

**SESSION 2022****CLASSES DE PREMIERES****SCIENCES PHYSIQUES****THEME : L'OPTIQUE GEOMETRIQUE : une approximation de l'optique ondulatoire**

Les différentes parties A, B, C et D, de l'épreuve sont indépendantes.

TEXTE INTRODUCTIF.

Bien avant le milieu du XVII^{ème} siècle, on supposait que la lumière était constituée de faisceaux de particules. Ces particules seraient émises alors par des sources de lumière telles que le soleil, la flamme d'une bougie ou toute autre source de lumière. Ces particules pouvaient traverser des corps transparents ou être réfléchies par certains corps opaques. Cette idée donnait à la lumière un aspect corpusculaire.

Bien que cette idée fût admise, une autre commençait à germer : celle du caractère ondulatoire de la lumière. C'est ainsi que Christian Huygens (1678) montra que les phénomènes de réflexion, de réfraction et de double réfraction pouvaient être expliqués simplement à partir de la théorie ondulatoire. Ainsi ce caractère de la lumière fût admis.

C'est dans le dernier quart du XIX^{ème} siècle qu'avec les expériences de Thomas Young et Augustin Fresnel, sur les interférences lumineuses, le phénomène de diffraction observée par Grimaldi et l'expérience de Léon Foucault sur la mesure de la célérité de la lumière dans les liquides, on a pu confirmer davantage le caractère ondulatoire de la lumière. Ces expériences sont inexplicables à partir du caractère corpusculaire de la lumière.

La lumière visible ne constitue qu'une faible portion de l'immense gamme des ondes électromagnétiques. Les ondes ou signaux électromagnétiques se propagent dans un milieu matériel ou dans le vide. Tous les signaux électromagnétiques se propagent dans le vide à la célérité $c = 3.10^8 \text{ ms}^{-1}$ et à une vitesse $v \leq c$ dans tout milieu matériel.

Pour un milieu transparent, on définit l'indice de ce milieu par $n = \frac{c}{v}$

L'optique est familièrement identifiée à l'étude des phénomènes lumineux c'est-à-dire à l'ensemble des ondes électromagnétiques auxquelles l'œil normal est sensible. Cependant elle constitue dans une large mesure une branche de la physique qui étudie tout ce qui concerne la lumière et les phénomènes analogues, même lorsque ces phénomènes ne sont pas directement liés à l'humain.

On y distingue l'optique physique dans laquelle on prend compte de la nature physique de la lumière et l'optique géométrique dans laquelle il n'est fait aucune hypothèse concernant la nature de la lumière et s'appuyant sur quelques principes et lois simples utilisant la notion de rayons lumineux. L'optique géométrique a pour but de caractériser la propagation de la lumière en utilisant uniquement des constructions géométriques. Cela revient à négliger le caractère ondulatoire du rayonnement donc à faire tendre la longueur d'onde λ vers 0 ($\lambda \rightarrow 0$). On peut considérer que l'énergie transportée par la lumière se propage suivant des droites appelées rayons lumineux dans un milieu homogène. C'est un cadre qui simplifie la propagation rectiligne de la lumière. Elle s'appuie donc sur des principes fondamentaux basés sur la notion de rayons lumineux. Contrairement à la surface d'onde, base de l'optique ondulatoire, le rayon lumineux n'est pas une réalité physique ; c'est une hypothèse de calcul. Cependant l'optique géométrique fournit des résultats satisfaisants pour un grand nombre de problèmes. Lorsque le phénomène de diffraction devient prépondérant, les prévisions de l'optique géométrique sont en désaccord avec l'expérience.

L'optique géométrique concerne uniquement les milieux homogènes et isotropes, c'est-à-dire des milieux dont les propriétés physiques sont identiques dans toutes les directions.

Les phénomènes étudiés dans l'optique géométrique sont entre autres :

- la marche des rayons lumineux
- la formation d'images dans ou à travers des instruments d'optiques
- les aberrations ou défauts des images.

Chaque fois qu'on utilise, une lentille, une lunette, un microscope, un appareil photographique..., on vérifie les hypothèses fondamentales de l'optique géométrique avec précision d'autant plus grande que l'appareil est parfait.

PARTIE A : Questions sur le texte (05 points)

Lire attentivement le texte ci-dessus puis répondre aux questions suivantes.

