UNIVERSITE PAUL SABATIER - L1 - SFA

Physique 3

Optique Géométrique

Fascicule de TD

2ème semestre 2011-2012

Optique Géométrique

Fascicule de TD

Programme :

– Thème 1 : Du Principe de Fermat aux Lois de Snell-Descartes
– Thème 2 : Lois de Snell-Descartes. Applications au prisme et à la fibre optique
– Thème 3 : Dioptre plan
– Thème 4 : Dioptre sphérique
– Thème 5 : Lentilles minces
– Thème 6 : L'oeil et ses défauts
– Thème 7 : Instruments d'optique
– Thème 8 : Miroirs

Références bibliographiques conseillées :

– Optique. Fondements et Applications de J.P. Pérez. Editions Dunod
– Cours de Physique - Optique de J.P. Parisot, P. Segonds et S. Le Boiteux. Editions Dunod Sciences Sup.

UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

Optique Géométrique

Thème 1 - Du Principe de Fermat aux Lois de Snell-Descartes (∼ 1h30)

1 Principe de Fermat et dioptre plan

Soit un repère $R = (O, x, y, z)$ dont le plan xOy constitue la surface de séparation entre deux milieux 1 et 2, homogènes et isotropes, dans lesquels la lumière se propage respectivement avec les vitesses v_1 et v_2. Un rayon lumineux issu du point $A_1(0, 0, z_1)$ du milieu 1 atteint le point $A_2(x_2, 0, z_2)$ du milieu 2.

1. Déterminer, dans le plan xOy, la position du point M où la lumière franchit la surface de séparation des deux milieux. Quelles conclusions peut-on tirer de ce résultat ?
2. Application : Un promeneur marche sur une plage à la limite du sable et de l'eau. En un point O de son parcours, il aperçoit un baigneur en détresse en un point A dans l'eau. Déterminer en quel point M de la plage le promeneur devra se mettre à l'eau s'il veut secourir le baigneur le plus rapidement possible, sachant que le promeneur court trois fois plus vite qu'il ne nage.

2 Construction graphique de Descartes

En utilisant la construction graphique de Descartes, tracer le rayon réfracté à la traversée d'un dioptre plan séparant le milieu incident d'indice 1,5 du milieu émergent d'indice 1,33. On considèrera les deux angles d'incidence suivants :
– a) $i = 30^\circ$.
– b) $i = 65^\circ$.
Travail Personnel : Reprendre les questions précédentes avec l'air comme milieu d'incidence.

3 Réfractomètre

On considère un prisme de verre d'indice $n = 1{,}6$ ayant la forme d'un triangle équilatéral ABC (cf. figure 1). On dépose sur la face supérieure AC une goutte de liquide d'indice N que l'on se propose de mesurer (on supposera que $N < n$). La face AB est éclairée avec un faisceau de lumière monochromatique faisant l'angle i_1 avec la normale à la face d'entrée. L'ensemble est placé dans l'air.

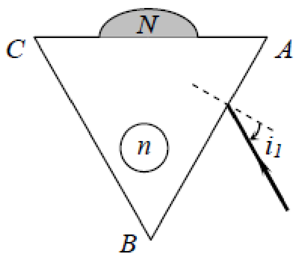


FIGURE 1 – *Prisme réfractomètre.*

1. Le faisceau incident peut-il subir une réflexion totale sur la face AB ? Justifier votre réponse.
2. Après avoir traversé la face AB, le faisceau arrive sur la face AC sous la goutte de liquide. Peut-il subir une réflexion totale sur cette face ? Justifier votre réponse.
3. Quelle est l'expression de l'angle d'incidence i_2 sur la face AC en fonction de r_1, l'angle de réfraction sur la face d'entrée ?
4. Lorsque l'angle d'incidence i_1 est égal à - 8 $^\circ$, le faisceau émerge en rasant la face AC. En déduire l'indice N du liquide déposé sur le prisme.

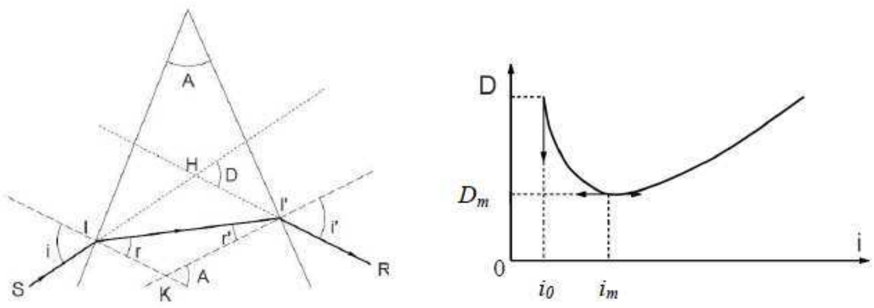
UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

Optique Géométrique

Thème 2 - Lois de Snell-Descartes
Applications au prisme et à la fibre optique (~ 2h)

1 Etude du prisme

On considère un prisme en verre d'angle au sommet A et d'indice n représenté sur la figure 1a). Il est placé dans l'air et éclairé par un faisceau de lumière parallèle et monochromatique (λ = 587,6 nm). On appelle :
- i et r les angles d'incidence et de réfraction sur la face d'entrée,
- r' et i' les angles d'incidence et d'émergence sur la face de sortie,
- D l'angle de déviation entre les rayons incident et émergent.



a) *b)*

FIGURE 1 – *Prisme. a) Notations. b) Courbe D(i).*

1. Etablir les quatre formules du prisme reliant ces angles.
2. On prend $A = 60\,^\circ$ et n = 1,510. Entre quelles limites doit être compris l'angle d'incidence i pour que l'on puisse obtenir un faisceau émergent ? Application numérique.
3. La figure 1b) illustre qualitativement comment la déviation D varie avec l'angle d'incidence i. Commenter cette figure. Expliquer, à partir de la figure 1b), comment deux valeurs différentes de i peuvent conduire à une même déviation D.
4. On se place au minimum de déviation D_m, obtenu pour un angle d'incidence i_m. Déduire de la question précédente la relation entre i_m et i', puis celle entre D_m, i_m et A. Montrer que la mesure de D_m permet de remonter à la valeur de n.
5. L'indice du verre varie faiblement avec la longueur d'onde de la lumière. Qu'observe-t-on lorsque le prisme est éclairé en lumière blanche ? On considère un verre ayant les caractéristiques suivantes : n = 1,506 pour λ = 656,3 nm et n = 1,519 pour λ = 486,1 nm. Comparer les déviations qui en résultent pour $i = 60\,^\circ$.
6. Déduire des questions ci-dessus deux applications possibles pour le prisme.
7. *Travail Personnel :* Reprendre les questions précédentes avec un prisme d'angle au sommet $A = 30\,^\circ$ et d'indice n = 1,510.

2 Fibre optique à coeur homogène

Une fibre optique cylindrique, d'axe Oz, comprend un coeur en silice, transparent, homogène et isotrope, de rayon $R_1 = 50$ μm, de longueur d et d'indice $n_1 = 1{,}45$. Ce coeur est entouré d'une gaine également transparente, homogène et isotrope dont l'indice n_2 est légèrement inférieur à n_1 ($n_2/n_1 = 0{,}99$). Le rayon R_2 de cette gaine vaut 125 μm.

