

# TD 04 | O3- Lentilles minces dans les conditions de Gauss

	I	II	III	IV	V	VI
Combiner plusieurs éléments		✓	✓			✓
Gerer des calculs		✓		✓		✓
Faire preuve de sens physique			✓		✓	
Analyser un schéma					✓	
Appliquer une relation de conjugaison	✓	✓	✓	✓		✓
Réaliser un schéma	✓	✓	✓	✓		✓
Etudier un instrument d'optique			✓			

## I Construction d'images (★)

On considère les 7 configurations suivantes :

- (a) Lentille convergente de centre optique  $O$ ,  $\overline{OA} = -0.5f'$ ,
- (b) Lentille divergente,  $AB$  situé dans le plan focal objet de la lentille,
- (c) Lentille convergente de centre optique  $O$ ,  $\overline{OA} = -3f'$ ,
- (d) Lentille divergente de centre optique  $O$ ,  $\overline{OA} = f'$ ,
- (e) Lentille convergente,  $\overline{OA} = 2f'$ ,
- (f) Lentille divergente de centre optique  $O$ ,  $\overline{OA} = -3f'$ ,
- (g) Lentille divergente de centre optique  $O$ ,  $\overline{OA} = -0.5f'$ .

Pour chacune de ces configurations et en utilisant le site suivant : [https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/lentilles/lentille\\_mince.php](https://phyanim.sciences.univ-nantes.fr/optiqueGeo/lentilles/lentille_mince.php),

1. Trouver graphiquement, dans le cadre de l'approximation de Gauss, l'image  $A'B'$  d'un objet  $AB$  étendu, perpendiculaire à l'axe.
2. Pour chacun des cas, vérifier le résultat en utilisant les relations de conjugaison de Descartes.
3. Pour chaque cas, préciser si l'objet et l'image sont réels ou virtuels.

## II Correction d'un Oeil myope (★)

Un individu *myope* a son punctum remotum  $P_R$  à  $p = 11$  cm de son oeil (Il est placé à l'infini pour un oeil non myope). La distance cristallin-rétine de cet oeil vaut  $d = 2,5$  cm. Le point au centre du cristallin est noté  $O$ .

1. Quel est la distance focale  $f'$  de son cristallin lorsqu'il est au repos? Comparer avec la distance focale d'un oeil emmétrope (sans défaut visuel) au repos.
2. (★★)Cet individu consulte son opticien qui lui propose des lunettes qui seront portées à  $e = 1$  cm de son cristallin, au point  $L$ . Quelle doit être leurs focale  $f''$ ?

## III Etude d'une lunette astronomique (★)

On représente une lunette astronomique par deux lentilles minces convergentes : l'objectif ( $L_1$ ) de distance focale  $f'_1 = 80$  cm, et l'oculaire ( $L_2$ ) de distance focale  $f'_2 = 6,0$  mm. La lunette est réglée à l'infini, c'est-à-dire qu'elle donne d'un objet à l'infini une image à l'infini.

1. Déterminez la distance  $h$  entre ( $L_1$ ) et ( $L_2$ ). Quel est l'intérêt de cette lunette pour l'utilisateur ?
2. Représentez sur un schéma (sans respecter l'échelle) la trajectoire d'un rayon arrivant sur l'objectif avec un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe optique. On note  $\alpha'$  l'angle sous lequel il émerge du système.
3. Déterminez le grossissement angulaire  $G = \frac{\alpha'}{\alpha}$  de la lunette en fonction de  $f'_1$  et  $f'_2$ .
4. On estime à  $30^\circ$  l'angle maximal sous lequel l'observateur peut voir l'image. L'observateur peut-il voir Mars en entier dans la lunette? Même question pour la Lune.  
*Données : distance Terre-Mars  $D_{TM} = 7,0 \times 10^7$  km, diamètre de Mars  $d_M = 6800$  km ; distance Terre-Lune  $D_{TL} = 3,8 \times 10^5$  km, diamètre de la Lune  $d_L = 3400$  km.*

Tous les rayons incidents qui pénètrent dans l'objectif de la lunette donnent des rayons émergents passant à l'intérieur d'un cercle appelé **cercle oculaire**. Le cercle oculaire est donc l'image par l'oculaire de la monture de l'objectif.

5. (★★)Quelle est la position  $x$  du cercle oculaire par rapport à l'oculaire?
6. (★★)Déterminez la relation entre le diamètre  $d$  du cercle oculaire et le diamètre  $D$  de l'objectif.
7. (★★)Où faut-il placer l'œil pour avoir une observation optimale?

## IV Focométrie par les méthodes de Bessel et Silberman (★★)

Un objet lumineux  $AB$  est placé à une distance  $D$  fixe d'un écran. On intercale entre les deux une lentille convergente de distance focale  $f'$  à la position  $x = \overline{AO}$ .

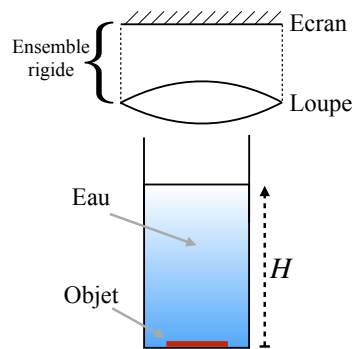
1. Montrez que selon la valeur de  $D$  il existe une, deux ou aucune position de la lentille pour laquelle l'image de l'objet se trouve sur l'écran.
2. On se place dans le cas de Bessel, pour lequel il existe deux positions  $x_1 = \overline{AO_1}$  et  $x_2 = \overline{AO_2}$  de la lentille pour que l'image de l'objet se trouve sur l'écran. Exprimez  $x_1$  et  $x_2$  en fonction de  $D$  et  $f'$ .
3. Déduisez en la relation entre la distance focale  $f'$  et la distance  $a$  entre les deux positions  $x_1$  et  $x_2$ .