A-1 -Citer les deux caractères de la lumière indiqués dans le texte.**A-2** Donner la valeur de la vitesse de propagation de la lumière dans le vide et la formule donnant l'indice de réfraction d'un milieu transparent.**A-3** -Comment se propage la lumière dans le cadre de l'optique géométrique ?**A-4** - Quels sont les milieux concernés par l'étude de l'optique géométrique ?**A-5** - Citer deux phénomènes étudiés dans le cadre de l'optique géométrique.

.../... 2

CLASSES DE PREMIERES

PARTIE B Formation des ombres (28 points)

L'optique géométrique caractérise la propagation de la lumière en utilisant uniquement des constructions géométriques.

B-1- Mesure de la hauteur d'une tour.

B-1-1- Pour mesurer la hauteur $H = AB$ d'une tour verticale, on plante verticalement un piquet de hauteur $h = A'B'$ et on mesure les longueurs L et ℓ des ombres de la tour et du piquet. Le sol est supposé horizontal.

B-1-1-1- La tour et le piquet sont opaques et éclairés par le soleil. On considère que les rayons de soleil sont parallèles (figure 1a)

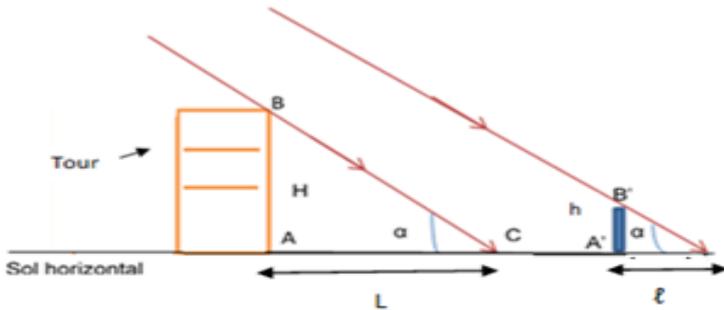


Figure 1a

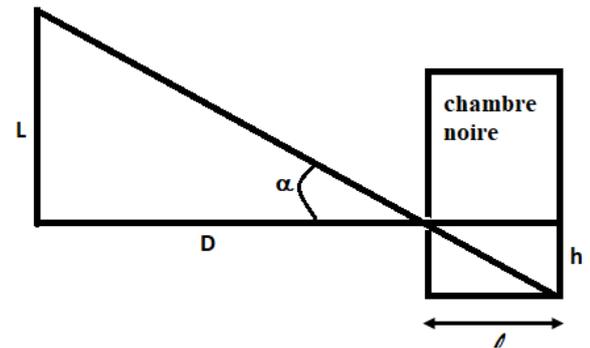


Figure 1 b

Etablir les relations entre H , h , ℓ et L .

L : longueur de l'ombre de la tour, ℓ : longueur de l'ombre du piquet

B-1-1-2- Calculer la hauteur H de la tour avec les données suivantes : $h = 1$ m, $L = 15$ m et $\ell = 0,5$ m ; Donner une application ancienne faite par les hommes à partir de ce procédé.

B-1-1-3- A quelle distance d'un palmier de 15 m de hauteur doit se placer un observateur avec une chambre noire pour obtenir une reproduction de 10 cm de hauteur ? La profondeur de la chambre est 20 cm. (figure 1b)

B-2- L'angle entre deux rayons solaires

On donne rayon du soleil $R_s = 6,91 \cdot 10^8$ m , Rayon de la terre $R_T = 6,38 \cdot 10^6$ m et distance moyenne $d = 1,50 \cdot 10^{11}$ m.

B-2-1- Montrer que l'angle que font deux rayons lumineux, venant du soleil et arrivant sur la terre (Figure 2) est inférieur à un degré. On négligera le phénomène de réfraction dû à l'atmosphère. AB et CD sont respectivement les diamètres du soleil et de la terre et de directions parallèles.

B-2-2- Calculer la valeur maximale de l'angle entre deux rayons qui, venant du soleil arrivent en un même point de la terre (Figure 3).