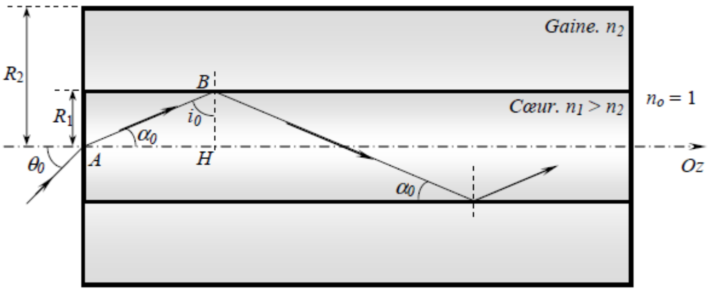


Figure 2 – *Fibre optique. Notations.*

1. La fibre est placée dans l'air ($n_o = 1$). Tracer la variation $n(\rho)$ de l'indice en fonction de la distance ρ à l'axe Oz.
2. À quelle condition la lumière se propage-t-elle à l'intérieur de la fibre ? Exprimer l'angle limite i_0, le cône d'acceptance $2\theta_0$ (cf. figure 2) et l'ouverture numérique ($O.N. = n_o \sin\theta_0$) en fonction des indices n_o, n_1 et n_2. Calculer leurs valeurs numériques.
3. Dans une fibre optique, la lumière peut se propager suivant plusieurs modes qui diffèrent par leur nombre de réflexions totales sur la gaine. On associe un mode de propagation à chaque valeur de l'incidence i sur la gaine, telle que $i_0 \leq i \leq \pi/2$. Etablir en fonction de n_1 et n_2 l'expression du rapport des distances correspondant aux trajectoires extrêmes (pour ce calcul, on peut se limiter au triangle AHB de la figure 2). En déduire la plus grande longueur de trajectoire d_{max} en fonction de la longueur d de la fibre optique.
4. Calculer les chemins optiques L_{min} et L_{max} correspondant aux deux modes de propagation extrêmes. En déduire l'écart des durées de propagation de la lumière Δt (appelée dispersion modale) entre ces deux modes.
5. On injecte des impulsions lumineuses issues d'un laser à l'intérieur de la fibre. On considère que la largeur temporelle de ces impulsions à l'entrée de la fibre est négligeable (quelques ps) devant la période des impulsions. Que devient cette largeur temporelle à la sortie d'une fibre optique de longueur $d = 1$ km ? Quelle est alors la fréquence maximale f_{max} de ces impulsions pour qu'elles ne se recouvrent pas à la sortie de la fibre ?

3 *Travail Personnel :* Lois de Snell-Descartes

1. Rappeler les lois décrivant la réfraction d'un rayon entre un milieu d'indice n_1 et un milieu d'indice n_2. Faire un schéma précisant toutes les notations utilisées. Préciser comment est défini le plan d'incidence.
2. Dans le cas où le milieu d'incidence d'indice n_1 est moins réfringent que le deuxième milieu, montrer qu'il existe un angle de réfraction limite i_{2lim}. A quel angle d'incidence correspond-il ? Calculer i_{2lim} en degrés si $n_1 = 1$ et $n_2 = 1{,}33$. *(réponse : i_{2lim} = 48,75 °).*

3. Dans le cas où le milieu d'incidence d'indice n_1 est plus réfringent que le deuxième milieu, montrer qu'il existe un angle d'incidence i_{1lim} au-delà duquel il n'y a plus de réfraction dans le milieu d'indice n_2. Que se passe-t-il si $i_1 > i_{1lim}$? Calculer i_{1lim} en degrés si $n_1 = 1{,}33$ et $n_2 = 1$. Comparer et commenter les résultats. *(réponse : $i_{1lim} = 48{,}75\,^{\circ}$).*
4. Un rayon lumineux traverse l'une des faces d'un cube en matière transparente sous une incidence de 45 ° puis rencontre une seconde face, perpendiculaire à la première. Il sort dans l'air en rasant cette face. Faire le schéma en prenant le plan de la feuille comme plan d'incidence. Calculer l'indice de la substance du cube. *(réponse : $n = 1{,}22$).*
5. Un pêcheur regarde flotter sur l'eau le bouchon accroché au fil de sa canne à pêche (cf. figure 3). Le bouchon est un flotteur constitué d'un disque circulaire opaque, de rayon $R = 5$ cm, auquel est fixé en son centre O une fine tige OA plongeant verticalement dans l'eau. Sachant que la longueur de cette tige vaut $d = 4$ cm, montrer qu'elle est invisible du pêcheur placé au-dessus de la surface de l'eau. Illustrer les calculs et commentaires en reprenant et complétant la figure 3.

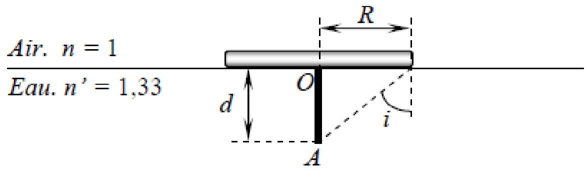


FIGURE 3 – *Bouchon à la surface de l'eau.*

UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

Optique Géométrique

Thème 3 - Dioptre Plan (~ 1h)

1 Relation de conjugaison

Un poisson nage à une profondeur de 1 m sous la surface de l'eau d'indice $n = 1{,}33$. Un pêcheur situé à la verticale du poisson et 1,40 m au-dessus de la surface l'observe.

1. A quelle distance le pêcheur voit-il le poisson ?
2. A quelle distance le poisson voit-il le pêcheur ?

2 Vision sous-marine

Une lame à faces parallèles d'indice $n = 1{,}5$ et d'épaisseur $e = 5$ mm sépare un milieu rempli d'eau d'indice $n_o = 1{,}33$ de l'air.

1. Exprimer la distance $\overline{A_oA_i}$ séparant l'image A_i d'un objet A_o situé dans l'eau à une distance d de la surface immergée de la lame, en fonction de e, n, n_o et d. Calculer cette distance pour $d = 2$ m.
2. Evaluer l'influence sur cette distance d'une modification de e.

UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

Optique Géométrique

Thème 4 - Dioptre Sphérique (~ 1h15)

1 Dioptres sphériques dans l'approximation de Gauss

Les dioptres sphériques représentés sur la figure 1 ont un rayon de courbure $|R| = 5$ cm.

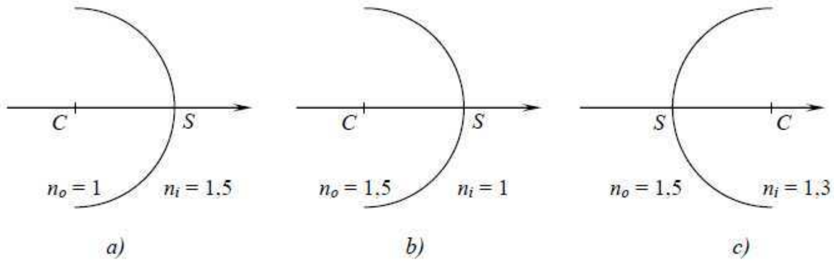


FIGURE 1 – *Dioptres sphériques.*

1. Calculer en dioptries la vergence V de ces dioptres sphériques.
2. Trouver la position des foyers objet F_o et image F_i à l'aide de la relation de conjugaison.
3. Calculer la position de l'image $\overline{A_iB_i}$ d'un objet $\overline{A_oB_o}$ lorsque $\overline{SA_o} = 2\overline{SF_o}$.
4. Tracer les constructions graphiques correspondant aux cas a) et b) à l'échelle 1/4.
5. *Travail personnel :* Construction graphique dans le cas c) (on utilisera une échelle 1/10).

2 Relation de conjugaison

On considère un bocal sphérique rempli d'eau servant d'aquarium à un hippocampe de taille $\overline{A_oB_o} = 10$ cm. La paroi du bocal a une épaisseur négligeable et est représentée par un dioptre sphérique de sommet S (cf. figure 2).

