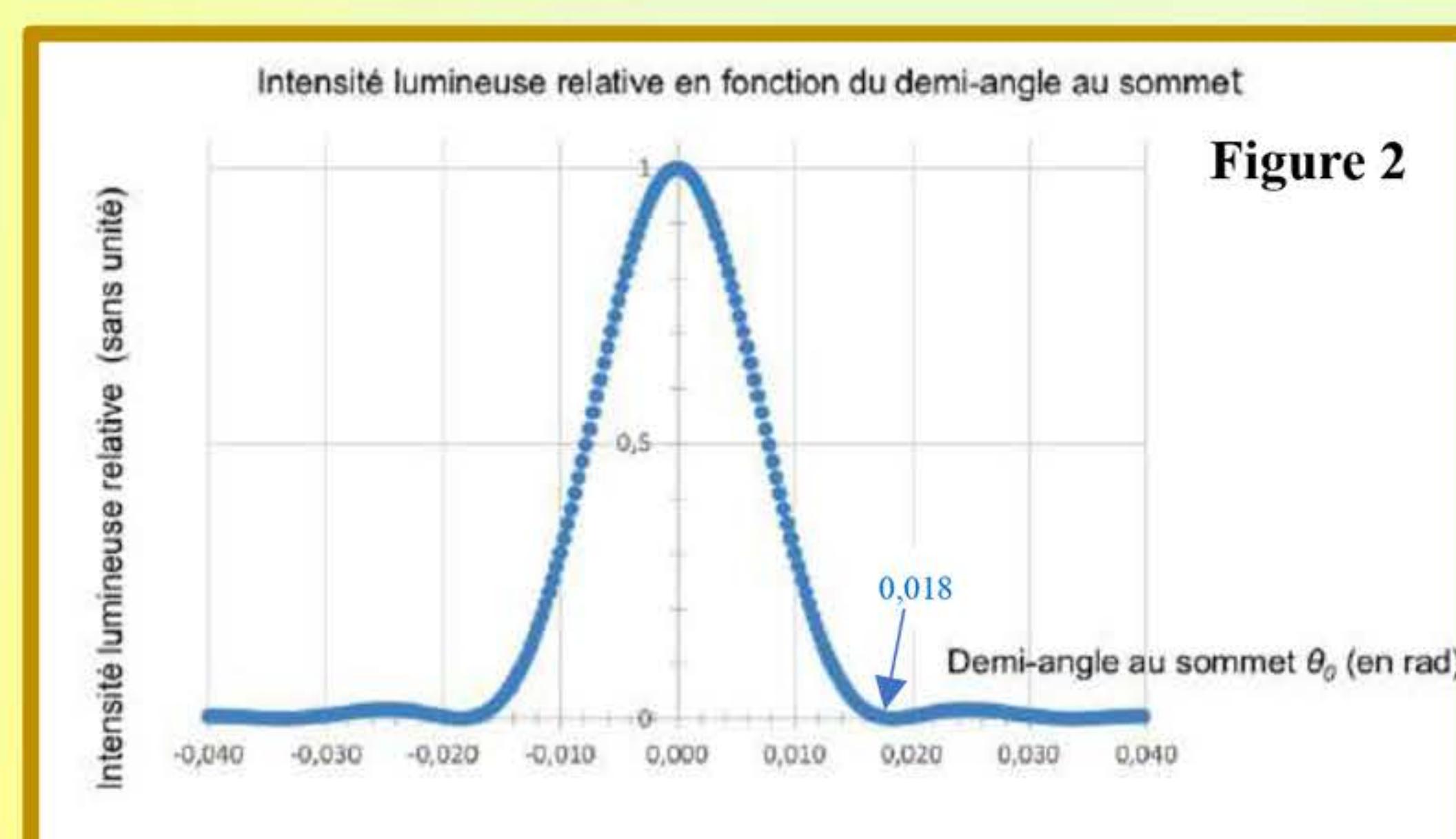
a : diamètre du trou, exprimée en mètre

θ : demi-angle au sommet, exprimée en radian

En utilisant un montage proche de celui donné ci-dessus, on réalise l'expérience sur un échantillon de cacao.

- 1- Sachant que les grains de cacao sont assimilés à des sphères, justifier le fait qu'on observe une figure de diffraction identique à celle obtenue avec un trou circulaire.
- 2- Après traitement informatique des résultats expérimentaux lors de contrôle d'un échantillon de poudre de cacao, on obtient le graphe ci-dessous donnant l'intensité lumineuse relative sur l'écran en fonction de demi angle.

Peut-on utiliser cet échantillon pour un chocolat de couverture ?



Exercice

9

Le but de cet exercice est d'étudier la propagation d'une onde lumineuse émise par une source laser à travers un prisme (P) en verre d'indice de réfraction n pour cette radiation. La longueur d'onde de cette radiation dans l'air est λ_0 .

Données :

- Célérité de la lumière dans l'air : $c = 3.10^8 \text{ m/s}$
- Indice de réfraction du prisme $n = 1,61$;
- $\lambda_0 = 633\text{nm}$.

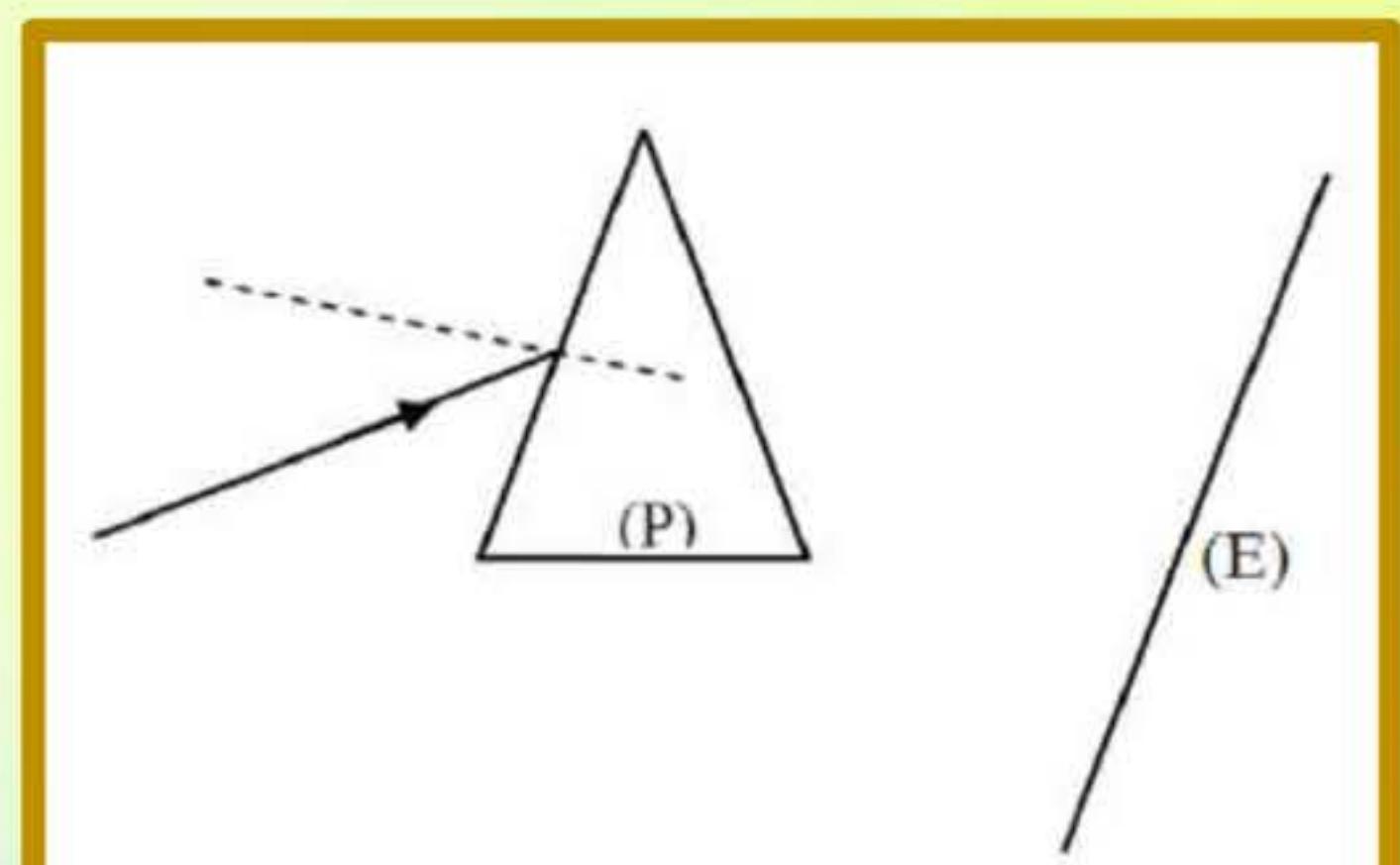
1- Choisir la réponse juste parmi les propositions suivantes :

- 1.1- La lumière a la même célérité dans tous les milieux transparents.
- 1.2- La fréquence d'une onde lumineuse varie lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre.
- 1.3- La longueur d'onde d'une onde lumineuse ne dépend pas de la nature du milieu de propagation.
- 1.4- L'indice de réfraction d'un milieu transparent dépend de la longueur d'onde de la radiation monochromatique qui le traverse.
- 1.5- Les ultrasons sont des ondes électromagnétiques.

2-

d'onde λ_0 émis de la source laser est envoyé sur l'une des faces du prisme (P) (voir figure ci-dessous).

- 2.1- Cette radiation appartient-elle au domaine du spectre visible ? justifier.
- 2.2- Calculer la fréquence v de cette radiation.
- 2.3- Déterminer pour cette radiation, la vitesse de propagation et la longueur d'onde λ dans le prisme.
- 2.4- On remplace la source laser par une source de lumière blanche. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) après que la lumière blanche ait traversé le prisme ? Quel est le phénomène mis en évidence par cette expérience ?



Exercice

10

Pour déterminer λ la longueur d'onde lumineuse dans le verre on envoie un faisceau lumineux monochromatique émis par le laser à la surface d'un prisme en verre d'indice de réfraction n .

1- Le rayon lumineux arrive sur la face (1) du prisme avec un angle d'incidence i ; puis il émerge de l'autre face avec un angle d'émergence i' , telle que $i' = i$.

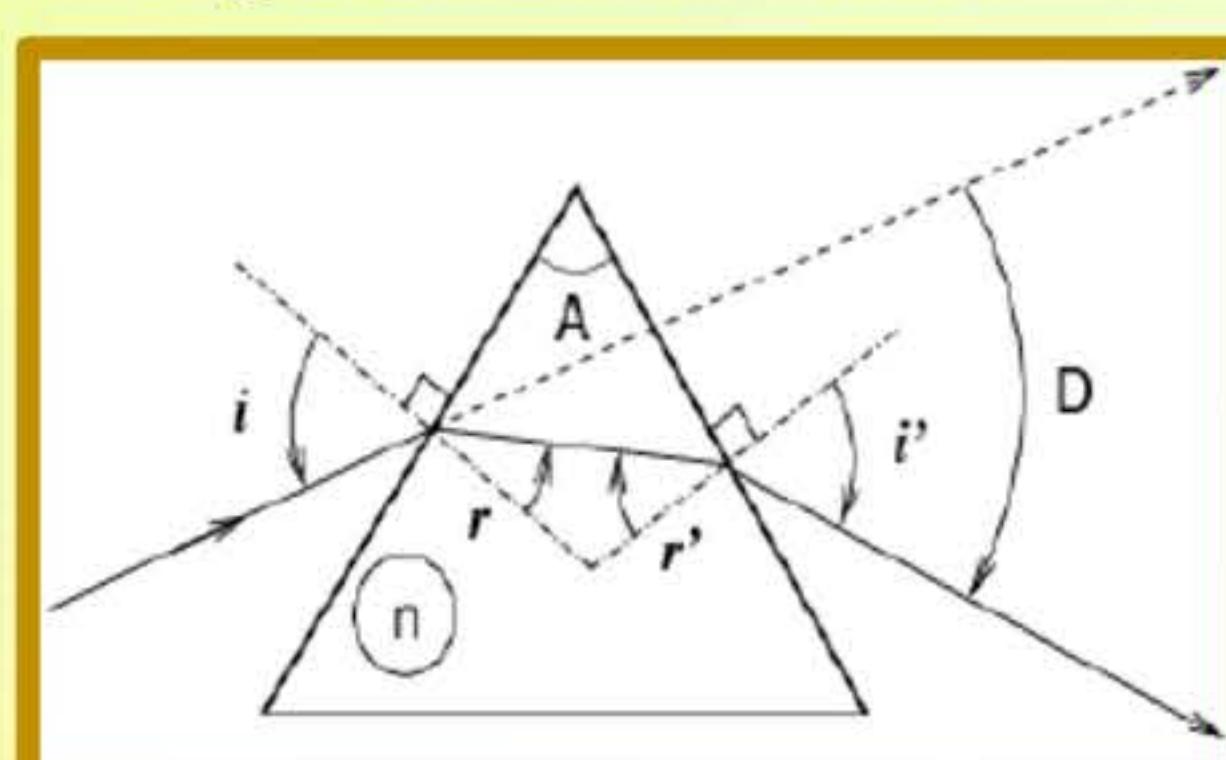
1.1- Rappeler les relations du prisme.