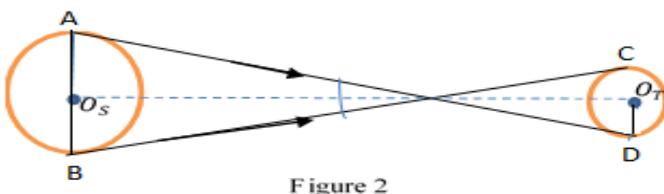


Figure 2

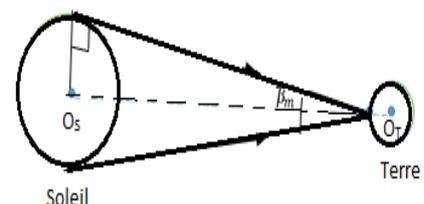


Figure 3

CLASSES DE PREMIERES

PARTIE C Réflexion et réfraction de la lumière (52 points)

C-1- On considère un rayon lumineux se propageant du milieu ① au milieu ② séparé par un dioptre (figure 4).

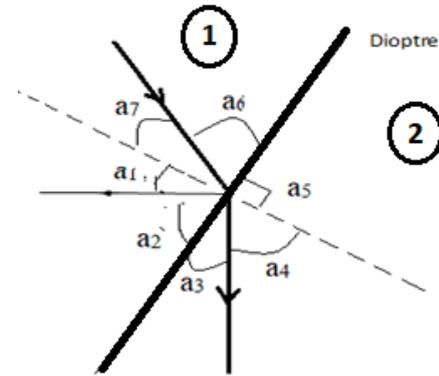


Figure 4

C-1-1- Reproduire le schéma et l'annoter en indiquant clairement les rayons incident, réfléchi, réfracté et les angles d'incidence, de réfraction et de réflexion.

C-1-2- Rappeler les lois de Descartes relatives à la réflexion et à la réfraction.

C-1-3- A partir du schéma proposé lequel de ces deux milieux a l'indice le plus grand ; on désignera par n_1 et n_2 les indices de réfraction des milieux ① et ② respectivement.

C-2 Réfraction de la lumière

La réfraction est la modification de la direction de propagation qui accompagne le passage d'une onde d'un milieu à un autre.

Dans une expérience sur la réfraction la lumière passe de l'air d'indice ($n_1=1$) au verre d'indice n_2 qu'on notera n .

En désignant respectivement par i_1 et i_2 les angles d'incidence et de réfraction, on a obtenu le tableau de mesures ci-dessous (Tableau 1):

| | | | | | | | | |
|-----------------------------|----|------|------|------|----|------|----|----|
| i_1 (°) | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 |
| i_2 (°) | 13 | 19,5 | 25,5 | 30,5 | 35 | 38,5 | 41 | 42 |
| $\frac{\sin i_1}{\sin i_2}$ | | | | | | | | |

Tableau1

C-2-1 Compléter le tableau et en déduire la valeur n de l'indice du verre.

C-2-2 Dans une deuxième expérience, on fait passer la lumière du verre à l'air on donne aux angles d'incidence i_1 les valeurs consignées dans le tableau ci-après (Tableau2) ; i_2 est l'angle de réfraction.

| | | | | | | | | |
|-----------|----|------|------|------|----|------|----|----|
| i_1 (°) | 13 | 19,5 | 25,5 | 30,5 | 35 | 38,5 | 41 | 42 |
| i_2 (°) | | | | | | | | |

Tableau 2

C-2-2-1 Compléter le tableau 2 en calculant i_2

C-2-2-2 Que se passe-t-il si on donne à i_1 des valeurs supérieurs à 42° ? comment appelle-t-on ce phénomène physique ?

C-3- Phénomènes de réfraction - détermination de l'indice de réfraction d'un milieu.

Une cuve parallélépipédique de profondeur $h = 8$ cm, placée dans l'air d'indice $n_0 = 1,00$, est remplie d'eau d'indice $n_e = 1,33$. Un faisceau lumineux frappe la surface libre de l'eau en un point I et arrive au fond de la cuve en un point H situé à une distance $d = 3$ cm de la verticale du point d'incidence I. (figure 5)

C-3-1-- Exprimer l'angle de réfraction en I en fonction des distances h et d .

C-3-2-- On se propose de mesurer l'indice de réfraction n d'un liquide L. Pour cela, on remplace l'eau de la cuve par le liquide L et on éclaire la surface libre du liquide avec la même radiation que précédemment. On constate que pour éclairer le fond à 3 cm de la verticale du point d'incidence, il faut un angle d'incidence $i_1 = 31^\circ$. Donner l'expression de l'indice n du liquide en fonction de n_0, h, d et i_1 . Calculer l'indice de réfraction n du liquide L.