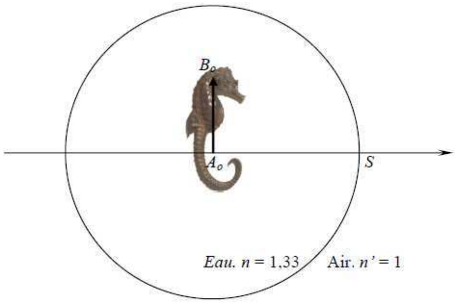


FIGURE 2 – *Hippocampe dans un aquarium.*

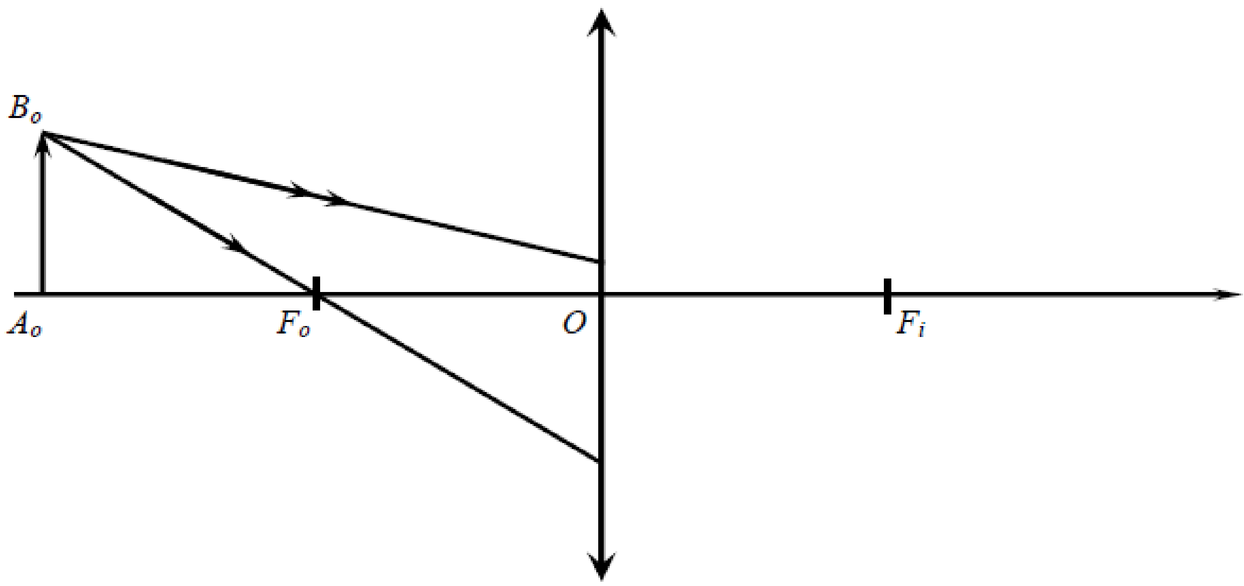
1. Calculer la vergence V du dioptre et la position de ses foyers objet F_o et image F_i sachant que le rayon du bocal vaut 15 cm. Quelle est la nature (convergente ou divergente) du dioptre ?
2. Calculer la position et la taille de l'image de l'hippocampe vue depuis l'extérieur quand ce dernier est au centre du bocal.
3. Effectuer le même calcul quand l'hippocampe est contre la paroi opposée au dioptre de sommet S.
4. Retrouver ce dernier résultat par une construction graphique et un tracé soigné des rayons (échelle 1/10).

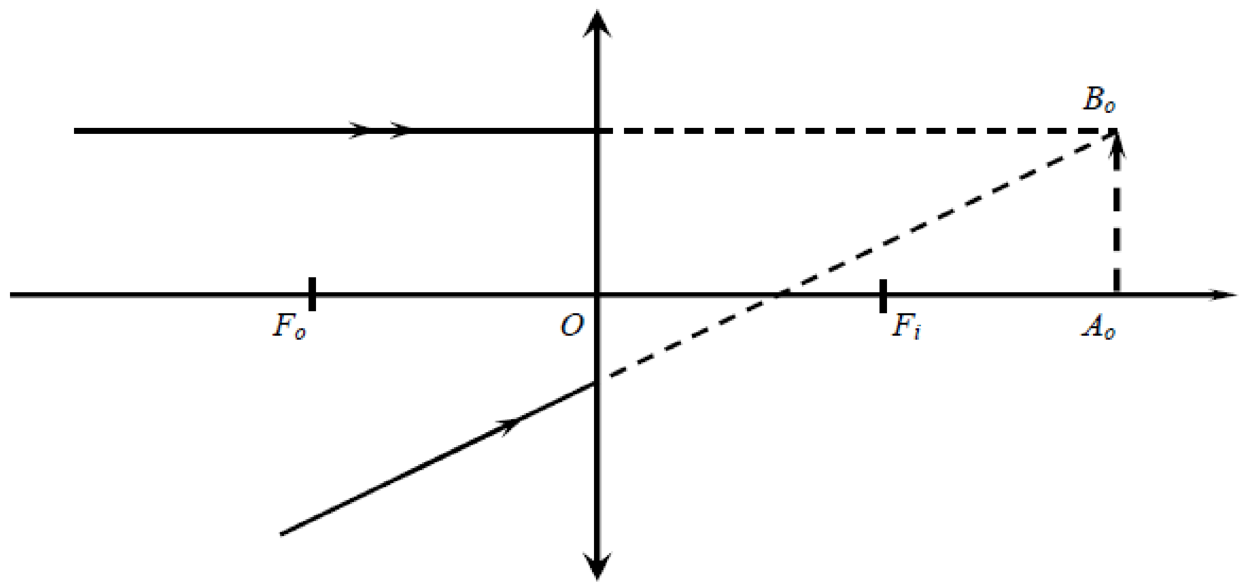
UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

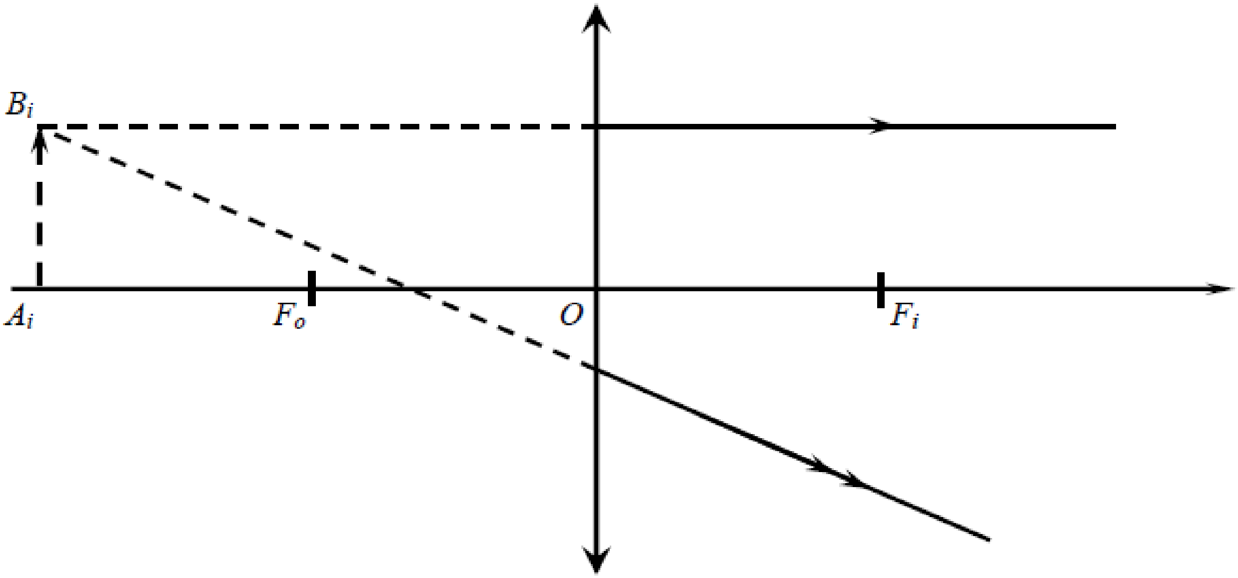
Optique Géométrique

Thème 5 - Lentilles minces (∼ 1h45)