- Déterminez le grandissement  $\gamma_1$  pour la position  $x_1$  et le grandissement  $\gamma_2$  pour la position  $x_2$ . Commenter.
- Déterminez, dans le cas de Silberman pour lequel il n'existe qu'une seule position possible pour la lentille, la relation entre  $f'$  et  $D$ .
- Que vaut alors le grandissement  $\gamma$ ?
- On peut appliquer ces deux cas à la détermination de la distance focale d'une lentille convergente. Est-ce possible pour une lentille divergente?

## V Mesure d'un indice de réfraction (★★)

Au moyen d'une loupe, on forme sur un écran l'image réelle d'un objet réel plan déposé au fond d'une éprouvette graduée, initialement vide de tout liquide.

On remplit ensuite l'éprouvette d'une hauteur  $H$  de liquide : l'image apparaît alors floue. La loupe et l'écran étant solidaires, on rétablit une image nette en effectuant un déplacement de l'ensemble d'une distance  $h$ .



- On considère un point objet  $A$  au centre de la pièce. Identifier à l'aide d'une construction graphique la position de son image  $A'$  pour le dioptre plan eau/air.
- Pourquoi faut-il déplacer alors la loupe pour retrouver une image nette? Dans quel sens faut-il la déplacer?
- De combien faut-il déplacer la loupe si on remplit l'éprouvette d'une hauteur  $H = 20\text{ cm}$  d'eau, sachant que l'indice de l'eau vaut  $n = 1,33$ ?
- On remplit maintenant l'éprouvette avec de l'éthanol pur, toujours sur une hauteur  $H = 20\text{ cm}$ . Sachant que l'on doit déplacer la loupe de  $h = 53,0\text{ mm}$ , déterminez l'indice optique de l'éthanol.

## VI Réalisation d'un achromat (★★★)

Les verres utilisés pour la réalisation sont sujet au phénomène de dispersion (l'indice du milieu dépend de la longueur d'onde dans le vide de la radiation). Cela conduit à l'apparition d'aberrations chromatiques lorsque le système optique est éclairé en lumière polychromatique.

On dispose alors de deux lentilles minces réalisés dans des matériaux dont les indices de réfraction  $n$  sont donnés dans le tableau suivant :

Radiation	$\lambda_0\text{ (nm)}$	Crown B. 1884	Flint C. 8132
$a$	656,3	1,5155	1,6748
$b$	587,6	1,5180	1,6810
$c$	486,1	1,5236	1,6961

Dans le Crown B. 1884, on réalise une lentille biconvexe de diamètre  $D = 8,0\text{ cm}$  dont les rayons de courbures sont  $R_{1,g} = 0,30\text{ m}$  pour la face de gauche et  $R_{1,d} = 2,02\text{ m}$  pour la face de droite. La vergence d'une lentille en fonction des rayons est donnée par la relation suivante :

$$V = (n - 1) \left( \frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_d} \right)$$

- Quelle est la distance focale de cette lentille pour les trois longueurs d'ondes proposées? On notera en particulier  $f'_{1,b}$  la distance focale obtenue pour  $\lambda_0 = 587,6\text{ nm}$ .
- Un faisceau de lumière blanche, cylindrique, parallèle à l'axe optique de la lentille, recouvre toute la face d'entrée de cette dernière. L'intersection par un plan perpendiculaire à l'axe optique du faisceau émergent est, au voisinage du foyer image  $f'_{1,b}$ , un cercle irisé. Évaluer la valeur  $\rho$  du rayon de ce cercle ( $\rho$  est l'aberration chromatique principale transversale).
- Afin de minimiser ce phénomène, on souhaite réaliser une lentille à l'aide d'un doublet constitué de deux lentilles minces  $L_1$  (en Crown B. 1884) et  $L_2$  (en Flint C. 8132) accolées. Pour cela, on se fixe comme objectif de faire se coïncider les foyers images du doublet pour les deux longueurs d'ondes extrémales  $\lambda_a$  et  $\lambda_c$ .
- Calculer la distance focale  $f'_{2,b}$  de  $L_2$  (toujours à  $587,6\text{ nm}$ ) et la distance focale image  $f'_b$  du doublet résultant permettant de respecter les conditions précédentes. En déduire que  $L_2$  est divergente;
- Les faces des lentilles en contact on le même rayon de courbure (en valeur absolue), soit  $|R_{1,d}| = |R_{2,g}| = 2,02\text{ m}$ . Calculer le rayon de courbure de l'autre face de  $L_2$  :  $R_{2,d}$ . Attention, le rayon de courbure sera compté négativement pour une face concave.

### Astuces :

- E2 Q1 : Pensez à réaliser un schéma puis à utiliser une relation de conjugaison.
- E3 Q5 : On doit trouver  $x = \frac{f'_2(f'_1 + f'_2)}{f'_1}$
- E5 Q3 : Cette fois ci, le système loupe + écran doit faire l'image de l'image de la pièce par rapport au dioptre air/eau, qui n'est pas à la même position que la pièce elle même.  $h = H - \frac{H}{n} \approx 5\text{ cm}$
- E6 Q2 : il convient de réaliser un schéma et de tracer les rayons extrémaux associés aux trois couleurs. Au niveau de  $f'_{1,b}$ , les radiations extrémales ne vont pas converger et former des tâches circulaires.  $\rho$  sera donc le rayon de la plus grande tache.
- E6 Q3 : On trouve  $f'_{2,b} \approx -1\text{ m}$  puis  $f'_b \approx 1\text{ m}$ .