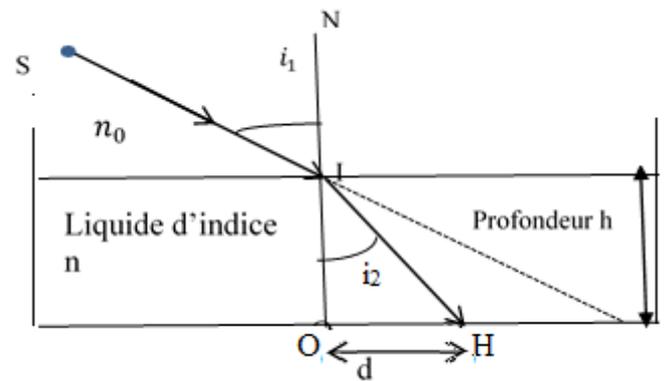


Figure 5

C- 4- Construction de la marche d'un rayon lumineux

C-4-1-Un rayon lumineux pénètre en P dans un bloc en plastique transparent d'indice n (Figure 6) et de forme cubique placé dans l'air. P est le milieu de l'une des faces du cube de côté a. On prendra la célérité de la lumière dans le vide $c = 2,998.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ et on assimilera l'air au vide d'indice $n_0 = 1$.

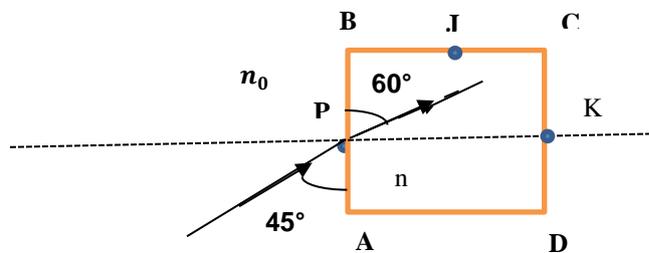


Figure 6

Reproduire le schéma , indiquer les angles d'incidence i et de réfraction i' et donner leurs valeurs .

C-4-2-Déterminer l'indice n de ce plastique et en déduire si ce plastique est plus ou moins réfringent que l'air. Le schéma donné le justifie –t-il ?

C-4-3-Déterminer la valeur de la vitesse de la lumière dans ce plastique.

C-4-4-Déterminer la valeur i_0 de l'angle d'incidence i pour que le rayon passe par le point C sommet du cube.

C-4-5- Pour $i > i_0$ le rayon réfracté en P arrive sur la face BC au point J milieu de BC. Retrouver la valeur limite α_L de l'angle d'incidence en J pour qu'en ce point il se produit une émergence rasante. En déduire l'angle d'incidence i_L en P correspondant.

C-4-6-On suppose maintenant que le rayon réfracté en P subit une réflexion totale en J ($i_0 < i < \frac{\pi}{2}$) puis émerge par la face CD au point K milieu de CD. Construire la marche du rayon dans le cube puis la valeur de l'angle de déviation D du rayon lumineux après sa sortie du cube.

C-5- Le prisme de réfraction

Un prisme d'angle au sommet A, constitué par un matériau transparent, homogène, isotrope, d'indice de réfraction n est placé dans l'air d'indice n_0 . Voir figure ci-dessous (Figure7)

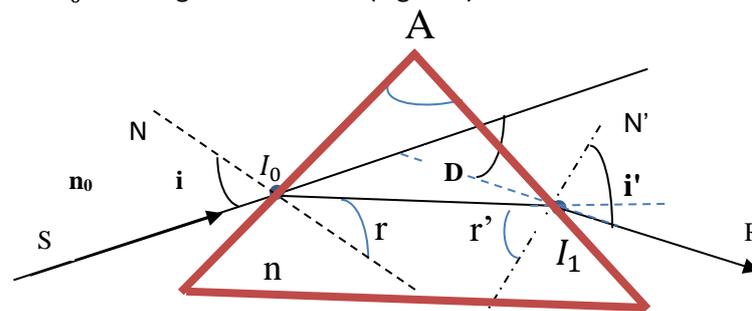


Figure7

CLASSES DE PREMIERES

C-5-1-Les relations caractéristiques du prisme

On se propose d'établir les relations caractéristiques du prisme

En utilisant les angles d'incidence i , de réfraction r au point I_0 , d'incidence r' et de réfraction i' au point I_1 :

C-5-1-1- Exprimer la deuxième loi de Descartes pour la réfraction en I_0 puis en I_1 .