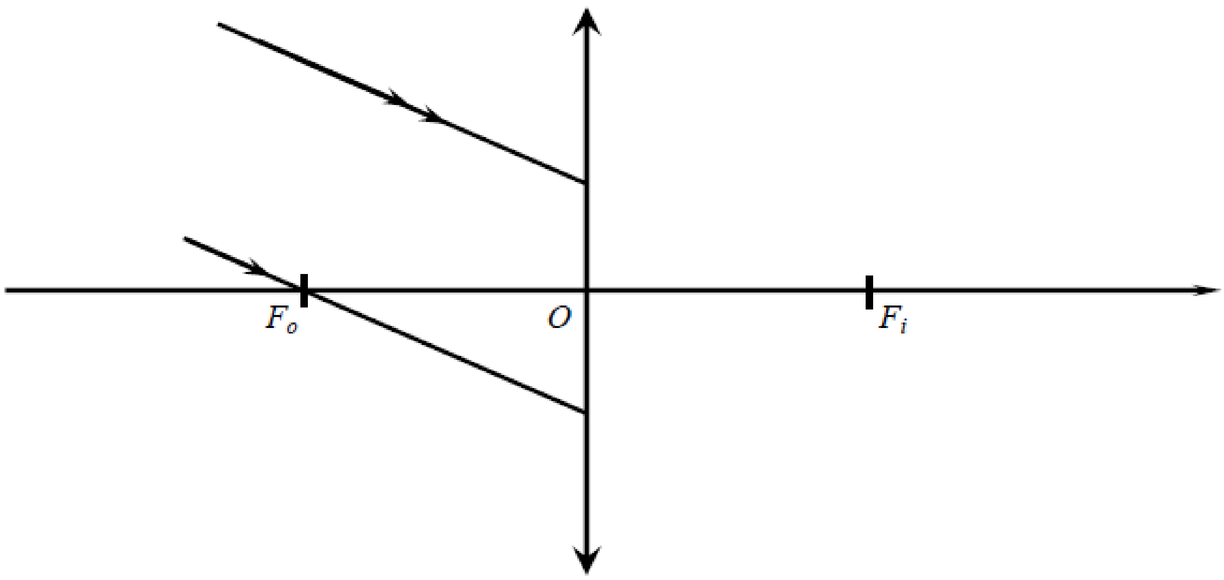
1 Lentilles Convergentes



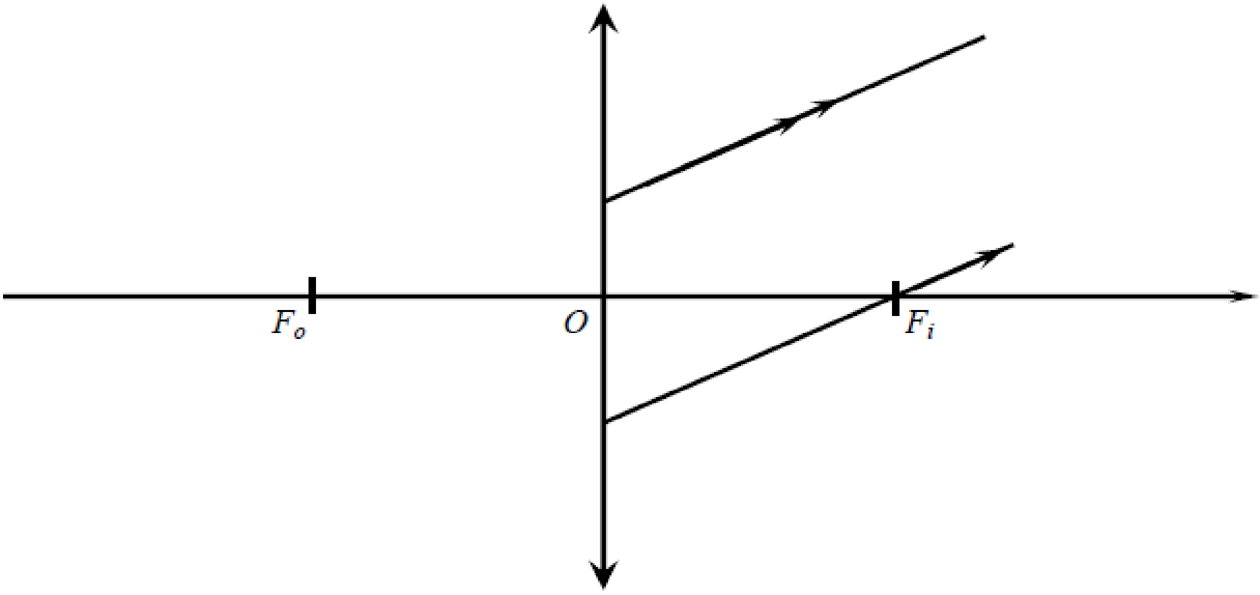




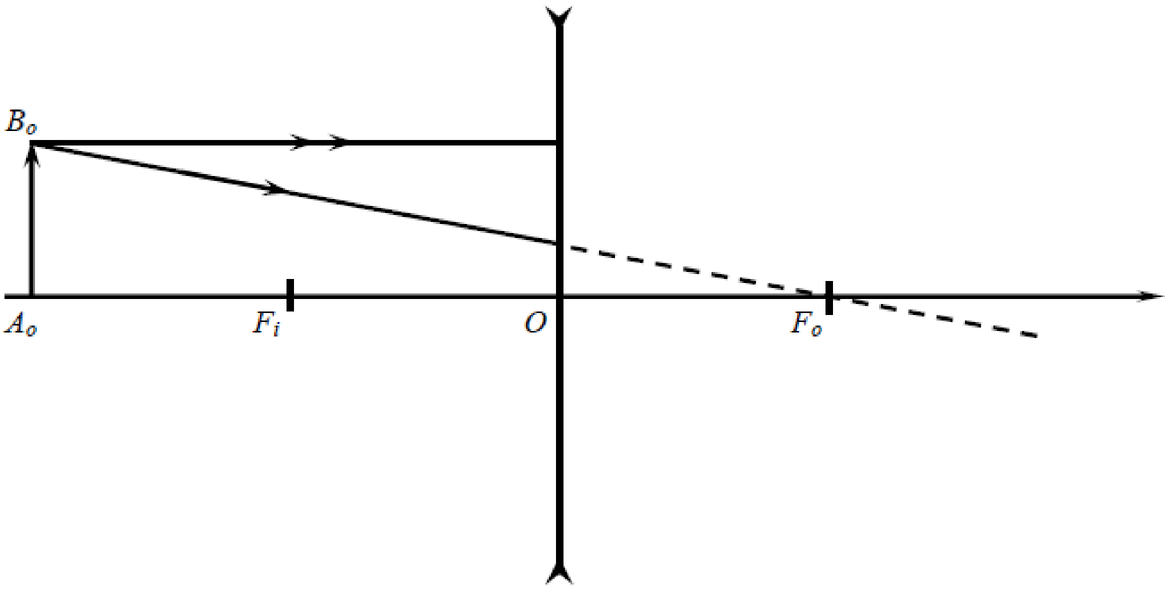
B_i
A_i
F_o
O
F_i

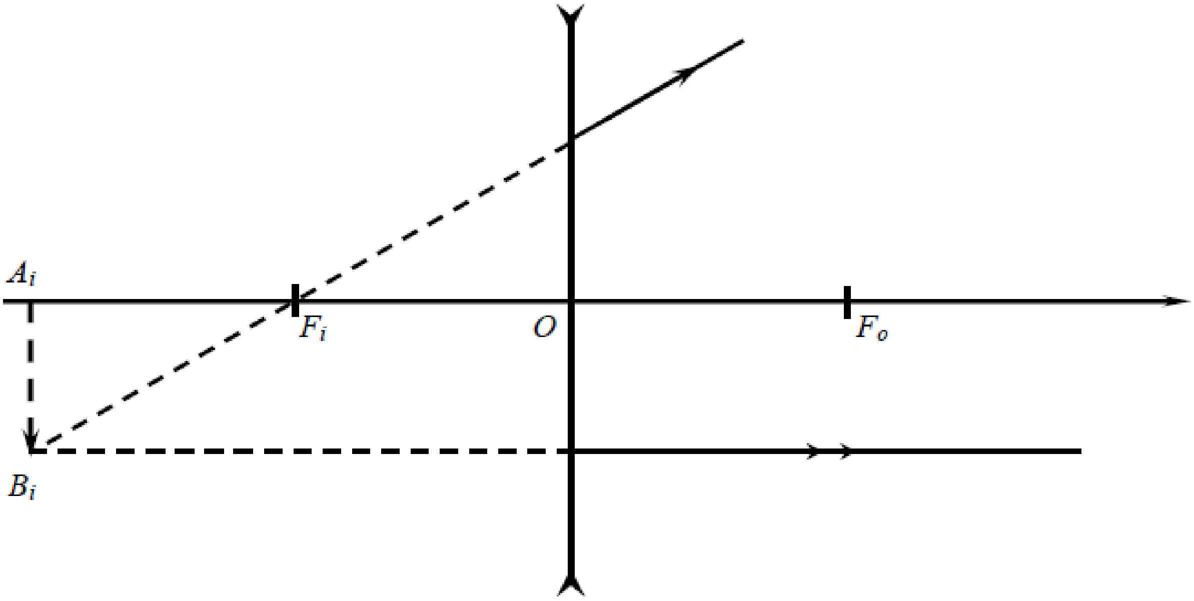


F_o
O
F_i

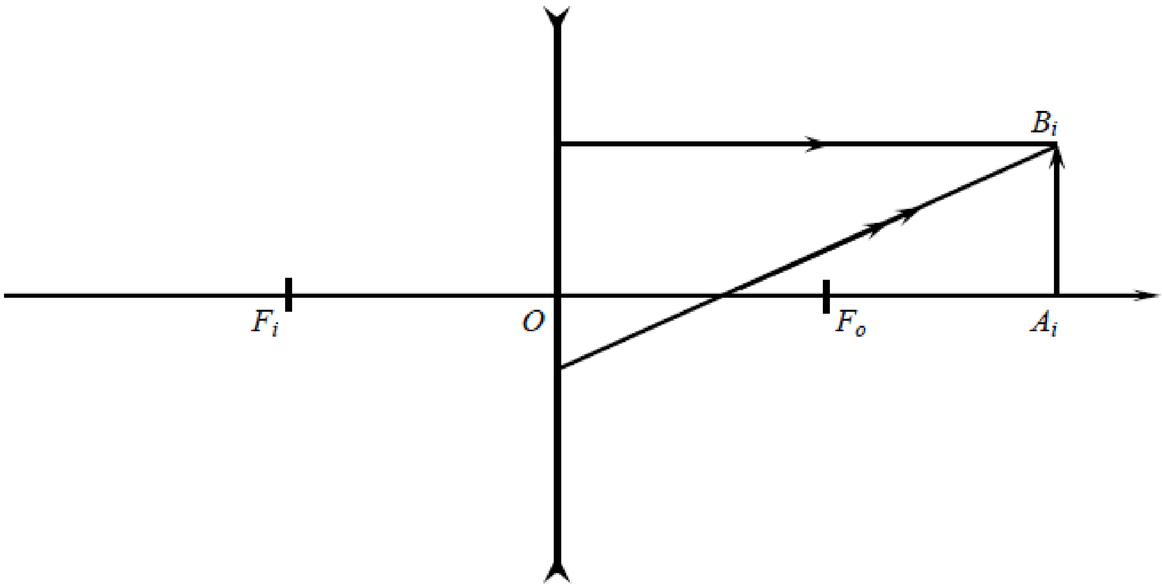


2 Lentilles Divergentes

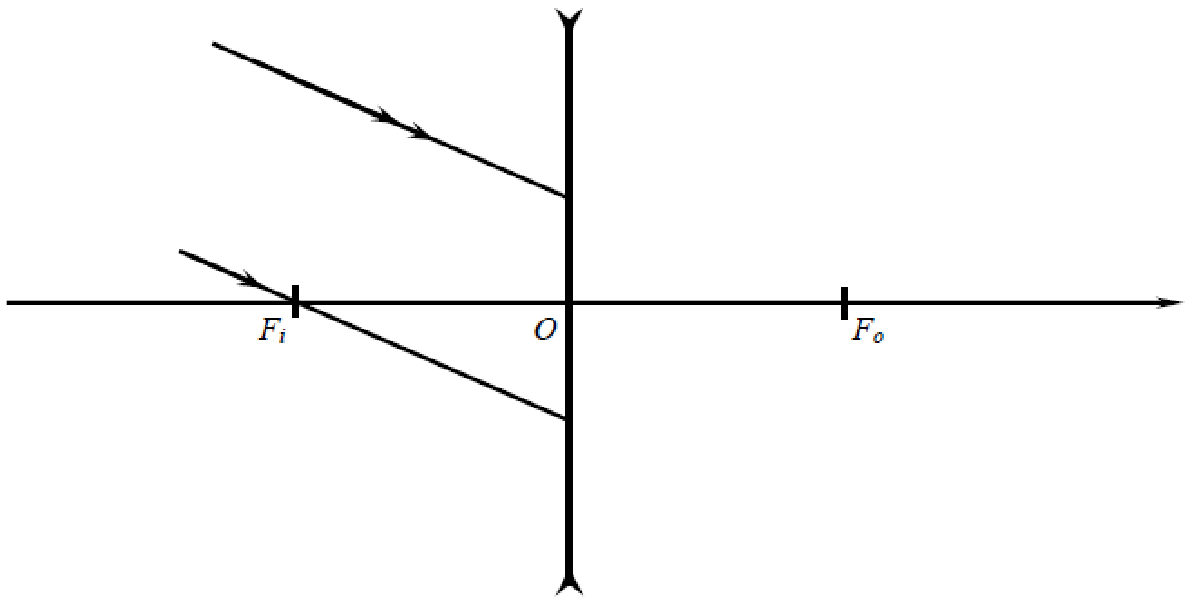


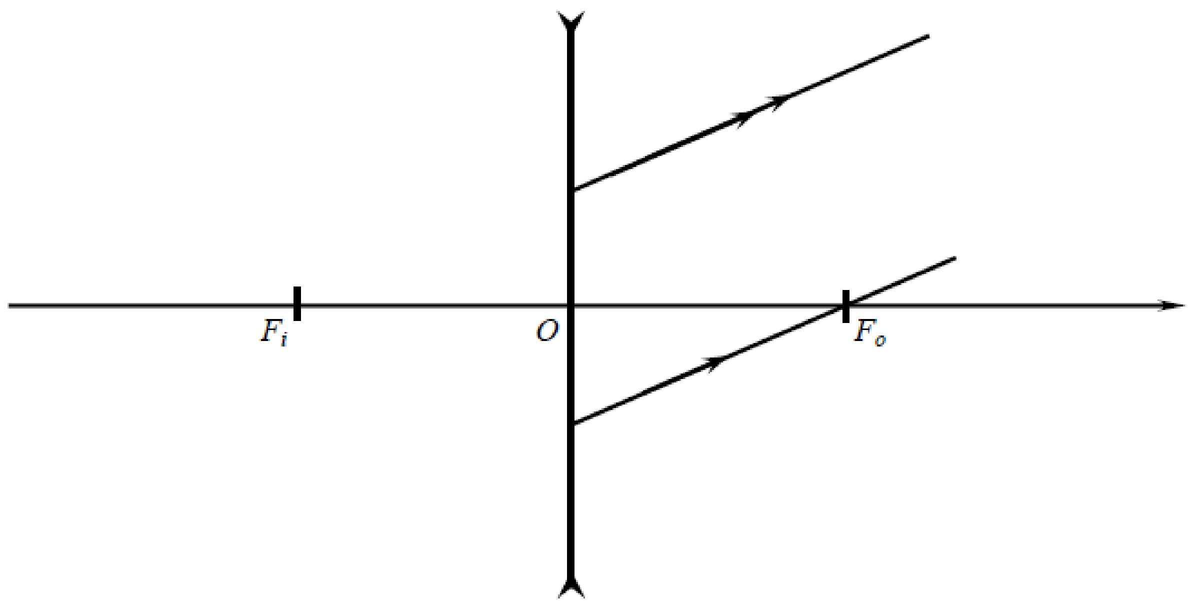


A_i
F_i
O
F_o
B_i



B_i
F_i
O
F_o
A_i





3 Lentille mince. Relation de conjugaison.

1. – a) - Rappeler la relation de conjugaison d'une lentille mince et l'expression de son grandissement transversal G_t.
   – b) - Etablir l'équation de la courbe $G_t^{-1} = f(p_o)$ et tracer l'allure de cette courbe.
   – c) - Etablir l'équation de la courbe $G_t = f(p_i)$ et tracer l'allure de cette courbe.
2. On considère une lentille convergente L placée dans l'air et un objet réel $\overline{A_oB_o}$ tel que $p_o = 2f_o$. Déterminer par le calcul la position p_i de l'image $\overline{A_iB_i}$ et le grandissement transversal G_t. Vérifier le résultat à l'aide d'une construction graphique. Comment s'appelle ce montage ?
3. On considère une lentille convergente L placée dans l'air et un objet réel $\overline{A_oB_o}$ à la position p_o fixe ($|p_o| > |f_o|$). L'écran d'observation est à la position p_i fixe elle aussi ($p_i > f_i$). La distance

objet-écran est notée d. Montrer qu'il existe deux positions de la lentille permettant de former sur l'écran l'image $\overline{A_iB_i}$ de l'objet réel $\overline{A_oB_o}$.
A.N. : Déterminer par le calcul les deux positions de la lentille pour $f_i = 20$ cm et $d = 1$ m. Vérifier ces résultats par deux constructions graphiques (on prendra une échelle 1/10 le long de l'axe optique). Quelle conséquence du principe de Fermat permet d'expliquer ce résultat ?

UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

Optique Géométrique

Thème 6 - L'oeil et ses défauts (~ 3h)

1 L'oeil emmétrope - Description schématique et principe de fonctionnement

1. Compléter la figure 1 en identifiant les organes essentiels de l'oeil.

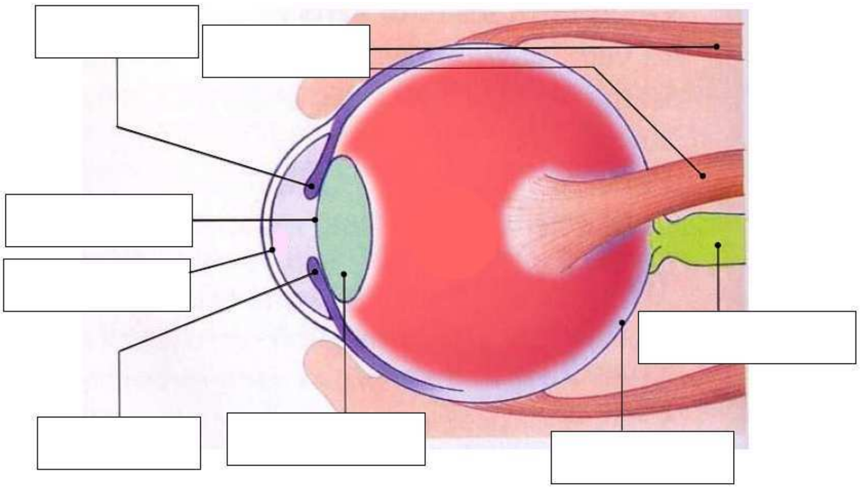


FIGURE 1 – *L'oeil. Description schématique*

2. Expliquer le phénomène d'accomodation.
3. Que sont le *punctum proximum PP* et le *punctum remotum PR* ?
4. Le *punctum remotum PR* étant à l'infini et le *punctum proximum PP* à 25 cm du cristallin d'un oeil emmétrope de diamètre 25 mm, calculer son amplitude d'accomodation A.

2 L'oeil emmétrope - Dioptre sphérique équivalent

Les caractéristiques optiques et géométriques essentielles du système optique assurant la formation de l'image dans un oeil emmétrope au repos sont indiquées sur la figure 2. On se propose d'assimiler ce système optique à un dioptre sphérique équivalent et d'en calculer les caractéristiques (indices des milieux extrêmes et rayon de courbure).

1. Calculer la vergence V_1 et les distances focales objet f_{o1} et image f_{i1} de la cornée.
2. En assimilant le cristallin à l'association de deux dioptres sphériques, calculer sa vergence V_c et ses distances focales objet f_{oc} et image f_{ic}.
3. Calculer la vergence V_o et les distances focales objet f_o et image f_i de l'oeil.
4. Montrer que l'oeil peut être assimilé en première approximation à un dioptre sphérique dont on précisera les indices des milieux extrêmes et le rayon de courbure.

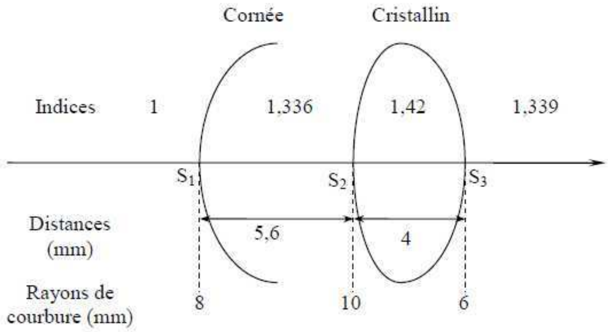


FIGURE 2 – *L'oeil. Système optique*

3 Etude comparée d'un oeil myope et d'un oeil hypermétrope.

On modélise un oeil du point de vue optique par un dioptre sphérique équivalent de vergence variable, dont le sommet S est placé sur la face d'entrée de l'oeil (sommet de la cornée). Ce dioptre sépare le milieu extérieur (indice optique 1) de l'humeur vitrée de l'oeil (indice 1,339). La distance focale image de l'oeil est notée f_{i1} et son foyer principal image F_{i1}. La rétine est modélisée par un écran R situé à la distance D de S et on pose $D = f_{i1} + d$, d étant algébrique.
Dans tout l'exercice, on s'intéresse à un objet à l'infini.

1. – a) - Quelle est la valeur de d dans le cas d'un oeil emmétrope ?
   – b) - Quel est le signe de d dans le cas d'un oeil myope ? Quel type de lentille doit-on utiliser pour corriger ce défaut ?
   – c) - Quel est le signe de d dans le cas d'un oeil hypermétrope ? Quel type de lentille doit-on utiliser pour corriger ce défaut ?
2. Pour corriger le défaut de vision, on utilise une lentille correctrice L_c de centre optique O, de foyer principal image F_{ic} et de distance focale f_{ic} placée à la distance e devant S.
   – a) - Dans le cas d'un oeil myope, faire un schéma sur lequel on placera le dioptre sphérique équivalent figurant l'oeil ainsi que son foyer image F_{i1}, l'écran R figurant la rétine, la lentille de correction L_c et le foyer image F_i de l'oeil corrigé. Le schéma fera figurer les distances D, f_{i1}, e et d.
   – b) - Même question dans le cas d'un oeil hypermétrope.
3. – a) - Quelle est la position de l'image donnée par la lentille de correction L d'un objet situé à l'infini ?
   – b) - Quelle est la position de l'image donnée par l'oeil corrigé (modélisé par l'association du dioptre sphérique équivalent et de la lentille correctrice L_c) d'un objet situé à l'infini ?
   – c) - En écrivant la relation de conjugaison appliquée au dioptre sphérique équivalent, déduire une expression de f_{ic} en fonction de e, f_{i1}, d et n.
4. On prend $D = 17$ mm, $e = 1$ cm et $|d| = 2$ mm.
   – a) - Calculer la vergence V_c de la lentille correctrice dans le cas d'un oeil myope.
   – b) - Même question dans le cas d'un oeil hypermétrope.
5. Sur la figure 3, identifier l'oeil emmétrope, l'oeil myope et l'oeil hypermétrope.

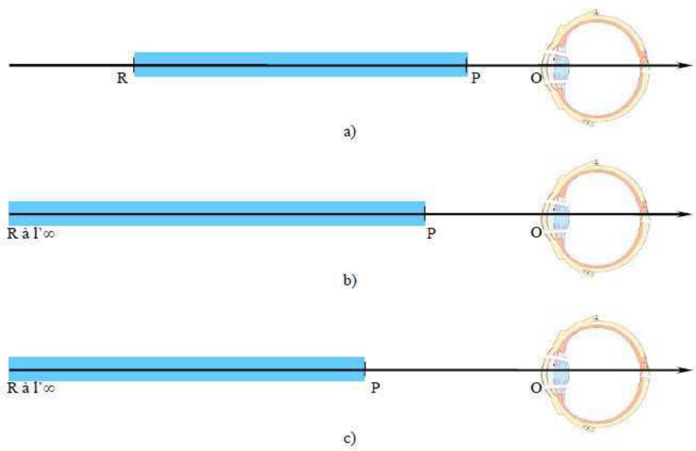


FIGURE 3 – *L'oeil et ses défauts*

4 Oeil presbyte et hypermétrope.

Un individu a un oeil presbyte et hypermétrope assimilé à un dioptre sphérique équivalent de vergence fixe, dont le sommet S est placé sur la face d'entrée de l'oeil (sommet de la cornée). Ce dioptre sépare le milieu extérieur (indice optique 1) de l'humeur vitrée de l'oeil (indice 1,339). Sa distance focale image f_{i1} fixe est égale à 20 mm. La rétine R se trouve à une distance fixe d = 20 mm du sommet S du dioptre sphérique.

1. Cet individu voit-il distinctement les objets situés à l'infini ?
2. Cette personne lit le journal situé au point A_o à la position $\overline{SA_o}$ = - 25 cm. A quelle distance de la rétine l'image de A_o à travers l'oeil se forme-t-elle ?
3. Le faisceau lumineux issu du point A_o forme sur la rétine R une tache de diamètre ϵ. Calculer ϵ en fonction du diamètre ϕ de la pupille placée devant le sommet S du dioptre sphérique équivalent. Sachant que l'image sera floue si $\epsilon > 1$ μm, la personne peut-elle lire son journal sans lunette si $\phi = 4$ mm ?
4. Dans le cas général, montrer que $\epsilon = \phi\left(1 - \frac{d}{f_{i1}} - \frac{d}{n.\overline{SA_o}}\right)$. En prenant en compte la contrainte précédente, à partir de quelle distance un objet est-il vu flou ?
5. On corrige cet oeil en accolant devant le sommet S une lentille de contact correctrice L_c de distance focale image f_{ic}. Exprimer la distance focale image f_i de l'association dioptre sphérique - lentille correctrice en fonction de f_i, f_{ic} et n puis calculer f_i pour que l'image A_i du point A_o défini à la question 2 se forme sur la rétine. En déduire la valeur de f_{ic} et la vergence V_c de la lentille de contact correctrice.

UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

Optique Géométrique

Thème 7 - Instruments d'optique (∼ 3h)

1 La loupe

1. Calculer l'angle α sous lequel est vu un petit objet $\overline{A_oB_o}$ de 3 mm de haut observé à l'oeil nu et situé à 25 cm de l'oeil. Cet angle est appelé *diamètre apparent* de l'objet.
2. L'objet $\overline{A_oB_o}$ est maintenant observé à travers une lentille convergente L de distance focale image $f_i = 5$ cm. L'objet $\overline{A_oB_o}$ étant situé à 4 cm de la lentille, déterminer par le calcul et à l'aide d'une construction graphique les caractéristiques (position, nature, sens et taille) de son image $\overline{A_iB_i}$.
3. Calculer le diamètre apparent α'_1 de l'image observée par l'oeil situé au foyer image F_i de la lentille.
4. En déduire le grossissement $G = \frac{\alpha'_1}{\alpha}$ de la loupe.
5. Où doit-on placer l'objet pour que l'oeil puisse l'observer sans avoir à accomoder ? On appelle α'_2 le diamètre apparent de l'objet vu à travers la lentille dans cette configuration.
6. Montrer que le grossissement G s'écrit alors $G = \frac{\alpha'_2}{\alpha} = \frac{0{,}25}{f_i}$.
7. Dans cette question, on considère que l'oeil (emmétrope) est toujours situé au foyer image F_i de la lentille. On appelle *latitude de mise au point* le petit déplacement de l'ensemble (lentille + oeil) nécessaire pour amener l'image $\overline{A_iB_i}$ dans le champ de vision, c'est à dire entre le *punctum proximum* PP et le *punctum remotum* PR. Calculer la latitude de mise au point d'une loupe constituée par la lentille L.

2 Lunettes

2.1 Lunette astronomique

Une lunette astronomique est formée par l'association d'un objectif assimilé à une lentille mince convergente L_1 de centre optique O_1 et de distance focale $f_{i1} = 50$ cm et d'un oculaire assimilé à une lentille mince convergente L_2 de centre optique O_2 et de distance focale $f_{i2} = 2$ cm.

1. Quelle doit être la distance l entre les deux lentilles L_1 et L_2 pour que la lunette soit afocale ?
2. On considère un point A_o situé à l'infini hors de l'axe optique. Réaliser un schéma, sans respecter les échelles, montrant la marche d'un rayon lumineux incident provenant de A_o, faisant un angle orienté α avec l'axe optique et passant par le centre optique O_1 de l'objectif. L'image intermédiaire de A donnée par l'objectif sera notée A_{i1} et l'angle d'émergence (orienté) sera noté α'.
3. Déterminer l'expression du grandissement angulaire (ou grossissement) G de la lunette en fonction de f_{i1} et f_{i2}.
4. L'image est-elle droite ou renversée ? Application numérique.
5. A l'aide de la lunette, on observe la lune dont le diamètre apparent vaut 0.5°. Sous quel angle, exprimé en degré, voit-on la lune à travers la lunette ?

2.2 Lunette de Galilée

La lunette comprend maintenant deux lentilles minces L_1, convergente, et L_2, divergente, de centres optiques respectifs O_1 et O_2 et de distances focales images respectives f_{i1} et f_{i2}. Cette lunette peut aussi bien être utilisée pour observer des objets très éloignés (astres) que des objets plus rapprochés (objets terrestres) et la distance $L_1 - L_2$ peut être modifiée en fonction de la position de l'objet à observer.

1. Un observateur emmétrope souhaite observer sans accomoder un objet placé à l'infini. Pour cela, il règle la distance $\overline{O_1O_2}$ à 50 cm. Le grandissement angulaire (ou grossissement) G du système est alors de 3. Quelle doit être la position du foyer objet F_{o2} de L_2 ? Quel nom porte un tel système ?
2. On considère un point A_o situé à l'infini hors de l'axe optique. Réaliser un schéma, sans respecter les échelles, montrant la marche d'un rayon lumineux incident provenant de A_o, faisant un angle orienté α avec l'axe optique et passant par le centre optique O_1 de l'objectif. L'image intermédiaire de A donnée par l'objectif sera notée A_{i1} et l'angle d'émergence (orienté) sera noté α'.
3. Déterminer l'expression du grandissement angulaire (ou grossissement) G de la lunette en fonction de f_{i1} et f_{i2}.
4. L'image est-elle droite ou renversée ?
5. Déterminer par le calcul f_{i1} et f_{i2}.
6. L'observateur emmétrope souhaite maintenant observer un objet situé à 10 m de l'objectif L_1. Quelle doit être la course de l'oculaire pour que l'observateur puisse voir cet objet sans accommoder ?
7. L'observateur conserve le réglage de la lunette fixé à la question précédente. Il place son oeil 15 mm après l'oculaire L_2 et utilise toute son amplitude dioptrique pour accommoder. Quelle est la position du plan objet le plus proche qu'il peut observer ?

3 Objectif de photocopieur

Pour photocopier un document, on forme l'image de l'original sur une surface photosensible à l'aide d'un objectif de reproduction. On souhaite réaliser des agrandissements et réductions permettant le passage entre formats standards (A4 $\rightarrow$ A3, A4 $\rightarrow$ A5,...). Le rapport des longueurs (ou des largeurs) entre le format A(n) et le format A(n+1) est $\sqrt{2}$. Les positions du document et de la surface photosensible étant fixes et repérées respectivement par A_o et A_i, on cherche à concevoir un objectif à lentilles mobiles réalisant ce cahier des charges. On limite l'étude à un objectif constitué de lentilles minces.

La distance entre le document et le récepteur photosensible est de 384 mm. On positionne à 180 mm du récepteur une première lentille mince divergente L_1 de distance focale f_{i1} = - 90 mm et de centre optique O_1.

1. Rappeler les différentes combinaisons objet réel/virtuel et image réelle/virtuelle que l'on peut obtenir avec une lentille divergente. La lentille L_1 peut-elle donner une image du document sur le récepteur ?
2. On ajoute une lentille mince L devant la lentille L_1 à 180 mm du document à reproduire. On note O son centre optique (cf. figure 1).
   - a) La lentille L doit-elle être divergente ou convergente ? Justifier votre réponse.
   - b) Calculer la distance focale image f_i de cette lentille pour obtenir une image réelle du document sur le récepteur.
   - c) Quel est alors le grandissement transversal G_{t1} du montage ? Quel type de reproduction (A4 $\rightarrow$ A3,A4 $\rightarrow$ A5,...) cet objectif permet-il de réaliser ?
3. La lentille L est en fait constituée de deux lentilles accolées L_2 et L_3, L_2 étant identique à L_1. On note O_2 et O_3 leurs centres optiques respectifs. Quelle est la nature de la lentille L_3 ? Justifier votre réponse. Calculer sa distance focale image f_{i3}.

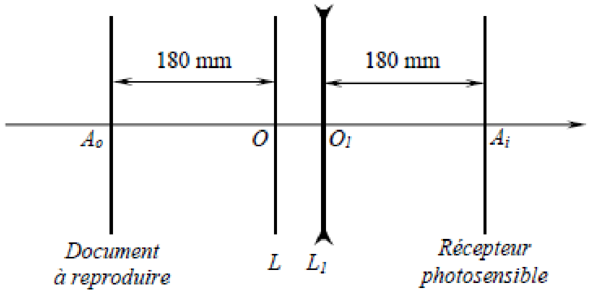


FIGURE 1 – *Objectif de photocopieur*

4. On translate alors la lentille L_3 afin de l'accoler à L_1. Montrer que l'image du document reste sur le récepteur et calculer le grandissement transversal G_{t2} de ce nouveau montage. En déduire le type de reproduction auquel il correspond.