1.2- Montrer que l'expression de la longueur d'onde λ' est : $\lambda' = \lambda_0 \frac{\sin(\frac{A}{2})}{\sin(\frac{D+A}{2})}$

2- Qu'observe-t-on si on remplace la lumière monochromatique par la lumière blanche ? quel est le nom de ce phénomène ?

Donnée :

- La longueur d'onde dans le vide : $\lambda_0 = 665.4 \text{ nm}$;
- L'angle du prisme : $A = 60^\circ$; et l'angle de la déviation $D = 39^\circ$



❖ Diffraction de la lumière par une fente :

On éclaire une fente de largeur a par une lumière monochromatique de fréquence N émise par un laser. La figure de diffraction est observée sur un écran placé à une distance D de la fente. La largeur de la tache centrale est notée L .

Avec un laser émettant une lumière verte de fréquence $N_v = 5,36 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, on obtient une tache centrale de largeur $L_v = 8,6 \text{ mm}$.

Avec un laser émettant une lumière rouge de fréquence $N_r = 4,74 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$, on obtient une tache centrale de largeur L_r .

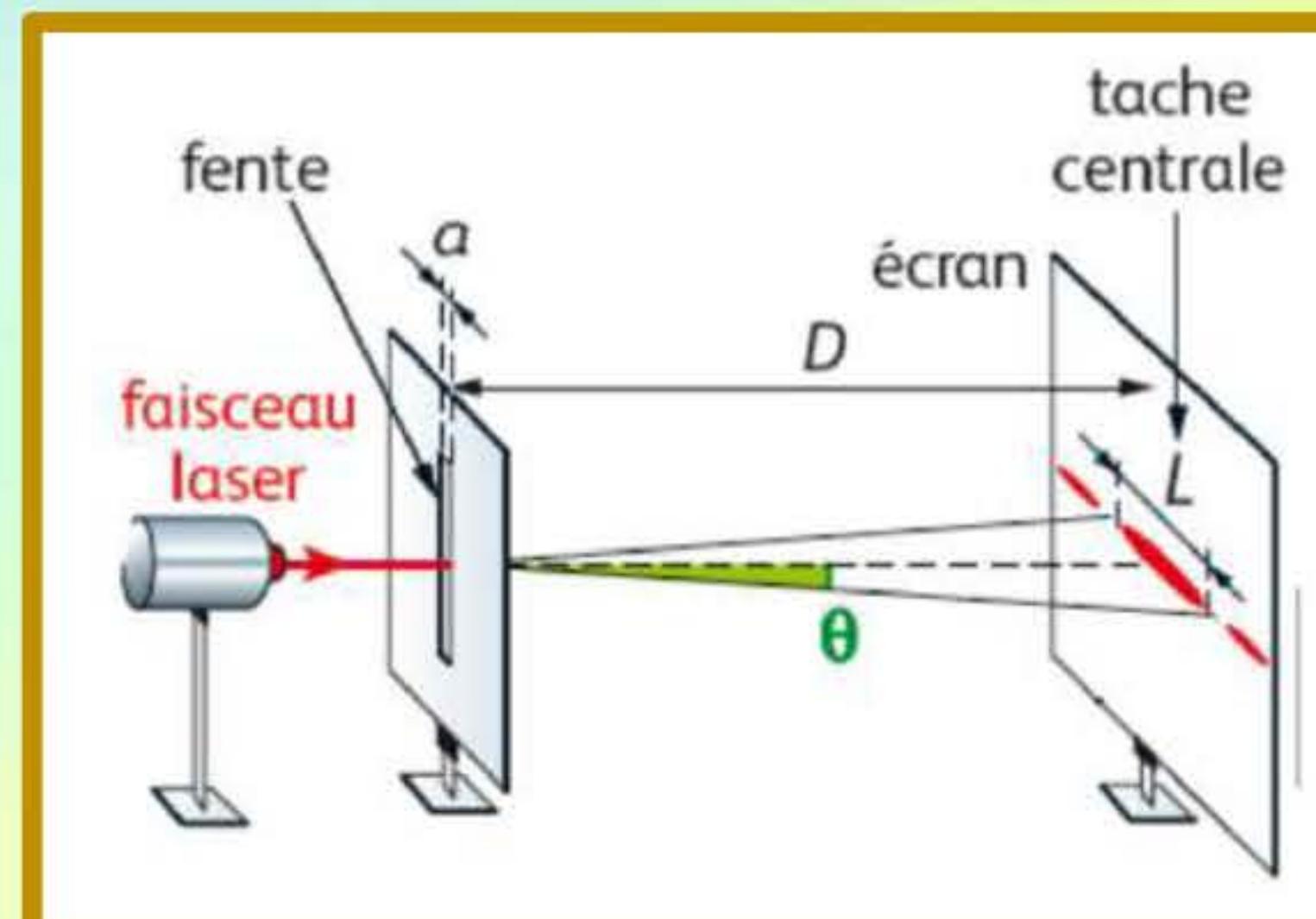
Données : $\tan \theta_0 \approx \theta_0 \text{ (rad)}$; $\frac{268}{237} = 1,13$

1- La valeur de la largeur de la tache centrale obtenue avec la lumière rouge est :

- A** $L_r = 10 \text{ mm}$ **B** $L_r = 9,7 \text{ mm}$ **C** $L_r = 8,2 \text{ mm}$ **D** $L_r = 7,7 \text{ mm}$ **E** $L_r = 6,8 \text{ mm}$

2- L'écart angulaire pour la lumière rouge et l'écart angulaire pour la lumière verte sont liés par la relation :

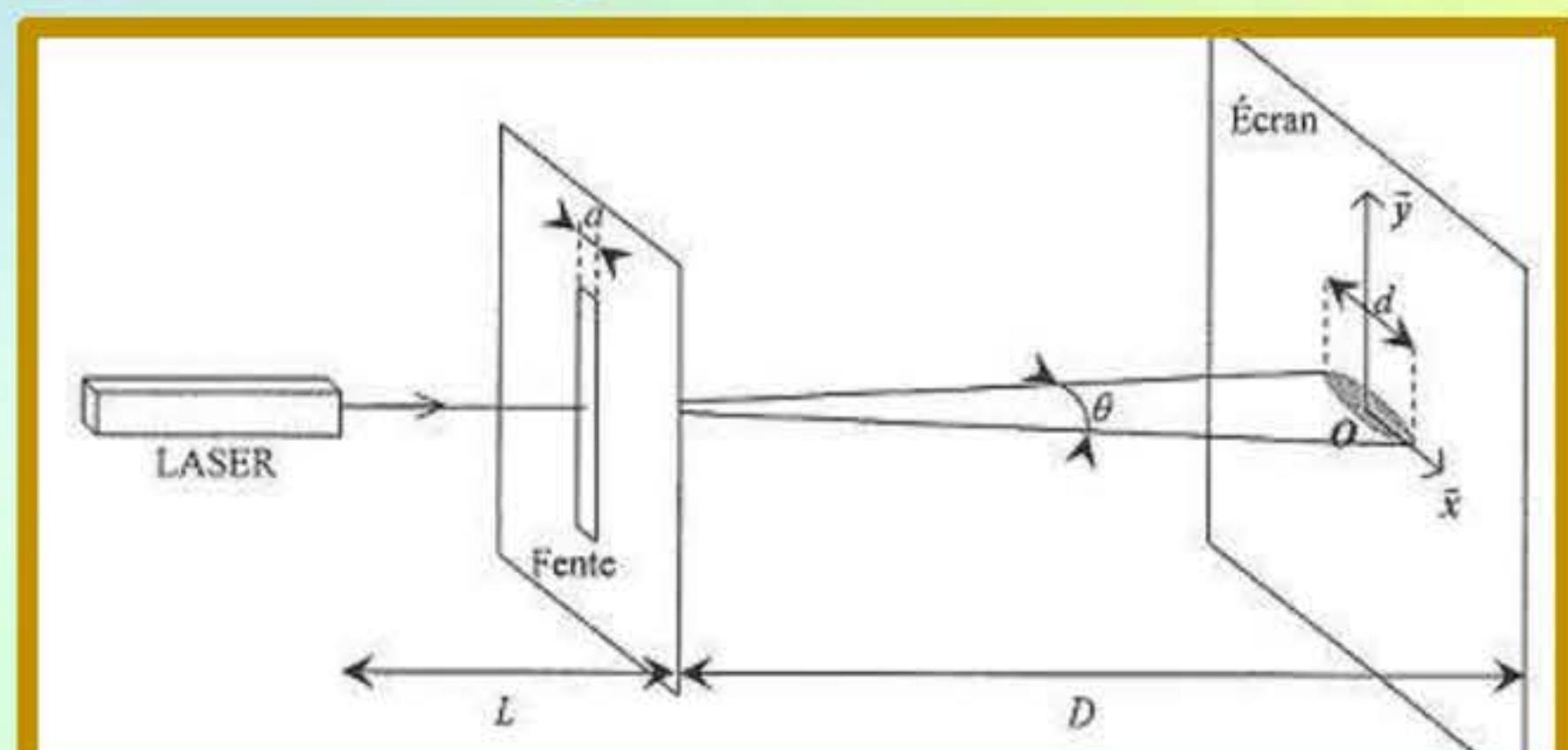
- A** $\theta_r = 1,13 \cdot \theta_v$ **B** $\theta_r = 0,88 \cdot \theta_v$ **C** $\theta_r = 11,3 \cdot \theta_v$ **D** $\theta_r = 1,90 \cdot \theta_v$ **E** $\theta_r = 2,26 \cdot \theta_v$



❖ Diffraction de la lumière par une fente :

On réalise la diffraction de la lumière en utilisant le dispositif ci-contre.

On réalise dans l'air, quatre expériences en utilisant deux lasers produisant deux radiations de longueurs d'onde respectives λ_1 et λ_2 . Pour différentes valeurs de largeur a de la fente, on obtient les résultats indiqués ci-dessous.



Expérience	Largeur d'onde	Largeur de la fente	Distance à l'écran	Largeur de la tache centrale	Ecart angulaire de diffraction
1	λ_1	$a_1 = a$	D	$L_1 = 3,2 \text{ cm}$	$\theta_1 = 10^{-2} \text{ rad}$
2	$\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$	$a_2 = a$	D	$L_2 = 5,0 \text{ cm}$	θ_2
3	$\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$	$a_3 = \frac{a}{2}$	D	$L_3 = 2 \cdot L_2$	θ_3
4	$\lambda_2 = 632,8 \text{ nm}$	$a_4 = 2 \cdot a$	D	$L_4 = \frac{L_2}{2}$	θ_4

Données: $\tan \theta \approx \theta$; $632,8 \times 3,2 = 2 \cdot 10^3$

1- La valeur de la largeur de la fente est :

- A** $a = 10 \mu\text{m}$ **B** $a = 25 \mu\text{m}$ **C** $a = 40 \mu\text{m}$ **D** $a = 65 \mu\text{m}$ **E** $a = 100 \mu\text{m}$

2- Les écarts angulaires de diffraction dans quatres expériences sont tels que :

- | | | | | | |
|----------|---|----------|---|----------|---|
| A | $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3 > \theta_4$ | B | $\theta_3 > \theta_1 > \theta_2 > \theta_4$ | C | $\theta_4 > \theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ |
| D | $\theta_3 > \theta_2 > \theta_1 > \theta_4$ | E | $\theta_3 > \theta_2 > \theta_4 > \theta_1$ | | |

Exercice 1 : Détermination de la fréquence de l'onde lumineuse

L'étude du phénomène de diffraction de la lumière permet la détermination de la fréquence des ondes lumineuses.

une lumière monochromatique dont la longueur d'onde λ 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 du fil.

Nous mesurons la largeur L de la tache centrale et Nous calculons l'écart angulaire θ entre le centre de la tache centrale et la 1ère extinction pour un fil particulier. (Figure 1).

Données :

- L'écart angulaire θ petit est exprimé par radians avec $\tan\theta \simeq \theta$
- Vitesse de la lumière dans l'air : $C \simeq 3 \times 10^8 m.s^{-1}$
- 1. Donner La relation entre θ , λ et d
- 2. Trouvez, à l'aide de la figure 1, la relation entre L , d , λ et D .
- 3. La courbe $\theta = f\left(\frac{1}{d}\right)$ est représentée sur la figure 2.
 - 3.1. Déterminer à partir de la Courbe 2 la longueur d'onde de la lumière monochromatique utilisée.
 - 3.2. En déduire la fréquence ν de l'onde.
- 4. On met une source lumineuse blanche a la place de laser. La longueur de la lumière visible se trouve entre $\lambda_v = 400nm$ (violet) et $\lambda_R = 800nm$ (rouge).
 - 4.1. déterminer la longueur d'onde de la lumière monochromatique qui correspond à la valeur maximale de la largeur de la tache centrale.
 - 4.2. Expliquez pourquoi la couleur de centre de la tache centrale apparaît blanche.