C-5-1-2- Etablir la relation de l'angle A au sommet du prisme en fonction des angles r et r' .

C-5-1-3- Exprimer la déviation D du rayon émergent par rapport au rayon incident (SI_0) en fonction de i , i' et A

C-5-2- Minimum de déviation

On peut montrer expérimentalement et théoriquement que lorsqu'on fait varier l'angle d'incidence i en lumière monochromatique le minimum de déviation, noté D_m , se produit lorsque $i = i'$

C-5-2-1- Montrer que le minimum de déviation $D_m = 2i - A$

C-5-2-2- En déduire l'expression de l'indice n du prisme en fonction en n_0 , A , et D_m . On utilisera les relations caractéristiques du prisme établies en **C-5-1-1** et **C-5-1-2**

C-5-3- Décomposition de la lumière par un prisme

Le prisme d'un appareil de spectroscopie a un angle au sommet A de 60° et est placé dans l'air dont l'indice sera pris comme $n_0 = 1$. L'indice du prisme pour la lumière jaune du sodium est $n_j = 1,751$.

C-5-3-1- Calculer l'angle d'incidence i ainsi que le minimum de déviation D_m lui correspondant.

C-5-3-2- On fait arriver sous cette incidence i la lumière d'un tube à hydrogène formée d'une radiation rouge et d'une radiation bleue pour lesquelles les indices de réfraction sont respectivement $n_R = 1,742$ et $n_B = 1,769$. Calculer l'angle que font à la sortie du prisme les rayons rouge et bleu.

C-5-3-3 On envoie maintenant sous cette incidence i un pinceau de lumière blanche, interpréter ce qu'on pourrait observer à la sortie du prisme. Comment appelle-t-on ce phénomène ?

PARTIE D Formation des images en optique géométrique (15 points) :

Une des applications de l'optique géométrique est la formation d'images à travers des instruments d'optique ou un système formé de plusieurs instruments. Le rôle de ces instruments est de fournir des représentations, appelées images, pour des ensembles de points lumineux appelés objets.

Ces instruments d'optique sont constitués d'un certain nombre de milieux transparents en général homogènes et isotropes séparés par des surfaces réfractantes (dioptries) ou réfléchissantes (miroirs). Les systèmes utilisés sont souvent centrés, c'est-à-dire qu'ils possèdent un axe de symétrie. Nous nous limiterons au système constitué de lentilles convergentes.

D-1-Marche de rayons lumineux à travers une lentille

Une lentille convergente donne d'un objet AB une image $A'B'$. La construction de $A'B'$ a été faite à l'aide de trois rayons particuliers.

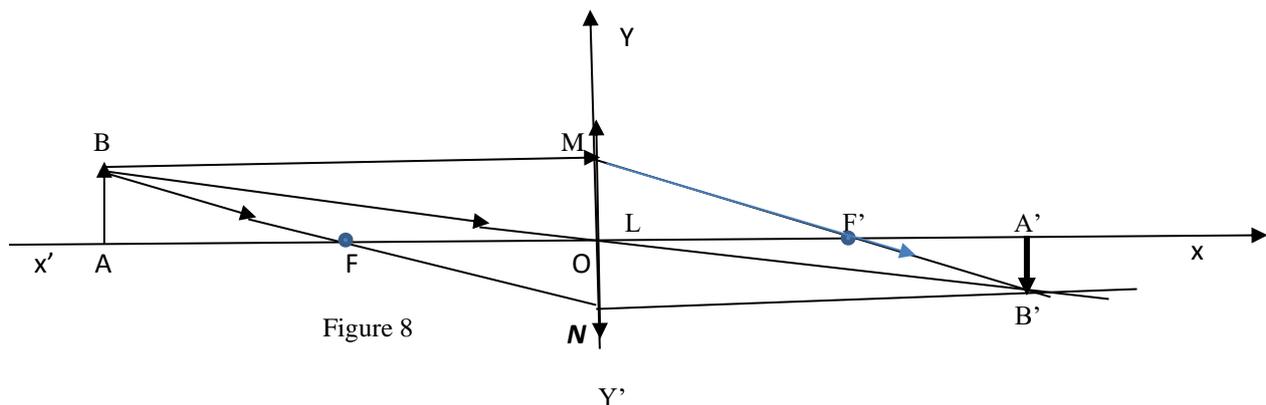


Figure 8

D-1-1 – La lentille L , est symbolisée par $\begin{matrix} \updownarrow \\ \updownarrow \end{matrix}$, Comment appelle-t-on les points O , F et F' , l'axe $x'x$?