4 *Travail personnel :* Téléobjectif

4.1 Partie A

Un touriste souhaite photographier l'Arc de Triomphe (hauteur : 50 m) au bout de la perspective des Champs Elysées. Il se place pour cela à 400 m de l'édifice et utilise un appareil photographique équipé d'un objectif que l'on peut assimiler à une lentille mince convergente L_1 de distance focale image f_{i1} = 5 cm.

1. Déterminer par le calcul la position de l'image de l'Arc de Triomphe formée par L_1. *(réponse : $\overline{O_1A_i}$ = 5 cm).*
2. Calculer le grandissement transversal G_{t1} et en déduire la taille de l'image de l'Arc de Triomphe. *(réponses : G_{t1} = -1,25.10^{-4} et $\overline{A_iB_i}$ = - 6,25 cm).*

4.2 Partie B

Pour obtenir une image plus grande, le touriste utilise un téléobjectif qui peut être modélisé par l'association de la lentille L_1 étudiée dans la partie A et d'une deuxième lentille L_2 divergente de distance focale f_{i2} = - 2,5 cm située 3 cm après L_1.

1. On note F_o et F_i les foyers objet et image du téléobjectif. Compléter le graphe à l'échelle 1/3 de la figure 2 en traçant la marche complète des rayons incidents donnés. En déduire la position du foyer image F_i du téléobjectif.
2. Déterminer par le calcul la position de l'image de l'Arc de Triomphe formée par le téléobjectif. *(réponse : $\overline{O_2A_i}$ = 10 cm).*
3. Calculer le grandissement transversal G_{t2} introduit par la lentille L_2. En déduire le grandissement transversal total G_t introduit par le téléobjectif et la taille de l'image finale de l'Arc de Triomphe. *(réponses : G_{t2} = +5, G_t = -6,25.10^{-4} et $\overline{A_iB_i}$ = - 3,125 cm).*
4. Quelle est la distance entre la lentille L_1 et l'image finale ? *(réponse : $\overline{O_1A_i}$ = 13 cm).*
5. Si le photographe avait utilisé un objectif formé d'une seule lentille convergente, quelle aurait dû être sa distance focale pour avoir le même grandissement transversal G_t ? Dans cette hypothèse, quelle aurait été la distance entre la lentille et l'image finale ? En déduire l'intérêt du téléobjectif formé par les lentilles L_1 et L_2. *(réponse : f_i = 24,98 cm).*

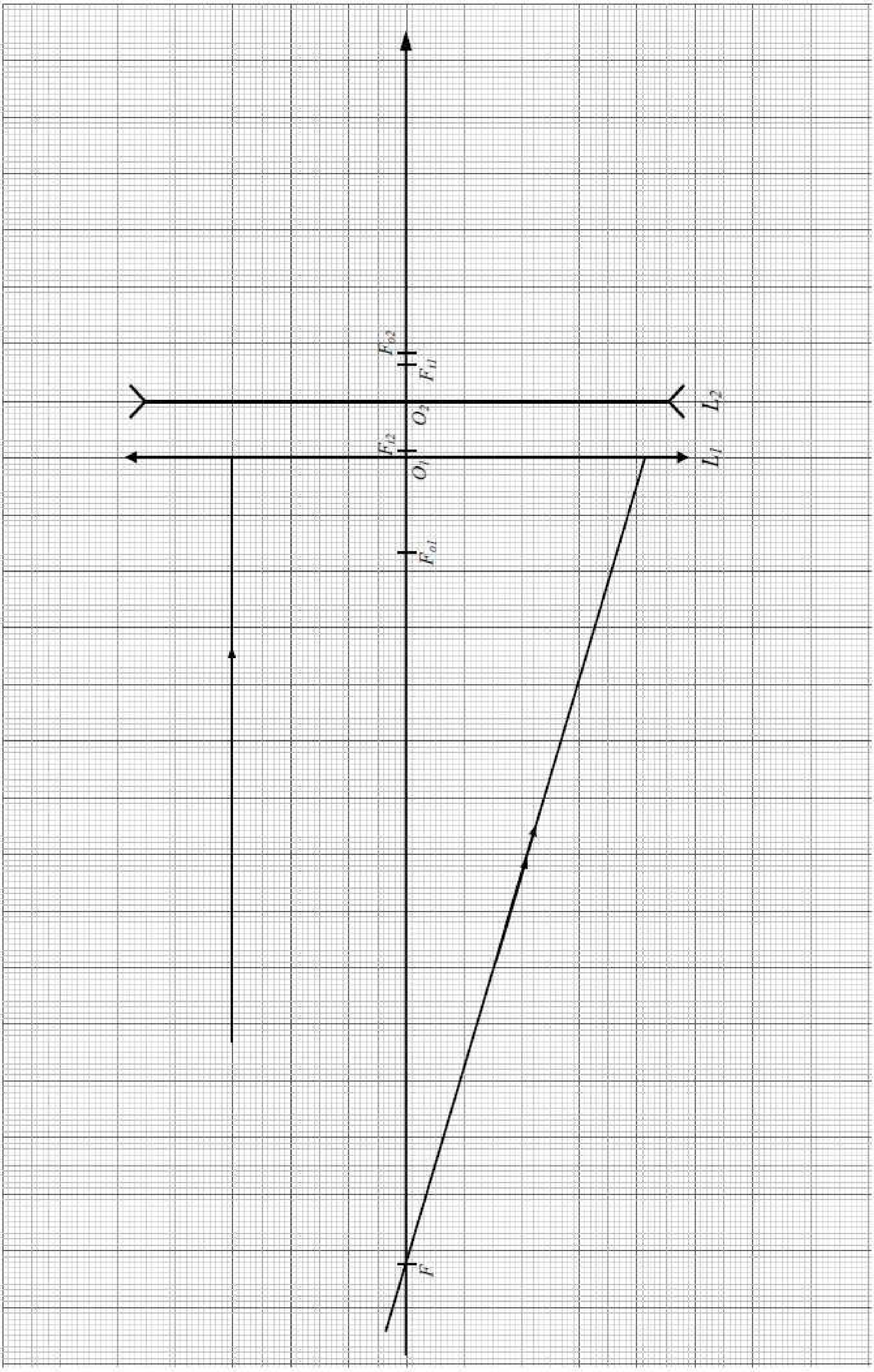


FIGURE 2 – *Téléobjectif. Construction graphique*

UNIVERSITE PAUL SABATIER
LICENCE 1 - Sciences Fondamentales et Appliquées

Optique Géométrique

Thème 8 - Miroirs (∼ 1h30)

1 Miroir sphérique convexe

Soit un miroir sphérique convexe de 120 cm de rayon de courbure. Un objet $\overline{A_oB_o}$ de 3 cm de hauteur est placé à 40 cm devant le miroir. Déterminer la position, la nature et la taille de l'image $\overline{A_iB_i}$.

2 Miroir sphérique

Déterminer la nature et la distance focale d'un miroir sphérique qui donne d'un objet $\overline{A_oB_o}$ réel, situé à 120 cm du sommet S une image $\overline{A_iB_i}$:

1. Réelle, placée à 80 cm de S.
2. Virtuelle, placée à 60 cm de S.
3. Réelle, dans le plan passant par le centre de courbure du miroir.

3 Objectif du télescope du Mont-Wilson

L'objectif du télescope, monté en configuration Cassegrain, comporte un miroir primaire M_p concave, dont le rayon de courbure sur l'axe optique est de 30 m, et un petit miroir secondaire M_s convexe, de rayon de courbure 32 m. La distance entre les deux miroirs est de 9 m.

1. Faire un schéma de l'instrument. Calculer la vergence de chaque miroir.
2. Quelle est la position du foyer image F_{ip} de M_p ? On désigne par F_i le foyer image de l'objectif ; trouver la distance qui sépare F_i du sommet S_p du miroir primaire.
3. Calculer en mètre la distance focale image f_i de l'objectif.

4 *Travail personnel :* Rétroviseur

Quelles sont les caractéristiques (rayon de courbure, nature concave ou convexe) d'un miroir sphérique donnant d'un objet réel placé à 10 m du sommet S une image de même sens et réduite d'un facteur 10 ? Effectuer la construction géométrique confirmant le calcul (on prendra une échelle 1/100$^{\text{ème}}$ le long de l'axe optique). *(réponses : $\overline{SC}$ = +2,22 m, miroir convexe).*