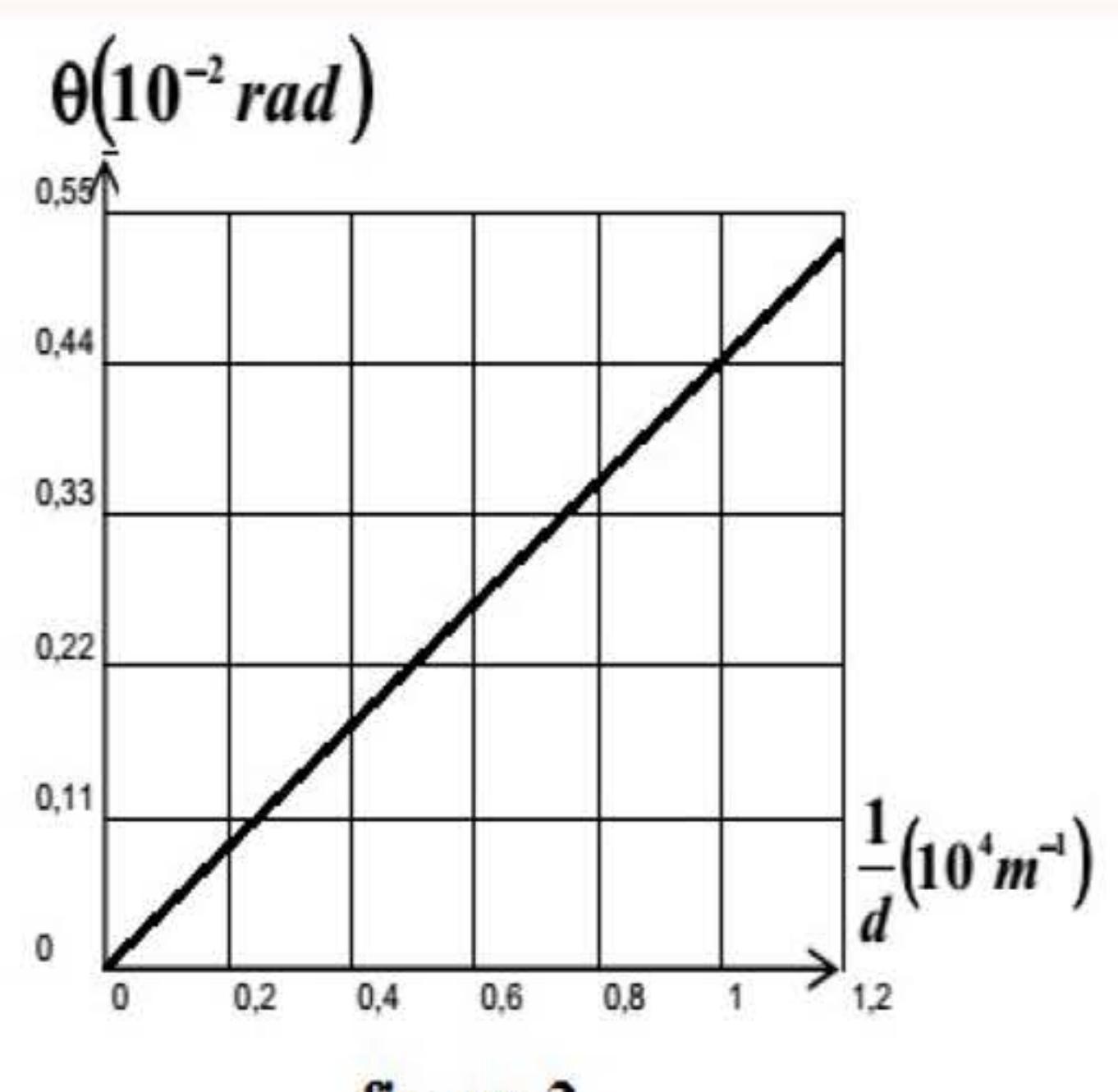
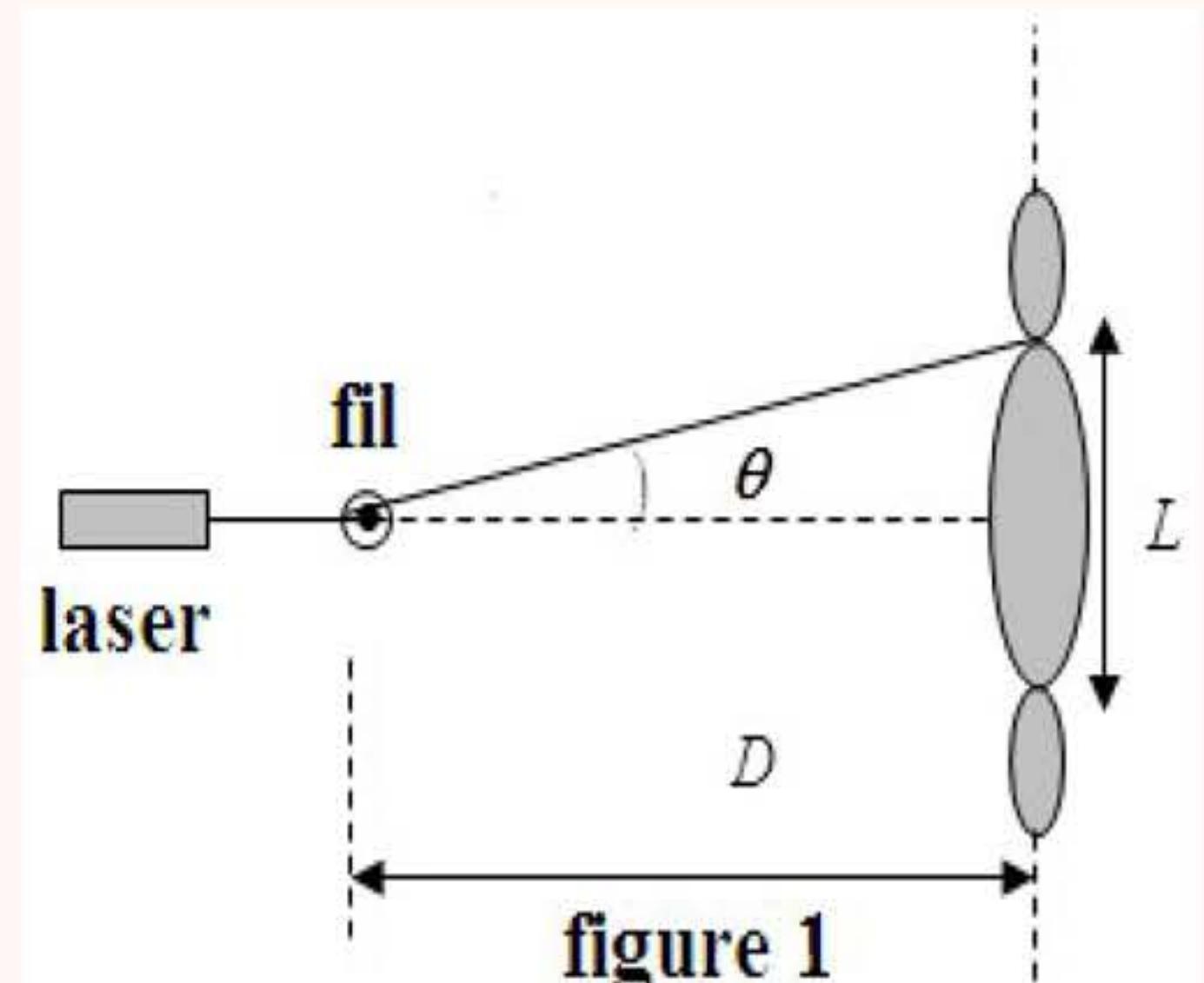


figure 2

Exercice 2 : Détermination du diamètre d'un fil fin

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 θ 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 λ 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 , ν et c . Calculer a .

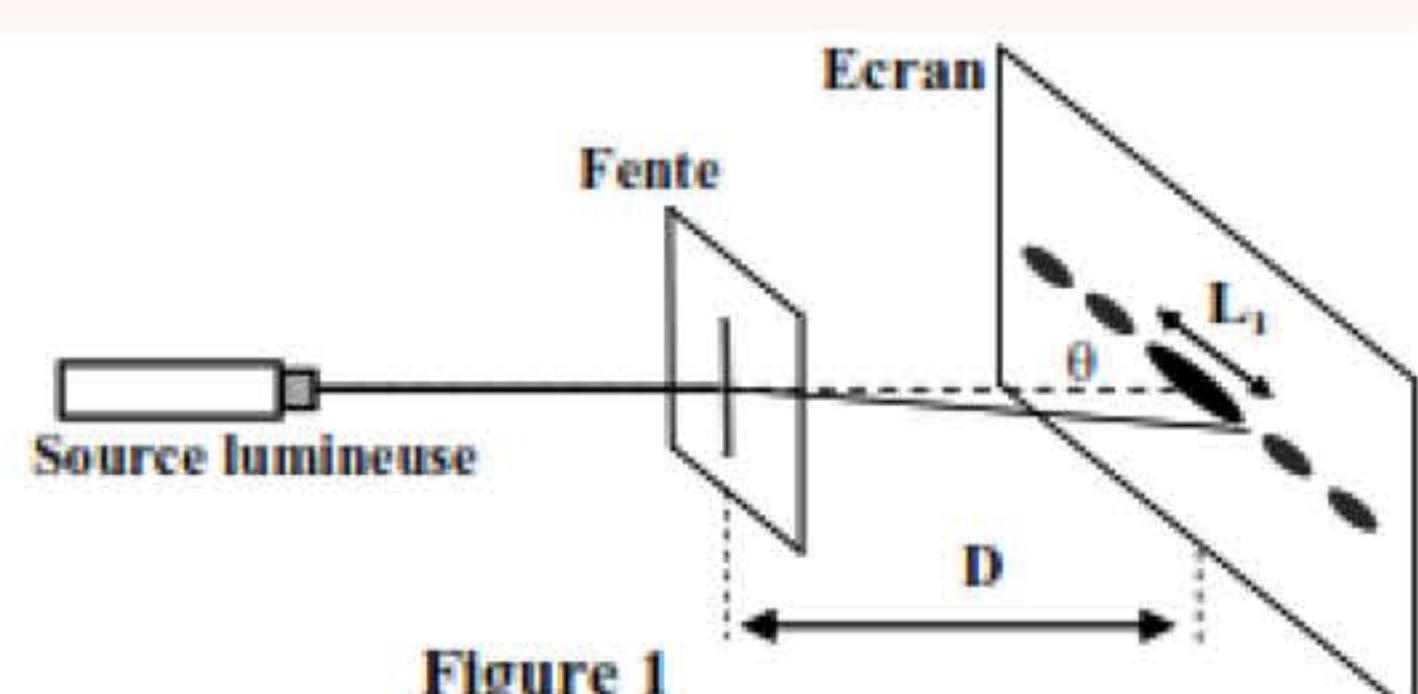


Figure 1

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 .