- Caractériser les plans passant par F et F'

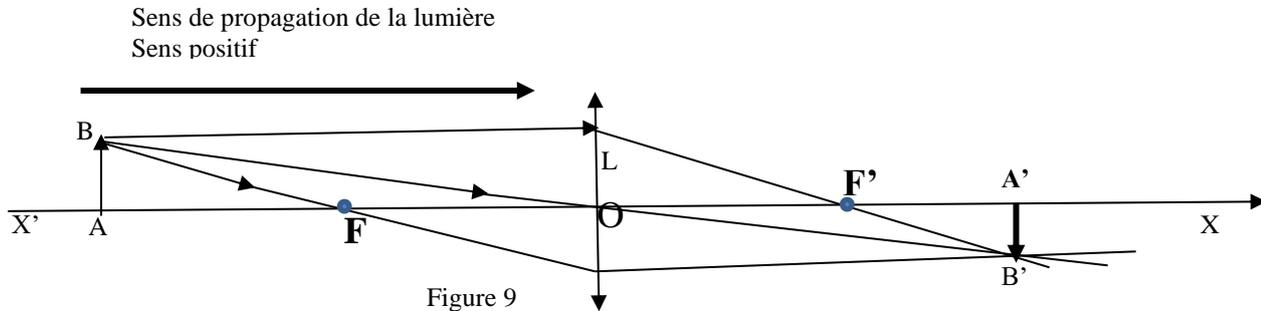
D-1-2- Expliquer la construction des trois rayons $BMF'B'$, BOB' et $BFNB'$

CLASSES DE PREMIERES

D-2-Exercice à caractère expérimental

D-2-1-Formule de conjugaison des lentilles minces – Vergence d'une lentille.

Une lentille convergente donne d'un objet AB une image A'B'. La construction de A'B' a été faite à l'aide de trois rayons particuliers



L'axe x'Ox est orienté dans le sens positif suivant le sens de propagation de la lumière.

la relation ou formule de conjugaison est : $\frac{1}{OA'} - \frac{1}{OA} = \frac{1}{OF'} = C$ (vergence)

Elle est établie dans le cadre de l'approximation de l'optique géométrique. Elle permet de déterminer la position de l'image ($\overline{OA'}$) par rapport à la position de l'objet \overline{OA} et la distance focale $\overline{OF'}$

Donner l'unité de la vergence C dans le système international (SI) ainsi que le symbole correspondant.

D-2-2- Détermination expérimentale de la vergence d'une lentille

On se propose de vérifier expérimentalement la vergence d'une lentille et de comparer la valeur obtenue avec celle indiquée par le fabricant sur la monture de la lentille.

On dispose pour cela :

- D'un banc d'optique sur lequel vont se glisser les différents appareils ;
- D'une lanterne éclairant une plaque dans laquelle on a découpé une flèche (cette flèche servira d'objet lumineux pour la lentille) ;
- D'un support pour la lentille étudiée ;
- D'un support pour un écran.

Les positions de l'objet lumineux, de la lentille, de l'écran peuvent être repérées, par index, sur une règle solidaire au banc.

L'objet AB et la lentille sont perpendiculaires au banc et le point A appartient à l'axe optique de la lentille.

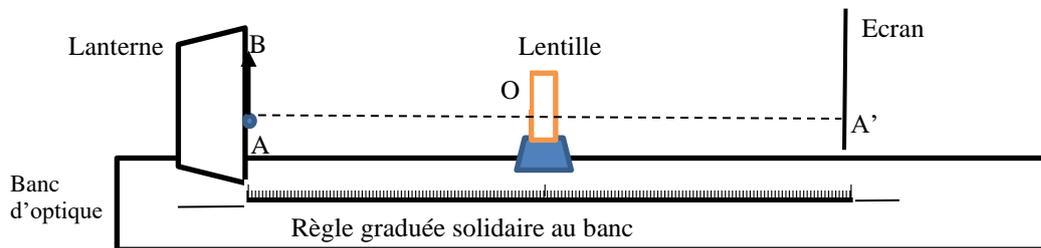


Figure 10

L'objet AB, la lentille et l'écran sont disposés sur le banc d'optique. On mesure $\overline{OA} = p$ et $\overline{OA'} = p'$ quand l'image est nette.