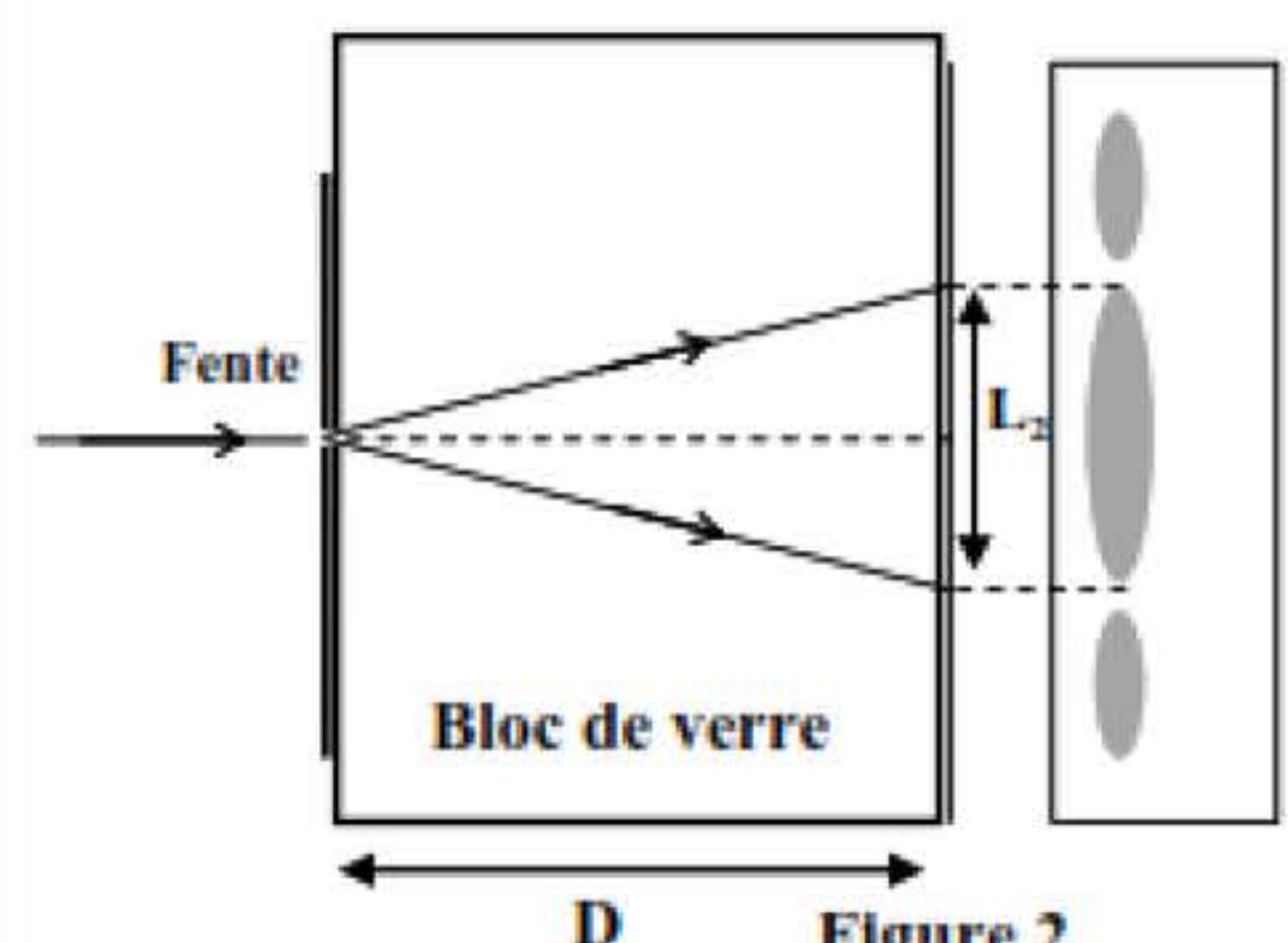


Figure 2

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 .

Exercice 3 : Détermination de la longueur d'onde d'un rayon lumineux

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 λ d'une lumière monochromatique dans l'air :

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

On place à quelques centimètres de la source lumineuse une plaque opaque dans laquelle se trouve une fente horizontale de largeur $a = 1,00 \text{ mm}$ (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 :

- a) Suivant l'axe $x'x$;
- b) Suivant l'axe $y'y$.

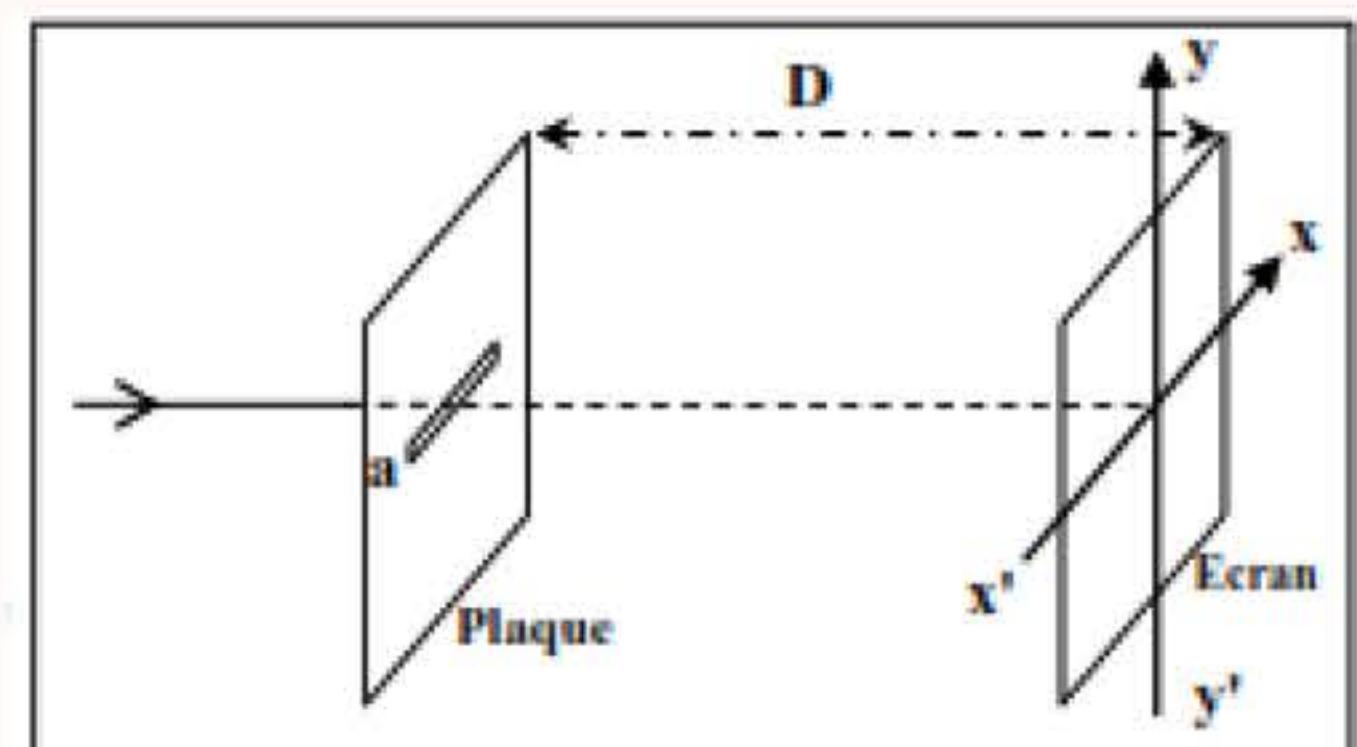


Figure 1

- 1.2. Trouver l'expression de λ en fonction de a , L , et D . calculer λ .
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 ν_1 est $n_1 = 1,626$.
- L'indice de réfraction de l'air est 1,00.
- $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

3. Montrer que la valeur de l'indice de réfraction du verre pour le rayon lumineux de fréquence ν_2 est $n_2 = 1,652$.
4. Trouver l'expression de la longueur d'onde λ_2 du rayon lumineux de fréquence ν_2 dans le verre ,en fonction de c , n_2 et ν_2 . Calculer λ_2 .

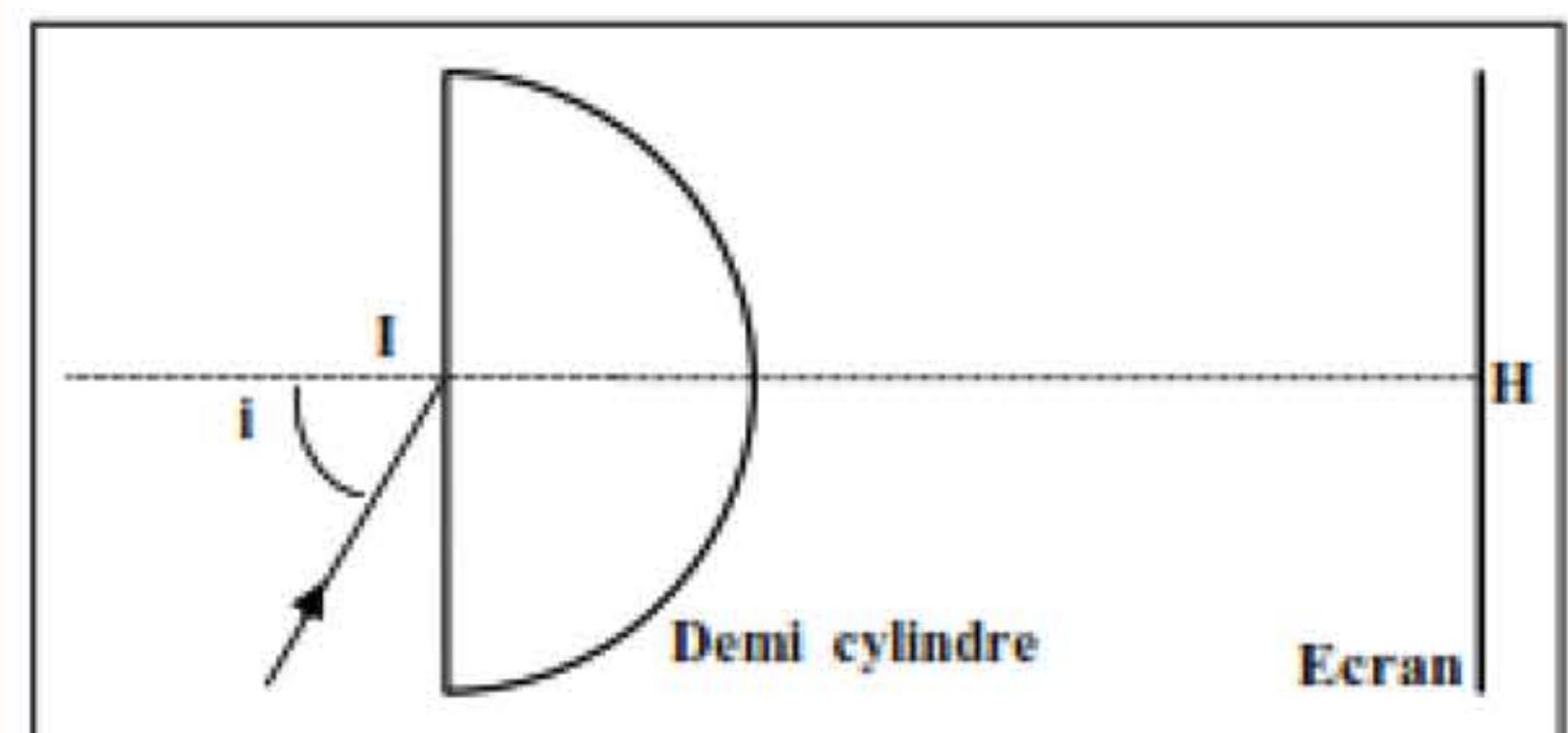


Figure 2

Exercice 4 : De la dispersion de la lumière à la diffraction

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 μm	0,768	0,434
L'indice de réfraction du verre	1,51	1,52

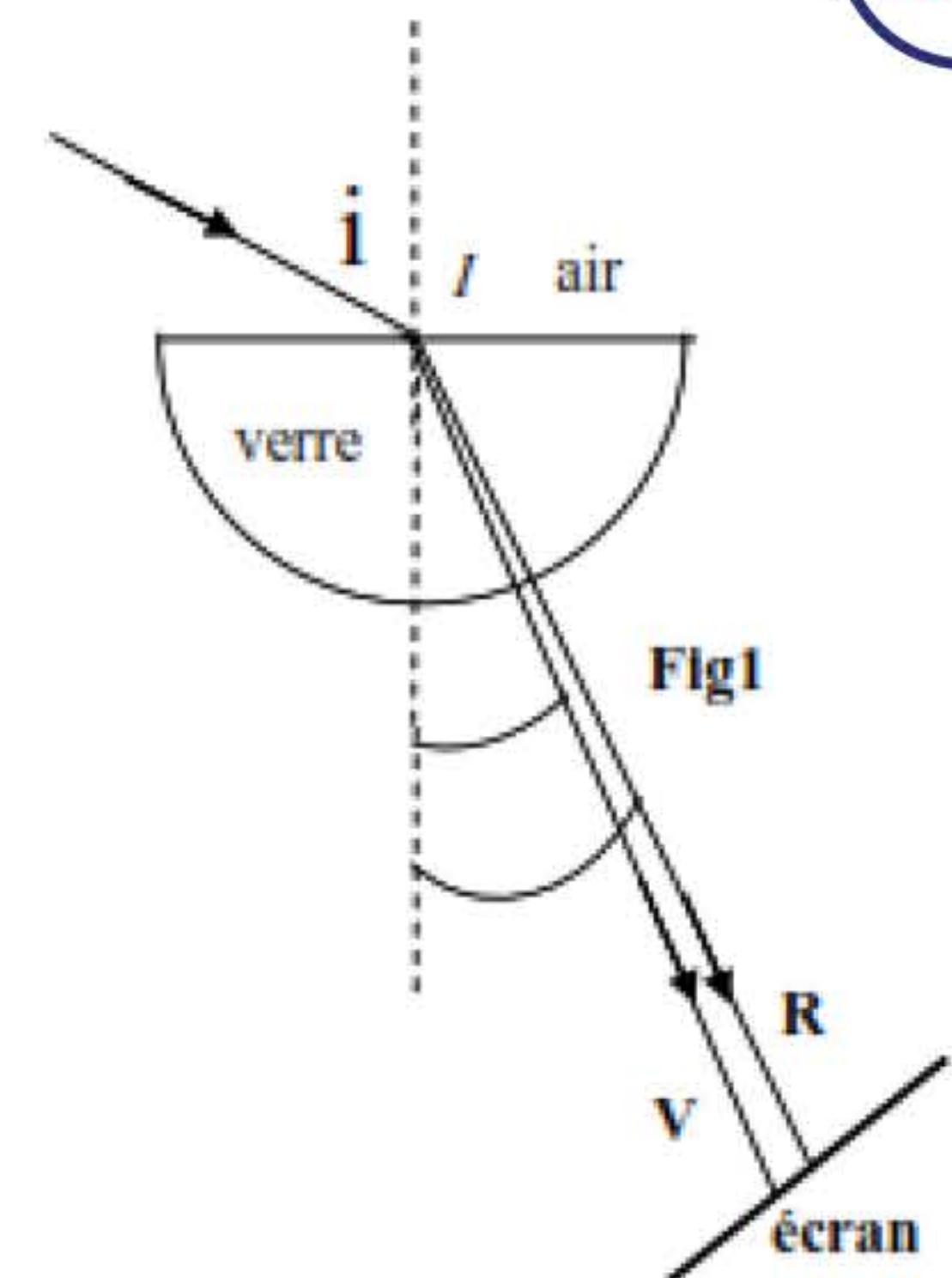
- 1- Dispersion de la lumière :

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 λ_R de la radiation rouge dans le verre en fonction de l'indice de réfraction n_R du verre et de λ_{0R} (longueur d'onde dans l'air de ce rayonnement).

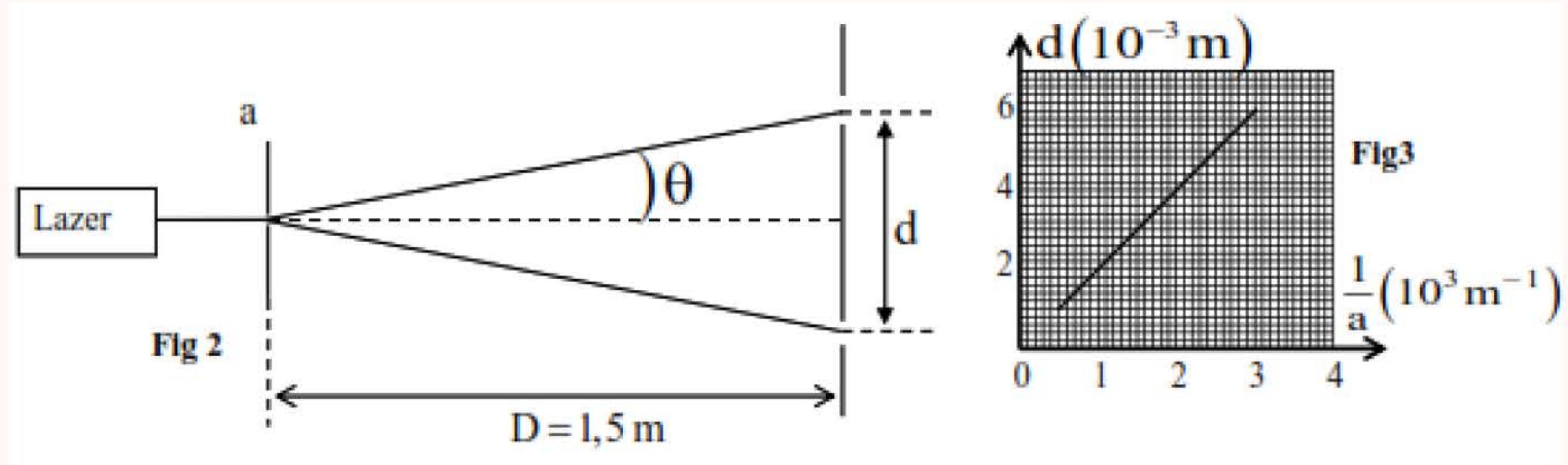
1-2- L'indice de réfraction n d'un milieu transparent pour une radiation monochromatique de longueur d'onde λ_0 dans l'air est modélisé par la relation : $n = A + \frac{B}{\lambda_0^2}$

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 λ 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.



2-1- Trouver l'expression de d en fonction de λ , a et D . sachant que $\theta = \frac{\lambda}{a}$ (θ petit exprimé en rad)

2-2- A l'aide de la figure 3, déterminer la valeur de λ .

Exercice 5 : Les ondes lumineuses

Le but de cet exercice est d'étudier la propagation d'une onde lumineuse émise par une source laser à travers un prisme (P) en verre d'indice de réfraction n pour cette radiation. La longueur d'onde de cette radiation dans l'air est λ_0 .

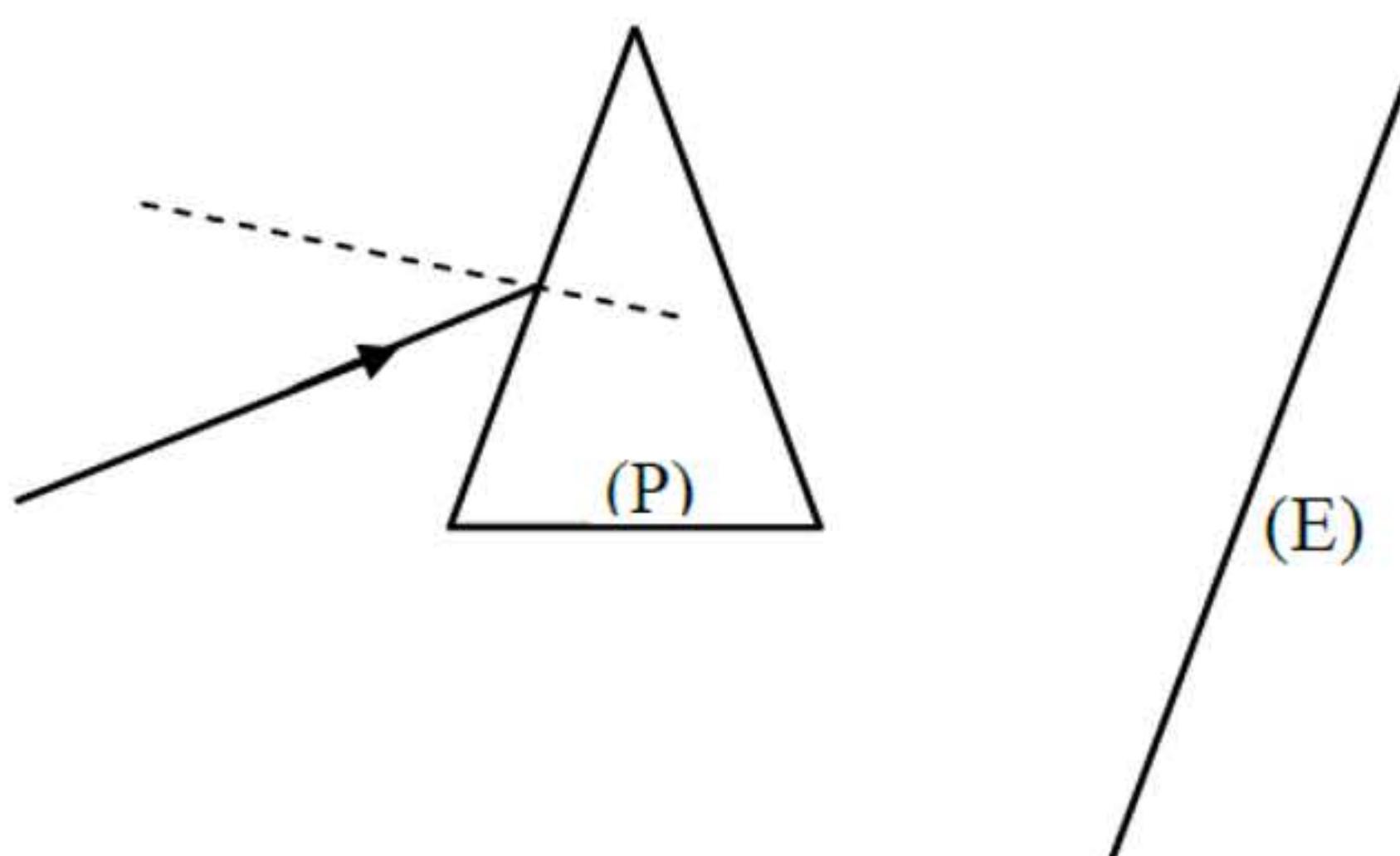
Données :

- Célérité de la lumière dans l'air : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$;
- Indice de réfraction du prisme $n = 1,61$;
- $\lambda_0 = 633 \text{ nm}$.

1. Choisir la réponse juste parmi les propositions suivantes :

- 1.1. La lumière a la même célérité dans tous les milieux transparents.

- 1.2. La fréquence d'une onde lumineuse varie lorsqu'elle passe d'un milieu transparent à un autre.
 - 1.3. La longueur d'onde d'une onde lumineuse ne dépend pas de la nature du milieu de propagation.
 - 1.4. L'indice de réfraction d'un milieu transparent dépend de la longueur d'onde de la radiation monochromatique qui le traverse.
 - 1.5. Les ultrasons sont des ondes électromagnétiques.
2. Un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde λ_0 émis de la source laser est envoyé sur l'une des faces du prisme (P) (voir figure ci-dessous).
- 2.1. Cette radiation appartient-elle au domaine du spectre visible ? justifier.
 - 2.2. Calculer la fréquence ν de cette radiation.
 - 2.3. Déterminer pour cette radiation, la vitesse de propagation et la longueur d'onde λ dans le prisme.
 - 2.4. On remplace la source laser par une source de lumière blanche. Qu'observe-t-on sur l'écran (E) après que la lumière blanche ait traversé le prisme ? Quel est le phénomène mis en évidence par cette expérience ?



Exercice 6 : Diffraction d'une lumière monochromatique

On s'intéresse dans cet exercice à l'étude de certaines propriétés de la lumière rouge émise par un laser hélium-néon(He-Ne). Dans l'air, la longueur d'onde de cette lumière est $\lambda = 633\text{nm}$.

Données :

- Célérité de la lumière dans l'air : $c = 3,00 \times 10^8 \text{m.s}^{-1}$;
- Pour les petits angles : $\tan \theta \simeq \theta$ où θ est exprimé en radian.

Diffraction de la lumière monochromatique émise par le laser hélium-néon(He-Ne) :

Pour déterminer la largeur a d'une fente d'un diaphragme, on utilise la lumière rouge monochromatique émise par le laser hélium-néon. Pour cela, on réalise l'expérience schématisée sur la figure 1.

On éclaire la fente de largeur a par le faisceau laser et on observe des taches lumineuses sur un écran placé à une distance D de la fente. Ces taches sont séparées par des zones sombres. La largeur de la tache centrale est ℓ .

1. Choisir la proposition juste parmi les affirmations suivantes :

- a) Dans le verre, la lumière se propage avec une vitesse plus grande que dans l'air.
- b) L'écart angulaire est : $2\theta = \frac{\lambda}{a}$.
- c) La fréquence de la lumière émise par le laser hélium-néon est $\nu = 4,739 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