D-2-2-1- On constate, en nettoyant la lentille, qu'elle est plus épaisse au centre que sur ses bords. Quelle conclusion peut-on tirer sur la nature de cette lentille ? Pourquoi est-il commode d'utiliser un banc d'optique ?

D-2-2-2- La lentille est placée dans une position déterminée puis on déplace l'écran pour obtenir une image nette. On réalise plusieurs mesures consignées dans le tableau 3.

.../... 7

CLASSES DE PREMIERES

| | | | | | | | | | |
|---|------|------|----|----|----|----|------|------|----|
| \overline{AO} (cm) | 13,5 | 14,5 | 16 | 18 | 20 | 25 | 30 | 40 | 60 |
| $\overline{AA'}$ (cm) | 159 | 98 | 69 | 58 | 53 | 50 | 51,6 | 58,5 | 76 |
| \overline{OA} (m) | | | | | | | | | |
| $\overline{OA'}$ (m) | | | | | | | | | |
| $\frac{1}{\overline{OA}}$ (m^{-1}) | | | | | | | | | |
| $\frac{1}{\overline{OA'}}$ (m^{-1}) | | | | | | | | | |

Tableau 3

D-2-2-2-1- Compléter le tableau 3 en prenant comme sens positif de l'axe optique le sens de propagation de la lumière.

D-2-2-2-2- Représenter graphiquement $\frac{1}{\overline{OA'}} (m^{-1}) = g \left(\frac{1}{\overline{OA}} (m^{-1}) \right)$; on pourra poser $\frac{1}{\overline{OA}} = y$ et

$$\frac{1}{\overline{OA}} = X$$

Avec l'échelle 1cm pour 1 m^{-1}

D-2-2-2-3- Montrer que cette courbe vérifie la formule de conjugaison des lentilles convergentes

- En déduire la vergence et la distance focale de cette lentille
- Le résultat obtenu est-il en accord avec le nombre +8 sur la monture de cette lentille ?

D-3- Application des lentilles

Les applications des lentilles sont nombreuses :

la loupe, les projecteurs de diapositives ou de cinéma, les verres correcteurs, ... Ces systèmes sont

formés de plusieurs lentilles mais nous considérons ici pour simplifier que le système étudié est formé d'une seule lentille.

On réalise un appareil photographique avec une boîte percée de trous devant laquelle peut coulisser une lentille mince convergente, de vergence 20 dioptries. Lorsque la mise au point est convenable, l'image se trouve dans le plan du film.

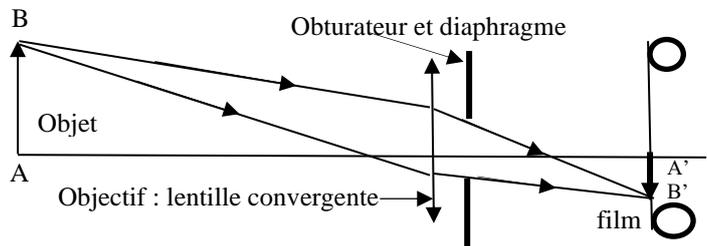


Figure 11
Principe d'un appareil photographique PARTIE D

D-3-1- On photographie un objet situé à l'infini : en pratique cela signifie qu'il se trouve assez loin de l'appareil (au-delà de 10 m). Quelle est la distance entre la lentille et le plan du film pour avoir une photographie nette ?

D-3-2- On veut photographier un objet placé à 1 m de la lentille.

D-3-2-1- Faire un schéma montrant la formation de l'image et calculer la position de celle-ci par rapport à la lentille.

D-3-2-2- Pour que la photographie soit nette, il faut déplacer la lentille d'une longueur x. Déterminer la valeur de x.

D-3-3- Jusqu'à quelle distance minimale peut-on prendre des photographies nettes si la lentille peut coulisser de 6 mm ?

D-3-4- On photographie maintenant une personne de hauteur 1,80 m placée à 2 m de la lentille. Quelle est la taille de cette personne sur la photographie ?

FIN DU SUJET