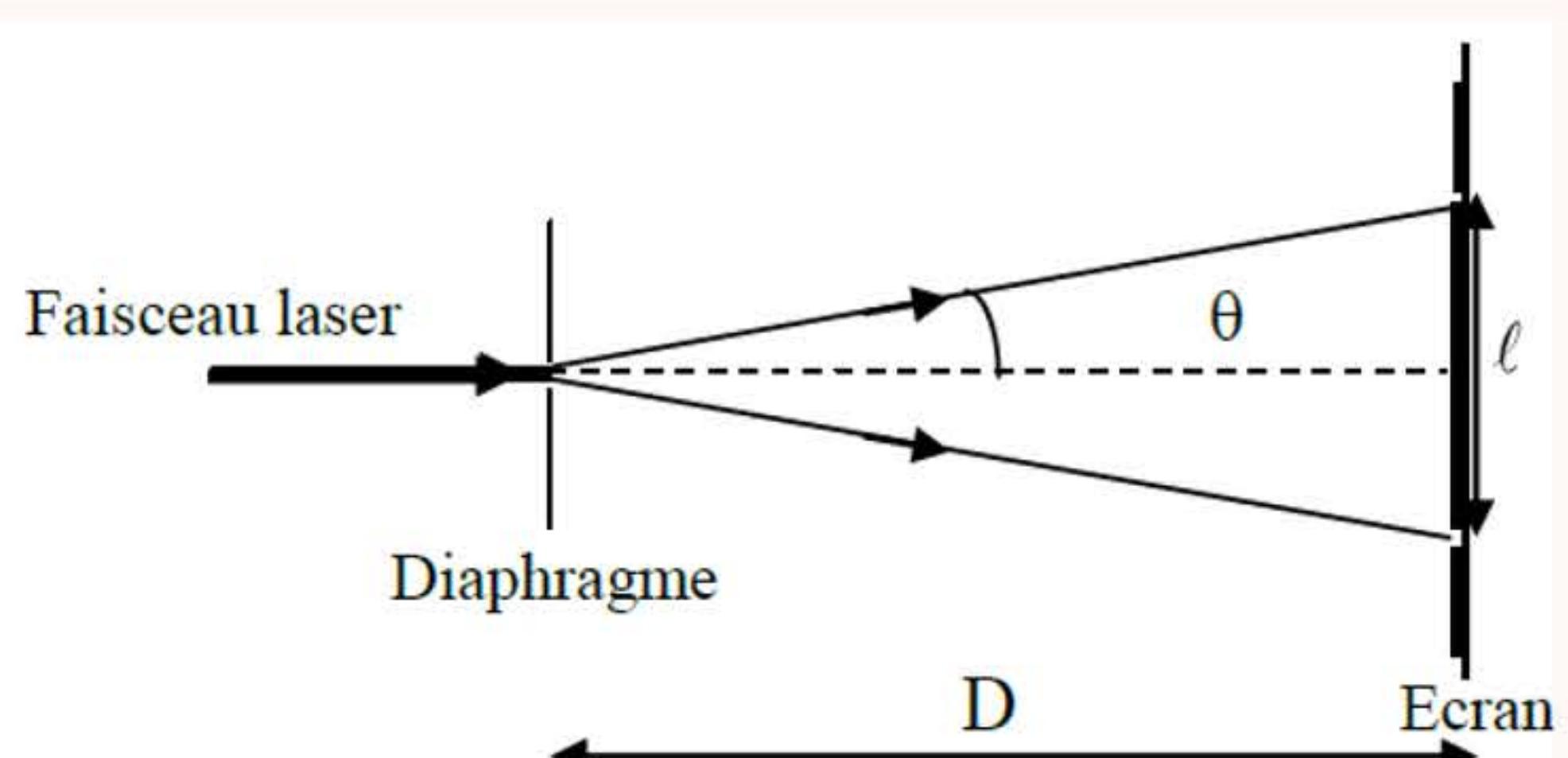


Figure 1

- d) L'écart angulaire est plus grand si on remplace la lumière rouge par une lumière violette.
- Dans le cas des petits angles, établir l'expression de la largeur a en fonction de D , ℓ et λ .
Pour une distance $D = 1,5\text{m}$ on mesure la largeur de la tache centrale et on trouve $\ell = 3,4\text{cm}$. Calculer a .
 - On modifie la distance entre la fente et l'écran en prenant $D' = 3\text{m}$. Calculer la valeur de l'écart angulaire et celle de la largeur de la tache centrale.

Exercice 7 : Ondes ultrasonores

L'échographie est un outil du diagnostic médical. Sa technique utilise une sonde à ultrasons.

- Détermination de la célérité d'une onde ultrasonore dans l'air :

On se propose de déterminer la célérité d'une onde ultrasonore dans l'air à partir de la mesure de la longueur d'onde λ d'un signal émis par la sonde d'un échographe de fréquence $N = 40\text{kHz}$. Pour cela, on utilise un émetteur E produisant une onde périodique sinusoïdale de même fréquence que celle de la sonde.

Les récepteurs R_1 et R_2 sont à égales distances de l'émetteur E . Lorsqu'on éloigne le récepteur R_2 d'une distance d (Figure 1), les deux sinusoïdes visualisées sur l'oscilloscope se décalent. Les deux courbes sont en phase à chaque fois que la distance d entre R_1 et R_2 est un multiple entier n de λ avec $n \in \mathbb{N}^*$

- Définir la longueur d'onde.
- Choisir la réponse juste parmi les propositions suivantes :
 - Les ultrasons sont des ondes transportant la matière.
 - Les ultrasons sont des ondes mécaniques.
 - Les ultrasons se propagent avec la même vitesse dans tous les milieux.
 - Le domaine de la longueur d'onde des ondes ultrasonores est : $400\text{nm} \leq \lambda \leq 800\text{nm}$.
- Dans l'expérience réalisée, on relève pour $n = 12$, la distance $d = 10,2\text{ cm}$. Déterminer la célérité de l'onde dans l'air.

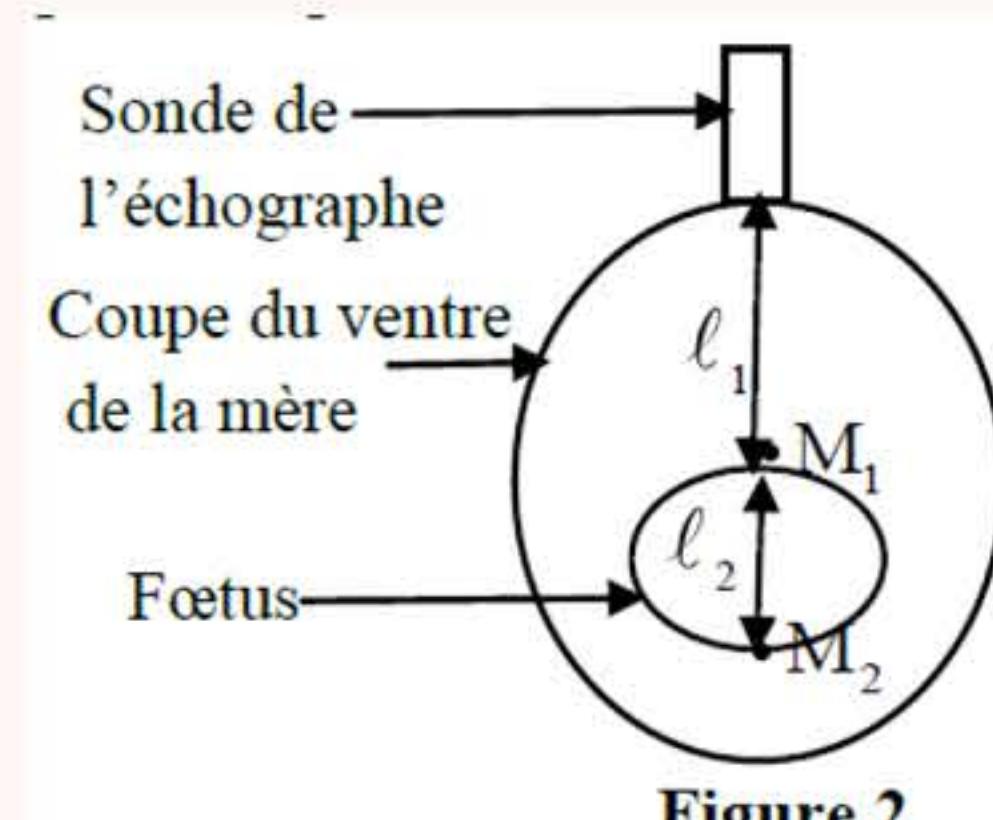
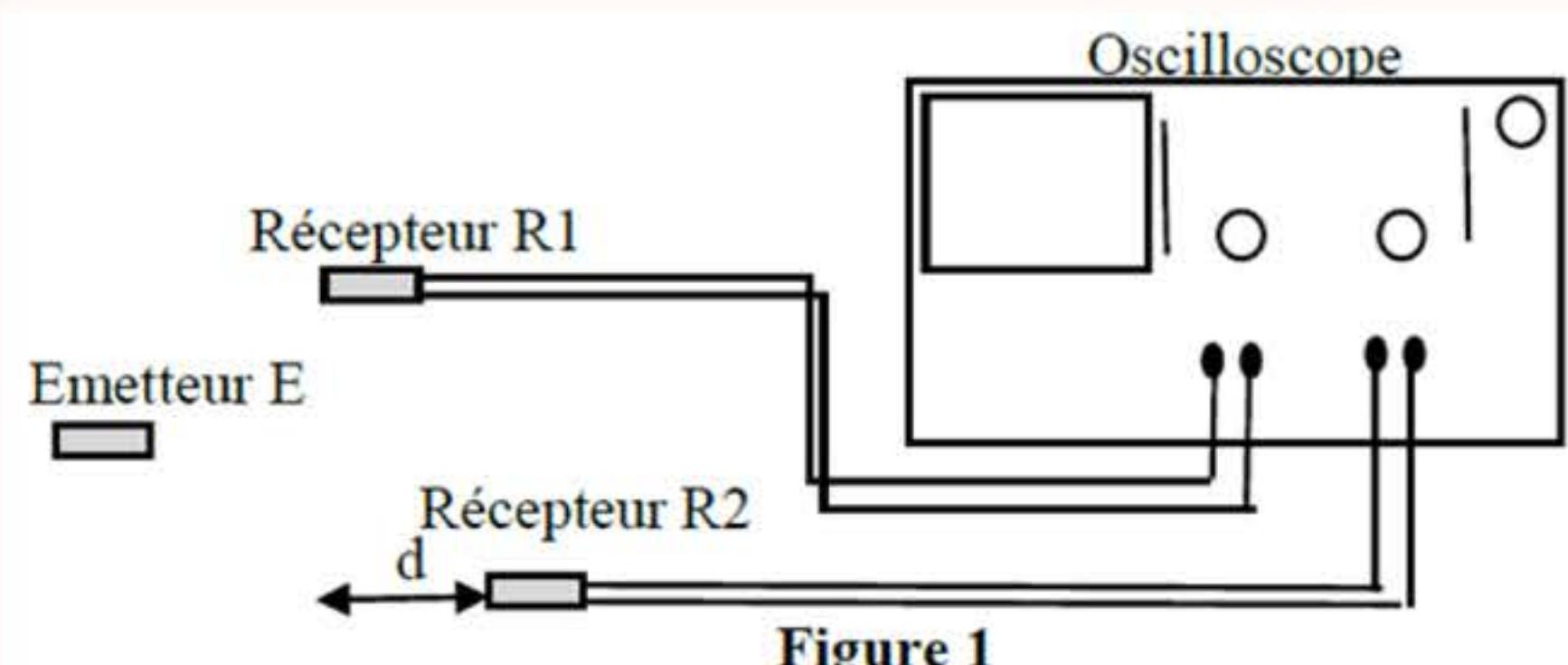
2. Application à l'échographie :

La sonde échographique utilisée est à la fois un émetteur et un récepteur. Lorsque les ondes se propagent dans le corps humain, elles sont en partie réfléchies par les parois séparant deux milieux différents. La partie réfléchie de l'onde est reçue par la sonde puis analysée par un système informatique. La figure 2 représente le schéma du dispositif permettant l'échographie d'un foetus.

Lors de l'examen, une salve d'ondes est émise par l'émetteur de la sonde à la date $t=0$. L'onde est réfléchie au point M_1 et au point M_2 . La sonde reçoit la première onde réfléchie à la date $t = t_1 = 80\mu\text{s}$ et la deuxième à la date $t = t_2 = 130\mu\text{s}$.

Trouver l'épaisseur ℓ_2 du foetus.

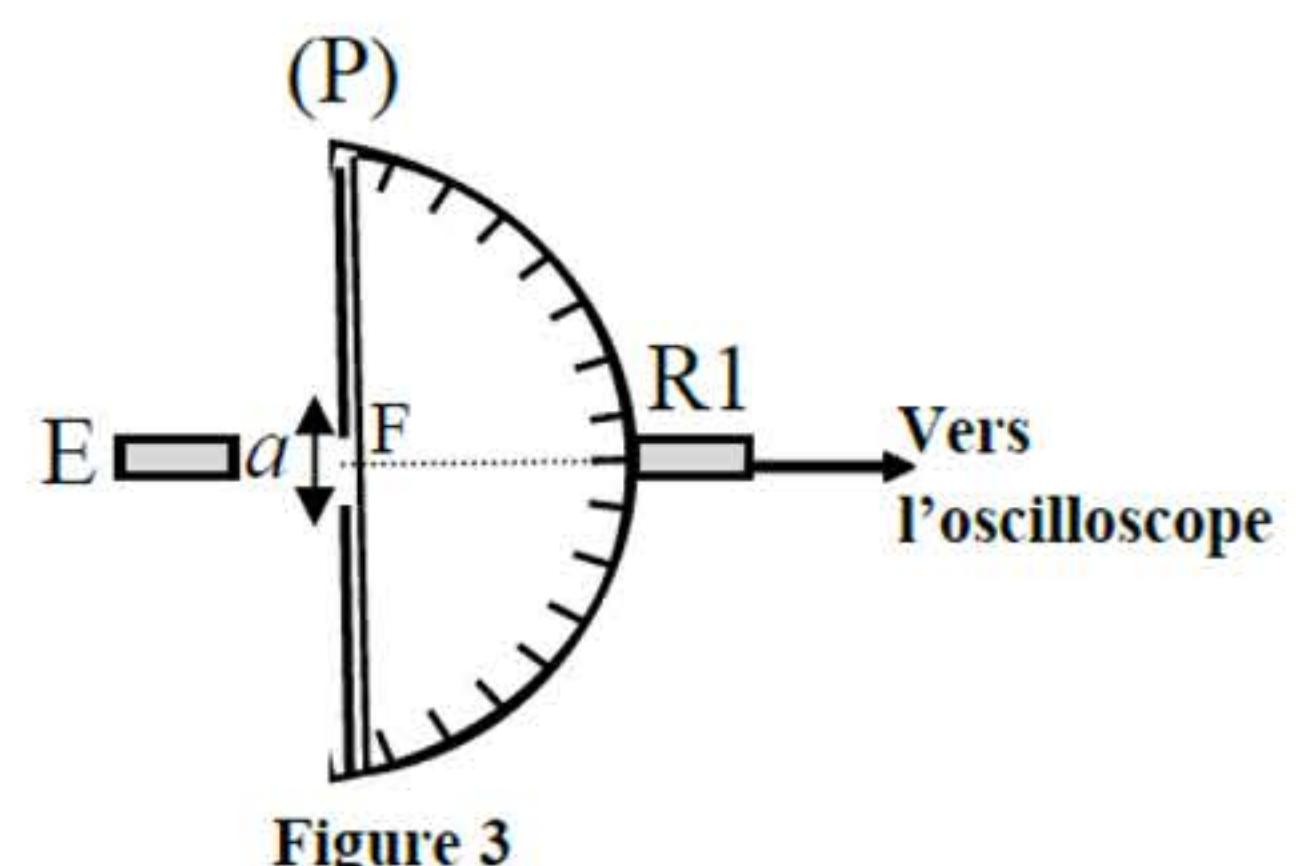
On admet que la vitesse des ondes ultrasonores dans le corps humain est $V_C = 1540\text{m.s}^{-1}$.



3. Diffraction de l'onde ultrasonore dans l'air :

Le schéma expérimental représenté sur la figure 3 comporte :

- L'émetteur E émettant l'onde ultrasonore de fréquence $N = 40\text{kHz}$,
- le récepteur R_1 lié à un oscilloscope,
- une plaque métallique (P) percée d'une fente rectangulaire de largeur a très petite devant sa longueur,
- une feuille graduée permettant de mesurer les angles en degrés.



On déplace le récepteur R_1 dans le plan horizontal d'un angle θ sur l'arc de cercle de centre F et de rayon $r = 40\text{cm}$ et on note pour chaque amplitude U_m de l'onde reçue par R_1 , l'angle θ correspondant.

3.1. Comparer la longueur d'onde de l'onde incidente avec celle de l'onde diffractée.

3.2. On donne $a = 2,6\text{cm}$.

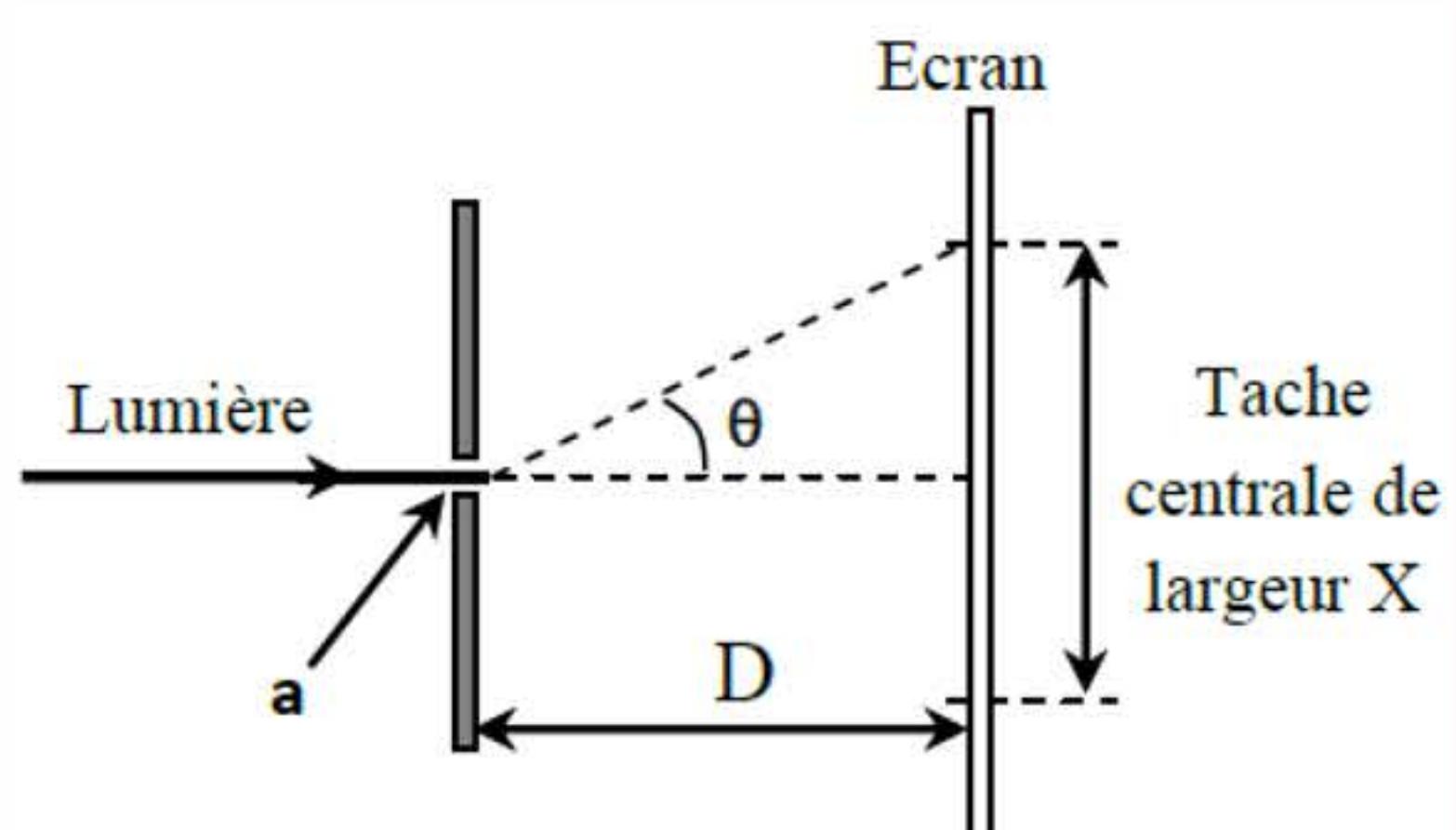
Trouver la distance du déplacement du récepteur pour observer le premier minimum d'amplitude U_m de la tension du récepteur.

Exercice 8 : Diffraction de la lumière

On considère $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ la célérité d'une onde lumineuse dans l'air.

Le schéma de la figure suivante représente un montage expérimental pour l'étude de la diffraction de la lumière.

Une fente de largeur a est éclairée avec une lumière laser rouge, de longueur d'onde $\lambda_1 = 632,8\text{nm}$, puis par une lumière jaune, d'une lampe à mercure, de longueur d'onde λ_2 inconnue. Sur un écran situé à la distance D de la fente, on visualise successivement les figures de diffraction obtenues. En lumière rouge, la tache centrale a une largeur $X_1 = 6,0\text{cm}$ et en lumière jaune une largeur $X_2 = 5,4\text{cm}$.



1. Donner le nombre d'affirmations fausses parmi les affirmations suivantes :

- L'expérience décrite sur la figure met en évidence le phénomène de la dispersion de la lumière.
- Si une onde de longueur d'onde λ passe à travers une fente de largeur $a = \frac{\lambda}{2}$ dans un même milieu, alors sa célérité change.
- Si une onde de longueur d'onde λ passe à travers une fente de largeur $a = \frac{\lambda}{2}$ dans un même milieu, alors sa longueur d'onde est divisée par 2.
- Dans un milieu dispersif, si la longueur d'onde diminue, alors la célérité du signal augmente.

2. On se limite dans le cas de faibles écarts angulaires où $\tan\theta \approx \theta$ avec θ exprimé en radian.

2.1. Donner l'expression permettant de déterminer l'angle θ en utilisant exclusivement les grandeurs présentes sur la figure.

2.2. Montrer que le rapport $\frac{\lambda}{X}$ est constant pour un dispositif expérimental donné et déduire la longueur d'onde λ_2 .

3. Si on réalise la même expérience en utilisant une lumière blanche, on observe une tache centrale blanche et des taches latérales irisées. Interpréter l'aspect de la figure observée.
4. Calculer la longueur d'onde de la lumière rouge du laser utilisé lorsqu'elle se propage dans un milieu d'indice $n = 1,5$ ainsi que sa vitesse de propagation dans ce milieu.

Exercice 9 : Propagation des ondes mécaniques et des ondes électromagnétiques

1. Donner le nombre d'affirmations justes parmi les affirmations suivantes :
 - a. Les ultrasons sont des ondes longitudinales.
 - b. Les ultrasons sont des ondes électromagnétiques.
 - c. La fréquence d'une onde ultrasonore varie en passant de l'air à l'eau.
 - d. Si on double la fréquence d'une onde sinusoïdale dans un milieu non dispersif, alors sa vitesse de propagation est divisée par 2.
2. Recopier sur votre copie le numéro de la question et écrire à côté, parmi les quatre réponses proposées, la réponse juste sans ajouter aucune justification ni explication.
 - 2.1. L'affirmation juste est :
 - Lors de la propagation d'une onde mécanique progressive, il y a transport de la matière.
 - Une onde mécanique à la surface de l'eau peut transporter un objet flottant.
 - Une onde sonore se propage dans le vide.
 - Lors de la diffraction d'une onde mécanique progressive périodique, sa fréquence ne change pas.
 - 2.2. Le son émis par un haut-parleur est une onde :
 - mécanique, longitudinale.
 - électromagnétique, transversale.
 - mécanique, transversale.
 - électromagnétique, longitudinale.
3. Un faisceau laser de fréquence $f_1 = 4,76 \times 10^{14} \text{ Hz}$ éclaire une fente verticale de largeur a . On place un écran E perpendiculairement à la direction du faisceau, à une distance $D = 1,6\text{m}$ de la fente. On observe une figure de diffraction dont la tache centrale a une largeur $\ell_1 = 8\text{cm}$. On donne $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ la célérité d'une onde lumineuse dans l'air et on se limite dans le cas de faibles écarts angulaires où $\tan\theta \approx \theta$ avec θ exprimé en radian.
 - 3.1. Faire le schéma du montage et de la figure de diffraction en faisant apparaître l'écart angulaire θ .
 - 3.2. Trouver la valeur de la largeur a de la fente.
 - 3.3. On change le faisceau laser par une source lumineuse émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde $\lambda_2 = 450\text{nm}$. Comment la largeur de la tache centrale de la figure de diffraction va-t-elle varier ? Justifier la réponse.

Exercice 10 : Nature ondulatoire de la lumière

le caractère ondulatoire de la lumière fut établi au XIX^e par des expériences de diffraction et d'autres expériences montrant, par analogie avec les ondes mécaniques, que la lumière peut être décrite comme une onde.

1. une onde lumineuse est elle une onde mécanique ?

2. Fresnel a exploité le phénomène de diffraction de la lumière par un fil de fer.

Indiquer quel doit être l'ordre de grandeur du diamètre a du fil pour observer le phénomène de diffraction.

3. parmi les affirmations suivantes combien y en a t-il d'exactes ?

a) La lumière est une onde transversale, dont la célérité est la même dans tout milieu transparent.

b) La lumière monochromatique d'un laser est constituée de radiations d'une seule longueur d'onde mais de plusieurs fréquences différents.

c) La dispersion de la lumière blanche par un prisme montre que l'indice de réfraction du milieu varie avec la fréquence.

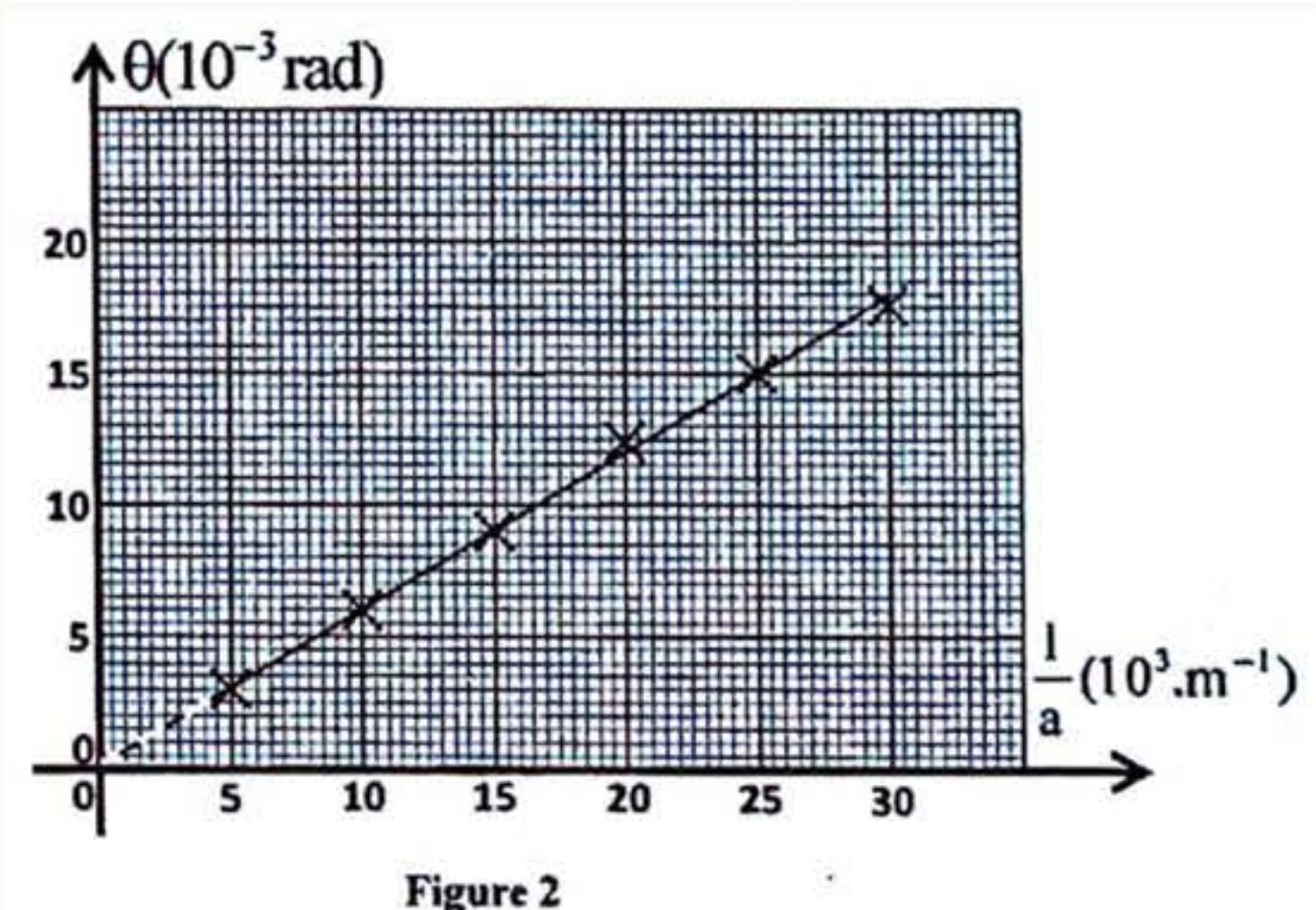
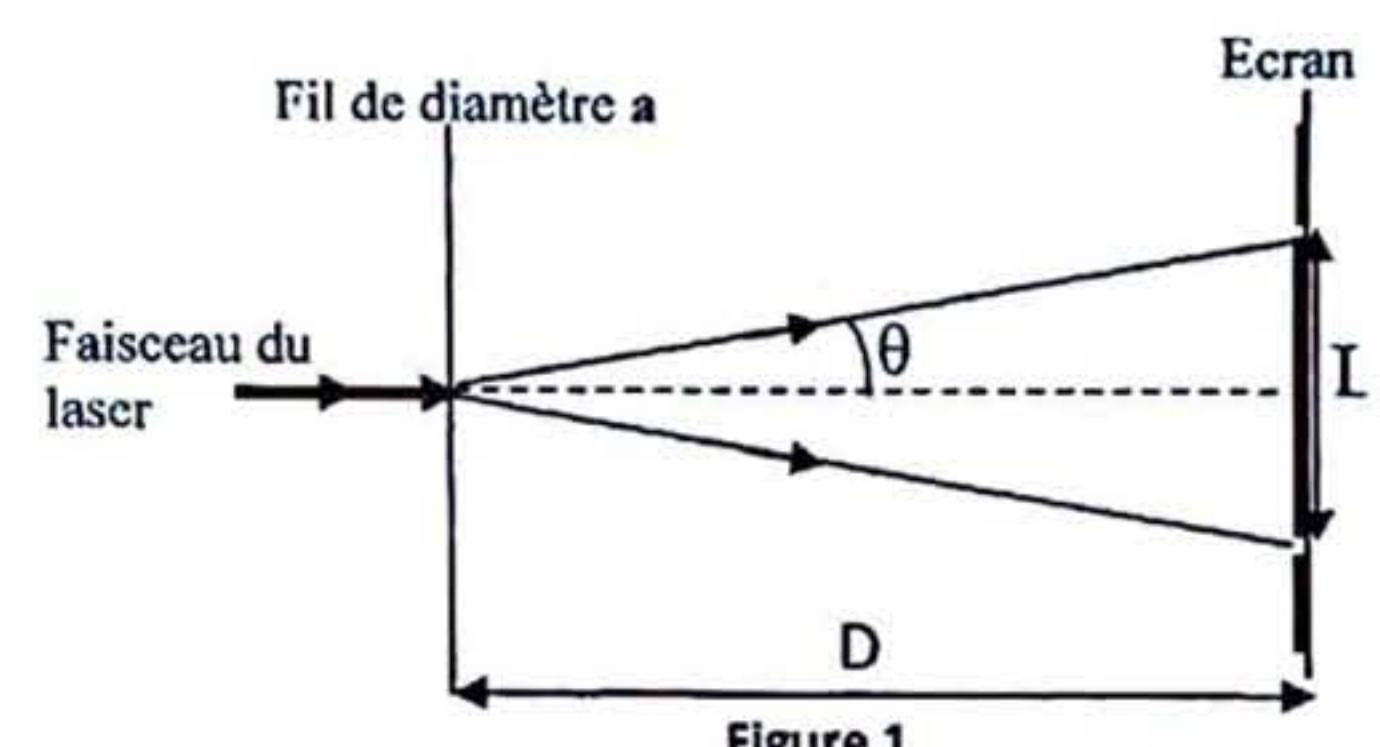
d) Le vide est parfaitement non dispersif.

4. Pour mesurer, par diffraction, la longueur d'onde d'un laser émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde λ on réalise l'expérience de diffraction en utilisant des fils fins (figure 1).

On se limite dans le cas de faibles écarts angulaires où $\tan\theta \approx \theta$ avec θ exprimé en radian.

La figure 1 représente le schéma de diffraction obtenue sur un écran blanc situé à une distance $D = 2,0\text{m}$ des fils. Pour chaque fil de diamètre a , on mesure la longueur L de la tache centrale. A partir de ces mesures et d'autres données on obtient la courbe de la figure 2 représentant les variations de l'écart angulaire θ en fonction de $\frac{1}{a}$:

$$\theta = f\left(\frac{1}{a}\right).$$



4.1. Déterminer graphiquement la longueur d'onde du laser utilisé.

4.2. On place dans le même dispositif expérimental un fil de diamètre a_1 inconnu. La largeur de la tache centrale de diffraction vaut alors $L_1 = 4\text{cm}$. Déterminer a_1

Exercice 1 : Spectre de la lumière blanche

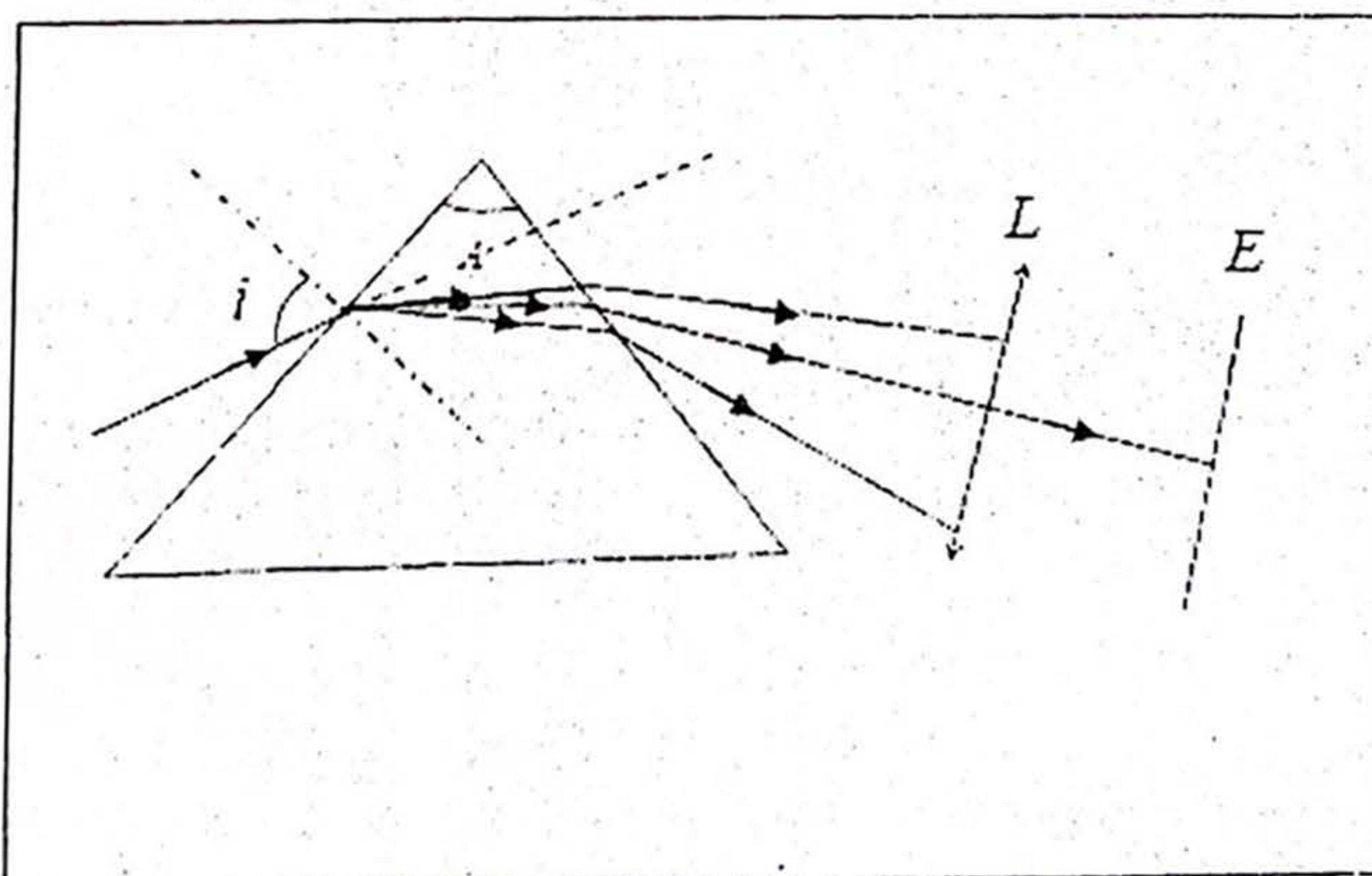
Un faisceau de lumière blanche arrive sur la face d'un prisme, d'angle $A = 60^\circ$ avec un angle d'incidence $i = 55^\circ$. Sur l'autre face du prisme émergent plusieurs rayons lumineux de couleurs différentes.

Données :

L'indice de réfraction de l'air est $n = 1$.

Indice de réfraction de la lumière rouge est $n_R = 1.618$

- 1- Calculer l'angle de déviation D_R de la lumière rouge.
- 2- Sachant que l'angle d'émergence du rayon bleu est $i'_B = i$, calculer l'indice de réfraction n_B de la lumière bleue et l'angle de déviation de cette lumière.
- 3- On place derrière le prisme une lentille convergente de distance focale $f' = 60 \text{ cm}$. L'axe optique de la lentille coïncide avec la direction de la lumière bleue. On met un écran sur le plan focal image de la lentille.
 - a- Représenter, sur un schéma, les angles de déviation D_R , D_B et D_V . on donne $D_V = 52^\circ$.
 - b- Exprimer la distance d entre les points lumineux rouge et violet sur l'écran en fonction de D_R , D_B et D_V ? calculer la distance d .



Exercice 2 :

On dirige, suivant une incidence donnée, un faisceau de lumière blanche sur une goutte d'eau sphérique placée dans l'air. Les traits en pointillé correspondent aux trajets de deux rayons lumineux de couleurs respectives rouge de fréquence $\nu_R = 4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ et bleue de fréquence $\nu_B = 6,7 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$. L'indice de réfraction de l'eau pour la radiation rouge est $n_R = 1,331$ et pour la radiation bleue est $n_B = 1,346$.

On place une lentille mince convergente (L), de distance focale image $f' = 20 \text{ cm}$, derrière la goutte d'eau. L'axe principal de la lentille coïncide avec la direction du trajet (2).

On place un écran dans le plan focal image de la lentille.

- 1- Déterminer la longueur d'onde pour chacune des
- 2- radiations rouge et bleue dans l'eau.
- 3- Identifier la radiation pour chaque trajet (1) et (2).
- 4- Compléter les trajets (1) et (2).
- 5- Quel est le nom du phénomène observé ?
- 6- Déterminer l'angle θ entre les deux radiations émergentes rouge et bleue.
- 7- Calculer la distance d , sur l'écran, entre les deux taches rouge et bleue.

On donne : la célérité de la lumière dans le vide est $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$. $i = 30^\circ$

